

¿Qué es “Biomecánica”?

Ing. Lázara Polaino de los Santos

Cuando por primera vez oímos la palabra Biomecánica, no precisamos con claridad lo que significa: ¿Mecánica de la vida? Y es posible también, que imaginemos que es una “ciencia nueva” por así decir.

La Biomecánica se ocupa el movimiento de los seres vivos y de modo particular del hombre. Si bien se conoce con este nombre a partir de la segunda mitad del siglo XX, etapa en que se desarrolla de manera acelerada, sus orígenes son tan antiguos como el propio hombre, quien en su actividad diaria se ve obligado, de manera consciente o intuitiva, a perfeccionar los movimientos de su cuerpo. ¿Ha sufrido usted alguna vez, una lesión producto de un “paso mal dado”?

Aristóteles, en la antigua Grecia, realizó los primeros estudios “biomecánicos” de los que se tienen constancia, sobre el caminar y el correr. En la antigua Roma, Galeno, conocido como el “Padre de la Medicina” analizó los movimientos de la lucha en los gladiadores. Leonardo da Vinci estudió los músculos y su participación en diferentes posturas del cuerpo, para sus famosas pinturas, así también, a partir de la observación del vuelo de las aves elaboró el proyecto del “pájaro mecánico”. Sabios posteriores como Galileo Galilei, Luis Alfonso Borelli, Isaac Newton, y otros que no nombraremos, establecieron las leyes básicas de las matemáticas y la física que permiten calcular, fuerza, velocidad, aceleración y demás parámetros, en el complejo mecanismo que constituye el ser humano.

De modo paralelo en el continente asiático, remontándonos a los orígenes de las artes marciales, yoga y otras escuelas, encontramos que los grandes maestros desarrollaban las cualidades motrices y perfeccionaban movimientos y posturas, logrando técnicas de ejecución depuradas, con gran efectividad, dígase con mínimo gasto de energía y gran concentración. Destaquemos aquí la observación y análisis comparativos entre hombre y animales

Podemos decir entonces que la Biomecánica, es una vertiente de las ciencias, que se ocupa del movimiento de los seres vivos, basándose en las leyes de la mecánica. Sus métodos de trabajo son la observación y medición para el análisis y cálculos necesarios en la modelación del movimiento. Su objetivo es el perfeccionamiento en el sentido de la racionalidad y efectividad, dicho en otras palabras, acordes a nuestra constitución física (que no se produzcan lesiones) y ahorro de energía (mejores resultados con menor fuerza muscular). Es aplicable a toda actividad motora del ser humano y demás seres vivos. En ella se combinan la Física, Anatomía, Matemáticas, Estadística, Cibernética y en dependencia del campo de aplicación, Medicina, Robótica, Deportes ,Cultura Física, Danza...

Citemos como ejemplo, que partiendo de la filmación: de un salto en longitud, o del lanzador (pitcher) en béisbol, o del baile de una bailarina de ballet o tal vez de usted mismo, se pueden calcular: ubicación del centro de gravedad en cada postura (instante), velocidad y aceleración lineales y angulares para cada punto del cuerpo y del implemento lanzado. Proceso que con el auxilio de la cibernética y equipamiento adecuado se realiza en segundos, como tal vez usted haya podido apreciarlo en el disfrute de las últimas olimpiadas en Sydney, Australia.

A principios del siglo pasado, era imposible imaginar el desarrollo actual de la Robótica, los resultados deportivos que hoy día se alcanzan, así también toda una serie de dispositivos ortopédicos y de otro tipo que nos auxilian y acomodan en nuestra vida.

“La Biomecánica busca la vía para una ejecución del movimiento, donde se equilibren el ahorro de energía, el menor daño físico y la belleza del cuerpo humano”.

FUNDAMENTOS CIENTIFICOS DE LA BIOMECANICA

La Biomecánica se ocupa del estudio de los movimientos de los seres vivos desde el punto de vista de la Mecánica (físico). Estudia el movimiento del hombre atendiendo a sus causas y ejecución.

Los movimientos se pueden analizar como mínimo desde tres perspectivas:

- 1. DE LA DIRECCION DE LOS MOVIMIENTOS: teoría de la regularización y mecanismos auxiliares.**

CAMPO DE LA NEUROFISIOLOGIA Y PSICOLOGIA

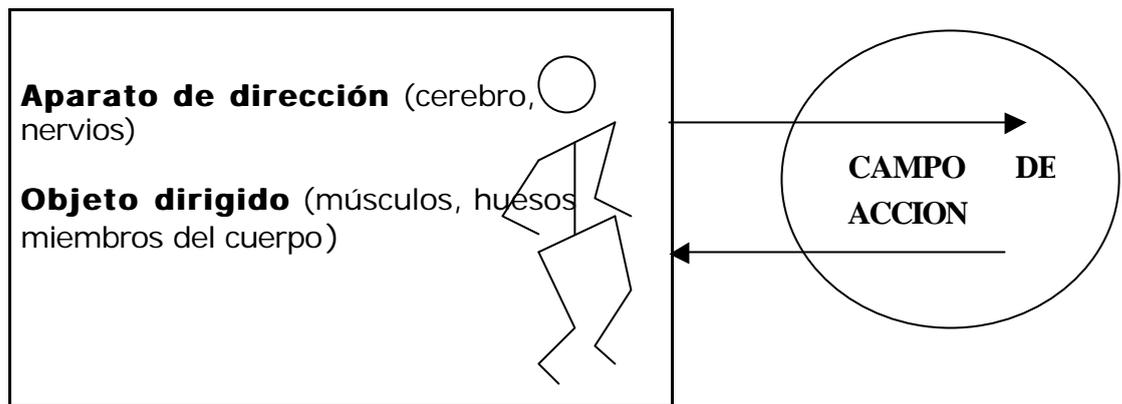
- 2. DE LA ESTRUCTURA de los cuerpos movidos y en movimiento. Análisis del cuerpo humano como sistema o aparato plurifuncional, compuesto de huesos, articulaciones, músculos y tendones.**

CAMPO DE LA ANATOMIA Y FISIOLOGIA

- 3. DE LAS FUERZAS que producen los movimientos de los cuerpos (masas) de acuerdo con las leyes de la mecánica.. Se consideran las fuerzas internas (aparato muscular) y las fuerzas externas (gravedad, fricción, empuje en los medios líquidos y otras).**

LA FUERZA ES LA CAUSA DE LOS CAMBIOS EN EL MOVIMIENTO

HOMBRE COMO SISTEMA BIOMECANICO



Ejemplo: Remate en Voleibol

Aparato de Dirección: cerebro y nervios.

Objeto dirigido: brazo y miembros del cuerpo que contribuyen a través de las cadenas biocinematicas

Campo de acción: pelota, adversarios, red, cancha, publico etc.

3

TENEMOS QUE:

1.- LA MOTRICIDAD: se ocupa fundamentalmente de las cuestiones de dirección, del regulador de la conciencia, del sistema de movimientos, de la asimilación de la información, de la motivación. DEPENDE DE CADA INDIVIDUO.

2.- LA KINESIOLOGIA: se ocupa fundamentalmente del estudio estructural (anatómico) de los seres y sus movimientos se deducen de la estructura del sistema (hombre) , esqueleto, articulaciones, tendones, músculos, donde se aplican las leyes fisiológicas, funcionales y la leyes de la mecánica.

3.- LA BIOMECANICA- es fundamentalmente la aplicación de la mecánica (física) en la investigación del movimiento del hombre, animales (seres vivos). Trabaja de forma analítica (análisis del movimiento) y constructiva (creación de movimientos, aparatos deportivos, prótesis y otros).

LA BIOMECANICA Y LA KINESIOLOGIA comienzan en el siglo IV a.C.

- [Aristóteles de Stagira](#) en Macedonia, 384 - 322 a.C.: Aplico los principios geométricos al estudio del movimiento del hombre como caminar, corre y saltar.
- [Galeno](#), conocido como el "Padre de la Anatomía", estudió los músculos y la producción del movimiento. Sugirió la importancia de la actividad nerviosa en la contracción muscular. Él trataba a los gladiadores y se acredita como el primer médico de equipos.

- Leonardo da Vinci (1452-1519), realizó estudios de anatomía humana, las leyes aéreas y acuáticas. Famoso por su pájaro mecánico y por los experimentos sobre el vuelo del hombre. Escribió un tratado sobre el vuelo del pájaro.
- Galileo (1500-1600), fue quien descubrió como analizar el movimiento mediante las matemáticas.
- Giovanni Alfonso Borelli (1608-1690), deduce los movimientos del sistema esquelético muscular, de las leyes mecánicas, menciona los efectos de la palanca en las extremidades, la influencia de las fuerzas aéreas y acuáticas en los seres vivos, la situación del centro de gravedad en el cuerpo humano y las posturas mas o menos favorables desde el punto de vista mecánico. Consideró el cuerpo humano dividido en segmentos. Es conocido como "EL PADRE DE LA BIOMECANICA"
- Isaac Newton (1700), formuló las tres leyes naturales o leyes de Newton:

1. - Ley de la Inercia

$$m = F/a$$

4

2. - Momentum

$$M = F * \text{brazo}$$

3. - Principio de acción y reacción

$$F_{ab} = F_{ba}$$

Posteriormente las leyes de la conservación de la energía:

4. Conservación de la cantidad de movimiento lineal.

5. Conservación de la cantidad de movimiento angular.

6. Conservación de la energía.

BIOMECANICA ES LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS TECNICOS DE LOS MECANISMOS A LA ESTRUCTURA, FUNCIONES Y CAPACIDADES DE LOS ORGANISMOS VIVOS, GENERALMENTE COMPRENDE LA RECOLECCION DE DATOS NUMERICOS (análisis cuantitativo) Y SU MANIPULACION MEDIANTE FORMULAS MATEMATICAS. ES LA CIENCIA QUE INVESTIGA EL EFECTO DE LAS FUERZAS INTERNAS Y EXTERNAS EN LOS SERES VIVOS EN MOVIMIENTO Y EN REPOSO.

SE OCUPA DE LA RACIONALIDAD, EFECTIVIDAD, OPTIMACION PLANIFICADA, INFLUENCIA DE LA FATIGA, ADAPTACION DEL MOVIMIENTO Y SU PERFECCIONAMIENTO: TECNICA DEPORTIVA

La biomecánica hoy día es una rama científica mundialmente conocida con carácter interdisciplinario, incentiva a ingenieros, físicos, cibernéticos hacia nuevas construcciones técnicas inspiradas en la naturaleza viva

LA ACCION MOTORA DEL HOMBRE tiene como objetivo desplazarse a si mismo. Lleva implícito el movimiento mecánico el cual se realiza con la participación de las formas mas altas del movimiento.

La Biomecánica es mas compleja que la mecánica de los cuerpos inertes.

LOS SISTEMAS VIVOS SON

- Organismos íntegros
- Formados por órganos, tejidos, líquidos y gases
- Dentro de ellos: otras agrupaciones de organismos

MOVIMIENTO MECANICO	Desplazamiento de todo el sistema respecto al entorno
	Desplazamiento de las partes móviles del sistema, deformaciones, reagrupación de las partes del sistema.

SISTEMAS INERTES	Las deformaciones son pequeñas, despreciables
SISTEMAS VIVOS	Variación sustancial de la disposición relativa de las partes. Movimiento humano: variación de la postura, miembros inferiores, columna, etc.

5

Es necesario considerar el trabajo de las fuerzas para el desplazamiento del cuerpo en su conjunto (desplazamiento externo del sistema) y para su deformación (desplazamiento de las partes componentes del sistema).

METODOS DE INVESTIGACION EN BIOMECANICA

OBSERVACION	Evaluación cualitativa de aspectos de interés
MEDICION	<ol style="list-style-type: none"> 1. Filmación, cineregistro. 2. Fotografía 3. Tensodinamometría. 4. Velocimetría 5. Acelerometría. 6. Electromiografía. 7. Pick-performance.

MEDICION: la comparación de la magnitud del objeto con la magnitud de otro objeto considerado como patrón.

La **EXACTITUD** de la medición, depende de los **ERRORES**

ERROR: desviación del valor real de la magnitud que se mide.

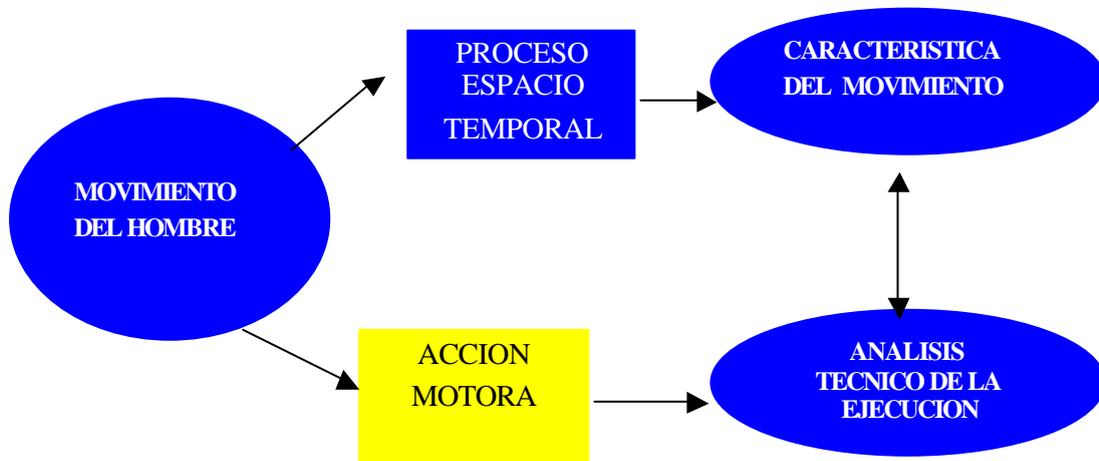
TIPOS DE ERRORES

ERROR	Apreciación en el instrumento	Depende de la escala del instrumento	Es (+, -) ½ el valor de la escala menor
	En la medición	Aleatorio o accidental	Utilización de los métodos
			Comportamiento del objeto
	No aleatorio o sistemático	Imperfección de los métodos	Desajustes en los instrumentos

El valor de la medición aislada: $A = A_i (+, -) A_p$
 A_i = Valor de la medición
 A_p = Apreciación.

Conjunto de mediciones: $A = A (+, -) E$
 A = valor promedio en la medición
 E = error aleatorio

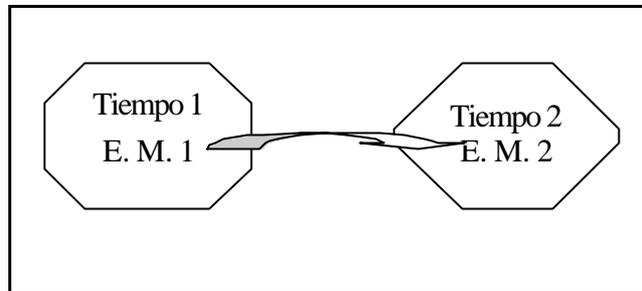
DESDE EL PUNTO DE VISTA BIOMECANICO EL MOVIMIENTO DEL HOMBRE SE CONSIDERA DESDE DOS DIMENSIONES:



ORDEN LOGICO PARA EL ANALISIS



LA DIRECCION DE LOS MOVIMIENTOS: Es la conducción de un sistema de movimientos de un estado mecánico a otro.



Para **simplificar** el estudio se hace necesario realizar una serie de consideraciones:

- Sistema simplificado del cuerpo humano, donde se pueda aplicar las leyes del movimiento.
- Microsistema formado por elementos que a su vez son sistemas
- El hombre es un objeto vivo formado por huesos músculos, articulaciones, órganos, líquidos
- La unión de las distintas partes (articulaciones), no determina totalmente el carácter del movimiento (amplitud, dirección) ya que la participación de los músculos hace que las variantes del movimiento sean múltiples. Determinan el movimiento las palancas óseas y péndulos (que a su vez conservan el movimiento)
- Sistema formado por cadenas biocinemáticas. Las distintas partes del cuerpo se unen de manera móvil formando pares y cadenas que permiten la transmisión del movimiento de una parte a la otra. TEORIA DE LOS MECANISMOS.

7

En el hombre el movimiento está compuesto por movimientos de rotación y traslación o lineal. Donde participan los segmentos corporales formando pares y cadenas biocinematicas que a su vez integran péndulos y palancas.

ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL HOMBRE

ESQUEMA DE POSTURA	SEGMENTOS DEL CUERPO	PUNTOS DEL CUERPO
	CABEZA	CENTRO DE GRAVEDAD
	TRONCO	HOMBRO
	BRAZO	CODO
	ANTEBRAZO	MUÑECA

	MANO	CADERA
	MUSLO	RODILLA
	PIERNA	TALON
	PIE	PUNTA DEL PIE

Ver en el Anexo los gráficos :

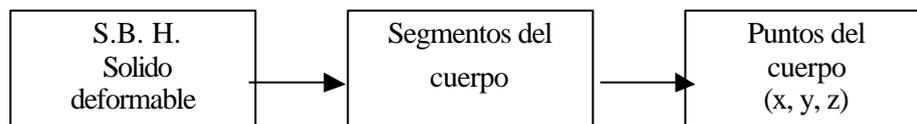
Fig 2.1: Sistema de referencia de las distancias.

Fig 2.2: Coordenadas de la posición del cuerpo

OTROS CONCEPTOS DE INTERES

- CENTRO DE MASA
- CENTRO DE GRAVEDAD
- MOMENTO DE INERCIA
- CENTRO DE SUPERFICIE
- CENTRO DE VOLUMEN.

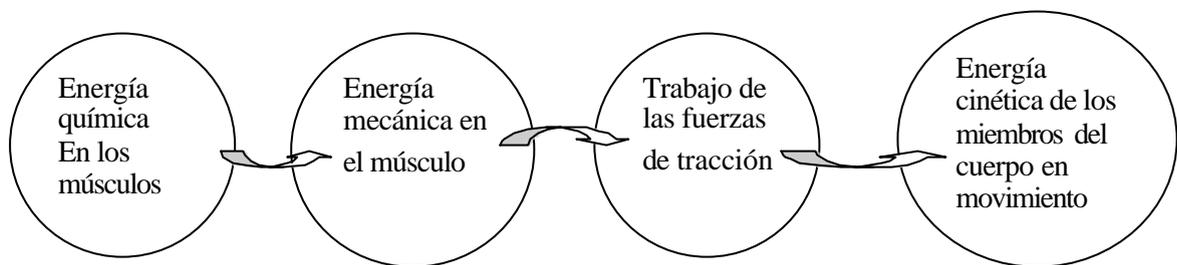
PARTICULARIDADES DEL SBH



- Para el estudio del movimiento del cuerpo humano debe procederse de lo general a lo particular. Se considera el cuerpo dividido en segmentos, que se agrupan en conjuntos de segmentos según el movimiento particular a analizar. El movimiento de los puntos del cuerpo se considera como el movimiento de una partícula.
- La postura está determinada por la disposición recíproca de los segmentos del cuerpo.
- En el análisis del movimiento del cuerpo o sus partes es necesario diferenciar el movimiento de traslación y el de rotación de los segmentos y del cuerpo como un todo.
- El Sistema Biomecánico Hombre es un sistema automotor, dado que las fuerzas internas generadas por los músculos y dirigidas por el sistema nervioso central, son las que originan el movimiento.

- Existe una lógica vinculación (mediante los puntos del cuerpo) entre los diferentes segmentos que formando pares y cadenas biocinematicas permiten la transmisión de la información de las características mecánicas (fuerza, velocidad, aceleración, etc.) de una parte del cuerpo a otra.
- Desde el punto de vista energético el SBH es un sistema abierto, por lo que no puede decirse que existe conservación de la energía mecánica dentro del el, lo que significa que es un sistema no conservativo.
- En el SBH tienen vigencia las leyes de la mecánica y en general las leyes de la física con limitaciones y particularidades en su aplicación.

EN EL HOMBRE LA ENERGIA VARIA DE UN TIPO A OTRO



CARACTERISTICAS BIOMECANICAS

Características biomecánicas Son la medida del estado mecánico del biosistema y de su variación	Cuantitativas (se miden, se calculan)	Cinemáticas	Espaciales: Coordenadas, Trayectoria, Desplazamiento, (del Punto, del Cuerpo y del Sistema de Cuerpos) Fig. 2.1 y 2.2 en el Anexo
			Temporales: Instante, Duración Tempo, Ritmo (del Movimiento)
			Espacio – Tiempo: Velocidad, Aceleración (del Punto y del Cuerpo)

		Dinámicas	De Inercia: Masa, Momento de Inercia (del Cuerpo)
			De Fuerza: Fuerza, Momento de la Fuerza, Impulso de una Fuerza, Momento del Impulso de una Fuerza, Cantidad de Movimiento Fig. 2.8, 9.2 y 9.3 en el Anexo.
		Energéticas	El Trabajo de una Fuerza y su Potencia
	Energía Mecánica del Cuerpo: Cinética , Potencial, Elástica		
	Cualitativas (descripción oral, sin una medida cuantitativa exacta)	Ej. Intensamente, coordinadamente, libremente etc.	

1.2 - PROPIEDADES DE LOS MUSCULOS

Función fundamental de los músculos.

Transformación de la energía química en trabajo mecánico.

Esta acción provoca las fuerzas de tracción en sus puntos de inserción..

Indicadores biomecánicos

1. Fuerza que se registra en su extremo, a la que llamamos de tensión o fuerza de tracción muscular.
2. Velocidad de variación de su longitud.

Cuando el músculo se excita, varía su estado mecánico. Al cambio en su estado mecánico se le denomina contracción. Durante la contracción varía:

1. La tensión
2. La longitud del músculo
3. Otras propiedades como la elasticidad, etc.

Las propiedades mecánicas son complejas y dependen de las propiedades de los componentes musculares (fibras, formaciones conjuntivas y del estado particular del músculo (excitación, fatiga)).

Fig. 3.3: Modelo de las propiedades mecánicas de los músculos.

Fig. 3.4: Dependencia entre la longitud y la fuerza de tracción en diferentes músculos.

PROPIEDADES DE LOS MUSCULOS

PROPIEDADES MECANICAS	ELASTICIDAD: si al músculo en reposo, se le aplica en su extremo una fuerza externa, se distiende , aumenta su longitud, después de que cesa la carga externa recupera su longitud inicial. Esta dependencia no es proporcional.(no sigue la ley de Hooke)
	VISCOSIDAD: resistencia al movimiento producto de la temperatura de los fluidos que lo componen, Necesidad de calentamiento previo par evitar lesiones.
	RELAJACION: es la disminución de la fuerza de deformación elástica en el transcurso del tiempo después de una pausa no se aprovechan las fuerzas elásticas previas
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	EXCITABILIDAD
	CONTRACTIBILIDAD

PRINCIPALES CARACTERISTICAS

Todo músculo en un organismo vivo está sometido a un estado de tensión por lo que su longitud de reposo es siempre mayor o menor que en el caso de que el músculo estuviera libre de toda carga (es decir que sus fuerzas elásticas fueran igual a cero)(longitud en estado de equilibrio)

Longitud del músculo en reposo > ó < Longitud del músculo en estado de equilibrio (sólo en laboratorio)

Depende del tipo de músculo,

- Músculos de miembros inferiores Long. Rep. > Long. Equil
 - Músculos de miembros superiores Long. Rep. < Long. Equil
 - La elasticidad (no cumple la Ley de Hooke)
-
- Cuando una fuerza es aplicada en su extremo ----- se distiende.
 - Cuando se elimina la fuerza ----- recupera la longitud inicial
 - Cuando las distensiones son reiteradas ----- la longitud de elongación del músculo va aumentando. Ej. Ejercicios de flexibilidad, péndulos repetidos.
 - Es capaz de almacenar energía potencial e lástica.
 - La velocidad de variación de su longitud depende de la fuerza y no es constante

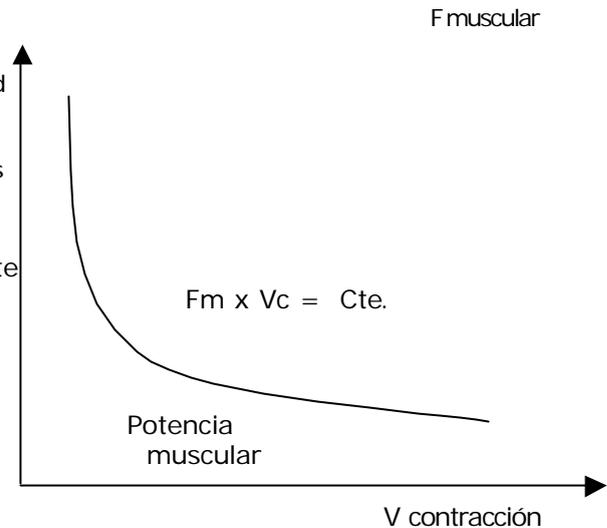
ECUACION DE HILL

La relación entre la fuerza muscular y la velocidad de la contracción muscular esta dada por la Ecuación de Hill, obtenida a través de experimentos. El comportamiento de las variables sigue la ecuación :

$$F_{\text{muscular}} \times V_{\text{contracción}} = \text{Constante}$$

Curva representada en el grafico

El área bajo la curva y el eje V_{cont} es proporcional a la potencia muscular



TIPOS DE TRABAJO MUSCULAR

MOTOR:	Es cuando el músculo se contrae, tracciones de apoyo, contribuye en el sentido del movimiento, la longitud del músculo disminuye. Trabajo activo
RESISTENTE	Cuando el músculo, se opone al sentido del movimiento, la longitud del músculo se alarga, se distiende. Trabajo activo
ESTATICO	El músculo contribuye a la fijación de algún punto del cuerpo (articulación u otro) vinculado al movimiento, tracciones de apoyo su longitud es constante. Trabajo estático.

Los músculos trabajan en grupo, según el tipo de movimiento. Las tracciones coordinadas de un grupo de músculos de acción variable, dirigen un grupo de miembros.

En los movimientos complejos restablecidos, la acción conjunta de los músculos es tan estable, que ellos resultan ser agrupaciones extremadamente constantes (ensambles motores).

Fig. 3.11: Tracciones de apoyo y trabajo en los músculos

Fig. 3.12: Interacción de los músculos en una articulación multilateral

Fig. 10.6: Dos maneras de crear el movimiento de rotación de la pierna

1.3- PARES Y CADENAS BIOCINEMATICAS

En los mecanismos técnicos, las posibilidades del movimiento generalmente depende de la forma en que estén unidas sus piezas. En los mecanismos vivos, las formas de unión de las partes del cuerpo en las cadenas biocinematicas, no determinan totalmente la posibilidad de los movimientos,

por ejemplo su dirección y amplitud. La participación muscular en la dirección de los movimientos hace que las uniones de los miembros sean capaces de efectuar multitud de variantes de los movimientos. Los músculos determinan los movimientos de las palancas óseas (que transmiten el movimiento y los esfuerzos) y péndulos (que conservan el movimiento comenzado)

Los miembros del cuerpo al unirse forman un **par**, los pares por su parte se unen en forma de **cadena**

Un **par biocinemático** es la unión móvil de dos miembros óseos, en el cual las posibilidades de los movimientos están determinados por la estructura de esa unión y por la influencia de dirección de los músculos.

Los Grados de libertad están determinados por las Ligaduras: a) geométricas, obstáculo constante, al desplazamiento en determinada dirección (ej. Limite óseo en una articulación) .b)cinemáticas, limitación de la velocidad (por ejemplo un músculo antagonista.).

La **cadena biocinemática** es la unión sucesiva de una serie de pares biocinemáticos, piden ser abiertas o cerradas:

- Abiertas : existe un miembro final libre
- Cerradas: no existe miembro final libre, pueden ser cerrada en si mismas o con el apoyo u algún implemento

Fig 3.1: Cadenas biocinematicas del cuerpo humano

MIEMBROS DEL CUERPO COMO PALANCAS Y PENDULOS

Los huesos como forman la base de las cadenas biocinematicas. Las fuerzas aplicadas actúan sobre los miembros como lo harían sobre palancas o péndulos.

Las palancas óseas (miembros rígidos unidos de manera móvil en las articulaciones), bajo la acción de las fuerzas aplicadas, pueden o conservar su posición o variarla. Ellas sirven para transmitir el movimiento y el trabajo a distancia

Fig 3.2: Palancas óseas

PENDULOS

El miembro del cuerpo que continua, después del impulso el movimiento por inercia, se asemeja a un péndulo físico. Dentro del campo de la fuerza de gravedad el péndulo que ha sido sacado de su equilibrio, se mueve hacia

abajo posteriormente, el cual al perder su energía cinética , se eleva por inercia.

Los péndulos conservan el movimiento bajo la acción de las fuerzas aplicadas.

En el caso de los péndulos en el movimiento del cuerpo humano la longitud de estos es variable, por lo que la frecuencia es variable. Además por lo general son péndulos compuestos (varios suspendidos unos de otros), con una conducta muy compleja. Precisamente por esto las fuerzas musculares deben adaptarse a condiciones mecánicas muy variables.

Es imprescindible la importancia de la participación de los péndulos en los movimientos los que contribuyen a mejores logros Ejemplo saltos, carreras, lanzamientos etc

1.4 - ESQUEMA DE POSTURAS

A partir de la filmación de un movimiento, se pueden obtener diferentes tipos de trazado, como son el contornograma el esquema de posturas y otros.

Uno de los requisitos fundamentales es que la cámara de filmación esté en un plano perpendicular a la dirección del movimiento

Al proyectar la cinta filmica sobre una pantalla de papel fotosensible, se puede obtener la secuencia de posturas del movimiento filmado, a menor escala. Sobre cada postura del cuerpo se pueden marcar algunos puntos indicadores como: articulaciones y centro de gravedad de los segmentos corporales (esto también se puede realizar sobre fotos instantaneas, si no disponemos de la filmación)

Uniendo convenientemente los puntos indicadores referidos a las articulaciones, (y en el caso de algunos miembros como la mano y cabeza, el centro de gravedad), obtenemos un esquema de la postura en un instante dado (cuadro de la filmación o fotografía). Si seguimos la secuencia de la filmación obtendremos un conjunto de esquemas simplificados para cada instante, que representan en su conjunto, el movimiento filmado con el propósito de estudio.

Este esquema simplificado es mucho más apropiado para realizar, a partir de él, los cálculos: de velocidades, aceleraciones, centro de gravedad del cuerpo, así como la representación de estos.

Este esquema se realiza con referencia a un sistema de coordenadas, por lo que cada punto del cuerpo tendrá sus coordenadas (x,y,z) específicas a cada postura. Estas coordenadas se agrupan en tablas de datos para su procesamiento posterior. En nuestro caso trabajaremos en un solo plano (el XY)

Fig 4.4: Cinetogramas computacionales donde se señalan las posiciones del Centro de Masa del cuerpo

A.- Obtenido el esquema de posturas, construido a partir de la proyección de la filmación, podemos obtener las coordenadas para cada uno de los puntos indicadores del cuerpo, del siguiente modo.

1. Se establecen los ejes de coordenadas OX – OY
2. Se leen las coordenadas de los puntos del cuerpo en cada postura.(en mm)
3. Se ordenan los valores en una tabla de coordenadas, para cálculos posteriores.

B.- En el caso de que se nos suministre la tabla de coordenadas de los puntos indicadores del cuerpo, podemos construir el esquema de posturas.

1. Se trazan dos ejes perpendiculares OX – OY sobre un papel milimetrado.
2. Se plotean todos los puntos correspondientes a una postura dada, (si es la primera $n = 1$).
3. Se unen convenientemente los puntos ploteados cuidando de seguir el orden lógico de los puntos del cuerpo, para reproducir la postura del deportista.
4. Las posturas restantes se obtienen de la misma manera, ($n=2, n=3, \dots$)

1.5.1 - CALCULO DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES LINEALES

Partiendo del esquema de posturas y conociendo los valores de:

- n = el número de la postura
- f = la frecuencia de filmación
- C = el número de cambios de cuadros
- e = la escala

Con los cuales se realizó la proyección; podemos calcular valores de desplazamiento, velocidades y aceleraciones lineales, mediante:

El Método de Diferenciación Numérica por Aproximación.

Este método consiste en calcular velocidades y aceleraciones medias, entre posiciones alternas del punto evaluado, considerándolas como instantáneas en ese punto.

Para calcular:

Tiempo transcurrido (t_n) desde el inicio del movimiento hasta la postura (n):

$$t_n = (n - 1) \cdot C / f \quad [s]$$

El desplazamiento (d) del punto considerado entre dos posiciones cualesquiera del trazado, se determina a partir de :

$$d = (\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{1/2} \quad [mm]$$

Donde:

d = desplazamiento entre dos posturas dadas (en el esquema)

ΔX = diferencia de los valores en X, entre dos posturas dadas

ΔY = diferencia de los valores en Y, entre dos posturas dadas

Para calcular el valor real del desplazamiento (S) en metros se debe multiplicar el valor de (d), se debe multiplicar por el factor de escala (e) y dividir entre 1000 o sea:

$$S = d \cdot e / 1000 \quad [m]$$

La velocidad lineal v :

$$v = K_v \cdot (\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{1/2} \quad [m/s]$$

La aceleración lineal a :

$$a = K_a * (\overset{\wedge}{\hat{X}}^2 + \overset{\wedge}{\hat{Y}}^2)^{1/2} \text{-----} [\text{m/s}^2]$$

Donde:

K_v = constante de velocidad = $e f / 2 \wedge C * 1000$ ----- [m/s * mm]

\hat{X} = primera diferencia de coordenadas en X (posiciones alternas) -----[mm]

\hat{Y} = primera diferencia de coordenadas en Y (posiciones alternas) -----[mm]

K_a = constante de aceleración = $e f^2 / 4 \wedge C^2 * 1000$ ----- [m/s² * mm]

$\overset{\wedge}{\hat{X}}$ = segunda diferencia de coordenadas en X (posiciones alternas) -----[mm]

$\overset{\wedge}{\hat{Y}}$ = segunda diferencia de coordenadas en Y (posiciones alternas) -----[mm]

Actualmente existen sistemas informáticos que a partir de la filmación de tres cámaras de video, procesan la información tridimensional y realizan todos estos cálculos así como la representación vectorial de velocidades y aceleraciones, partiendo de las bases de este método.

EJEMPLO

MOVIMIENTO: PATEO AL BALÓN

Dado el Esquema de Posturas para miembro inferior en pateo al balón donde:

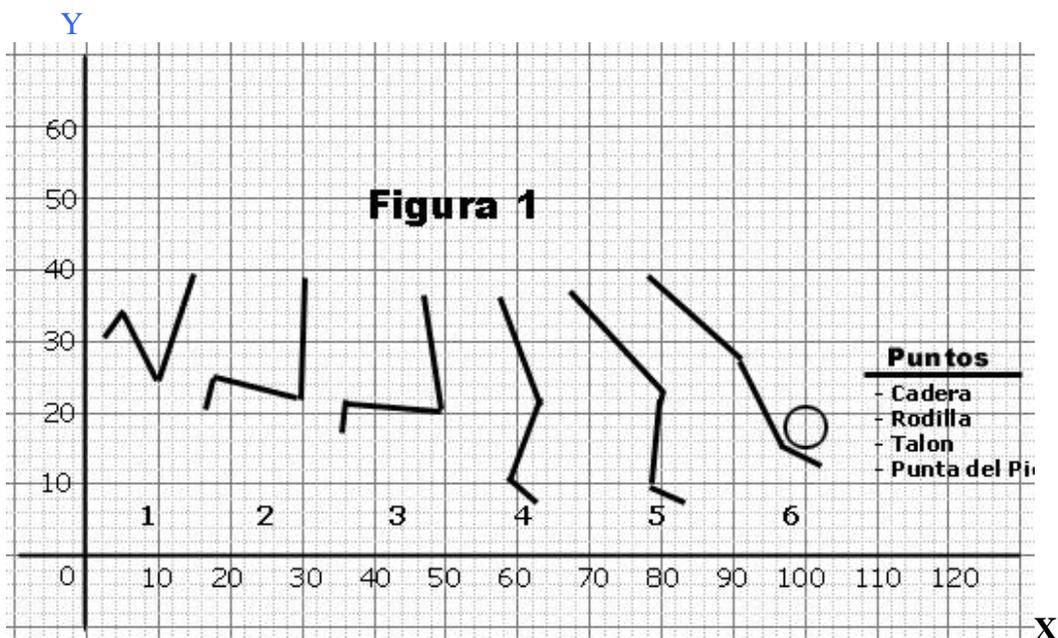
- n = el número de la postura
- f = 30 (la frecuencia de filmación)
- $\wedge C$ = 2 (el número de cambios de cuadros)
- e = 10 (la escala)

Calcule los valores de velocidad y aceleración para el punto cadera en la postura $n = 3$

Cálculo de las constantes:

$$K_v = e f / 2 \wedge C * 1000 = 0.076 [\text{m/s} * \text{mm}]$$

$$K_a = e f^2 / 4 \wedge C^2 * 1000 = 0.563 [\text{m/s}^2 * \text{mm}]$$



Analisis del punto: Cadera

Leyendo las coordenadas X y Y en el grafico para la cadera en cada postura, se realiza la tabla siguiente para el ordenamiento de los calculos

Tabla de diferenciacion numerica para el calculo de v y a lineal

n	t(s)	x(mm)	D'X	D''X	y(mm)	D'Y	D''Y
1	0.00	14			40		
2	0.07	30	32		39	-4	
3	0.13	46	28	-10	36	-3	5
4	0.20	58	22	-8	36	1	6
5	0.27	68	20		37	3	
6	0.33	78			39		

Para la cadera en la postura n = 3

$$v = K_v * (\Delta X^2 + \Delta Y^2)^{1/2} , v = K_v (28^2 + (-3)^2)^{1/2} = 0.076(35.2) = \underline{2.6 [m/s]}$$

$$a = K_a * (\Delta^2 X + \Delta^2 Y)^{1/2} , a = K_a ((-10)^2 + (-3)^2)^{1/2} = 0.563(20.2) = \underline{11.4 [m/s^2]}$$

Se puede calcular de igual forma para la postura n = 4

Nota: este metodo no permite calcular v para $n = 1$ y la postura final ($n = 6$). En el caso de las aceleraciones no se puede calcular en las 2 primeras posturas y en las 2 finales.

Este es un ejemplo instructivo, muy sencillo con solo 6 posturas, donde solo podriamos completar los valores de v y a para las posturas 3 y 4.

Para calcular el desplazamiento de la cadera entre las postura $n = 1$ y la $n = 3$, evaluamos la diferencias en X y en Y entre estas :

$$\begin{aligned} \hat{X}_{1-6} &= X_6 - X_1 = 46 - 14 = 32 \text{ mm} \\ \hat{Y}_{1-6} &= Y_6 - Y_1 = 36 - 40 = -4 \text{ mm} \\ \hat{d}_{1-6} &= (\hat{X}^2 + \hat{Y}^2)^{1/2} = 32.24 \text{ mm} \end{aligned}$$

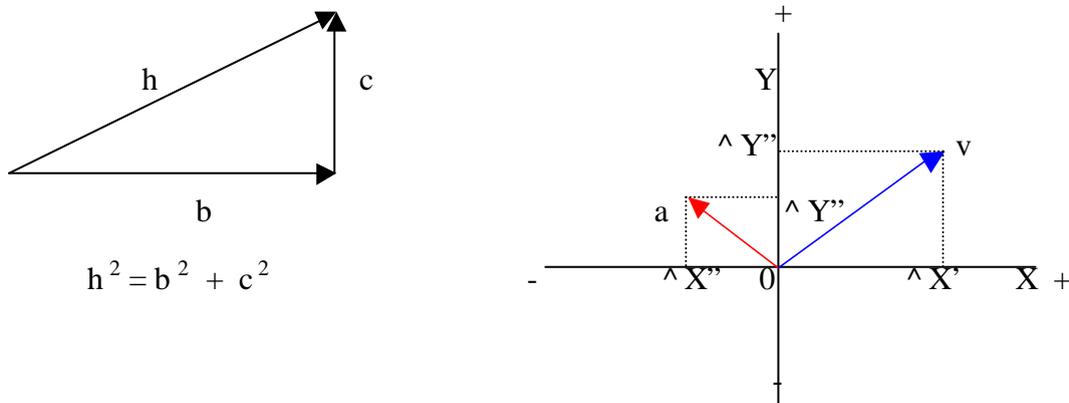
El desplazamiento real S :

$$S_{1-6} = \hat{d} * e / 1000 = 32.24 * 10 / 1000 = \underline{\underline{0.32 \text{ m}}}$$

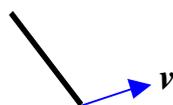
1.5.2- REPRESENTACION VECTORIAL

Las velocidades y aceleraciones son vectores, o sea que tienen magnitud, direccion y sentido (inclinacion con respecto al eje de referencia)

Como usted habra podido observar, hemos determinado el valor de la magnitud de estos vectores a partir de sus componentes en X y Y, aplicando Pitagoras (en las formulas para calcular los valores de v y a .) A partir de:



La representacion vectorial de la velocidad y la aceleracion se hara a partir de los valores de (\hat{X}, \hat{Y}) para v , y (\hat{X}'', \hat{Y}'') para a , representadas a partir del punto analizado 0 , como por ejemplo en la rodilla del esquema mostrado a continuacion:



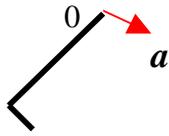


Fig. 10.7: Aceleraciones horizontales de las articulaciones, durante el lanzamiento de una pelota.

TRABAJO INDIVIDUAL

Realizar los calculos de v y a por el metodo de Diferenciacion Numerica por Aproximacion para el punto _____ en las postura ____ a partir del grafico dado, del lanzamiento de pelota. Representelas vectorialmente.

MOVIMIENTO: LANZAMIENTO DE PELOTA

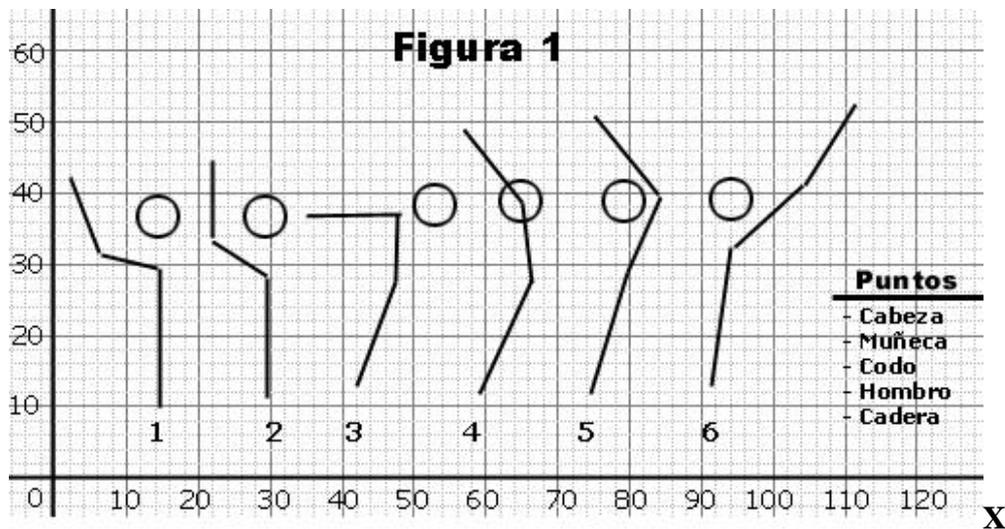
Esquema de posturas para miembro superior en lanzamiento de pelota

- n = el numero de la postura
- f = 24 (la frecuencia de filmacion)
- C = 2 (el numero de cambios de cuadros)
- e = 10 (la escala)

$$K_v = e f / 2 \wedge C * 1000 =$$

$$K_a = e f^2 / 4 \wedge C^2 * 1000 =$$

Y



MOVIMIENTO: LANZAMIENTO DE PELOTA
PUNTO:

n	t(s)	x(mm)	D'X	D''X	y(mm)	D'Y	D''Y
1							
2							
3							
4							
5							
6							

1.5.3 -GRAFICOS CINEMATICOS

Los valores de coordenadas y tiempos obtenidos a partir del esquema de posturas, así como las velocidades y aceleraciones calculadas a partir de ellos por el Método de Diferenciación Numérica por Aproximación, se pueden representar en forma de funciones continuas del tiempo. De este modo obtenemos los gráficos cinemáticos.

Conociendo que \mathbf{v} y \mathbf{a} son vectores, para mayor comodidad, estos gráficos se elaboran a partir de los valores de las componentes en los ejes OX y OY respectivamente, lo cual nos permite observar con más claridad los cambios de sentido (positivo +, o negativo -) de estas características cinemáticas.

Ver gráficos Anexos.

Los gráficos cinemáticos para una componente del movimiento, por ejemplo en el sentido horizontal se obtienen ploteando los valores de (X) , (\dot{X}) , (\ddot{X}) , en función del número de la postura n (o el tiempo t correspondiente a esa postura). Los puntos se unen con una curva suave que nos indica las variaciones en el tiempo. Las curvas así obtenidas corresponden (multiplicados por las respectivas constantes) al desplazamiento S_x , la velocidad v_x y la aceleración a_x , en el sentido horizontal.

Lo mismo se realiza para el sentido vertical.

Estos gráficos poseen una correspondencia matemática, ya que la velocidad es la derivada del desplazamiento con respecto al tiempo y la aceleración la derivada de la velocidad, lo que significa que los puntos de máximos y mínimos valores de S corresponden (en el mismo instante) a valores de cero en el gráfico de v y los puntos de máximos y mínimos valores de v corresponden a valores de cero en el gráfico de a .

1.6. - DETERMINACION DEL CENTRO DE GRAVEDAD EN LA POSTURA

Partiendo del esquema de una postura dada, determinada a partir de un video, fotografía, contornograma, podemos determinar el Centro de Gravedad del Cuerpo (CGC), conociendo los centros de gravedad de los segmentos corporales y sus pesos relativos, obtenidos por Braune y Fischer. Se resuelve un sistema de fuerzas paralelas, formado por las fuerzas de gravedad de todos los segmentos del cuerpo.

Fig 4.1: Pesos relativos y posiciones de los centros de los CM de los diferentes segmentos del cuerpo

Tabla 4.2: Indicadores anatómicos a partir de los cuales se determina la posición del centro de gravedad de los segmentos del cuerpo humano.

En la Tabla 1, a continuación, se muestran los pesos relativos o fuerza de gravedad G_i de cada segmento, expresados en %, considerando el peso total o fuerza de gravedad de todo el cuerpo como el 100%. El factor r nos da la distancia relativa del centro de gravedad de cada segmento medida desde la articulación proximal, considerando la longitud del segmento como la unidad. De esta forma sin conocer el peso y las dimensiones reales del sujeto, podemos a partir de una postura determinada en una fotografía o contorno grama, la ubicación del centro de gravedad mediante método grafo analítico

TABLA 1

PESOS Y UBICACION DEL CENTRO DE GRAVEDAD PARA CADA SEGMENTO CORPORAL		
SEGMENTO	G_i (%)	r
Cabeza	7	Sobre el conducto auditivo externo
Tronco	43	0,44
Brazo	3	0,47
Antebrazo	2	0,42
Mano	1	Articulación metacarpiano del 3er dedo
Muslo	12	0,44
Pierna	5	0,42
Pie	2	0,44

La situación de los centros de gravedad de los segmentos del cuerpo se obtienen de la manera siguiente:

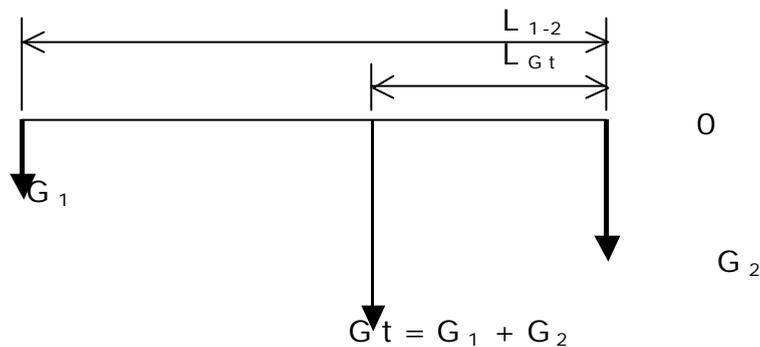
1. En la postura objeto de estudio, se marcan las articulaciones de los hombros, codos, muñecas, coxofemorales, rodillas y tobillos. Se marcan también el extremo de los calcáneos y la punta de los pies

Se trazan los segmentos corporales: **brazo (entre las articulaciones de hombro y codo), antebrazo (entre codo y muñeca), muslo (entre articulación**

coxofemoral y rodilla), pierna (entre rodilla y tobillo), pie (entre extremo del calcáneo y punta del pie), y tronco (entre el punto medio de la línea que une los hombros y el punto medio de la línea que une las articulaciones coxofemorales).

2. Los centros de gravedad de la cabeza y las manos se marcan directamente, según la tabla 11.
3. Los centros de gravedad de cada segmento, se obtienen multiplicando la longitud del segmento corporal en el esquema, por el factor r dado en la tabla, la distancia así obtenida marca la posición del centro de gravedad, partiendo siempre del extremo proximal de dicho segmento. En el caso del tronco, se parte de la línea que une los hombros.

Los pesos o fueras de gravedad, de los 14 segmentos corporales aplicados en el centro de gravedad de cada segmento, forman un sistema de fuerzas paralelas. Donde la fuerza resultante es la suma de las fuerzas componentes



Conociendo el punto de aplicación de la fuerza peso de cada segmento (dado por las coordenadas, en el esquema de posturas) y el valor relativo del peso del segmento G_i . Podemos dar solución a este sistema de fuerzas y determinar la situación del centro de gravedad en esa postura, aplicando el Teorema de Varignon:

“En un sistema en equilibrio, la sumatoria de los momentos de las fuerzas, referidos a un punto cualquiera, es igual al momento de la fuerza resultante total, referido a ese mismo punto”

n

$$M_o F_{RT} = \sum_{i=1}^n M_o (F_i)$$

Recordemos el concepto de Momento de la Fuerza $M = F \cdot \text{brazo}$ (distancia perpendicular a la dirección de la fuerza desde el punto de referencia establecidos para los momentos

La aplicación de este teorema se realiza descomponiendo el sistema de fuerza en los ejes OX y OY:

$$G X_{cg} = \sum_{i=1}^n G_i X_i$$

$$\mathbf{G Y}_{cg} = \sum_{i=1}^n \mathbf{G}_i \mathbf{Y}_i$$

De donde podemos despejar los valores de \mathbf{X}_{cg} y \mathbf{Y}_{cg}

EJEMPLO ILUSTRATIVO:

En la figura de parada de mano, determine el centro de gravedad, considerando solamente los miembros del lado izquierdo

- Se procede siguiendo los pasos anteriormente indicados, los valores obtenidos se muestran en la tablas
- La longitud de cada segmento se mide en el esquema (mm)
- Se ubica el centro de gravedad sobre cada segmento
- Se leen las coordenadas del centro de gravedad de cada segmento (mm)

TABLAS PARA EL ORDENAMIENTO DE LOS CALCULOS

TABLA 1

SEGMENTO	L seg mm	FACTOR r	L seg x r mm	COORDENADAS Centro de Gravedad del segmento	
				X_i	Y_i
cabeza	las coordenadas se leen directamente			45	60
mano izq.				61	10
antebrazo izq.	21	0.42	8.82	72	21
brazo izq.	20	0.47	9.4	65	40
tronco	35	0.44	15.4	72	62
muslo izq.	35	0.44	15.4	68	80
pierna izq.	29	0.42	12.18	37	82
pie izq.	13	0.44	5.72	16	77

TABLA 2

#	SEGMENTO	G_i	X_i	Y_i	$G_i X_i$	$G_i Y_i$
1	cabeza	7	45	60	315	420
2	mano izq.	1	61	10	61	10
3	antebrazo izq.	2	72	21	144	42
4	brazo izq.	3	65	40	195	120
5	tronco	43	72	62	3096	2666
6	muslo izq.	12	68	80	816	960

7	pierna izq.	5	37	82	185	410
8	pie izq.	2	16	77	32	154
	SUMA	75			4844	4782

Despejando los valores de X_{cg} y Y_{cg} en :

$$G X_{cg} = \sum_{i=1}^n G_i X_i, \quad X_{cg} = 4844 / 75 = 65 \text{ mm}$$

$$G Y_{cg} = \sum_{i=1}^n G_i Y_i, \quad Y_{cg} = 4782 / 75 = 64 \text{ mm}$$

Las que son las coordenadas del centro de gravedad del conjunto de segmentos considerados en esa postura.

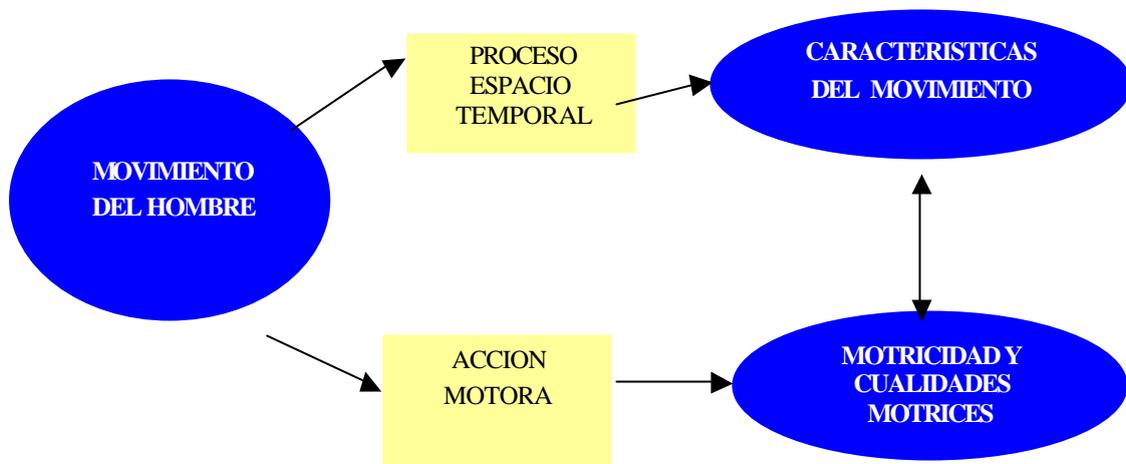
El paso siguiente es ubicar el centro de gravedad en el esquema de la postura con los valores de sus coordenadas. Ver figura

TRABAJO INDEPENDIENTE

1. **Seleccionar una foto instantánea de un movimiento que a usted interese**
2. **Hacer el esquema simplificado de la postura. Considere para este caso un solo lado del cuerpo o del conjunto de miembros seleccionados (incluyendo el tronco.)**
3. **Establezca el sistema de coordenadas de referencia.**
4. **Determine el cg de cada segmento corporal.**
5. **Lea las coordenadas del cg de cada segmento**
6. **Proceda con el calculo del cg del cuerpo o en este caso del conjunto de segmentos corporales escogido**

Nota : Si lo desea puede utilizar alguna de las posturas en el Pateo a Balón o Lanzamiento de Pelota.

2.1.1 - MOTRICIDAD Y CUALIDADES MOTRICES



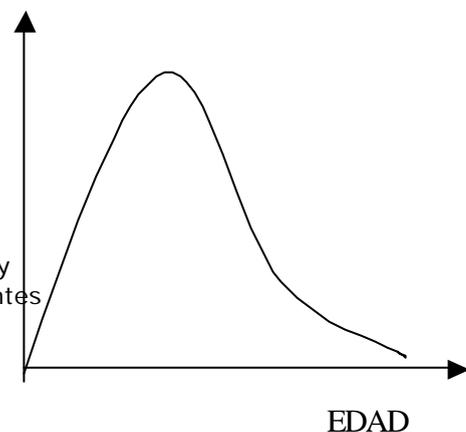
Cada hombre posee determinadas posibilidades motoras, como:

- **Levantar un peso**
- **Correr una distancia en un tiempo determinado**
- **Realizar movimientos con determinada amplitud**
- **Realizar una actividad física sin fatigarse**

Se acostumbra a llamar **Motricidad** al conjunto de las posibilidades motoras del hombre. Esta depende de muchos factores:

- Edad
- Constitución Física
- Sexo
- Particularidades individuales y otros

Las diversas tareas motoras (incluso dentro de un mismo tipo de movimiento), pueden diferenciarse cualitativamente. Por ejemplo, la carrera de maratón y la carrera de velocidad plantean al organismo diferentes exigencias, provocan la manifestación de diferentes **Cualidades Motoras**



Se acostumbra a denominar Cualidades Motoras (o físicas), a los aspectos cualitativamente diferentes de la Motricidad del hombre, que caracterizan a los individuos, manifestándose comportamientos diferentes entre estos. Dependen del estado físico del sujeto, la voluntad y las condiciones externas.

El concepto de cualidad motora abarca en particular, aquellos aspectos de la motricidad que:

1. se manifiestan en iguales características del movimiento y tienen un mismo rasero, por ejemplo la velocidad máxima
2. poseen mecanismos bioquímicos y fisiológicos análogos y requieren la manifestación de propiedades psíquicas semejantes.

Como consecuencia de esto, los métodos de perfeccionamiento de una cualidad motora dada tiene rasgos comunes, independientemente del tipo concreto de movimiento. Por ejemplo la resistencia en patinaje sobre hielo y natación se perfecciona de forma muy semejante, aunque estos movimientos son extremadamente diferentes.

CUALIDADES MOTRICES

- FUERZA
- RAPIDEZ
- RESISTENCIA
- FLEXIBILIDAD

Para tener información de las **Cualidades Motrices** debemos apelar a las características de los movimientos. A cada cualidad motriz se le asocia una característica del movimiento que pueda medirse (medida) y cuantificarse (cantidad)

CUALIDADES MOTRICES Y SUS CARACTERISTICAS

CUALIDAD MOTRIZ	RASERO	INSTRUMENTO	CARACTERISTICAS BIOMECANICAS
FUERZA	FUERZA MOMENTO DE FUERZA	DINAMOMETRO	FUERZA FUERZA-VELOCIDAD
RAPIDEZ	VELOCIDAD FRECUENCIA TIEMPO DE LATENCIA (DE REACCION)	VELOCIMETRO REGISTROS FILMICOS CRONOMETRO	VELOCIDAD FRECUENCIA TIEMPO
RESISTENCIA	TIEMPO	CRONOMETRO	INTENSIDAD VOLUMEN TIEMPO
FLEXIBILIDAD	DESPLAZAMIENTO ANGULAR DESPLAZAMIENTO LINEAL	GONIOMETRO ESCALAS LINEALES	ANGULO LONGITUD

2.1.2. - CONCEPTO DE LA CUALIDAD FUERZA

En biomecánica se denomina fuerza de acción del hombre (FAH) a la fuerza de su influencia sobre las circunstancias físicas externas, que se transmite a través de los puntos de trabajo de su cuerpo:

- Fuerza de presión sobre el apoyo

- Fuerza de tracción sobre el dinamómetro de pie
- Fuerza ejercida sobre un implemento deportivo (lanzamiento de la bala)
- Etcetera

La fuerza de acción del hombre (FAH), como toda fuerza se caracteriza puede ser representada como un vector y posee:

- 1-) sentido,
- 2-) magnitud (escalar)
- 3-) punto de aplicación

Como cualidad motriz **Fuerza** podríamos definirla como “ **La capacidad de originar acciones motoras efectivas en el medio que le rodea , interactuar con otros cuerpos**”

CLASIFICACION DE TIPO DE FUERZA

CUALIDADES DE FUERZA	CONDICIONES DE MANIFESTACION
1- De Fuerza Estática	Régimen Estático y Movimientos Lentos
2- De Velocidad - Fuerza a-) Fuerza Dinámica b-) Fuerza Amortiguada	a-) Movimientos Rápidos b-) Movimientos Resistentes

LA FUERZA DE ACCION DEL HOMBRE Y LA FUERZA MUSCULAR

La fuerza de acción del hombre depende directamente de la fuerza de tracción de los músculos, es decir la fuerza con que los músculos halan las palancas óseas. Sin embargo la tracción de determinado músculo y su correspondencia con la Fuerza de Acción Resultante, no es simple:

1. Porque en casi todos los movimientos participan un gran grupo de músculos
2. Durante la ejecución del movimiento, varían los ángulos en las articulaciones, lo que a su vez provoca cambio en las condiciones de tracción que ejercen los músculos sobre los huesos, en particular los brazos (distancia perpendicular a la dirección de la fuerza y el punto de giro o articulación)
3. Influencia de factores fisiológicos y psicológicos

LA POSICION DEL CUERPO Y LA FUERZA DE ACCION DEL HOMBRE

La fuerza de acción del hombre depende de la posición de su cuerpo:

1. La fuerza que puede desarrollar el músculo depende de su longitud, al variar la posición de la articulación varia la longitud del músculo lo que provoca variación en la fuerza de tracción de ese músculo.

2. Al variar la postura, varía el brazo de la fuerza de tracción del músculo respecto al eje de rotación.

Nota : La fuerza máxima que desarrolla el músculo, decrece proporcionalmente al cuadrado de la disminución de su longitud.
Mayor acortamiento = Menor magnitud de tensión

Los entrenadores deben conocer bien como varía la fuerza de acción del deportista en las diferentes posiciones de su cuerpo, cuando ejecuta el movimiento competitivo: sin eso resulta imposible hallar la mejor variante de la técnica.

Cuando se vayan a seleccionar ejercicios de fuerza, es imprescindible, ante todo, estar seguros que ellos trabajaran activamente aquellos músculos cuya fuerza hay que aumentar. En tal caso hay que tomar en consideración que a veces, incluso pequeñas variaciones de la posición del cuerpo pueden conducir a que se activen otros grupos musculares, completamente distintos a los que se quieren hacer trabajar.

Ver Fig. 5.7 y Tabla 5.1, en el Anexo

RELACION FUERZA DE ACCION – VELOCIDAD

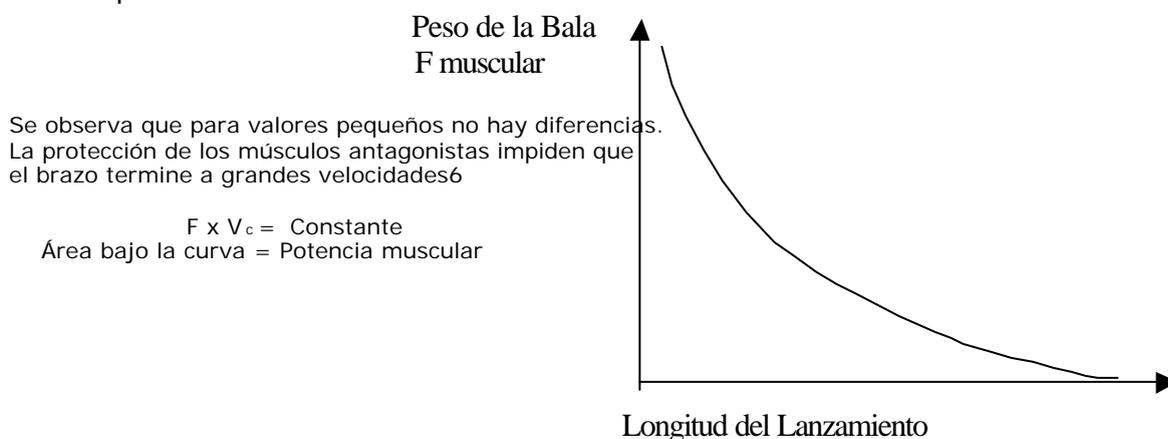
Si se realiza la impulsión de la bala de diferentes pesos, se pueden determinar la velocidad de salida de estas y las fuerzas de acción que se ponen de manifiesto.

Se ve que la fuerza y la velocidad se encuentran en una dependencia inversamente proporcional: mayor velocidad, menor fuerza y viceversa. En este experimento, se utilizan balas de diferentes pesos y un mismo lanzador.

El alcance de la bala o longitud de lanzamiento, depende de la velocidad de salida del implemento de la mano del lanzador, que a su vez depende de la velocidad de la contracción muscular.

La fuerza muscular es directamente proporcional al peso de la bala.

Esta dependencia se muestra en el Grafico.



Velocidad de salida del implemento
Velocidad de contracción muscular V_c

Esta curva sigue un comportamiento parecido en los diferentes sujetos investigados, bajo mismas condiciones standards. Lo que varía es su inclinación en el plano, o sea la Constante.

2.1.3. - CONCEPTO DE LA CUALIDAD RAPIDEZ

Las cualidades de Rapidez, se caracterizan por la capacidad del hombre para realizar acciones motoras en el menor tiempo posible en condiciones dadas. En todo caso la ejecución de la tarea dura poco tiempo y que no surge la fatiga.

Se distinguen tres variantes fundamentales:

- 1- La velocidad del movimiento aislado (cuando existe poca resistencia externa).
- 2- La frecuencia de los movimientos
- 3- El tiempo de latencia de la reacción.

La correlación entre estos tres indicadores de la Rapidez existe muy poca correlación en los diferentes sujetos. Por ejemplo es posible que una persona sea muy rápida en sus movimientos pero y sea relativamente lento en su reacción y viceversa. Es decir son relativamente independientes.

Se distinguen las reacciones motoras simples y complejas:

- La reacción simple es la respuesta mediante un movimiento previamente conocido a una señal previamente conocida (que aparece inesperadamente)
- La reacción compleja es la que no se conoce previamente, que es lo que hay que hacer como respuesta a una señal, ni cual va a ser esa señal.

En las reacciones motoras se distinguen:

- La fase sensorial: desde el instante de aparición de la señal hasta las primeras indicaciones de actividad (eléctrica) muscular (registro por electro miografía).
- La fase premotora: desde la aparición de la actividad eléctrica de los músculos hasta el comienzo del movimiento.
- La fase motora desde el inicio hasta la culminación del movimiento

Las componentes sensoriales y promotoras forman el tiempo de latencia de la reacción.

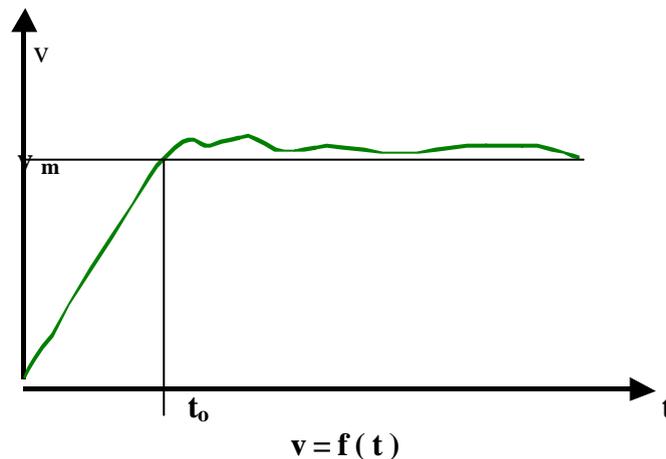
A medida que aumenta la maestría deportiva, las componentes sensorial y motora disminuyen en las reacciones complejas.

En las reacciones complejas adquiere especial importancia la habilidad de prever las acciones del contrario, esta es denominada anticipación; y la reacción correspondiente reacción de anticipación.

La duración de la fase motora de la reacción suele ser diferente al emplear diferentes variantes de las acciones técnicas. Por ejemplo para receptor el balón se requiere mayor tiempo que para rechazarlo.

DINAMICA DE LA VELOCIDAD

Se denomina dinámica de la velocidad a la variación de la velocidad del cuerpo en movimiento, en función del tiempo.



Carrera de Velocidad

2.1.4. - CONCEPTO DE LA CUALIDAD RESISTENCIA

Se denomina **Resistencia** la capacidad de contrarrestar la **Fatiga**. En sujetos sometidos a igualdad de condiciones de una tarea motora dada, la fatiga aparece mas tarde en los sujetos mas resistentes.

Se denomina **Fatiga** a la disminución temporal de la capacidad de trabajo producido por el propio trabajo..

Existen varios tipos de fatiga: mental, sensorial, emocional, física (provocada por la actividad muscular).

En biomecánica se analiza solo la fatiga física. Durante el trabajo muscular la fatiga atraviesa dos fase:

1. Fase de fatiga compensada: en ella a pesar de que se incrementan las dificultades el deportista mantiene la intensidad de ejecución de la tarea motora. (en este caso lo que se produce son variaciones en la técnica de los movimientos)

2. Fase de fatiga descompensada: el deportista a pesar de todos sus deseos, no puede mantener la intensidad de ejecución de la tarea.

La fatiga se pone de manifiesto en sensaciones subjetivas específicas, en cambios fisiológicos y bioquímicos objetivos (disminución del bombeo sistólico, cambio del PH sanguíneo en el sentido de la acidificación). También se pone muy de manifiesto en los indicadores biomecánicos: velocidad, fuerza, etc...

Las características biomecánicas de la Resistencia son:

- Intensidad de la carga (distancia, tiempo)
- Volumen de la Carga (velocidad, fuerza)
- Tiempo de ejecución (tiempo)

Generalmente se fija uno y se miden los otros dos.

VARIANTES FUNDAMENTALES PARA LA MEDICION DE LA RESISTENCIA

Parámetro de la Tarea Motora	Se mide		Ejemplos de tareas motoras
Intensidad de la tarea			
a-) velocidad, m/s	Distancia recorrida, metros	Tiempo, seg	a-) carrera o natación con una velocidad dada; por ejemplo, 6.0 m/s ó 1.2 m/s
b-) potencia, watts	Trabajo realizado, joules	Tiempo, seg	b-) rotación de los pedales del velo ergómetro con una potencia de 150 watts
c-) fuerza, newtons	Impulso de la Fuerza, newton- s	Tiempo, seg	c-) sostener un oeso de 10kg (98 newtons) con el brazo recto en posición horizontal

<p>Volumen de la Tarea</p> <p>a-) distancia, m</p> <p>b-) trabajo, joules</p> <p>c-) impulso de la fuerza, newton - s</p>	<p>Velocidad, m/s</p> <p>Potencia promedio, watt</p> <p>Fuerza promedio, newton</p>	<p>Tiempo, s</p> <p>Tiempo, s</p> <p>Tiempo, s</p>	<p>a-) carrera en una determinada distancia: por ejemplo 5000 m</p> <p>b-) ejecución de un trabajo de 30000 joules en el velo ergómetro en el menor tiempo posible</p> <p>c-) poner de manifiesto determinada magnitud del impulso de fuerza (por ejemplo en el menor tiempo posible)</p>
<p>Tiempo de la Tarea, s</p> <p>a-)</p> <p>b-)</p> <p>c-)</p>	<p>Distancia recorrida, m</p> <p>Trabajo realizado, joule</p> <p>Impulso, newton – s</p>	<p>Velocidad media, m/s</p> <p>Potencia promedio, watt</p> <p>Fuerza promedio, newton</p>	<p>a-) Carrera de 1 hora o carrera de 12 min</p> <p>b-) rotación de los pedales del veloergometro durante 12 min</p> <p>c-) mantener un esfuerzo estático en el dinamómetro durante 12 min</p>

2.1.5. - CONCEPTO DE LA CUALIDAD DE FLEXIBILIDAD

Se denomina **Flexibilidad** a la capacidad del hombre de realizar movimientos con una gran amplitud. La palabra flexibilidad se emplea como termino amplio. Cuando se refiere a las articulaciones, se dice movilidad.

Para una medición exacta de la flexibilidad (movilidad en las articulaciones) hay que medir el ángulo de la correspondiente articulación en la posición limite posible entre los miembros articulados. La medición de los ángulos de los movimientos en las articulaciones se llama **goniometría**.

En la practica deportiva también se utilizan mediciones lineales, pues resultan mas sencillas, aunque estas no son tan exactas porque pueden influir las dimensiones del cuerpo, como la longitud de los brazos, del tronco y otros. En este caso es necesario hacer correcciones.

Se distinguen dos tipos de flexibilidad:

- **Flexibilidad activa:** es la capacidad para ejecutar movimientos en una articulación dada, con una gran amplitud gracias a la actividad de los grupos musculares que pasan por dicha articulación.

- **Flexibilidad pasiva:** se determina por la mayor amplitud que puede lograrse como resultado de la acción de fuerzas externas.

Los indicadores de flexibilidad pasiva son mayores que los correspondientes a los indicadores de flexibilidad activa. La diferencia entre los se denomina **déficit de la flexibilidad activa**..y depende de las características de los músculos activos en el movimiento analizado.(en particular por la magnitud de la fuerza de tracción que puede desarrollar el músculo durante su mayor acortamiento)

La flexibilidad depende de una serie de condiciones : temperatura del medio circundante, hora del día, calentamiento.

2.1.6. --CARACTERISTICAS BIOMECANICAS

EJERCICIOS TIPO

CUALIDAD MOTRIZ	TIPO DE EJERCICIOS
FUERZA	Levantamiento de Pesas Interacción del deportista con el apoyo en saltos, etc. Ejercicios donde se manifieste la Fuerza Rápida, como por ejemplo: lanzamientos e impulsiones
RAPIDEZ	Carreras de 100 m, 200 m. Arrancada, (Tiempo de Latencia de la Reacción) Frecuencia, según tipo de actividad
RESISTENCIA	Carreras de distancias largas > 800 m Natación Ciclismo Marcha Deportiva Maratones
FLEXIBILIDAD	Ejercicios Gimnásticos

	Gimnasia Rítmica Gimnasia Artística Con aparatos: molino, barra, caballo con arzones.
--	--

2.2 - PRINCIPIOS DE LA TEORÍA DE LAS PRUEBAS

2.2.1. - CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Prueba:

- Medición o conjunto de mediciones para determinar el estado físico del sujeto.
- La medición (o experimento) realizado con el objetivo de determinar las capacidades del deportista

No todas las mediciones pueden ser utilizadas como pruebas sino solamente aquellas que responden a ciertas exigencias especiales como:

1. La estandarización (el procedimiento y las condiciones de aplicación de pruebas deben ser iguales en todos los casos)
2. La confiabilidad
3. El nivel de Información
4. Existencia de un sistema de evaluación

El proceso de experimentación se llama **aplicación de pruebas** y el valor numérico obtenido como consecuencia de la medición, se denomina **resultado** de la aplicación de las pruebas (o **resultado** de la prueba)

EJEMPLO

Prueba: carrera de 100m

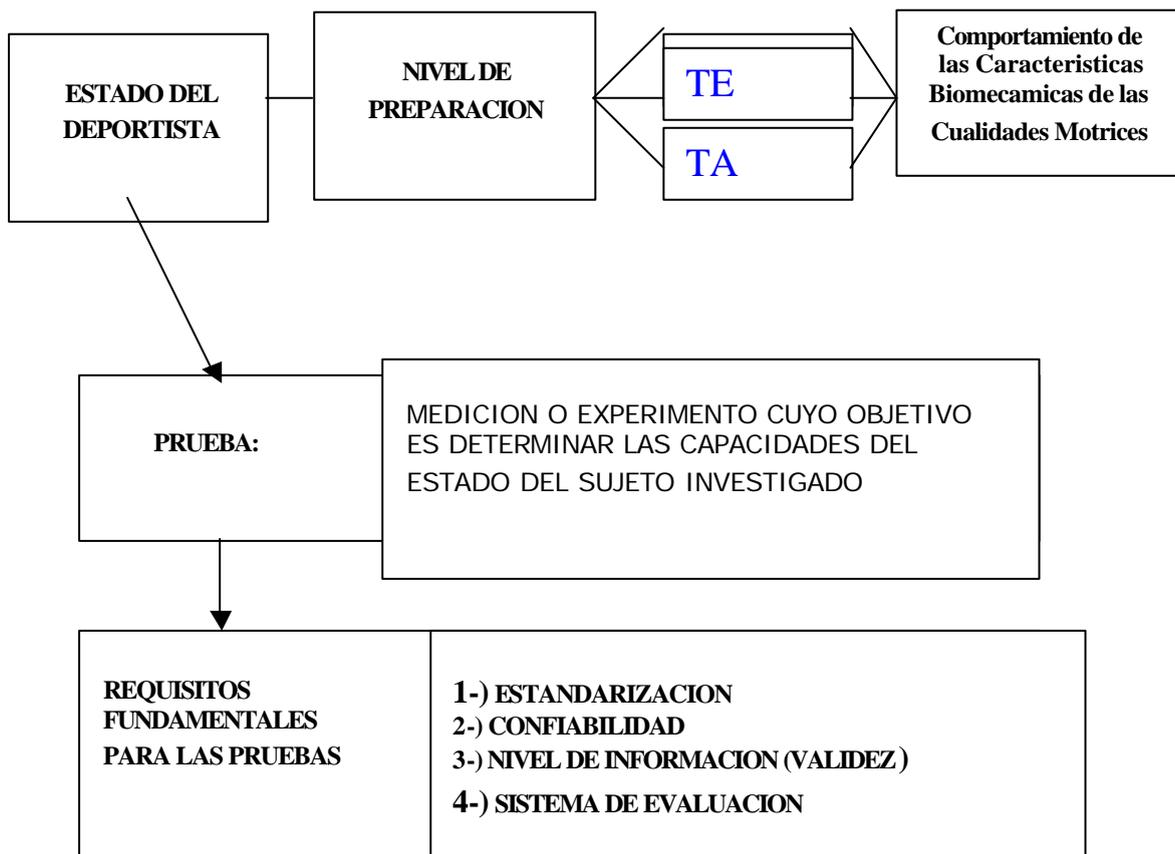
La aplicación de la prueba: el procedimiento de ejecución de los recorridos y el cronometraje

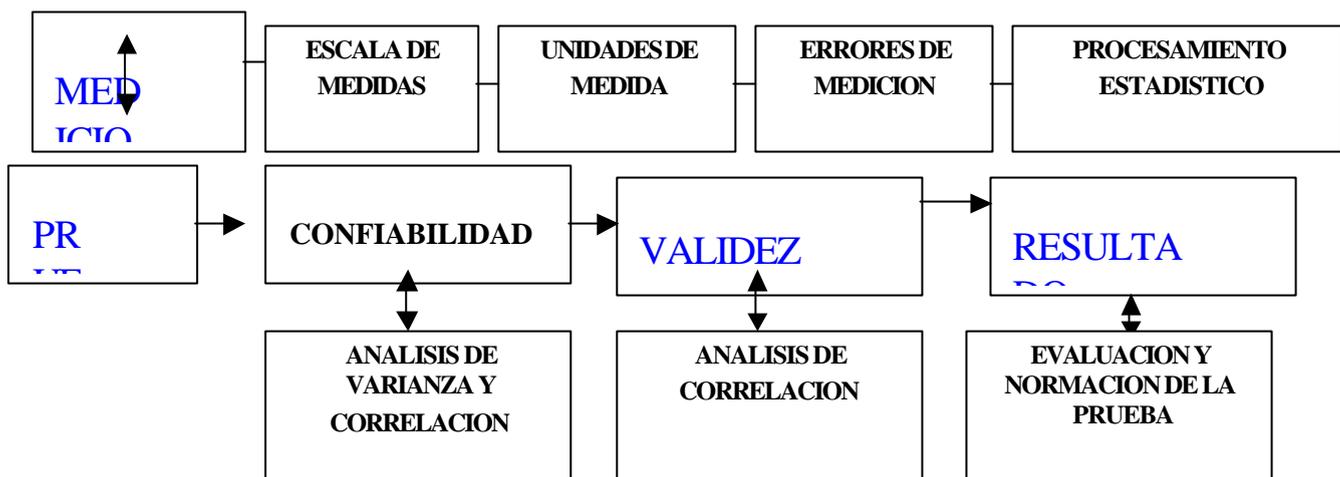
Resultado de la prueba: tiempo o tiempos de la carrera

TIPOS DE PRUEBAS MOTORAS

Denominación de la Prueba	Tarea del deportista	Resultado de la prueba	Ejemplo
Ejercicios de control	Mostrar el resultado máximo	Logros motores	Carrera de 1500 m tiempo de la carrera
Pruebas funcionales estándar	Se dosifica igualmente para todos: a-) por la magnitud del trabajo realizado ó b-) por la magnitud de los cambios fisiológicos	Indicadores fisiológicos o bioquímicos para un trabajo estándar Indicadores motores para una magnitud estándar de los cambios fisiológicos.	Registro de la FCC para trabajo estándar Velocidad de la carrera para FCC de 160 pulsaciones/ min
Pruebas funcionales	Mostrar el resultado máximo	Indicadores fisiológicos bioquímicos	Determinación de la "deuda máxima" de oxígeno o del consumo máximo de oxígeno

Para evaluar la Preparación Física General, o incluso una cualidad motriz en particular, no se utiliza una sola prueba, sino que se emplean varias pruebas lo que se acostumbra a denominar **"Batería de pruebas"**





2.2.2. - CONFIABILIDAD

La confiabilidad de la prueba es el grado de coincidencia de los resultados, cuando se repite la aplicación de la prueba a unas mismas personas, en igualdad de condiciones. La variación de los resultados en las mediciones reiteradas se denomina intraindividual o intragrupo (terminología en estadística matemática).

Las causas principales que ocasionan esta variación son:

- 1. Variación del estado de los investigados (fatiga, concentración, cambio de motivación y otros)**
- 2. Los cambios no controlables de las condiciones extremas y los equipos (temperatura, viento, humedad, voltaje en la red eléctrica, presencia de otras personas y otros)**
- 3. La variación del estado del hombre que conduce o ejecuta la prueba (cansancio, concentración y efectivamente la sustitución del experimentador o juez por otro)**
- 4. La imperfección de la prueba .**

Requisitos de la confiabilidad:

- 1. Estabilidad (repetición en el tiempo)**
- 2. Coincidencia (repeticiones coincidentes)**

3. Concordancia (cambio del experto)

4. Equivalencia (variantes de una misma prueba)

Para determinar la confiabilidad de la prueba existen diversos metodos estadisticos, el mas usado en estos momentos es el calculo del Coeficiente de Probabilidad. Dada la brevedad de este curso-taller, de manera suscita podemos señalar que:

- **A mayor numero de repeticiones aumenta el grado de coincidencia de los resultados, por lo tanto en la ejecución de una prueba el mínimo de repeticiones debe ser igual a tres. En esta dirección** el Coeficiente de Probabilidad debe poseer un valor tal, que corresponda a que no existan diferencias, o al menos que sean poco significativas, entre los valores numéricos de los resultados intragrupo (del propio sujeto), de la muestra investigada
- **Se debe diseñar una prueba tal, que sus resultados permitan evaluar (diferenciar) a los sujetos. En esta dirección** el Coeficiente de Probabilidad debe poseer un valor tal que corresponda a que existan diferencias entre los valores numéricos de los resultados intergrupo (de los distintos sujetos), de la muestra investigada.
- El tamaño de la muestra **investigada debe ser mayor de 30 sujetos** o sea $n > 30$ **y** las repeticiones, **mínimas o mayor que 3**, o sea $K = \acute{o} > 3$
- **Es imprescindible en todo caso** garantizar **el cumplimiento de** las condiciones de estandarización de la prueba

COEFICIENTE DE PROBABILIDAD Y CALIDAD DE LAS DIFERENCIAS

Valores del Coeficiente de Probabilidad	Entre 0,00 y 0,01	Entre 0,01 y 0,05	Entre 0,05 y 0,1	Entre 0,1 y 1,0
Magnitud de las Diferencias	Muy significativas	Significativas	Poco significativas	No hay diferencias

2.2.3. - VALIDEZ O NIVEL DE INFORMACION

La validez o nivel de información de la prueba es el grado de exactitud con el cual esta mide la propiedad (cualidad, capacidad, etc.) para cuya evaluación se aplica.

Por ejemplo:

Se quiere evaluar la rapidez de un individuo, tenemos las siguientes pruebas:

1. **Tracciones en la barra**
2. **Carrera de 100 m**
3. **Carrera de 30 m volante**
4. **Dinamometrías de piernas**

5. El puente

6. Carrera de Maratón

¿ Cuales escogería usted para evaluar la Rapidez? ¿Cuál de estas nos da la información mas completa?

Uno de los métodos para determinar la validez o nivel de información es correlacionar la prueba que usted esta evaluando, con un criterio establecido. Esto consiste en determinar un coeficiente de correlación estadístico, si los valores del coeficiente de correlación son mayores que 0.79 se dice que la prueba es valida. El coeficiente de correlación que se suele utilizar es el de Bravais-Pearson

Como criterio se toma como referencia (otra prueba) que refleja de manera notoria e indiscutible, aquella propiedad que se pretende medir. **En Metrología Deportiva los criterios mas frecuentes son:**

- 1. El resultado deportivo**
- 2. Cualquier característica cuantitativa de la actividad competitiva. Por ejemplo: la longitud del paso durante la carrera, la fuerza del despegue en los saltos, el porcentaje de pase largos exactos en el fútbol etc.**
- 3. Los resultados de otra prueba cuyo nivel de información se encuentra demostrado.**

2.2.4. - EVALUACION Y NORMAS

Los resultados de las distintas pruebas que se realizan para evaluar las cualidades motrices, en primer lugar, se expresan en diferentes unidades de medidas (tiempo, distancia, etc.) y por eso no son directamente comparables entre sí, en segundo lugar, no indican por sí mismo cuan satisfactorio es el estado del sujeto.

Por ejemplo, el tiempo de una carrera de 100 m en 12 s puede analizarse tanto como bueno que como malo, en dependencia de quien se trate.

Es por ello que los resultados se transforman en evaluaciones (puntos, marcas, categorías, etc.)

Se denomina evaluación (o evaluación pedagógica) a la medida unificada del éxito de una tarea determinada, en nuestro caso particular, de la prueba.

El proceso de deducion (de calculo) de las evaluaciones se denomina calificacion.

Ejemplos de evaluacion:

- Las tablas de puntuacion para los deportes
- Las calificaciones de las escuelas
- Las posiciones en las competencias y practicas

La evaluacion puede ser expresada de diferentes maneras:

- Caracteristicas cualitativas : bien – satisfactorio – mal
- En forma de notas
- De puntos acumulados

En todos los casos esta, presenta rasgos generales comunes

En su forma completa la evaluacion se realiza en dos etapas:

1. Los resultados se transforman en puntos, sobre la base de determinadas escalas de evaluacion
2. Comparacion de los resultados o puntos acumulados (según tipo de caso) con normas previamente establecidas, para establecer la clasificacion o categoria.

2.2.5. - ESCALAS DE EVALUACION

En la esfera deportiva las escalas de evaluacion mas empleadas son:

- StandarsPercentiles
- De puntos seleccionados
- Parametricas
- Del mejor y peor resultado

ESCALAS	BREVE DESCRIPCION
STANDARD	La medida en ellas son las desviaciones estándares
PERCENTILES	La puntuación se asigna según el porcentaje de los participantes, que supera el sujeto evaluado
DE PUNTOS SELECCIONADOS	Se asigna una máxima puntuación a un resultado deportivo elevado y una puntuación menor al resultado deportivo mas bajo, . Los puntos para cada evaluado se determinan proporcionalmente
PARAMETRICAS	Se utilizan en el caso de deportes ciclicos y pesas, donde los resultados dependen de parámetros como: distancia, peso del deportista, etc.
DEL MEJOR Y PEOR RESULTADO	Se emplea en los casos en que las condiciones de la aplicación de la prueba no permanezcan constante. Es de uso

mas general

Escala del mejor y peor resultado:

Esta escala es una de las mas utilizadas. En ella se le asigna el valor de 100 puntos al deportista con el mejor resultado y 0 puntos al deportista con el peor resultado. Los deportistas con resultados intermedios se evalúan mediante la expresión:

$$\text{PUNTOS} = 100 * \left(1 - \frac{\text{Mejor Resultado} - \text{Resultado del evaluado}}{\text{Mejor Resultado} - \text{Peor Resultado}} \right)$$

Nota: Los valores oscilan entre 0 y 100 puntos. Se debe tener cuidado en el caso de que los mejores resultados son los menores en valor , como los tiempos en la carrera.

2.2.6. - NORMAS

Normar es establecer los valores limites de los resultados, que permitan clasificar a los investigados en distintas categorias. En Metrologia Deportiva se denomina norma a la magnitud limite del resultado que sirve de base para incluir al deportista en uno de los grupos de clasificacion

TIPOS DE NORMAS	DESCRIPCION
COMPARATIVAS	Tienen como base la comparación de las personas que pertenecen a un mismo universo (grupo de sujetos que tienen algo en común)
INDIVIDUALES	Están basadas en la comparación de los indicadores de un mismo sujeto en diferentes estados
NECESARIAS	Están basadas en el análisis de lo que debe de ser capaz el hombre, para ejecutar con éxito las tareas que la vida le plantea: el trabajo, la vida cotidiana, el deporte..

Para establecer las normas se hace necesario un proceso de medición, de los indicadores a normar en muestras del universo de sujetos, donde se quieren aplicar. Esto conlleva un procedimiento estadístico que no es objetivo de este curso. Podemos decir que en el mayor de los casos, se establecen partiendo de la desviación estándar.

EJEMPLO DE EVALUACION Y NORMAS

Los resultados en la dinamometría de piernas, de 10* atletas se muestran en la tabla. Evalúe cada uno mediante la escala del mejor y peor resultado. Norme y categorice en tres niveles.

No	RESULTADO Kg.	PUNTOS	CATEGORIA
1	145	100	ALTA
2	70	0	BAJA
3	110	53	MEDIA
4	80	13	BAJA
5	110	53	MEDIA
6	130	80	ALTA
7	120	67	MEDIA
8	100	40	MEDIA
9	90	27	MEDIA
10	105	47	MEDIA

desviación standard = 23.5

**El mejor resultado = 145, la puntuación es 100 puntos,
El peor resultado = 70, la puntuación es 0 puntos,
El resto se calcula por la formula dada anteriormente**

**Para normar en este ejemplo ilustrativo , vamos a realizarlo en tres categorías.
Para establecer los valores limites de la norma:**

- 1. Calculamos el valor promedio de los resultados, sumamos y dividimos entre 10 y nos da:**
Valor promedio de la muestra = $1060 / 10 = 106$ Kg
- 2. A este valor promedio sumamos el valor de la desviación standard (ya calculado) para obtener el valor limite superior a la media:**
Valor limite superior a la media = $106 + 23.5 = 129.5$ Kg
- 3. Para calcular el valor limite inferior a la media, restamos el valor de la desviación standard al valor promedio:**
Valor limite inferior a la media = $106 - 23.5 = 82.5$ Kg

En tal caso tendremos que:

**los sujetos con resultados > 129.5kg, corresponden a la categoría ALTA
los sujetos con resultados < 82.5 Kg, corresponden a la categoría BAJA
los sujetos con resultados entre 129.5 y 82.5 Kg. corresponden a la categoría MEDIA**

***NOTA ACLARATORIA:** En Estadística, para los cálculos de las desviaciones standard, la validez, la confiabilidad, las normas y otros, las muestras deben ser mayores de 30 y en algunos casos mayores de 50, aquí solo pretendemos ilustrar con un ejemplo sencillo con fines pedagógicos

2.2.7. - EJEMPLOS DE PRUEBAS TIPO

OBJETIVO	PRUEBAS*
FUERZA MIEMBRO SUPERIORES	<ul style="list-style-type: none"> • Planchas. • Tracción en la barra. • Dinamometría manidigital. • Impulsión de la bala. • Lanzamiento de la pelota medicinal. • Soga. • <i>Prompt – Press.</i>
FUERZA MIEMBROS INFERIORES	<ul style="list-style-type: none"> • Cucullas sin pesas. • Salto de longitud sin impulso. • Saltabilidad. • Extensión de piernas con pelota medicinal. • Salto en un solo pie. • <i>Cucullas con pesas.</i>
RAPIDEZ	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de un movimiento: cucullas, flexiones y extensiones, subir y bajar un escalón. • Tiempo de latencia de la reacción. • Carrera de 100 m.. • <i>Carrera de 60 m volante.</i>
RESISTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera de 5000 m. • Carrera de 1 hora. • Natación con una velocidad dada. • Sostener un peso dado. • Repeticiones (cucullas, planchas) hasta el agotamiento • <i>Maraton</i>
FLEXIBILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Flexión del troco al frente. • Flexión lateral derecha e izquierda. • Flexión plantal. • Flexión en mano, palma y dorso. • <i>Puente.</i>
PREPARACION FISICA GENERAL	<p>Se escogen pruebas para cada cualidad motriz y se escoge alguna que integre todas las cualidades como criterio, por ejemplo algún circuito. En este caso se busca alguno vinculado al deporte del atleta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prueba de fuerza. • Prueba de rapidez. • Prueba de resistencia. • Prueba de flexibilidad. • <i>Prueba integradora.</i>

***NOTA:** Las pruebas señaladas en cursiva, por su carácter, se sugieren como ejemplo de criterio, para determinar la validez de las otras pruebas.

Sinchijudokan Judo Institute

FOR JUDO DEVELOPMENT
"JUDO, ART AND SCIENCE OF THE UNBALANCE"

BIOMECANICA DEL JUDO
Autor: Profesor Néstor Figueroa



Existen ciertos fenómenos de la naturaleza que han sido observados y aplicados científicamente al Judo; esto no es nada nuevo los fundadores y estudiosos de las Artes Marciales lo han hecho por generaciones y desde hace varios siglos; observando e imitando los movimientos de algunos animales y de algunos fenómenos naturales.

Pero en estos tiempos modernos en que algunas disciplinas marciales del Gendai Budo como el caso del Judo que se ha hecho disciplina deportiva y olímpica también estos fundamentos toman actualidad en el desarrollo de nuevas metodologías de enseñanza y de entrenamiento.

Lo resaltante en esta perspectiva es buscar aplicaciones que optimicen el rendimiento en las competencias; que contribuya a elevar la eficacia de performance pero sin perderla estética; optimizando los movimientos y los elementos de estos para cada Waza del Judo; de manera que la biomecánica del Judo sea el resultado ergonómico de todo el proceso de preparación y entrenamiento.

1. FENOMENOS NATURALES

a) MOVIMIENTO DE LAS OLAS

El movimiento de las olas tiene varios interesantes momentos en su mecánica del comportamiento de las aguas por efecto de los vientos como son el retirarse tomar velocidad y formar la masa de la ola; luego recorrer una distancia avanzando giratoriamente; luego la ola que genera una fuerza centrípeta en su interior luego revienta y expande su fuerza finalmente se disemina para proceder a retirarse y contraerse nuevamente en otro trabajo cíclico de su flujo y reflujo.

Hay algunas técnicas en Judo que describen muy bien este fenómeno como en algunos Katas; y por ejemplo en los Ukemi en Daki Wakare o en algunos Sutemi Wazas como Tomoenage y Sumi Gaeshi; y básicamente en el trabajo de Newaza en que el cuerpo se enrolla y rueda con frecuencia para defenderse o neutralizar; contrayendo una fuerza y luego expandiéndola para aplicar algún Osaekomi Waza Kansetsu Waza o Shime Waza; semejando también el desplazamiento y la actitud constrictora de los ofidios.

Cuando intentamos un lance en la fase de Kake muchas veces nos doblamos hacia abajo arqueándonos enrollándonos inclinándonos; y concentramos una fuerza centrípeta que termina por lanzar a Uke cuyo cuerpo a la vez sigue la secuencia de una fuerza agregada centrífuga que en buena cuenta es la expansión de su cuerpo o masa.

b) MOVIMIENTO DEL VIENTO

La fuerza eólica es poderosa ella sirve para empujar las velas de las naves; para generar energía y trabajo mecánico como en los molinos; también para mover y transportar las arenas de los desiertos; muchos cerros y montañas adquieren formas caprichosas al ser erosionados por el viento.

El viento sigue direcciones caprichosas en el espacio lineales circulares o sinuosas; sabemos también que hay fuerzas tremendas que se concentran en esos fenómenos llamados tornados huracanes que son grandes masas de viento y agua. El desplazamiento del viento como las corrientes internas de las aguas presentan flexibilidad y cambios de dirección con impresionante maniobrabilidad.

En Judo usamos ese principio de maniobrabilidad y alteración de direccionalidad de los Wazas; así como en los desplazamientos o Shintai el Taisabaki y los ángulos del Happo no kuzushi. Aplicando movimientos circulares semi circulares giros cortos pequeños saltos.

Por ejemplo si aplicamos un Osoto gari con una direccionalidad oblicua del posterior derecho de Uke y éste hace resistencia podemos entonces en rutar o modificar la dirección de nuestro vector fuerza más hacia la derecha o más hacia la izquierda de Uke para que Uke pierda su equilibrio.

Es importante conocer el sentido y el ángulo del Happo no kuzushi de cada técnica y sus variantes; esto facilita el ataque y nos permite saber en fracciones de segundo cuando cambiar y que nuevo sentido direccional podemos adoptar cuando fallamos un ataque esto se llama enmienda y capitalización del error.

Caminar y desplazarse sobre el tatami sea en Randori o en Shiai es todo un arte que se debe aprender desde los comienzos del judoka y mantenerse practicando continuamente; éste es un capítulo dentro del Judo que por lo general pasa casi inadvertido en los entrenamientos.

Caminar con elasticidad sinuosidad y maniobrabilidad permite crear vacíos acortar distancias aprovechar vacilaciones abrir ángulos hacer fintas practicar combinaciones.

Hay registros de que notables competidores como M. Kimura 7mo Dan y Y. Kanemitsu 9no Dan pasaron mucho tiempo entrenando en las complejidades del Tai sabaki y el Suri ashi; del Shisei (posturas) y del Shintai para dar más consistencia y versatilidad a sus ataques.

El Shintai o desplazamiento implica moverse con respecto al rival y con respecto a la posición o ubicación de uno mismo también tomando en cuenta la abertura de la base de los pies del rival y la continua modificación del Tandem o punto de equilibrio de su cuerpo.

En el desplazamiento usted moviliza al rival de dos maneras usando sus manos sea para jalar empujar o ejercer tracción sobre el; o sea él es el punto de modificación del escenario. El uso y sensibilidad de las muñecas es esencial porque ellas son como el radar que percibe las intenciones del rival y en ellas reside la potencia para iniciar un eficaz ataque.

En el otro caso usted es el punto de modificación del escenario porque su cuerpo es el que se moverá para crear los espacios los ángulos las distancias y las oportunidades para atacar. Utilizando el propio peso de su cuerpo para jalar o empujar ayudándose con los hombros y caderas; y concentrando su potencia en la zona de la espalda baja; no necesariamente hay que usar la fuerza de los brazos en Kuzushi y Tsukuri sino más bien en Kake.

Así mismo el shizentai nos dará las claves de las bases de defensa y movilidad del Tandem del rival y de cómo carga su peso en sus piernas alternativamente sea horizontal o verticalmente.

El Taisabaki nos dirá la forma en que estaciona o mueve sus pies el rival sea alineados o uno adelante y el otro atrás. Hay judokas que tienen desplazamientos muy rígidos y su sistema defensivo se basa en la resistencia tienen una base ancha estable pero dura de escasa movilidad; oponiendo una gran fuerza la cual creará más fricción.

Un buen Taisabaki permite cortar el avance del rival anticiparse oportunamente a una intención de atacar; y contribuye a la mejor aplicación de las diversas formas de agarre o Kumikata.

El movimiento del viento nos recuerda que un desplazamiento flexible bien articulado fluido y estable es capaz de modificar el escenario de un combate enriqueciendo el ataque y dando más estabilidad y coordinación a la defensa. Hay que atacar como el viento que se siente su acción pero no se lo puede ver.

c) MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS ESFERICOS

Cuenta la tradición que cerca de Nagasaki vivía un médico y filósofo llamado Shirobei Akyama que observó en un sauce el comportamiento de las ramas cuando estas estaban cargadas de

nieve las ramas cedían al peso de la nieve; cuando la nieve caía las ramas recuperaban su posición normal. Mas tarde el médico creó la escuela Yoshin-ryuo Corazón del Sauce y que tuvo muchos seguidores.

En las caídas o Ukemis el movimiento de enrollarse y rotar la persona sobre su mismo eje axial le evita dañarse y permite a la vez adoptar una nueva y ventajosa posición. Los cuerpos esféricos ruedan no caen porque su desplazamiento es circular por las misma morfología del cuerpo y permite anular la acción de resistencia de la superficie o del aire. Este es el principio de los Ukemis rodar secuencialmente para evitar golpearse desviando la fuerza de la inercia y convirtiéndola en centrípeta en el mismo cuerpo rodante de Uke.

De la misma forma cuando Tori hace contacto y se acopla al cuerpo de Uke para lanzarlo a éste lo hace doblándose curvando el cuerpo de una manera cóncava a fin de generar una fuerza centrífuga en Uke forzando al cuerpo de Uke a adoptar una postura convexa y a que éste salga despedido hacia el Tatami por aplicación del impulso de su propio peso de Uke que se convierte en una fuerza centrífuga agregada.

En Judo se aplica este principio mecánico de la no resistencia o suavidad Yawara no ri cuando una masa mayor f_1 se desplaza contra otra f_2 lleva su peso velocidad y fuerza; y por las diferencias de características la primera f_1 arrasará a la segunda si ésta f_2 trata de resistirle; pero si en cambio la segunda f_2 cediera y la dejara pasar no sucedería nada y podría recobrar su posición normal la primera f_1 fallará en su cometido.

El sistema de defensa en Judo debe adiestrarse en este sentido a mis alumnos les enseñó a esquivar y eludir los ataques a bloquear pero veces a resistir especialmente en pesos semejantes; lo mejor es usar los miembros partes y el cuerpo como un blanco móvil e inalcanzable. Por ejemplo Sumi Otoshi y Uki Otoshi así como la línea de los Sukashi y los Gaeshi; son técnicas muy buenas de defensa para descomponer o neutralizar un ataque.

d) MOVIMIENTO DE LOS ASTROS

Estamos estudiando los principios científicos que se aplican al sistema del Judo y entre las maravillas de la Astrofísica podemos contemplar asombrados la rotación de la Tierra alrededor del Sol; este es el movimiento de traslación; a su vez observamos también de que la Tierra gira sobre su propio eje en una posición inclinada o diagonal el cual se llama movimiento de rotación.

El movimiento de traslación da origen a las estaciones este movimiento elíptico dura 365 días dando origen a las estaciones de verano otoño invierno y primavera. El movimiento de rotación dura 24 horas y origina los días y las noches lo efectúa la tierra girando sobre su propio eje.

Cuando ejecutamos alguna de las técnicas de Nage Waza del Judo estamos aplicando sencillamente esos dos principios gravitatorios el de rotación y el de traslación.

¿Como así?. Digamos por ejemplo Ippon Seoi Nage una vez tomado Uke y aplicado el Kuzushi correcto Tori procede a trasladarlo de su posición original que llamaremos x1 en donde está sustentado Uke; a otra nueva posición que llamaremos x2 pero donde esta vez Uke quedara echado de espaldas sobre el Tatami por efecto de la caída.

Ese proceso de desplazamiento en el cual se va aplicando secuencialmente los pasos de Kuzushi Tsukuri y Kake es lo que se llama movimiento de traslación de Uke siendo desplazado de un lugar a otro y de una posición a otra diferente y en forma elíptica.

De otro lado cuando Tori entra y toma a Uke sobre sus espaldas adoptando ambos cuerpos postura cóncavo -convexa y girando Tori entre 180 y 270 grados para lanzarlo rápidamente a Uke y dando además un sentido direccional a su cabeza y a sus hombros; ahí se está aplicando el movimiento de rotación de Tori.

Uke está sostenido por Tori pero a su vez está girando en torno a Tori. Aplicándose igualmente la misma secuencia de Kuzushi Tsukuri y Kake. Es interesante y sorprendente a la vez de cómo ciertos principios científicos pueden relacionarse y aplicarse al Judo para elevar la eficacia de performance en el ataque y la defensa así como en la táctica y estrategia de un combate.

Observamos también que durante el Kake de Tori y cuanto más ángulo de giro rotacional horizontal se le aplique y cuanto más inclinación rotacional vertical tenga el efecto del lance será de más eficiencia.

¿Por que?. Porque la carrera o distancia que desplazará el cuerpo de Tori será más larga y por consiguiente habrá más tiempo para que la velocidad incremente su fuerza. Esto significa que un cuerpo puede adquirir más explosión o contundencia a más velocidad y distancia; y en el caso de Uke su peso en inercia ayudará a conseguir un efecto mayor.

La dimensión que tenga la distancia y la velocidad que se aplique Tori a su cuerpo en la fase de Kake influirá en el incremento de

eficacia de rendimiento del waza realizado. Por ello es conveniente adiestrar al atleta en los giros rotaciones inclinaciones tanto en el ataque como en la defensa y en que la cabeza juega un rol importantísimo de sentido de dirección de la técnica aplicada la cabeza guía al cuerpo en el sentido correcto a seguir.

Muchos creen que la fuerza controlada o inteligente que se aplica en un Waza debe ubicarse en la fase del Kuzushi y el Tsukuri; en otras palabras la explosión o contundencia de un ataque la cargan en estas dos fases. Pero no es así la búsqueda del Kuzushi puede hacerse por fintas combinaciones o creando oportunidades por efecto de un inteligente desplazamiento juego de hombros y de caderas; y el Tsukuri que es el acoplamiento simétrico de los dos cuerpos debe caracterizarse más bien por su velocidad y coordinación; dejando la máxima potencia para el Kake fase en que se aplicará la tracción para la palanca y el punto de apoyo adecuado.

Por ello en la medida en quedamos mas importancia a estos principios en su aplicación al Judo nuestra productividad y adiestramiento en las diversas Técnicas será incrementada para nuestra satisfacción performance y perfección.

e) DUREZA Y DUCTILIDAD DE LOS CUERPOS

Firmeza y flexibilidad son dos características en el trabajo del Judo y lo apreciamos esencialmente en el trabajo de elaborar un sistema defensivo con adecuadas guardias oportunos desplazamientos reacciones y reflejos oportunos cambios de tácticas y estrategias en la defensa.

Así apreciamos la diferencia entre aplicar la dureza y rigidez de movimientos; o en otro sentido la plasticidad movilidad y flexibilidad para defenderse y atacar; cambiando rápidamente de un estado a otro como lo requieran las circunstancias en el escenario ataque-defensa.

A la dureza del cuerpo se acompaña la resistencia el bloqueo; en cambio la flexibilidad se trabaja con el esquivar el cedimiento y la neutralización; y se realiza desbalanceando al oponente para inmediatamente en rutar un contraataque efectivo; aprovechando su propio peso potencia y velocidad de su fallido ataque.

Dureza y ductilidad quiere decir eso como se amalgama y responde en eficiencia de comportamiento un cuerpo entrenado y sometido a cambiantes y exigentes condiciones estratégicas en un combate o entrenamiento.

Aquí juegan además un rol significativo los factores de velocidad de

reacción de movimiento adaptación cambio y decisión.

Un cuerpo puede ser muy duro y puede ser movido a pesar de su resistencia por otro cuerpo de mayor peso y fuerza.

Como responder a esta situación con eficacia ? haciéndose más duro ? mas resistente ?; o cediendo siendo flexible y aprovechando la fuerza contraria y haciéndole perder su equilibrio ?.

Las fintas simulaciones y movimientos de engaño requieren ductilidad para el cambio intempestivo y sorpresivo que hagan perder el equilibrio al contrario.

2. FACTORES MECANICOS DEL WAZA O TECNICA

En la estructura del Judo cada técnica tiene los siguientes elementos mecánicos que deben coordinarse e interrelacionarse para alcanzar altos rendimientos de eficacia a los cuales llamaremos factores mecánicos del Waza:

a) TIEMPO: Un momento u oportunidad para atacar o defenderse que llamaremos tiempo. Antes o después de ese punto se estará fuera de tiempo; un Waza tiene que aplicarse con exactitud para que el Kuzushi funcione con la mínima dosis de esfuerzo.

b) ANGULO : Un ángulo o vértice hacia donde se aplica la habilidad y fuerza inteligente o controlada. Cada Waza tiene un ángulo de ataque exitoso fuera de esa abertura se necesitara más fuerza.

c) DISTANCIA: Una distancia o espacio que recorrer de los cuerpos o de desplazamiento de estos antes de tomar contacto durante el Kuzushi y el Kake. Hay que crear espacios y distancias oportunas antes de entrar con éxito.

d) RESISTENCIA: Una oposición que vencer; en peso masa fricción y fuerza que opondrá resistencia; y a la cual habrá que persuadirla a equivocarse a moverse según nuestra conveniencia y usando nuestro cuerpo y habilidades el peso esta relacionado directamente ala fricción de éste o sea la dificultad para hacerlo cambiar de posición o estado.

e) FLEXIBILIDAD Y ADAPTABILIDAD: Una flexibilidad y adaptabilidad que aplicar moviendo el cuerpo y los miembros elásticamente amoldándolo a las circunstancias cambiantes del combate; así como un contacto y acoplamiento armónico de cuerpos en el Tsukuri.

g) VELOCIDAD: Cierta velocidad que aplicar para acortar

distancias desplazarse cerrar el paso anticiparse mover cortar
entradas amagar lanzar o sorprender al rival.

h) EXPLOSION: Cierta explosión o fuerza que usar pero de
manera inteligente controlada; y si es necesario que jamás
sustituya al talento y al método.

i) DIRECCION: Una dirección que elegir y un sentido que seguir
sea en círculo o linealmente al desplazarse Shintai; o rotando el
cuerpo hacia dentro en forma centrípeta en 45 90 180 o 360 grados
para el Kake; hasta que el rival caiga por efecto de imprimir una
fuerza centrípeta-centrífuga.

Recordando que a mayor ángulo se necesita más esfuerzo que
agregar y más habilidad para el desbalance o aplicación del
Kuzushi. Y viceversa a menor ángulo de ataque se requiere menor
esfuerzo.

Por consiguiente algunas veces los ataques en ángulos cerrados
podrían resultar más ventajosos.

j) REACCIONES: enseñándole al cuerpo a adquirir reflejos
condicionados y rápidos sin que la mente actúe. Con cambios
coordinados pasando de movimientos voluntarios a movimientos
automatizados con velocidad de reacción y velocidad de
movimientos adecuados. De manera que el cuerpo se auto
 programe a actuar sin el auxilio de la decisión pensante o volitiva.

3. FACTORES MECANICOS DEL TRABAJO O MOVIMIENTO

Estos componentes serían parte del trabajo o tarea a considerar en
la aplicación de cada técnica tomando en cuenta los principios ya
mencionados con anterioridad a los cuales se aplica la
ergonomía a fin de optimizar las técnicas del Judo.

El trabajo para su mejor estudio y análisis se subdivide en:

ACTIVIDAD → FUNCIÓN → OPERACIÓN → TAREA → MOVIMIENTOS → ELEMENTOS DEL MOVIMIENTO

*Veamos ahora los factores mecánicos de los movimientos de un
Waza:*

a) PALANCA: en el uso inteligente del cuerpo como contrapeso o
palanca para desbalancear levantar neutralizar y contraatacar con
eficacia. así existen varios tipos de palanca como: por tracción; por
jalón; por levantamiento; por empuje por inclinación.

Por ejemplo en Seoinage la palanca estará dada por la tracción

inclinada perpendicular del tronco de Tori hacia abajo y su agarre de manos que asegura el efecto palanca.

b) PUNTO DE APOYO: en lo entendible de que la palanca debe tener un complemento para su mecánica de mover el cuerpo y éste es el punto de apoyo de la palanca. Una palanca necesita un punto de apoyo para mover la masa que en Judo puede estar en reposo o en movimiento.

Por ejemplo en Seoi Nage el punto de apoyo estará en la cadera de Tori y el lugar de contacto en Uke que podría ser sumuslo o zona femoral.

c) **AGARRE:** en el movimiento de un Waza tiene que haber un agarre de algún tipo para ejercer tracción o presión empujar levantar o jalar y que asegure la aplicación de la palanca.

d) **INCLINACION Y GIRO:** los movimientos requieren cierta plasticidad en su ruta o camino que se da en la inclinación o arqueamiento del cuerpo y que se acompaña de la dirección y sentido de la cabeza.

e) **CUERPO:** el cuerpo humano es el principal componente del movimiento y de los elementos del movimiento; en el Waza intervienen el cuerpo sus partes y sus miembros. Los movimientos pueden ser torpes o rítmicos ineptos o eficaces rudos o estéticos. Eso depende de los recursos del individuo de su habilidad para usarlos y de su talento para hacerlos artísticos. Las habilidades y destrezas se pueden adquirir pero los talentos y el arte nacen en cada uno.

f) **ECONOMICIDAD Y EFICIENCIA:** estos son factores también de alta importancia en el Judo hay muchas maneras de ganar; pero la mejor manera es con ahorro de energía y eficacia de performance.

Los atletas tienen que estudiar sus movimientos del trabajo encada Waza para perfeccionarlos en términos de destreza de ahorro de energía fuerza inteligente y método adecuado

g) **EQUILIBRIO Y BALANCE:** los movimientos en una técnica deben estar revestidos de equilibrio y coordinación en el cuerpo que ataca y de balance y estabilidad en quien se defiende.

h) **AUTOMATICIZACION:** los movimientos en Judo deben alcanzar un nivel de optimización tal que los gestos actitudes y técnicas deben brotar por efecto de reflejos condicionados al punto que las decisiones llegan a ser involuntarias y automáticas.

A todos estos factores se agregan la tenacidad los reflejos la seguridad adaptación, recuperación serenidad pulcritud nobleza experiencia conocimiento el arte talento plasticidad y belleza que cada ser humano tiene como virtud o talento para la practica de esta bella disciplina.

Y todos estos aspectos establecen las diferencias y niveles de calidad entre los judocas. La idea es aplicar un mínimo esfuerzo de energía y obtener el máximo resultado en calidad y cantidad; con recreación satisfacción y cooperación mutua.

4. CONCLUSION

El maestro Jigoro Kano fue sin duda un hombre dotado de talentos para las Artes Marciales pero también poseía virtudes como: sabiduría conocimiento cultura docencia discipulado modestia humildad perseverancia visión paciencia y servicio.

Porque lo que analizamos ahora como un cuerpo sistémico de conocimientos de una disciplina deportiva en su arte y ciencia; nos deja más que sorprendidos al observar que en cada técnica del Judo están operando ciertos conceptos modernos de sistemas en estructura y procesos operativos de las técnicas del Judo y la biomecánica del cuerpo en forma armónica e interrelacionada.

Tal vez no formulados antes como un cuerpo de teoría estandarizada con terminología posible de experimentar; pero que ha estado siempre ahí desde que Kano fundó el Judo; y que luego el maestro Kyuzo Mifuneex pusiera con singular pedagogía a través de su incomparable Judo.

Esto demuestra en el maestro Kano que su conocimiento de las Artes Marciales de la época era notable especialmente del Jujitsu y de la Educación Física común medio para lograr la salud física la armonía mental y anímica.

Su capacidad de análisis y síntesis así como su visión futurista lo llevo a formular la concepción ecléctica de un Arte Marcial que encerraba varios principios basados en las leyes del cosmos y de la naturaleza al cual le llamo Judo "el camino de la suavidad" .

La filosofía del Judo como una forma de vivir armónicamente. Judo ciencia y arte del desequilibrio.

BIOMECÁNICA.

INDICE

TEMA I. INTRODUCCIÓN A LA BIOMECÁNICA.

Objeto, tareas y contenido de la Biomecánica.

Relaciones de la Biomecánica con otras ciencias.

El cuerpo humano como sistema biomecánico.

Características cinemáticas.

Características espaciales.

Características temporales.

Características espacio-temporales.

Características dinámicas.

Características de fuerza.

Fuerzas externas respecto al sistema.

Fuerzas internas respecto al sistema.

Propiedades mecánicas de los miembros.

Propiedades biomecánicas de los músculos.

Registro de las características cinemáticas.

Registro de las características dinámicas.

Determinación de las características espaciales.

Movimiento del paso.

BIOMECÁNICA GENERAL INTRODUCCIÓN A LA BIOMECÁNICA

La biomecánica es la ciencia que estudia el movimiento mecánico en los organismos animales, sus causas y manifestaciones.

Cuando se estudia una determinada rama del conocimiento, primeramente se determina su objeto, sus tareas y el contenido en el momento actual, se establecen sus particularidades fundamentales. Posteriormente hay que familiarizarse con el surgimiento y desarrollo de la ciencia. Esto permite comprender mejor su estado actual, sus posibilidades y las vías para el desarrollo ulterior .

OBJETO, TAREAS Y CONTENIDO DE LA BIOMECÁNICA CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE EL MOVIMIENTO.

La física, la química, la biología y otras ciencias estudian las leyes de las diferentes formas del movimiento de la materia en el mundo mineral, el mundo animal y la sociedad. El movimiento más simple es el desplazamiento espacial de los cuerpos, que lo estudia la mecánica. Para una mejor comprensión de la esencia y del papel del movimiento mecánico en los organismos vivos, hay que analizar los conceptos fundamentales sobre el movimiento en general.

1.1EL MOVIMIENTO COMO FORMA DE EXISTENCIA DE LA MATERIA

El movimiento es la forma de existencia de la materia.

Todo en el mundo se mueve. En movimiento se encuentran las galaxias, nuestra Tierra, el hombre, las partes de su cuerpo, las moléculas de sus células , los átomos, sus partículas elementales. Una de las formas de movimiento de la materia es el pensamiento. Todos conocen las profundas palabras de F. Engels: "El movimiento, analizado en el más amplio sentido de la palabra, es decir , entendido como una forma de existencia de la materia, como un atributo interno inherente a la materia, abarca todos los procesos y variaciones que tienen lugar en el universo , desde el desplazamiento más simple hasta el pensamiento".

Por consiguiente, en la comprensión filosófica se entiende como movimiento cualquier variación en general. Todo lo que existe en el mundo es materia que se mueve constantemente, que constantemente varía no es posible, ni siquiera imaginarse, la

materia sin movimiento, de la misma forma que no es posible imaginarse el movimiento sin la materia.

1.2 FORMAS DE MOVIMIENTO DE LA MATERIA

De acuerdo con la variedad del mundo existe también una gran variedad de movimiento de la materia.

Federico Engels diferenció las formas más simples de movimiento de la materia: mecánica, física y química, que se ponen de manifiesto tanto en el mundo mineral como en el mundo animal, de las formas más complejas, superiores, de movimiento: la biológica (que abarca todo lo vivo) y la social (relaciones sociales, pensamiento). En la medida en que se desarrollan las ciencias se va profundizando cada vez más el estudio de las formas de movimiento anteriormente conocidas, y se plantean, para ser discutidas, nuevas formas (por ejemplo, la cibernética como movimiento de la información).

Cada forma más compleja de movimiento incluye en sí formas simples. La forma más simple, la mecánica, existe en cualquier lugar, pero mientras más compleja sea la forma de movimiento, en menor grado será evidente la forma mecánica; el movimiento, cualitativamente, se caracteriza por una forma que cada vez va ser más compleja.

De esta manera, cada forma superior posee especificidades cualitativas y no puede ser "llevada" a las inferiores, al mismo tiempo que está indefectiblemente relacionada con ellas.

1.3 MOVIMIENTOS DEL HOMBRE

Los movimientos del hombre son el desplazamiento mecánico de un organismo vivo.

Los movimientos del hombre constituyen uno de los fenómenos más complejos en el mundo. Es así no sólo porque en su actividad motora son muy complejas las funciones de los órganos de movimiento, sino también porque en ellas se refleja su conciencia como una función de la materia más altamente organizada: el cerebro.

El papel de los movimientos en la vida humana es considerablemente grande. Mediante los movimientos el hombre varía la naturaleza circundante. En el proceso de esta variación se desarrolla tanto el organismo humano como su conciencia.

Inclusive la forma más simple de movimiento de la materia, la mecánica, debido a la gran complejidad de la estructura del cuerpo humano y de sus funciones, resulta muy compleja. Además, hay que agregar la complejidad de la interacción de la forma mecánica con una forma superior: la biológica. En la mecánica biológica (biomecánica) es que se estudian precisamente las regularidades, tanto de las formas mecánicas y biológicas mismas, como de las interacciones que se producen entre ellas. El movimiento de los seres vivos, como fenómeno biológico, puede ser comprendido sólo sobre la base del estudio de la relación indisoluble que existe entre las regularidades biológicas y las mecánicas.

2. OBJETO DE LA BIOMECANICA

El objeto de cualquier ciencia, y entre ellas de la biomecánica, está determinado por el objeto específico del conocimiento: un conjunto de fenómenos y procesos cuyas regularidades estudia una u otra ciencia. En este objeto cada una de ellas tiene su rama específica de estudio.

2.1 OBJETO DE CONOCIMIENTO

El objeto de conocimiento de la biomecánica son : las acciones motoras del hombre como sistema de movimientos activos y las posiciones de su cuerpo estrechamente relacionadas entre sí .

La biomecánica surgió y se desarrolla como la ciencia de los movimientos de los organismos animales, en particular del hombre.

En los organismos animales se mueven no sólo las partes de su cuerpo, los órganos de apoyo y de movimiento, se desplazan también los órganos internos, los líquidos en los vasos y cavidades, el aire en el sistema respiratorio, etc. La biomecánica no ha comenzado aún a estudiar estos procesos mecánicos. Es por eso que, hasta el momento, se acostumbra a considerar sólo los

movimientos del cuerpo como objeto de conocimiento de la biomecánica. En principio, a la biomecánica habría que referir también todas las manifestaciones del movimiento mecánico en los organismos vivos.

Como norma, el hombre no realiza sencillamente movimientos, sino siempre acciones (N. A. Bernshtein); estas acciones conducen a un objetivo conocido, tienen una determinada idea. Es por esto que el hombre las ejecuta activamente, con un objetivo determinado, dirigiéndolas; además, todos los movimientos están estrechamente relacionados, están agrupados en sistemas.

En las acciones del hombre, los movimientos no se ejecutan frecuentemente durante todo el tiempo y no siempre en todas las articulaciones. Unas partes de su cuerpo a veces conservan su posición relativa casi invariable. En la conservación activa de la posición, de la misma forma que en los movimientos activos, participan los músculos. Por consiguiente, el hombre realiza acciones motoras mediante movimientos activos y conserva, si es necesario, la disposición recíproca de unos u otros miembros del cuerpo.

Los sistemas de movimientos activos, así como la conservación de las posturas del cuerpo durante las acciones motoras, será lo que se estudiará en el presente curso de biomecánica.

2.2 CAMPO DE ESTUDIO

El campo de estudio de la biomecánica consiste en las causas mecánicas y biológicas de surgimiento de los movimientos y las particularidades de su ejecución.

Los movimientos de las partes del cuerpo humano son desplazamientos, en el espacio y en el tiempo, que se ejecutan en muchas articulaciones simultánea y consecutivamente. Los movimientos en las articulaciones, por su forma y carácter, son muy variados; dependen de la acción de multitud de fuerzas aplicadas. Todos los movimientos están regularmente agrupados en acciones íntegras organizadas, que el hombre dirige con ayuda de sus músculos. Al tener en cuenta la complejidad de los movimientos

humanos, en biomecánica se investiga tanto su aspecto mecánico como su aspecto biológico, además es obligatorio que ese estudio se realice en una estrecha relación.

Como el hombre ejecuta siempre acciones razonadas, le interesa cómo es posible alcanzar un objetivo, en qué medida resultó fácil y correcta esta ejecución dentro de las condiciones existentes. Para que los resultados sean mejores y sea más fácil obtenerlos, el hombre tiene en cuenta, y aprovecha conscientemente, las condiciones en las cuales debe actuar. Además, aprende a realizar de una forma más perfeccionada los movimientos la biomecánica humana tiene en cuenta estas capacidades, lo que la diferencia esencialmente de la biomecánica de los animales, ya que ninguno de estos últimos las posee. De esta forma, la biomecánica humana estudia la forma y las condiciones de ejecución de una acción y cómo dominar estas acciones.

La biomecánica se divide en: a) general, que investiga las regularidades generales de todos los tipos de acciones motoras; b) aspectos parciales, que estudian las regularidades de los movimientos específicos para los ejercicios físicos (entre ellos los deportivos), de trabajo, de rehabilitación (en este caso, la recuperación de las funciones perdidas o alteradas), etcétera.

TAREAS DE LA BIOMECÁNICA

Las tareas de cada rama del conocimiento determinan su contenido: su teoría y métodos. Se diferencian las tareas generales, que abarcan toda la rama del conocimiento, y las tareas parciales, que son importantes sólo para un determinado conjunto de fenómenos a estudiar .

3.1 TAREA GENERAL DEL ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS

La tarea general del estudio de los movimientos consiste en evaluar la efectividad de la aplicación de las fuerzas, para el logro de un objetivo planteado.

Cualquier estudio de los movimientos está dirigido a ayudar a ejecutarlo de la forma más correcta. Antes de pasar a la

elaboración de las mejores formas de las acciones, es imprescindible evaluar las ya existentes. De aquí surge la tarea general misma de la biomecánica, que consiste en evaluarla efectividad, en las formas de ejecución, de un movimiento estudiado. En este enfoque se compara lo que existe en los movimientos con aquello que se quiere obtener.

La biomecánica investiga, "de qué forma la energía mecánica obtenida de movimiento y tensión, puede tener aplicación de trabajo", escribió el académico A. A. Ujtomski. El efecto de trabajo se mide por la forma en que se emplea la energía durante su realización. Para esto es necesario determinar cuáles son las fuerzas que realizan un trabajo útil, de dónde surgieron, cuándo y dónde fueron aplicadas. Todas estas cuestiones hay que conocerlas también sobre las fuerzas que realizan trabajo nocivo, es decir, que disminuyen la efectividad de las fuerzas útiles. Este estudio ofrece la posibilidad de llegar a conclusiones acerca de cómo elevar la efectividad de las acciones. Esto es sólo la tarea más general. A medida que se vaya solucionando, van a ir surgiendo muchas tareas parciales, que no sólo prevén la evaluación directa de la efectividad, sino también tareas que parten de la tarea general y que están subordinadas a ellas.

3.2 TAREAS PARCIALES DE LA BIOMECÁNICA

Las tareas parciales de la biomecánica consisten: en el estudio de los movimientos del hombre en la actividad motora; en el estudio de los objetos físicos que él ha puesto en movimiento; en el estudio de los resultados de la solución de una tarea motora; y de las condiciones en las cuales esa tarea motora se ha realizado .

En las investigaciones biomecánicas pueden solucionarse una gran cantidad de tareas parciales aisladas, que surgen en relación con las múltiples demandas de la práctica. Estas tareas están provocadas por la necesidad de crear nuevos sistemas de movimientos o, de mejorar los sistemas ya existentes para enseñar los mejores.

El conocimiento de las regularidades del fenómeno da la posibilidad de prever sus consecuencias. Al prever, durante la enseñanza de los movimientos, es posible planificar y, por consiguiendo, elegir fundamentadamente la vía del logro del objetivo y realizar un control confiable del avance en este sentido.

En la actividad motora del hombre se solucionan muchas tareas motoras. Para el logro de los objetivos planteados se emplean muchas formas diferentes de ejecución de las acciones. Durante la solución de una misma tarea, con frecuencia existen diversas variantes de acción. Debido a esto, al estudiar los movimientos humanos, se establecen las particularidades de ejecución de las diferentes formas de la acción. Se aclara el cuadro externo de los movimientos (su forma y carácter); se establece el mecanismo de los movimientos (fuerzas aplicadas que provocan las variaciones de los movimientos humanos y de aquellos objetos físicos que el hombre pone en movimiento). Todos los aspectos estudiados de los movimientos, permiten comprender las regularidades que fundamentan la ejecución de las diferentes formas de los movimientos.

La variedad de las tareas motoras es muy grande. Puede ser necesario ejecutar rápidamente los movimientos, o ejecutarlos con precisión de acuerdo con un modelo dado, ya sea por la manifestación de una mayor fuerza, de una mayor resistencia, etcétera. El resultado de la ejecución de la tarea puede ser determinado con ayuda de los correspondientes índices. Para evaluar la calidad de ejecución de una tarea hay que determinar en qué medida la ejecución real de los movimientos corresponde al resultado exigido. Para esto es necesario estudiar la forma de ejecución de la acción y el resultado de la solución dada a la tarea motora. La comparación de los movimientos con su resultado, permite hallar los movimientos más racionales para la solución de la tarea planteada.

A medida que varían las condiciones en las cuales se ejecutan los movimientos, puede variar también la forma de ejecución de la acción y el resultado de la solución dada a la tarea motora. Es por

eso que resulta muy importante establecer de qué forma la variación de las condiciones de la actividad motora, influye sobre la forma de ejecución del movimiento y sobre su resultado. Las condiciones de la actividad se dividen en externas e internas. A las condiciones externas pertenecen todos los factores relacionados con el medio circundante, en el cual el hombre realiza su actividad. A las condiciones internas de la actividad pertenecen, tanto las más generales (como es el nivel de preparación del aparato de locomoción humano, el nivel de la capacidad de trabajo durante la ejecución de los movimientos, etc.), como las más parciales (la multitud de particularidades de adaptación del organismo para la ejecución de una determinada acción). Al estudiar los movimientos humanos, hay que establecer la dependencia entre estos y las condiciones de ejecución de la acción, hay que poner de manifiesto las condiciones que facilitan una mejor solución de la tarea o que empeoran el resultado de la acción. Además, hay que determinar cuáles son las formas de ejecución de los movimientos que corresponden mejor a las condiciones de acción existentes.

Para la solución de cada una de las tareas parciales señaladas, en la investigación biomecánica se destaca toda una serie de cuestiones mucho más estrechas, que hay que someter a un estudio más detallado. Además, resulta imprescindible estudiar más profundamente, tanto las particularidades de adaptación del aparato locomotor, a una ejecución más perfeccionada de una u otras acciones complejas, como los detalles más sutiles de la forma de ejecución de los movimientos.

4.3 RELACION DE LA BIOMECÁNICA CON OTRAS CIENCIAS

La biomecánica como parte de la biofísica, surgió en relación con el desarrollo de las ciencias físicas y biológicas. En la actualidad los éxitos de esta ciencia, de una u otra forma, se reflejan en el desarrollo de la biomecánica. Por su parte, las ciencias físicas y biológicas pueden enriquecerse con los datos de la biomecánica acerca de la física del mundo animal. El estudio de los

sistemas biomecánicos abre nuevas vías para la comprensión de la estructura anatómica y de las funciones fisiológicas del aparato locomotor. En las investigaciones biomecánicas pueden emplearse métodos de ciencias limítrofes; al mismo tiempo, las investigaciones especiales de los problemas de estas ciencias, pueden realizarse empleando métodos biomecánicos.. Aquí existe evidentemente un enlace doble, que garantiza el enriquecimiento recíproco de la teoría y de los métodos de investigación.

Algo diferente es la interrelación de la biomecánica con las ramas del conocimiento. en las cuales se estudian campos concretos de la actividad motora: con la teoría de la educación física, de la medicina clínica, de la biología cósmica, de la aeronáutica, de la fisiología laboral, etcétera. En estas ramas del conocimiento se emplean conclusiones teóricas y resultados prácticos de las investigaciones biomecánicas. Además. en el transcurso del desarrollo de estas ramas. se plantean problemas que exigen investigaciones empleando métodos biomecánicos, empleando conceptos, leyes de la biomecánica.

EL CUERPO HUMANO COMO SISTEMA BIOMECÁNICO

La estructura y las funciones de los órganos de apoyo y de movimiento se distinguen en el hombre por su gran complejidad. Esto está dado por la gran multitud de posibilidades de posturas y de movimientos del cuerpo. Las particularidades del cuerpo humano, sobre todo del aparato locomotor, dan base para analizar el cuerpo completo y sus partes como sistemas biomecánicos particulares.

Como sistema biomecánico se entiende la agrupación de objetos vivos (por ejemplo, órganos, tejidos), que poseen particularidades generales en la manifestación de las leyes del movimiento mecánico, así como también las particularidades generales de las formas de dirección de estos, la participación de dichos movimientos o inclusive su empleo. Se distinguen Sistemas activos (de todo el cuerpo, del aparato locomotor) y pasivos (de los órganos internos, de los tejidos blandos y de los líquidos).

Un especial interés para el estudio de los movimientos del hombre, lo tiene el sistema biomecánico de su aparato locomotor, que sirve de: a) fuente de energía; b) mecanismo para la transmisión de los esfuerzos; c) objeto del movimiento; d) sistema de dirección.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MOVIMIENTOS HUMANOS

Los movimientos del cuerpo humano, como sistema biomecánico que se distingue por una gran complejidad, no se mantienen constantes en el transcurso de su ejecución, Para poner de manifiesto las leyes de determinados movimientos es necesario aislar , dentro de su complejo sistema, las partes que los componen; describir sus particularidades; establecer la forma en que varían, al estar relacionados entre sí. Con estos objetivos es que se estudian las características de los movimientos humanos .

Las características de los movimientos humanos son sus particularidades o índices, por los cuales los movimientos pueden diferenciarse entre sí.

A las características cualitativas se les describe generalmente sin una medida exacta Las características cuantitativas se miden o se calculan tienen un valor numérico y expresan la relación de una medida con otra (por ejemplo, la velocidad muestra cómo se relaciona el espacio recorrido con el tiempo invertido para ello) , Al estudiar las características cuantitativas, se da una definición (qué cosa es esto) y se establecen las formas de medición (cómo se mide).

Durante el estudio de la cinemática de los movimientos humanos, se determina la geometría (forma espacial) de los movimientos y sus variaciones en el tiempo (carácter); no se analizan ni la naturaleza material, ni los procesos físicos, es decir, las particularidades físicas de los objetos materiales en sus interacciones (masas, fuerzas) Por consiguiente, las características cinemáticas conforman sólo el cuadro externo de los movimientos, pero no ponen de manifiesto las causas de surgimiento , y variación de los movimientos mismos y de sus particularidades.

De esta forma, las características cinemáticas de los movimientos humanos son las particularidades espaciales, temporales y espacio-temporales que los distinguen.

El estudio de la dinámica de los movimientos humanos abarca, además de la medición de los movimientos (cinemática), la determinación de las particularidades físicas de los cuerpos, que se ponen de manifiesto en sus interacciones. La dinámica analiza tanto la medida de interacción de los cuerpos, como la medida de las variaciones del movimiento, que han sido provocadas por esta interacción. En otras palabras, se ponen de manifiesto las causas de las variaciones de los movimientos, su mecanismo (como un conjunto de procesos físicos).

Estas particularidades se manifiestan en la capacidad del cuerpo para la conservación y variación del movimiento propio características inerciales; así como en la acción sobre el movimiento de otros cuerpos: características de fuerza. Por consiguiente: las características dinámicas de los movimientos del hombre, son las particularidades que distinguen sus cadenas biocinemáticas, de los cuerpos externos, en sus interacciones de reposo y movimiento.

CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS

18 SISTEMA DE REFERENCIA DE LA DISTANCIA Y EL TIEMPO

El movimiento de un objeto físico se percibe sólo al comparar las posiciones del objeto con la posición de otro cuerpo (cuerpo de referencia), es decir, como movimiento relativo.

18.1 ELECCIÓN DEL CUERPO DE REFERENCIA

Se denomina cuerpo de referencia a un cuerpo elegido convencionalmente, a partir del cual se calcula la distancia durante el estudio de un movimiento relativo dado.

El movimiento se expresa en la variación de la posición recíproca de los cuerpos durante el transcurso del tiempo. Se le puede observar y calcular sólo con relación a otros cuerpos reales, por

ejemplo, durante el salto de longitud (respecto a la tabla de despegue); o con relación a cuerpos convencionales, por ejemplo, en la arrancada en yatismo (respecto a una línea vertical).

Dependiendo de las condiciones de la tarea se elige uno u otro sistema de referencia. Cuando se calculan las distancias hay que establecer: a) el origen; b) la dirección; c) las unidades de referencia. El sistema de referencia se relaciona con un determinado cuerpo físico de referencia. Es muy importante y conveniente elegir el cuerpo y el origen de referencia.

Para calcular las distancias en un movimiento objeto de estudio, no influiría el movimiento de un cuerpo de referencia no acelerado; pero en la naturaleza, sencillamente, no existen cuerpos que se muevan sin aceleración. Convencionalmente se acostumbra a considerar como cuerpo de referencia "inmóvil", no acelerado (inercial), aquel cuerpo cuya aceleración sea tan pequeña que no se refleje considerablemente en el cálculo de un movimiento observado

Los movimientos anual y diario de la Tierra no se consideran cuando se realizan mediciones en la práctica deportiva, aunque las velocidades con que se mueve la Tierra son considerables; por ejemplo, la velocidad de un punto que se encuentre en la latitud de Moscú, durante la rotación diaria de la Tierra alrededor del eje, será igual a 0,261 km/s. A la tierra ya los cuerpos unidos a ella (como las instalaciones deportivas) se les eligen como cuerpos de referencia prácticamente inerciales. A veces es conveniente, o sencillamente inevitable, elegir cuerpos de referencia ."móviles", es decir , acelerados (no inerciales). Ellos se mueven con aceleraciones tales que influyen considerablemente sobre el cálculo de los movimientos. Así tenemos, que al determinar cuáles son las particularidades de los movimientos de las piernas, en las articulaciones coxofemorales de un gimnasta, durante el péndulo en las anillas, se puede realizar el cálculo con respecto a la cadera, que también se mueve.

De la elección del cuerpo de referencia dependen muchas características del movimiento a estudiar .El carácter de movimiento de todos los cuerpos inerciales de referencia, que se

encuentran en reposo relativo o en movimiento rectilíneo y uniforme, no influye sobre las características a estudiar, al mismo tiempo que el carácter de movimiento de los cuerpos no inerciales de referencia, influye sobre ellas y, además, lo hacen en forma diferente dependiendo de las aceleraciones.

El cuerpo de referencia mismo se analiza convencionalmente como un cuerpo rígido, es decir, que no varía su forma aún cuando se encuentre bajo cualquier tipo de acción.

18.2 ORIGEN Y DIRECCIÓN DE REFERENCIA DE LA DISTANCIA

En el cuerpo de referencia se establece el origen y la dirección para la medición de la distancia.

Los cuerpos físicos, entre ellos también el cuerpo humano, en algunos casos pueden ser analizados como puntos materiales.

Esto es posible si la distancia sobre la cual los cuerpos se desplazan, es considerablemente mayor que sus dimensiones propias y si se pueden desprestigiar los movimientos de rotación del cuerpo, por ejemplo, durante el vuelo del disco siguiendo una trayectoria. Para la determinación, exacta de un resultado deportivo, las reglas de competencia determinan rigurosamente en qué punto (punto de referencia) se realizará el cálculo (a nivel de las fijaciones del esquí, por el punto más sobresaliente de la caja torácica del velocista, por límite posterior de la huella del saltador después de la caída, etcétera).

De esta forma, o todo el cuerpo en movimiento se analiza como un punto material hasta el cual se mide la distancia, o sobre este cuerpo se señalan puntos de referencias. La distancia se mide desde el origen de referencia hasta el punto material. En calidad de punto de referencia se elige un determinado punto del cuerpo del hombre en movimiento. En caso de movimiento de rotación elige una línea de referencia. Existen tres métodos fundamentales para determinar el movimiento de un punto: el natural, el de coordenadas y el vectorial. En el método natural se conoce con anticipación la trayectoria del punto; sobre ella hay que elegir un origen (o) de

referencia (por ejemplo, el punto de control en la distancia). Entonces la posición del punto (digamos, el velocista) en la trayectoria, se determinará por la distancia de este a partir del origen de referencia (coordenada natural). Pero hay que señalar en qué sentido, desde el origen de referencia (signo + o -), está dispuesto el punto en la trayectoria (ver Fig.) 17 a)- La posición del punto sobre la línea se determinará por una cifra con el signo de + o - . El método de coordenadas permite determinar la posición del punto, en el plano y en el espacio. Generalmente se emplean las coordenadas rectangulares.

Desde el origen de coordenadas (o), en el plano se trazan dos ejes de coordenadas perpendiculares: el eje de las abscisas(x) y el eje de las ordenadas (y). En el sistema rectangular de coordenadas en el plano, los sentidos de referencia se distinguen por los signos (ver fig. 17 b). La posición del punto M en este sistema la determinan dos coordenadas: S_x que es la distancia desde el origen de coordenadas hasta la proyección del punto M en el eje de las abscisas (M_x), es decir, la abscisa del punto M (oM_x); S_y , que es la distancia desde el origen de coordenadas hasta la proyección del punto M en el eje de las ordenadas (M_y), es decir, la ordenada del punto M (oM_y). Mediante este mismo método de las coordenadas rectangulares, se determina la posición del punto M en el espacio: para esto se traza el tercer eje, el eje z (ver fig.17c).

FIGURA 1

Fig.17 Métodos para calcular el movimiento de un punto: a- método natural; bcdef. Método de las coordenadas; b- en el plano ; c- en el espacio; d- polares; e- cilíndricas; f- esféricas; g – método vectorial.

La distancia, desde el origen de coordenadas hasta la proyección del punto en los tres ejes $\{M_x, M_y, M_z\}$, está dada por las tres coordenadas lineales: la abscisa (S_x), la ordenada $\{S_y\}$ y la ordenada suplementaria (S_z), que determinan por completo la

posición del punto en el espacio. Es posible también emplearlas coordenadas angulares en el plano; en el sistema de coordenadas polares (ver fig. 17 d); en el espacio, en los sistemas de coordenadas cilíndricas (ver fig. 17 e) y de coordenadas esféricas (ver fig. 17 f).

El método vectorial consiste en establecer la distancia desde el origen de referencia a que se encuentra el punto hasta la dirección del radio vector (r y r_1 en la fig. 17 g)

18.3 UNDADES DE REFERENCIA DE LA DISTANCIA

Dependiendo del método de referencia elegido se establecen las unidades de referencia de la distancia : lineales y angulares.

Unidades lineales. En el presente manual se emplean las unidades métricas: unidad fundamental, el metro; unidad múltiplo de ella, el kilómetro (1 000 m); sus unidades fraccionarias, el centímetro (0,01 m) y el milímetro (0,001 m).

Además de este sistema de unidades tan cómodo, se utiliza el sistema decimal con sus múltiplos y submúltiplos; aún se mantienen en algunos países sistemas poco funcionales y que se utilizan también en el deporte:

1 pulgada = 2,54 cm; 1 pie = 30,48 cm; 1 yarda = 91,44 cm

1 yarda = 3 pies = 36 pulgadas

1 m = 1,094 yardas = 3,28 pies = 39,4 pulgadas.

Unidades angulares. En biomecánica se emplean: a) los grados, minutos y segundos en la medición directa de los ángulos (circunferencia = 360° ; un grado = $60'$; un minuto = $60''$); b) las vueltas, durante la determinación aproximada de los giros (un giro = 360° , un medio giro = 180° , un cuarto de giro = 90° , etc.); c) el radián (para calcular a partir de fórmulas) es el ángulo entre dos radios del círculo, que cortan en la circunferencia un arco, cuya longitud es igual al radio ($1 \text{ rd} = 57^\circ 17'44,8''$; $1^\circ = 0,01745 \text{ rd}$).

18.4 ORIGEN y UNDADES DE REFERENCIA DEL TIEMPO

Además del transcurso del movimiento (en el espacio), hay que medir su duración (en el tiempo). En las condiciones normales, se acostumbra a tomar los orígenes para el cálculo del tiempo (la medianoche y el mediodía); en el transporte y en la técnica de comunicaciones se emplea un origen, el astronómico (la medianoche). En las competencias deportivas, naturalmente, existe un origen general de referencia: puede ser el astronómico o el de arbitraje (cronómetros en cero). En biomecánica, en calidad de origen de referencia del tiempo, se toma el instante de comienzo del movimiento que se estudia.

La unidad de referencia del tiempo es el segundo (que es 1/60 de minuto, o 1/3600 de hora). En el deporte actual se registran también las décimas y centésimas de segundo, y en las investigaciones biomecánicas, además, las milésimas. El transcurso del tiempo, claro está, se analiza partiendo del pasado y hacia el futuro; pero durante el análisis de los movimientos, con frecuencia resulta conveniente realizar el cálculo también en sentido contrario

19 CARACTERÍSTICAS ESPACIALES

Las características espaciales, en su totalidad, determinan la forma espacial de los movimientos del hombre

19.1 COORDENADAS DEL PUNTO, DEL CUERPO y DEL SISTEMA

La coordenada es la medida espacial de la situación de un punto respecto a un sistema de referencia. La posición de un punto, con frecuencia, se determina respecto a sus coordenadas lineales:

S_x, S_y, S_z, . . su fórmula dimensional [s] = L.

Las coordenadas muestran dónde se encuentra el punto estudiado (por ejemplo, un punto de referencia en el cuerpo), respecto al origen de referencia, a qué distancia de él y qué sentido tiene. Para la determinación de la situación de un punto sobre una línea es imprescindible y suficiente una coordenada; para la situación de un punto en el plano, dos coordenadas; en el espacio, tres. Pero para

determinar la situación de cualquier cuerpo rígido en el espacio , esto resulta insuficiente. Es necesario conocer, además, las coordenadas de la situación angular del cuerpo (coordenadas angulares), que determinan su orientación respecto a estos tres ejes: F_x , F_y , F_z .

Aún más compleja es la determinación de la situación del multisegmentario sistema biomecánico (cuerpo humano), que varía su configuración. Aquí ya resulta necesario conocer la situación de cada miembro en el espacio. Con frecuencia se determina la situación del cuerpo por la situación de las proyecciones de los ejes de las articulaciones (puntos de referencia) sobre su superficie .

Se distinguen las posiciones inicial y final, es decir ,la posición a partir de la cual el movimiento comienza, y aquella con la cual finaliza. De la posición inicial (por ejemplo, de arrancada), con frecuencia dependen muchas particularidades del movimiento posterior. La posición final, a la que hay que llegar, también puede influir grandemente sobre la ejecución del movimiento (la caída después de la salida en gimnástica, después del salto de longitud en atletismo, después de liberar el implemento en los lanzamientos). A veces, la posición inicial no desempeña un papel. muy importante (antes de comenzar la carrera de impulso en el salto de altura), en algunos casos la posición final es casi indiferente (después de pasar la pelota en fútbol).

Todos los movimientos pueden representarse como una serie compacta de posiciones intermedias instantáneas (que se sustituyen continuamente). De esta forma se ve el movimiento en los cuadros de la película. Por estas posiciones se puede restablecer aproximadamente el cuadro externo de ejecución del movimiento. Desde el punto de vista de la mecánica: describir el movimiento de un punto es determinar su situación en cualquier instante.

19.2 DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO, DEL CUERPO y DEL SISTEMA

El desplazamiento de un punto es la medida espacial de variación de la posición del punto en un sistema de referencia dado. El

desplazamiento (lineal) se mide por la diferencia de las coordenadas en los instantes inicial y final del movimiento en un mismo sistema de referencia:

$$\Delta s = S_{\text{fin}} - S_{\text{inc}} ; \quad [\ddot{A}S] = L$$

El desplazamiento lineal del punto muestra a qué distancia se encuentra el punto, respecto a la posición inicial, como resultado de un movimiento. El desplazamiento es una magnitud vectorial. Se caracteriza por tener valor numérico (módulo), una dirección y un sentido, es decir , determina la amplitud y la dirección del movimiento. Si después del movimiento el punto regresó a la posición inicial el desplazamiento es iguala a cero. De esta forma, el desplazamiento no es el movimiento mismo, sino sólo su resultado final: la distancia sobre la recta y el sentido desde la posición inicial hasta la posición final.

El desplazamiento del cuerpo se mide de forma diferente en los casos de movimiento de traslación y de movimiento de rotación .

En el movimiento de traslación, cualquier recta que una dos puntos cualesquiera del cuerpo, continuamente estará paralela a sí misma, en este caso, todos los puntos del cuerpo se mueven igualmente, sus velocidades son iguales (ver fig. 18 a). Por consiguiente, el desplazamiento del cuerpo en el movimiento de traslación puede ser determinado por el desplazamiento de cualquiera de sus puntos. Con este objetivo. a cualquier coordenada de posición final del punto, hay que restarle la coordenada correspondiente de la posición inicia

Durante el movimiento de rotación, dos puntos determinados, directamente relacionados con el cuerpo (dentro o fuera de él), se mantendrán inmóviles durante todo el movimiento; en este caso , todos los puntos del cuerpo, excepto los inmóviles, se moverán en arcos de circunferencia cuyos centros estarán sobre una línea inmóvil; el eje de rotación. Las velocidades lineales de los puntos del cuerpo serán proporcionales a sus distancias desde el eje (ver fig. 18 b). Por consiguiente, el desplazamiento del cuerpo durante

el movimiento de rotación, puede medirse por el ángulo de giro, que es la diferencia entre las coordenadas angulares, en un mismo sistema de referencia :

$$\ddot{\alpha} = \ddot{\alpha}_{\text{fin}} - \ddot{\alpha}_{\text{inc}} ; [\ddot{\alpha}] = \text{L}^{\circ}$$

FIGURA 2

Fi8. 18 El desplazamiento en los movimientos: a- de traslación; b- de rotación (orig.). móvil; el eje de rotación.

Desde cualquier punto del cuerpo M trazamos una perpendicular al eje de rotación (ver fig. 18c). Durante la rotación del cuerpo, esta línea (radio de rotación) girará, en el plano de giro, alrededor del eje en un ángulo $\ddot{\alpha}$ (ángulo de giro).

Cualquier movimiento del cuerpo en el espacio puede representarse como la suma geométrica de los movimientos de traslación y de rotación (alrededor del centro de gravedad). Algo más complejo resulta determinar el desplazamiento de un sistema biomecánico, que varía su configuración. En los casos más simples, el movimiento de un sistema biomecánico se analiza el movimiento de un punto material: generalmente de su centro de gravedad (CGC). Entonces se puede seguir el desplazamiento de todo el cuerpo humano "completo", evaluar en gran medida el resultado final de su actividad motora. Pero queda sin aclarar como resultado de cuáles movimientos se alcanzó el desplazamiento del CGC. A veces el desplazamiento del cuerpo se representa en forma de desplazamiento de una línea convencionalmente relacionada con el (línea de referencia). Los logros y las insuficiencias de este método son, fundamentalmente, los mismos que en el caso anterior.

El estudio de los movimientos de los miembros en el cuerpo humano permite analizar de una forma más detallada el

desplazamiento de su cuerpo .En algunos casos, las partes móviles (por ejemplo, todos los huesos del pie, de la mano, del antebrazo, inclusive del tronco) se analizan como un miembro. Aquí ya se puede, en rasgos generales, captar las particularidades de los movimientos, aunque el movimiento recíproco de muchos miembros no se tiene en cuenta y se desprecian sus deformaciones. Sin embargo, aún resulta imposible obtener un cuadro completo de los desplazamientos de todos los elementos sustanciales del cuerpo (incluyendo los órganos internos y los tejidos líquidos) con ayuda de los métodos de investigación existentes. Siempre hay que recurrir a una simplificación más o menos considerable, que es inevitable en cualquier investigación científica.

Los desplazamientos de los diferentes puntos del cuerpo humano se analizan en el espacio tridimensional; se determinan sus desplazamientos lineales respecto al origen de referencia.

Los movimientos de los miembros en las articulaciones, en una gran cantidad de casos, se analizan como de rotación, a la par que se determinan los desplazamientos angulares de los miembros respecto a los límites.

19:3 TRAYECTORIA DEL PUNTO

La trayectoria del punto es la medida espacial del movimiento (representada por la huella del movimiento del punto). Se miden la longitud y la curvatura de la trayectoria y se determina su orientación en el espacio .

El punto en movimiento ocupa una serie de posiciones intermedias que se suceden continuamente; su movimiento forma una línea continua: la trayectoria. Durante el movimiento del punto sus coordenadas varían.

Ellas aumentan o disminuyen y pueden variar su signo. La variación de las coordenadas del punto determina el sentido y la magnitud del desplazamiento.

Cuando la dirección del movimiento es constante la trayectoria tiene una forma de línea recta (movimiento rectilíneo); cuando la dirección es variable, la trayectoria del movimiento es curva (movimiento curvilíneo). La longitud de la trayectoria. (distancia a lo largo de ella), la caracteriza el espacio recorrido por el punto: $[l'] = L$. Durante el movimiento rectilíneo, para un determinado tramo de la trayectoria (línea recta, se mide su longitud l (ver fig. 19a).

Durante el movimiento curvilíneo, el vector desplazamiento (es una cuerda de un tramo de la trayectoria curvilínea) no coincide con la trayectoria (ver fig. 19 b). Un pequeño desplazamiento, en el cual es posible sustituir un pequeño tramo de la trayectoria por su cuerda, con el grado necesario de exactitud, se denomina convencionalmente desplazamiento elemental (ds). **Durante el movimiento curvilíneo, el espacio recorrido por el punto es igual a la suma aritmética de los módulos de sus desplazamientos elementales:**

$l = \sum ds$; el desplazamiento del punto es igual a la suma geométrica de sus desplazamientos elementales..

FIGURA 3

Fig. 19 Trayectoria del movimiento: a- rectilíneo; b- curvilíneo (orig.).

Hay que aclarar bien la diferencia que existe entre espacio y desplazamiento. El desplazamiento puede tener signo $+$ o $-$, es decir, diferente sentido; puede aumentar o disminuir en dependencia de la dirección y del sentido del movimiento del punto. El espacio siempre es una magnitud positiva y con el transcurso del tiempo puede mantenerse invariable o incrementarse. En el movimiento rectilíneo (en un sentido), el espacio coincide con el desplazamiento.

La curvatura de la trayectoria (k) caracteriza la forma del movimiento curvilíneo. Esta es una magnitud inversa al radio de la curvatura de la trayectoria (R), es decir, inversa al radio de un

arco elemental de la circunferencia, que puede sustituirse por el tramo elemental correspondiente de la trayectoria.

FIGURA 4

Por consiguiente, mientras mayor es el radio de este arco, menor será la curvatura de la trayectoria. Para una trayectoria de cualquier forma, hay que determinar también su orientación en el espacio: para una .trayectoria recta, por las coordenadas de los puntos de las posiciones inicial y final; para una trayectoria curva, por las coordenadas de estos dos puntos de la trayectoria y de un tercer punto, que no se encuentra sobre una misma línea recta con los dos anteriores.

Durante el movimiento de traslación del cuerpo, las trayectorias de todos sus puntos son iguales. Por la trayectoria de un punto (por ejemplo, del CGC) se puede estudiar el movimiento del cuerpo .Durante el movimiento de rotación del cuerpo , cada uno de sus puntos tiene su huella en el espacio, aunque los puntos que tengan igual radio tendrán una trayectoria de igual forma. Aquí el movimiento de todo el cuerpo (sólo cuando este movimiento es movimiento de rotación simple), puede estudiarse también, al determinar por la trayectoria de un punto, el ángulo de giro del cuerpo.

Durante el movimiento de un sistema biomecánico hay que determinar la trayectoria de los puntos de sus miembros, así como también la trayectoria de su CGC.

Las trayectorias de los puntos de cada miembro respecto al eje de la articulación, pueden considerarse aproximadamente como arcos de circunferencias. Sin embargo, respecto a los ejes de las articulaciones limítrofes o del sistema de coordenadas rectangulares, relacionado, por ejemplo, con la tierra, las trayectorias de los puntos tienen formas complejas y variadas. Sólo a veces los movimientos de los puntos se realizan en un plano. Casi siempre las trayectorias espaciales (tridimensionales) son curvas.

Ellas, generalmente, son muy complejas para establecer las ecuaciones que describen la ley del movimiento.

De esta forma, todas las características espaciales (coordenadas, desplazamientos y trayectorias), en su conjunto, determinan el comienzo y el final del movimiento, así como su forma en el espacio.

20 CARACTERÍSTICAS TEMPORALES

Las características temporales, conjuntamente con los espacios-temporales, determinan el carácter de los movimientos humanos

20.1 INSTANTE

El instante es la medida temporal de la situación del punto, del cuerpo y del sistema al comienzo, en el transcurso y al final del movimiento. El instante se determina por el intervalo de tiempo transcurrido desde el comienzo de referencia hasta él (situación en el eje del tiempo) :

$$[t] = T^1$$

Al determinar dónde estuvo el punto en el espacio, es imprescindible determinar cuándo estuvo el punto allí .

Es necesario determinar el instante no sólo para el comienzo y el final del movimiento. sino también para otras situaciones instantáneas importantes. En primer lugar, estas situaciones instantáneas importantes son los instantes de variación esencial del movimiento; finaliza una parte (fase) del movimiento y comienza la siguiente (por ejemplo, al separarse del apoyo; este es el instante en que finaliza la fase de despegue y comienza la fase de vuelo).

20.2 DURACIÓN DEL MOVIMIENTO

La duración del movimiento es su medida temporal. Se mide por la diferencia entre los instantes final e inicial del movimiento, en un sistema de referencia invariable:

$$\Delta t = t_{\text{fin}} - t_{\text{inc}} ; [t] = T^1$$

Al responder a la pregunta: ¿cuál es la distancia que se ha recorrido en el espacio durante un movimiento? , es imprescindible aclarar también otra cuestión : ¿qué tiempo empleó para ello? Hay que restar el valor del instante del comienzo del movimiento, del valor del instante del final del mismo. La magnitud obtenida del intervalo de tiempo caracteriza a la duración del movimiento (la duración de una fase del movimiento, la duración de una serie de fases o un período del movimiento, por ejemplo, el período del vuelo). El instante no tiene duración. Sirve de límite de dos intervalos de tiempo limítrofes.

Naturalmente, para determinar la duración del movimiento hay que emplear un mismo comienzo de referencia del tiempo e iguales unidades de referencia. Durante el movimiento pueden existir también detenciones (pausas, intervalos en los movimientos). Hay que medir también la duración de estos.

20.3 TEMPO DE LOS MOVIMIENTOS

El "tempo " de los movimientos es la medida temporal de la repetición de los movimientos. El "tempo" se mide por la cantidad de movimientos que se repiten en la unidad de tiempo:

FIGURA 5

Durante la repetición reiterada de los movimientos, su duración puede ser igual. En estos casos el concepto de "tempo " está caracterizado por el transcurso del movimiento en el tiempo. El "tempo " es una magnitud inversa a la duración de los movimientos: estos conceptos tienen una dependencia inversamente proporcional. En las condiciones prácticas, es más sencillo determinar el "tempo" que la duración. Es más fácil comparar el "tempo" de los movimientos si se toman unidades de tiempo grandes. Por ejemplo, cuando la duración de los pasos de los esquiadores es de 0,55 s y de 0,51 s, la frecuencia de los pasos será de 18,0 y 19,5 en 10 s o lo

que a veces resulta más fácil para los cálculos y comparaciones, de 108 y 117 pasos en un minuto, respectivamente.

El "tempo" de los movimientos puede servir , en casos aislados, como índice del perfeccionamiento del dominio de la técnica. En los deportistas de alta calificación (nadadores, remeros, corredores, etc.), el "tempo" es mayor que en los no calificados; por consiguiente, en los primeros los movimientos aislados son más frecuentes. En el "tempo" de los movimientos puede reflejarse la fatiga: en unos tipos de movimientos se eleva (los pasos se hacen más frecuentes a la vez que disminuye su longitud en la carrera); en otros disminuye (surge una incapacidad para mantener un "tempo" dado, por ejemplo en remos).

20.4 RITMO DE LOS MOVIMIENTOS

El ritmo de los movimientos es la medida temporal de la correlación entre las partes de los movimientos. Se determina por la relación entre los intervalos de tiempo empleados para las correspondientes partes del movimiento.

FIGURA 6

El ritmo se determina por la correlación de dos periodos de tiempo, por ejemplo, de apoyo y vuelo en la carrera; o de la duración de dos fases del período, o sea, la fase de amortiguación y la fase de despegue en el período de apoyo. Se puede hablar también del ritmo de una serie de fases, por ejemplo, la correlación entre las duraciones de las cinco fases del paso del deslizamiento en esquí.

Las fases cuyo ritmo se estudie pueden diferenciarse por la dirección, la velocidad y la aceleración de los movimientos, por la magnitud y dirección de los esfuerzos y por otras características. La correlación entre las duraciones de la fase refleja la correlación de los esfuerzos que la producen. Sin embargo, para la determinación del ritmo de los movimientos es imprescindible medir precisamente el tiempo y no los esfuerzos. El ritmo puede ser constante y variable.

El ritmo puede existir tanto en los movimientos que se repiten (cíclicos) como en los que se producen una sola vez (acíclicos).

Desde el punto de vista de la biomecánica, en cada movimiento existe un ritmo , ya que existen partes de movimientos que se distinguen entre sí y que tienen una duración determinada. lo que en la práctica se denomina movimiento arrítmico, en biomecánica debe evaluarse como ritmo de un movimiento no racional o como la no observación de un ritmo dado.

21 CARACTERÍSTICAS ESPACIO-TEMPORALES

Las características espacio-temporales determinan la variación de la situación y del movimiento del hombre en el tiempo.

21.1 VELOCIDAD DEL PUNTO y DEL CUERPO

La velocidad del punto es la medida espacio-temporal del movimiento. La velocidad determina la rapidez de variación de la situación del punto en el espacio en el transcurso del tiempo La velocidad se mide por la relación entre el vector de desplazamiento elemental (en un sistema de referencia dado) y el elemento de tiempo correspondiente :

FIGURA 7

De esta forma, la velocidad caracteriza tanto la rapidez como la dirección y sentido del movimiento .

Como para el cálculo de la velocidad se toma todo el tiempo del movimiento y el desplazamiento total correspondiente (espacios), entonces se obtiene una velocidad media en un tramo dado del espacio. Esta es la velocidad en cualquier instante y en cualquier punto de la trayectoria cuando el movimiento es constante (rectilíneo y uniforme). Pero en el hombre, por lo general, el movimiento de los puntos del cuerpo es variado (curvilíneo y no uniforme); por eso, el módulo y la dirección de la velocidad varían en el transcurso del movimiento. En este caso el movimiento, en el transcurso de su ejecución, puede ser caracterizado de una forma más exacta por las velocidades instantáneas.

La velocidad instantánea de un punto es la medida de la rapidez de variación de la situación del punto, en un instante dado. Se mide por el límite de la relación entre el vector desplazamiento y el intervalo de tiempo correspondiente (en un sistema de referencia dado), cuando este intervalo tiende a cero:

FIGURA 8

Si a partir de un determinado instante el movimiento se convierte en rectilíneo y uniforme, entonces el punto tendrá una velocidad igual a la instantánea (en un instante dado). En la práctica, el intervalo de tiempo se determina dentro de los límites de exactitud de un aparato de medición. No es necesario disminuir ese intervalo cuando la velocidad instantánea en los dos intervalos de tiempo vecinos no varía.

La velocidad del punto (lineal), como vector, coincide por su dirección con el vector desplazamiento. Esto se ve claramente en el movimiento rectilíneo. En el movimiento curvilíneo, el vector de la velocidad instantánea como límite del desplazamiento elemental (la magnitud es la cuerda, la dirección es la secante), coincide con la tangente en un punto dado de la trayectoria y está dirigido en el sentido del movimiento.

De la misma forma que la situación del cuerpo se determina por la situación de sus puntos, la velocidad del cuerpo se determina por la velocidad de sus puntos. Durante el movimiento de traslación, las velocidades (lineales) de todos los puntos del cuerpo son iguales. Durante el movimiento de rotación, mientras más alejado esté el punto del eje de rotación (mientras mayor sea el radio), mayor será su velocidad lineal. La relación entre las velocidades lineales de todos los puntos en rotación de un cuerpo rígido y sus radios, es la misma. Esta magnitud, velocidad angular (ω), caracteriza la rapidez del movimiento de rotación del cuerpo:

FIGURA 9

De aquí que, la velocidad lineal del punto del cuerpo en rotación sea igual al producto de la velocidad angular por el radio de rotación: $v = \dot{\theta}.r$

La velocidad angular del cuerpo (instantánea) es la medida espacio-temporal de la rapidez de variación de la posición del cuerpo, en el movimiento de rotación. Se mide por el límite de la relación entre el desplazamiento angular del cuerpo (ángulo de giro) y el correspondiente intervalo de tiempo (en el sistema de referencia dado) , cuando este intervalo tiende a cero :

FIGURA 10

De esta forma, la velocidad angular del cuerpo puede ser medida por su desplazamiento angular, así como también por el desplazamiento lineal de cualquiera de sus puntos y por su radio de rotación (radio de la trayectoria en un instante dado). El movimiento compuesto, de un cuerpo rígido, puede determinarse por la velocidad lineal del CGC y por la velocidad angular de la rotación del cuerpo alrededor de un eje que atraviesa su CGC.

La velocidad angular de un sistema no deformable de cuerpos se determina y se mide de la misma forma que la de un cuerpo rígido. Pero el hombre, al variar la postura, es un sistema biomecánico, que varía su configuración; en estas condiciones, la determinación de las velocidades de los movimientos de rotación y su medición es muy difícil (ver capítulo VIII, epígrafe 54) D. D.Donskoi. Como consecuencia del carácter de rotación de los movimientos de los miembros en las articulaciones, la dirección de las velocidades de los puntos siempre es variable. Gracias a la tracción de los músculos sinergistas y antagonistas, bajo la acción de multitud de otras fuerzas, los módulos de las velocidades lineales de los puntos y de las velocidades angulares de los miembros, casi nunca son constantes. De esta forma las velocidades de los miembros varían continuamente tanto por su dirección, como (casi siempre) por su módulo.

21.2 ACELERACIÓN DEL PUNTO y DEL CUERPO

La aceleración del punto es la medida espacio-temporal de la variación del movimiento. Caracteriza la rapidez y el sentido de variación del vector velocidad del punto, en un instante dado. La aceleración se mide por el límite de la relación entre la variación de la velocidad y el intervalo de tiempo correspondiente (en un sistema de referencia dado), cuando este intervalo tiende a cero:

FIGURA 11

La velocidad del punto como vector puede variar por su módulo, por su dirección y sentido o simultáneamente por ambos. A partir de aquí, se distinguen las aceleraciones del punto: a) positiva, que tiene igual sentido que la velocidad, la velocidad se incrementa; b) negativa, que tiene un sentido contrario al sentido de la velocidad, la velocidad decrece; c) normal, su dirección es perpendicular a la dirección de la velocidad, el vector velocidad varía sólo en dirección, sin variar su magnitud (movimiento curvilíneo).

Durante el movimiento de traslación, la aceleración lineal del cuerpo es igual a la aceleración de cualquiera de sus puntos .

Durante el movimiento de rotación, las aceleraciones positivas y negativas, dirigidas tangencialmente, se denominan tangenciales, y las que están dirigidas por el radio se denominan radiales o normales. Cada una de estas aceleraciones puede ponerse de manifiesto independientemente. La combinación de la aceleración tangencial con la aceleración normal existe cuando hay una variación simultánea, tanto del módulo como de la dirección de la velocidad. La suma vectorial de las aceleraciones normal y tangencial determina la aceleración total.

Durante el movimiento de rotación la aceleración angular del cuerpo caracteriza la variación de la velocidad de rotación.

La aceleración angular es la medida de la variación de la velocidad del movimiento de rotación del cuerpo , en un instante dado. La aceleración angular se determina como el límite de la relación entre la variación de la velocidad angular y el intervalo de

tiempo correspondiente, en un sistema de referencia dado , cuando este intervalo tiende a cero:

FIGURA 12

La aceleración angular puede ser positiva (aumento de la rotación), o negativa (retardamiento de la rotación) En un cuerpo rígido en rotación, las relaciones entre las aceleraciones lineales de los puntos y sus radios de rotación (distancia desde el eje) son iguales; ellas son iguales, a la aceleración angular del cuerpo :

FIGURA 13

La aceleración lineal del punto de un cuerpo en rotación, es igual al producto de la aceleración angular por el radio de rotación",

FIGURA 14

(cuando se mide en radianes); $[a]=L'T^1$

En el movimiento complejo del cuerpo (simultáneamente de traslación y de rotación.), las variaciones de la velocidad se miden por la aceleración lineal del CGC y por la aceleración angular del cuerpo con respecto a su CGC.

La determinación de las aceleraciones angulares de un sistema biomecánico es aún más difícil que la determinación de las velocidades angulares.

De esta forma, la aceleración caracteriza la inconstancia de la velocidad.

Las velocidades de los puntos de los miembros del cuerpo humano, varían tanto por su módulo como por su dirección. Es decir , siempre existen aceleraciones normales y casi siempre aceleraciones tangenciales (positivas y negativas) No existen movimientos del cuerpo humano sin aceleraciones, pero las aceleraciones a veces pueden ser tan pequeñas que prácticamente no tendrán importancia.

Las particularidades cinemáticas en los movimientos del hombre como sistema biomecánico, son mucho más complejas que las particularidades de los movimientos en un cuerpo rígido. Esto depende tanto de causas mecánicas como de factores biológicos: la actividad muscular .

22.1 MOVIMIENTO COMPUESTO y SUS COMPONENTES

En biomecánica resulta cómodo diferenciar convencionalmente: a.) el movimiento compuesto como resultado del movimiento de varios cuerpos unidos entre sí; b) el movimiento complejo de un cuerpo (simultáneamente de traslación y de rotación).

Anteriormente hablamos de que el movimiento complejo de un cuerpo rígido en el espacio puede representarse como el resultado de la composición de dos movimientos simples: de traslación y de rotación. En este caso se combinan dos movimientos de un cuerpo .

El cuerpo humano es un sistema variable, por eso, en su actividad motora tiene lugar también la composición de movimientos de diferentes miembros. Por ejemplo, durante la impulsión de la bala, el movimiento de la mano del atleta con respecto a la tierra e, el resultado de la composición de multitud de movimientos de los miembros de las piernas, del tronco y del brazo, es decir, es un movimiento compuesto.

Citaremos un caso simple cuando en el movimiento compuesto se suman dos movimientos de traslación; por ejemplo, sobre raíles se desliza un vagón, sobre el vagón se desliza una masa. Este movimiento de la masa respecto al vagón (cuerpo no inercial de referencia) se denomina en mecánica movimiento relativo; se le calcula en un sistema no inercial de coordenadas relacionado con el vagón. El movimiento del vagón con respecto a los raíles (cuerpo inercial de referencia) se denomina arrastre. El movimiento de la masa respecto a los raíles (sistema fundamental, es decir , inercial de referencia) se denomina resultante o compuesto.

FIGURA 14.1 HAY QUE BUSCARLA.

En la figura 20 a se ve claramente que el desplazamiento resultante (S_{res}) es igual a la suma del movimiento de arrastre ($S_{arr.}$) y relativo (S_{rel}). En el caso de la composición de dos movimientos de traslación, dirigidos en ángulo uno al otro, se tendrá una composición geométrica de los desplazamientos, según la regla del paralelogramo.

De esta forma, en el caso simple existe un cuerpo fundamental de referencia (la tierra), un cuerpo móvil de referencia (el vagón), un cuerpo en movimiento con un desplazamiento resultante (la masa sobre el vagón); en total son tres cuerpos, de los cuales dos se mueven.

Como es sabido, en las cadenas cinemáticas del cuerpo humano existen más de doscientos cuerpos móviles (los huesos) ; inclusive si se les lleva a los catorce miembros de un esquema simplificado del cuerpo, veremos que es mucho más complejo que el caso simple, analizado aquí, de movimiento compuesto de dos cuerpos respecto a un tercero.

Si el movimiento compuesto está formado por movimientos de rotación, las dificultades de determinación de los desplazamientos y de las trayectorias de miembros del cuerpo, así como de los diferentes puntos, es aún mayor. Debido al carácter variable de las particularidades de los sistemas biomecánicos, la cinemática de los movimientos humanos es mucho más compleja que la cinemática de las instalaciones mecánicas, inclusive de aquellas que tienen cuerpos rígidos y cuerpos elásticos. Por eso , la determinación de los movimientos compuestos del hombre, por los métodos de cálculo, casi nunca se realiza. La determinación de las trayectorias de los puntos del cuerpo humano se realiza, generalmente, mediante su registro directo, es decir , por vía experimental.

22.2 COMPOSICIÓN DE LAS VELOCIDADES Y ACERACIONESCIONES EN EL MOVIMIENTO COMPUESTO

La velocidad angular resultante de dos movimientos de rotación (de arrastre y relativo) alrededor de ejes paralelos es igual a su

suma, si las rotaciones están dirigidas en un sentido, e igual a su diferencia, si los sentidos son opuestos.

En otras palabras, aquí tiene lugar una suma algebraica. La velocidad angular resultante es mayor cuando las velocidades angulares componentes están dirigidas en un sentido. El movimiento en sentido contrario, en alguna articulación, disminuye la velocidad del miembro final (tanto lineal como angular).

La aceleración resultante de este movimiento compuesto, en el cual el movimiento de arrastre es de rotación, es igual a la suma de tres aceleraciones: de arrastre, relativa y de Coriolis:

FIGURA 16

La magnitud de la aceleración de Coriolis es la siguiente:.

FIGURA 17

La composición de las velocidades y de las aceleraciones se produce de una forma más compleja .si el movimiento de arrastre es de rotación, y el movimiento relativo es de traslación.

Comparemos dos casos: a) movimiento de arrastre de traslación, de una lámina con una velocidad FIGURA 18 y un movimiento relativo, también de traslación, de una masa sobre la lámina con una velocidad FIGURA 19(ver fig. 20b); las aceleraciones en estos dos movimientos son independientes y la aceleración resultante es igual a su suma; b) movimiento de arrastre de rotación de la lámina alrededor de un eje O, con una velocidad w , y el movimiento relativo de traslación. de la masa por la lámina. con una velocidad FIGURA 19 (ver fig. 20 c) .

Analicemos el segundo caso más detalladamente.

En la posición 2 la masa se desplazó por la lámina una distancia l^2 a partir del eje O, el doble que en la posición 1 (l_1).

La velocidad lineal de su movimiento de arrastre de rotación. es ahora dos veces mayor: FIGURA 15.1 Como $l_2 = 2l_1$ entonces FIGURA 20. Este aumento de la velocidad de rotación (de arrastre) depende de la V_{rel} y de w ; o sea. de lo rápido que la masa se

desplace a lo largo de la lámina y de lo lo rápido que gire la lámina misma.

Notemos ahora que el vector v_{rel} de la masa giró también en el sentido de la rotación de la lámina. Esta velocidad de giro del vector de velocidad relativa, depende de w . En otras palabras, se producen dos variaciones de la velocidad: a) del módulo de v_{arr} ; b) de la dirección de v_{rel} . Vemos que existen dos causas para esta aceleración suplementaria que es como si hiciera girar el vector v_{rel} en el sentido de la rotación de arrastre. A esta aceleración suplementaria se le denomina aceleración de Coriolis.

Vamos a determinar el sentido de la aceleración de Coriolis. Cuando se aleja el cuerpo sobre el radio desde el eje de rotación de arrastre, la aceleración de Coriolis está dirigida en el sentido de la rotación (ver fig. 21 a, b); cuando se acerca el cuerpo al eje de rotación, esta aceleración está dirigida en sentido contrario a la rotación (ver fig. 21 c. d).

En otras palabras. cuando se acerca el cuerpo al eje de rotación, la aceleración de Coriolis es negativa, cuando se aleja el cuerpo del eje de rotación. es positiva (respecto a la velocidad de rotación).

FIGURA 21

Fig. 21 Aceleración de Coriolis (a_{Cor}): cuando las direcciones de las velocidades de arrastre y relativa son diferentes.

22.3 VARIACIÓN DE LAS VELOCIDADES EN LOS MOVIMIENTOS HUMANOS .

El carácter de rotación-retroceso(y a veces de traslación-retroceso), y el carácter circular de los movimientos de los miembros del cuerpo humano, se basan en las variaciones del sentido y en la composición de las velocidades de los movimientos de los miembros.

Durante los movimientos de los miembros en las articulaciones el movimiento de cada miembro puede analizarse aproximadamente como un movimiento de rotación. Por consiguiente, las trayectorias

de los puntos de los miembros serán curvilíneas y las velocidades variarán su dirección. Gracias a la composición de los movimientos de los miembros en un movimiento compuesto, las trayectorias de los puntos de trabajo pueden tener una forma espacial muy variada. Las variaciones de las velocidades resultantes de los puntos de trabajo también pueden ser muy variada.

En ninguna articulación del hombre y de los animales es posible un movimiento de rotación completo. En todas las articulaciones mono y biaxiales son posibles movimientos alrededor de los ejes dentro de los límites, generalmente, de alrededor de la mitad de una circunferencia. Como consecuencia de esto, los movimientos en las articulaciones tienen un carácter de rotación-retroceso (con variación del sentido). En la mayoría de los casos, estos son movimientos de tipo oscilatorio. Como resultado de un par de rotaciones, con velocidades angulares de igual magnitud pero de sentido contrario (por ejemplo, extensión en la articulación del codo y flexión en la articulación del hombro), surge un movimiento de traslación del miembro o de varios miembros (por ejemplo, movimiento del antebrazo y de la mano al frente); pero este movimiento también está limitado por los ligamentos en las articulaciones y, por eso, tiene un carácter de traslación-retroceso (con cambio del sentido). Es necesario subrayar que el movimiento es de traslación respecto a todo el cuerpo; pero en las correspondientes articulaciones sigue siendo un movimiento de rotación-retroceso.

En las articulaciones esferoides (del hombro, coxofemoral) es posible el movimiento circular (circunducción) sin movimiento de retroceso. En mecánica, este movimiento se analiza como una serie de giros elementales sucesivos alrededor de multitud de ejes de rotación, que atraviesan la articulación. El eje instantáneo varía continuamente su dirección. las velocidades y aceleraciones angulares instantáneas también varían continuamente. De esta forma, el movimiento circular es un movimiento complejo que consta de dos rotaciones.

De la multitud posible de trayectorias, en el proceso de la evolución y de la elección consciente, se han fijado en la práctica sólo algunas de las posibles combinaciones. Estos son los movimientos más racionales, tanto respecto al logro de un objetivo; como por la economía de aprovechamiento de las posibilidades. En los movimientos deportivos se seleccionan y se fijan los más efectivos. Por eso aquí, las trayectorias de los puntos de trabajo y las velocidades de los movimientos que las determinan, tienen establecido un carácter mucho más riguroso que, por ejemplo, en los movimientos cotidianos.

CARACTERÍSTICAS DINAMICAS

23 CARACTERÍSTICAS INERCIALES

23.1 CONCEPTO DE INERCIA

La inercia es la propiedad de los cuerpos físicos que se pone de manifiesto en la conservación del movimiento, así como también en la variación de este bajo la acción de fuerzas.

El cuerpo físico, al interactuar con otros cuerpos, puede variar su movimiento. Si no existe ninguna interacción con otros cuerpos, entonces no hay fuerzas aplicadas al cuerpo y su movimiento no varía (en un sistema inercial de referencia). Conservar "el estado de reposo o de movimiento rectilíneo y uniforme " (primera ley de Newton) significa conservar invariable la magnitud y la dirección de la velocidad (en un caso particular es igual a cero :en el estado de reposo).

La aceleración (como medida de la variación de la velocidad) surge sólo cuando actúan otros cuerpos, cuando están aplicadas fuerzas. En la naturaleza es imposible el movimiento sin la acción de otros cuerpos, así aparece la propiedad de conservación del movimiento como la propiedad de variar el movimiento (aceleración) sólo bajo la acción de una fuerza; esta variación es gradual y diferente para los diferentes cuerpos.

Por ejemplo, un implemento al ser soltado por el lanzador, continúa el vuelo "por inercia", o sea, su movimiento se mantiene.

Pero como resultado de la resistencia del aire y de la atracción terrestre, el movimiento varía: el implemento cae y no vuela de una forma uniforme y rectilínea en el espacio.

La inercia caracteriza determinados rasgos de la conducta de los cuerpos; muestra cómo se conserva el movimiento, cómo este movimiento varía bajo la acción de fuerzas: más rápido o más lentamente.

La ley de la inercia descubierta por Galileo y formulada por Newton, describe la propiedad de un punto material y de cuerpos que se mueven con un movimiento de traslación. Esta ley es aplicable también, en esencia, a los cuerpos que se mueven con un movimiento de rotación.

Los sistemas biomecánicos también se someten a esta ley. No es necesaria la acción de otros cuerpos externos para que varíe el movimiento de rotación de un sistema de cuerpos en determinadas condiciones (sin apoyo); sin embargo, la ley de la inercia aquí tampoco se altera.

23.2 MASA DEL CUERPO

La masa es la medida de la inercia del cuerpo durante el movimiento de traslación. Durante el movimiento de un punto material y el movimiento de traslación de un cuerpo o de un sistema de cuerpos, la masa se mide por la relación que existe entre la magnitud de la fuerza aplicada y la magnitud de la aceleración provocada por ella:

FIGURA 22

La medición de masa, en este caso, se basa en la segunda ley de Newton. Aquí la masa es el coeficiente de la proporcionalidad entre la fuerza y la aceleración.

Si a un mismo cuerpo se le aplican diferentes fuerzas, entonces las variaciones de su movimiento serán diferentes también. La relación entre la fuerza y la aceleración que provoca en cada caso, es constante, es igual a su masa: $F = m a$ Si a cuerpos con diferentes

masas se le aplican iguales fuerzas, entonces las aceleraciones serán diferentes: el cuerpo con mayor masa tendrá menor aceleración, y viceversa. La masa del cuerpo (a velocidades considerablemente menores que la velocidad de la luz), durante el movimiento, no varía, sino que sirve como medida de la inercia. De esta forma, expresiones tales como "acumular inercia", "disminuir la inercia" no tienen ningún sentido. Hay que hablar en tales casos sobre energía cinética: se puede "acumular", "disminuir", la velocidad o la energía cinética que dependen de esta, pero no la inercia.

Para solucionar una serie de tareas resulta insuficiente conocer cuál es la magnitud de la masa del cuerpo; hay que tener en cuenta cómo están distribuidas en el cuerpo las partículas materiales que poseen las masas. Esto se caracteriza parcialmente los conceptos de centro de masa, o de centro de gravedad.

23.3 MOMENTO DE INERCIA DEL CUERPO.

El momento de inercia es la medida de la inercia del cuerpo respecto al eje (real o imaginario), durante el movimiento de rotación alrededor de este eje. El momento de inercia es cuantitativamente igual a la suma de los momentos de inercia de las partículas del cuerpo: a los productos de las masas de las partículas por los cuadrados de sus distancias a partir del eje de rotación:

$$I = \sum mr^2; [I] = M^1 L^2.$$

El concepto de momento de inercia de un cuerpo es posible deducirlo, por ejemplo, a partir de la segunda ley de Newton. En el movimiento rectilíneo, la aceleración lineal (a) de la partícula material está provocada por la fuerza (F): $F = ma$.

En el movimiento de una partícula material sobre una circunferencia, alrededor de un eje z , la aceleración angular está provocada por el momento de la fuerza F , aplicada a una distancia r del eje de rotación ($M_z(F) = Fr$). Multipliquemos ambas partes de

la ecuación por el radio de rotación r con respecto al eje z (ver fig. 22a): $Fr = mar$.

Pero la aceleración lineal (a) se relaciona con la angular (\acute{a}) por $a = \acute{a} r$, sustituyendo en la expresión anterior obtendremos: $Fr = m \acute{a} r^2$.

Como resultado de las transformaciones, la ecuación fundamental de la dinámica para el movimiento de rotación, con relación a un eje dado, tendrá la forma: **FIGURA 23**

á donde $I_z = m.r^2$ es el momento de inercia de la partícula material respecto al eje z .

. Comparemos esta ecuación con la ecuación $F = ma$. En la parte izquierda de ambas ecuaciones está la fuerza y el momento de fuerza. Ellas provocan la aceleración lineal o angular. y como medida de la inercia sirve en el primer caso la masa (m), y en el segundo el momento de inercia respecto al eje (I_z).

FIGURA 24

Cuando las partículas del cuerpo se encuentran más alejadas del eje de rotación, entonces la aceleración angular del cuerpo, bajo la acción de un mismo momento de la fuerza, es menor; si las partículas están más cerca del eje; entonces la aceleración angular es mayor; es decir, si se acerca el cuerpo (completamente o algunas partes) al eje, es más fácil provocar la aceleración angular, es más fácil acelerar al cuerpo durante la rotación, y es más fácil también detenerlo. Esto se aprovecha durante los movimientos alrededor de un eje.

En un cuerpo de forma geoméricamente regular, con distribución homogénea de la sustancia, se puede calcular el momento de inercia respecto a ejes centrales (I_c), es decir, respecto a los ejes que atraviesan el centro gravedad; entonces, por el teorema de Huygens se puede calcular también el momento de inercia con relación a cualquier otro eje (I_z), paralelo al central y

que pase a una distancia conocida del centro de gravedad (d); $I_z = I_c + md^2$

El momento de inercia del cuerpo respecto al eje dado (I_z), es igual ; suma del momento de inercia del cuerpo con relación al eje trazado, a través del centro de masa del cuerpo , paralelamente al eje dado (I_c) , y del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de la distancia entre los ejes.

En los cuerpos de forma irregular y de composición heterogénea, y más aún en los sistemas complejos de cuerpos de configuración variable, es imposible calcular con exactitud los momentos de inercia. Estos, en este caso, se determinan por vía experimental o empleando algunos cálculos aproximados.

Al haber hallado por vía experimental el momento de inercia del cuerpo, se puede calcular el radio de inercia (R_{in}). en cuya magnitud se refleja la distribución de las partículas en el cuerpo con relación al eje dado.

El radio de inercia es la medida comparativa de la inercia de un cuerpo dado, respecto a sus diferentes ejes. Se mide por la raíz cuadrada de la relación entre el momento de inercia , respecto a un eje dado, y la masa del cuerpo :

FIGURA 25

Este es el radio de un aro imaginario, o de un cilindro circular hueco, formado por la rotación alrededor de un eje dado, que posee la misma masa y el mismo momento de inercia, respecto a este eje, que el cuerpo estudiado. El radio de inercia resulta poco útil para comparar la inercia de diferentes cuerpos. Pero muestra bien los diferentes momentos de inercia con relación a diferentes ejes en un mismo cuerpo, lo que es importante durante la investigación de los movimientos humanos.

En biomecánica no siempre es lo suficientemente exacta la determinación cuantitativa de los momentos de inercia; pero es

imprescindible tener en cuenta esta característica para comprender los fundamentos físicos de los movimientos humanos.

24 CARACTERÍSTICAS DE FUERZA

24.1 FUERZA

La fuerza es la medida de la acción mecánica de un cuerpo sobre otro. Numéricamente se determina mediante el producto de la masa del cuerpo por su aceleración, provocada por la aplicación de esta fuerza:

$$F = ma, [F] = M^1L^1T^{-2}$$

De esta forma, la medición de la fuerza, lo mismo que la medición de la masa, está basada en la segunda ley de Newton. Como esta ley pone de manifiesto las dependencias en el movimiento de traslación, también la fuerza como vector se determina por su masa y su aceleración, sólo en el caso de este movimiento.

Fuentes de las fuerzas. Ya se ha señalado que la aceleración depende del sistema de referencia. Es por eso también que la fuerza, determinada por la aceleración, dependerá del sistema de referencia. En un sistema inercial de referencia, la fuente de fuerza para un cuerpo dado siempre será otro cuerpo material. Por muy breve que sea la interacción de dos objetos materiales, en estas condiciones se pondrá de manifiesto la tercera ley de Newton.

Si sobre un cuerpo actúa otro cuerpo, entonces este hará variar el movimiento del primero. Pero también el primer cuerpo, durante esta interacción, hará variar el movimiento del segundo. Ambas fuerzas están aplicadas a diferentes objetos; cada una de ellas pondrá de manifiesto el efecto correspondiente. Estas fuerzas no pueden ser sustituidas por una resultante, ya que están aplicadas a diferentes objetos. Es precisamente por esto que no se equilibran entre sí.

En un sistema no inercial de referencia se analizan, además de las interacciones de dos cuerpos, las fuerzas de inercia, "ficticias", para las cuales la tercera ley de Newton no es aplicable.

Medición de fuerzas. Se emplea una medición estática de la fuerza, es decir, una medición con ayuda de una fuerza equilibrante (cuando la aceleración es igual a cero), y una medición dinámica, a partir de la aceleración comunicada al cuerpo debido a su aplicación.

Durante la acción estática de una fuerza sobre un cuerpo dado (M) actúan dos cuerpos (A y B); en total existen tres objetos materiales (ver fig. 23 a). Las fuerzas F_A y F_B aplicadas al cuerpo M, de igual magnitud y de sentido contrario, se equilibran recíprocamente. Su resultante es igual a cero. La aceleración provocada por ellas, también es igual a cero. La velocidad no varía (se mantiene constante: movimiento uniforme o inmovilidad relativa).

La fuerza F_A que actúa estáticamente, puede medirse por la fuerza F_B que la equilibra.

Bajo la acción de las fuerzas F_A y F_B el cuerpo M se deforma: estas fuerzas presionan al cuerpo, la distancia entre los puntos del cuerpo varía. Como vemos en la figura 23 a, a cada una de las fuerzas F_A y F_B corresponde una fuerza de reacción igual y dirigida en sentido contrario (reacciones R_A y R_B).

Durante la acción de dos cuerpos sobre un tercero, tienen lugar dos interacciones, es decir, actúan cuatro fuerzas. Se equilibran mutuamente no F_A y R_A , no F_B y R_B , sino F_A y F_B .

Analícemos tres casos de manifestación de la acción estática de una fuerza (ver fig. 23 b, c, d): a) todos los cuerpos están inmóviles (el gimnasta en suspensión en la barra fija), la reacción de apoyo (R) equilibra la fuerza de gravedad del cuerpo (P); b) un cuerpo equilibrado se mueve perpendicularmente a la fuerza de gravedad equilibrada (el patinador se desliza sobre el hielo), la reacción de apoyo (R) equilibra la fuerza de gravedad del cuerpo (P), esta última no influye directamente sobre la velocidad de deslizamiento; c) el cuerpo equilibrado se mueve, por inercia, en el sentido de la acción de la fuerza equilibrada (S) (el esquiador se desliza con una velocidad constante por una superficie inclinada), las fuerzas de resistencia, del aire y de fricción de los esquís sobre la nieve (Q),

equilibran la componente (S) de la fuerza de gravedad (P). En los tres casos, independientemente del estado de reposo o de la dirección de movimiento del cuerpo, la fuerza equilibrada no hace variar el movimiento; las velocidades son constantes en el sentido de su acción.

FIGURA 26

Fig. 23 Acción estática de una fuerza: a- equilibrio del cuerpo M; b, c y d- equilibrio de la fuerza P. b en reposo, y c y d- en movimiento (orig.).

Hay que subrayar que, en todos los casos, la acción estática de la fuerza provoca la deformación del cuerpo .

Durante la acción dinámica de la fuerza sobre un cuerpo dado M, actúa una fuerza no equilibrada. En los problemas de mecánica teórica, con frecuencia se analiza sólo esta fuerza motriz, como medida de la acción de un cuerpo en movimiento .

La fuerza motriz es la fuerza que coincide con el sentido del movimiento, o que forma ángulo agudo con este y, por eso, puede realizar un trabajo positivo (aumentar la energía del cuerpo).

Sin embargo, en las condiciones reales de los movimientos humanos, siempre existe el medio (aire o agua), y actúan el apoyo y otros cuerpos externos (implementos, instalaciones, compañeros, adversarios, etc.). Todos ellos pueden ejercer una acción de frenaje; además, no existe ningún movimiento real sin participación de las fuerzas de frenaje.

La fuerza de frenaje está dirigida en sentido contrario al sentido del movimiento (opuesta), o forma ángulo obtuso con este. Puede realizar un trabajo negativo (disminuir la energía del cuerpo)

FIGURA 27

Fig..24 Acción dinámica de la fuerza acelerante F_{ace}

En la figura 24 está representado un cuerpo (M) y otros dos cuerpos (A y B), que son las fuentes de la fuerza motriz (F_m) y de frenaje (F_f) La. parte de la fuerza motriz que es igual en magnitud la de frenaje (F_f), equilibra esta última; he aquí la .fuerza equilibrante (F_{eq}).

El exceso de a fuerza motriz, en comparación con fuerza de frenaje, es la fuerza aceleratriz (F_{ace}), que provoca la aceleración del cuerpo de masa m , de acuerdo con la segunda ley de Newton ($F_{ace} = ma$).

Por consiguiente, la velocidad no se mantiene constante, sino que varía, es decir ,surge una aceleración. En esto consiste la acción dinámica de la fuerza F_{ace} .

La fuerza F_{ace} , que actúa dinámicamente, puede ser medida por la masa y por la aceleración del cuerpo.

Además, el cuerpo se deforma bajo la acción de dos cuerpos (de la misma forma que cuando se equilibran las fuerzas). Como siempre existe una fuerza de frenaje aquí hay no menos de tres cuerpos.

Analícemos tres casos de manifestación de la acción dinámica de una fuerza:

...Acción aceleratriz de una fuerza: la fuerza motriz analizada está dirigida en el sentido del movimiento y es mayor que la de frenaje ; el "exceso " de la primera fuerza aceleratriz, aumenta la velocidad (ver Fig. 25 a).

*... Acción retardatriz de una fuerza: la fuerza analizada (de frenaje) está dirigida en sentido opuesto al movimiento y es mayor que la motriz ; el "exceso" de la primera, **fuerza retardatriz**, disminuye la velocidad (ver Fig. 25b).*

...Acción de giro de una fuerza: la fuerza analizada está dirigida perpendicularmente a la dirección del movimiento: fuerza

desviadora. Cuando varíe la dirección de la velocidad, contra la fuerza desviadora actuará la fuerza de retorno, que tiene sentido contrario; el exceso de la fuerza desviadora sobre la de retorno es la fuerza de giro, que varía la dirección de la velocidad (ver Fig. 25 c

FIGURA 28

Fig. 25 Acción dinámica de la fuerza: a- aceleratriz; b- retardatriz; c- desviadora (orig.).

A las fuerzas que provocan aceleración (aceleratriz, retardatriz y de giro) las contrarrestan las correspondientes fuerzas de inercia, como una resistencia no equilibrante. Es una resistencia no equilibrante porque la fuerza aceleratriz (acción) no está equilibrada por la fuerza de inercia (reacción). En los primeros dos casos, la dirección de la velocidad no varía, el movimiento se mantiene rectilíneo. En el tercer caso, cuando varía la dirección de la velocidad, el movimiento es curvilíneo, aquí pueden producirse tres variantes. a) las fuerzas motriz y de frenaje son iguales. se equilibran recíprocamente y varía sólo la dirección de la velocidad; b) la fuerza motriz es mayor que la de frenaje, la velocidad se incrementa y varía su dirección; c) la fuerza de frenaje es mayor que la motriz. la velocidad disminuye y varía su dirección.

A las fuerzas motriz y desviadora, que hacen girar el movimiento, siempre se les oponen las fuerzas de frenaje y de retorno. Ellas pueden ser mayores o menores que las fuerzas aplicadas en el sentido del movimiento (motrices), así como también que las fuerzas

desviadoras, o iguales a ellas. De esta correlación dependerá la variación ulterior del movimiento.

La medición de la fuerza a partir de la aceleración provocada, se emplea en el principio de D'Alembert: si en cualquier instante del movimiento, a todas las fuerzas actuantes sobre un punto (o sobre un cuerpo o un sistema de cuerpo), se les añade su fuerza de inercia (fuerza de D'Alembert), entonces la suma será igual a cero.

En realidad, supongamos que sobre una bala actúan dos fuerzas: P y F_p (ver fig. 26); su resultante será la fuerza aceleratriz F_{ace} . Esta fuerza tiene igual magnitud, pero sentido contrario, a la fuerza de inercia ($F_{in.}$). Como fuerza real de reacción, está aplicada (sus componentes) a los cuerpos que sirven como fuentes de las fuerzas P y F . Ahora, imaginariamente, apliquemos la fuerza de inercia (fuerza "ficticia" de D' Alembert) a la bala y tendremos que, según el principio de D'Alembert, la suma geométrica de todas las fuerzas y de la fuerza de inercia es igual a cero. En este caso el cuerpo puede analizarse como si se encontrara en equilibrio, lo que permite solucionar tareas de la dinámica con métodos de la estática.

Este principio se emplea sólo para calcular fuerzas desconocidas y no tiene sentido físico real.

FIGURA 29

Fig.. 26 Fuerza de inercia (según D' Alembert).

Clasificación de las fuerzas: Las fuerzas que se estudian durante el análisis de los movimientos humanos, se dividen en grupos a partir de índices generales.

Por la forma de interacción de los cuerpos, las fuerzas se dividen en: a distancia, que surgen a distancia sin contacto directo entre los cuerpos; en contacto, que surgen sólo cuando los cuerpos están en contacto.

En mecánica, a las fuerzas a distancia pertenecen las fuerzas de la atracción universal, de las cuales en biomecánica se estudian las fuerzas de atracción terrestre, que se ponen de manifiesto en las fuerzas de gravedad. Las fuerzas en contacto incluyen las fuerzas elásticas y las fuerzas de fricción.

Por la influencia que ejercen sobre los movimientos, las fuerzas se dividen en: activas (o aplicadas) y en reacciones de ligadura. Recordemos que las ligaduras son limitaciones del movimiento del objeto, que realizan otros cuerpos. La fuerza con la cual la ligadura se opone al movimiento es la reacción de ligadura. No es conocida con anticipación y depende de la acción que sobre el cuerpo ejerzan otros cuerpos, así como del movimiento mismo del cuerpo.

Por ejemplo, el cuerpo del deportista, con su peso, presiona sobre el apoyo, y, en este caso, el apoyo no le permite al deportista desplazarse en ese sentido, aunque no le impide separarse de él (ligadura unilateral); el gimnasta se agarra con los dedos a la barra, resistiéndose a la separación de ella en cualquier sentido (ligadura bilateral). En ambos casos existe una reacción de apoyo: la fuerza dirigida en sentido contrario a aquel, hacia el cual la ligadura no permite desplazarse.

Las fuerzas activas dependen de: a) la disposición recíproca de los cuerpos (de la distancia entre los cuerpos que se atraen mutuamente); b) las velocidades del movimiento relativo (de la velocidad del movimiento del cuerpo en el agua); c) las propiedades físicas del cuerpo (de la elasticidad de un resorte deformable). Las fuerzas activas no dependen directamente ni de otras fuerzas que actúan sobre el cuerpo, ni de las aceleraciones de los cuerpos a los cuales están aplicadas. Si no existen fuerzas activas ni movimiento relativo de los cuerpos, no existen tampoco reacciones de ligadura. Cuando no existen ligaduras y el cuerpo está libre, las fuerzas activas pueden provocar cualquier desplazamiento de este.

Las reacciones de ligaduras, por sí mismas, no provocan movimientos; sólo contrarrestan las fuerzas activas o las equilibran. Si las reacciones de ligadura no equilibran las fuerzas activas, da comienzo el movimiento bajo la acción de estas últimas.

Si atendemos a la fuente de las fuerzas respecto a un sistema, por ejemplo, el cuerpo humano, las fuerzas se dividen en: externas, provocadas por la acción de cuerpos externos respecto al sistema, e internas, provocadas por las interacciones dentro del sistema. Esta división es imprescindible cuando hay que determinar las posibilidades de acción de unas u otras fuerzas. Una misma fuerza debe ser considerada externa o interna en dependencia del objeto respecto al cual la analizamos.

En mecánica, por la forma de aplicación, las fuerzas se dividen en concentradas, aplicadas al cuerpo en un punto, y distribuidas; estas últimas se dividen en superficiales y de volumen.

De la misma forma que el punto geométrico es un concepto abstracto, las fuerzas concentradas son resultantes imaginarias que, por su acción (con la exactitud que nos satisface), son iguales a las reales.

Al representar las fuerzas como un vector caracterizado por un módulo, una dirección y un punto de aplicación, podemos sustituir multitud de fuerzas reales por una concentrada como equivalente de las mismas.

En los cuerpos reales, las acciones aplicadas a su superficie se transmiten de partícula en partícula a todo el cuerpo. Es por eso que, hablando de una forma más rigurosa, también el concepto de fuerzas superficiales es un concepto abstracto: son reales sólo las fuerzas de volumen. Sin embargo, es conveniente estudiar las fuerzas superficiales (por ejemplo, la resistencia del aire) llevándolas a una concentrada (resultante). Además, las fuerzas de volumen se estudian también como fuerzas concentradas, aplicadas cada una a un elemento de volumen infinitamente pequeño. Por consiguiente, la fuerza concentrada analizada como vector, no es más que una forma de estudio de fuerzas reales de volumen.

FIGURA 30

Fig. 27 Relatividad de las fuerzas externas e internas (según E.K. Zhukov y D.A. Semenov).

Por su carácter, las fuerzas pueden ser constantes o variables. En calidad de ejemplo de fuerza constante, podemos citar la fuerza de gravedad (en un punto dado de la Tierra). Una misma fuerza puede variar en dependencia de varias condiciones. Prácticamente, en los movimientos humanos casi no encontramos fuerzas constantes. Todas las fuerzas son variables. Ellas varían en dependencia del tiempo (el músculo en el transcurso del tiempo varía la fuerza de su tracción) ; de la distancia (en diferentes puntos de la Tierra, inclusive la "fuerza constante" de la gravedad es diferente); de la velocidad (la resistencia del medio depende de la velocidad relativa del cuerpo y del medio).

Como en biomecánica lo más importante es la interacción del cuerpo humano con el medio externo, interacción que provoca los movimientos de las partes del cuerpo, seguidamente vamos a analizar con detalle las fuerzas externas e internas respecto al sistema (cuerpo humano). La interacción de los objetos físicos es la causa fundamental de la variación de los movimientos. Por esto es que, en biomecánica, se le presta una especial atención a la medida de la interacción: la fuerza.

24.2 MOMENTO DE FUERZA

El momento de una fuerza es la medida de la acción mecánica capaz de hacer girar al cuerpo (medida de la acción de rotación de la fuerza) .Se determina numéricamente mediante el producto del módulo de la fuerza por su brazo (distancia desde el centro de momento hasta la línea de acción de la fuerza):

$$M_o (F) =Fd;[M_o(F)] = M^1 L^2 T^{-2}.$$

El momento de una fuerza tiene signo más si la fuerza comunica rotación en sentido contrario al de las agujas del reloj, y menos si su sentido es a favor .

La capacidad de rotación de una fuerza se pone de manifiesto en la creación, variación o suspensión del movimiento de rotación.

El momento polar de una fuerza (momento de la fuerza respecto a un punto) puede ser determinado para cualquier fuerza (F) respecto a este punto (O) (centro de momento) (ver fig. 28a). Si la distancia desde la línea de acción de la fuerza hasta el punto elegido es igual a cero, entonces el momento de la fuerza también será igual a cero. Por consiguiente, la fuerza dispuesta de esta forma no poseerá capacidad de rotación respecto a este centro. La superficie de un rectángulo (Fd) es numéricamente igual al módulo del momento de la fuerza.

FIGURA 31

Fig. 28 Momento de fuerza: a- respecto a un punto (polar); b- respecto a un eje (axial)

Cuando varios momentos de fuerza están aplicados a un cuerpo, se les puede reducir a un momento: el momento principal.

Para la determinación del vector del momento de una fuerza hay que conocer: a) el módulo del momento (producto del módulo de la fuerza por su brazo); b) el plano de giro (atraviesa la línea de acción de la fuerza y el centro de momento); c) el sentido de giro en este plano.

El momento axial de una fuerza (momento de la fuerza respecto a un eje) puede ser determinado para cualquier fuerza excepto para aquella que coincida con el eje, esté paralela él o lo intercepte. En otras palabras, la fuerza y el eje no deben estar sobre un mismo plano.

La fuerza F (ver fig. 28 b) puede ser descompuesta en tres componentes. Las componentes F_z y F_n se encuentran en un mismo

plano con el eje z-z y no tienen momento respecto a este eje. La componente F_T es perpendicular al brazo de la palanca OA. Por eso, el momento de la fuerza F, respecto al eje z-z, es igual al producto de la componente F_T por su brazo OA. El momento es igual también al momento de la proyección de la fuerza F en el plano (x,y) respecto al punto O: $M_z(F) = F_{x,y}d$.

Se emplea la medición estática del momento de una fuerza, si lo equilibra el momento de otra fuerza que se encuentra en el mismo plano y que tiene igual módulo y sentido contrario, respecto a este mismo centro de momento (por ejemplo, durante el equilibrio de una palanca). Los momentos de las fuerzas de gravedad de los miembros respecto a sus articulaciones proximales se denominan momentos estáticos de los miembros.

Se emplea la medición dinámica del momento de una fuerza si se conocen el momento de inercia del cuerpo respecto al eje de rotación y su aceleración angular. De la misma forma que las fuerzas, los momentos de las fuerzas respecto al centro pueden ser motores y de frenaje, y pueden ser también equilibrantes, acelerantes y retardadores. El momento de una fuerza puede ser también desviador: desvía el plano de giro en el espacio.

En el transcurso de todo tipo de aceleración surgen fuerzas de inercia: durante las aceleraciones normales surgen fuerzas centrífugas de inercia; durante las aceleraciones tangenciales (positivas y negativas) surgen fuerzas tangenciales de inercia. La fuerza centrífuga de inercia está dirigida por el radio de rotación y no tiene momento respecto al centro de rotación. La fuerza tangencial de inercia está aplicada en el centro de oscilación del miembro rígido. De esta forma, existe un momento de la fuerza de inercia respecto al eje de rotación.

24.3 ACCIÓN DE UNA FUERZA

La fuerza aplicada a un cuerpo, si no está equilibrada, hace variar su movimiento.

Las medidas de acción de una fuerza pueden ser determinadas: a) al tener en cuenta el intervalo de tiempo de su acción: impulso de la fuerza; b) al tener en cuenta el espacio de su acción: trabajo de una fuerza. Podríamos considerar que ambas medidas se complementan una a otra, con lo que reflejan la acción de la fuerza en el espacio y en el tiempo .

El impulso de una fuerza es la medida de la acción mecánica, que ejercen sobre el cuerpo otros objetos materiales, en un intervalo de tiempo dado. Es igual, en el movimiento de traslación, al producto de la fuerza por el tiempo de su acción :

$$S = F \Delta t; [S] = M^1 L^1 T^{-1}$$

Generalmente, las fuerzas en los movimientos humanos son variables. El impulso de la fuerza variable se considera como la suma de los impulsos elementales de la fuerza en intervalos de tiempo muy pequeños, en el transcurso de los cuales la variación de la fuerza puede despreciarse :

FIGURA 33

donde S es el impulso de la fuerza variable, $F \Delta t$ el impulso elemental de la fuerza.

El trabajo de una fuerza es la medida de la acción mecánica que sobre el cuerpo ejercen otros objetos materiales en un espacio dado. El trabajo de la fuerza es igual, en el movimiento de traslación, al producto del módulo de aquella componente de la fuerza que actúe en el sentido del movimiento, y del módulo del desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza :

FIGURA 32

En el caso en que la fuerza esté dirigida en ángulo al desplazamiento, hay que multiplicar el producto de los módulos de la fuerza y del desplazamiento por el coseno del ángulo entre sus direcciones. El trabajo de la fuerza es positivo cuando este ángulo

es agudo, y por consiguiente, la fuerza acelera el movimiento. El trabajo de la fuerza es negativo si el ángulo es obtuso y la fuerza hace más lento el movimiento. Cuando el ángulo es recto, el coseno es igual a cero y el trabajo es igual a cero: la fuerza no realiza trabajo.

Debido a que la fuerza en los movimientos humanos casi siempre es variable, y el movimiento de su punto de aplicación es curvilíneo, hay que determinar el trabajo de la fuerza como la suma de trabajos elementales de la fuerza. Con este objetivo se toman tramos muy pequeños, que pueden considerarse rectilíneos, en los cuales es permisible no tener en cuenta la variación en módulo y dirección de la fuerza : **FIGURA 34** donde W es el trabajo de fuerza, $F\Delta s$ es el trabajo elemental de la fuerza.

De acuerdo con esto se diferencian medidas de variación del movimiento como resultado de la acción de la fuerza: a) cantidad de movimiento del cuerpo,. b) energía cinética del cuerpo.

La cantidad de movimiento del cuerpo es la medida del movimiento de traslación que caracteriza su capacidad para transmitirse de un cuerpo a otro en forma de movimiento mecánico. La cantidad de movimiento de un cuerpo, durante su movimiento de traslación, por el producto de la masa del cuerpo y su velocidad :

FIGURA 35

La variación de la cantidad de movimiento en un intervalo de tiempo, es igual al impulso total de las fuerzas aplicadas al cuerpo, en este mismo intervalo de tiempo.

Podemos decir que, la cantidad de movimientos del cuerpo es la medida de su capacidad para moverse, en el transcurso de cierto tiempo, contra la acción de la fuerza de frenaje.

La energía cinética del cuerpo es la medida de la acción mecánica que caracteriza su capacidad para convertirse en energía potencial o en otros tipos de energía. La energía cinética del cuerpo es igual,

durante el movimiento de traslación, a la mitad del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de su velocidad:

FIGURA 36

La variación de la energía cinética del cuerpo, en un cierto tramo del desplazamiento, es igual al trabajo de las fuerzas aplicadas en este mismo tramo. Por consiguiente, el trabajo realizado es igual al incremento de la energía cinética.

Podemos decir que, la energía cinética del cuerpo es la medida de su capacidad para recorrer un cierto espacio contra la acción de la fuerza de frenaje.

Ahora veremos cómo actúan las fuerzas y cuál es el efecto que estas provocan en el movimiento de rotación, característico de los miembros del cuerpo humano. Las dependencias entre las medidas de la variación del movimiento y las medidas de la acción de las fuerzas en el movimiento de rotación, son las mismas, por su esencia física, que en el movimiento de traslación.

El impulso del momento de una fuerza caracteriza la acción de la fuerza, y la variación provocada por el en el movimiento se mide por el momento cinético.

El impulso del momento de una fuerza es la medida de la acción mecánica, que otros objetos ejercen sobre el cuerpo (durante el movimiento de rotación) en un intervalo de tiempo dado. El impulso del momento es igual al producto del momento de la fuerza por la duración de su acción:

$$S_z = M_z (F) t; [S_z] = L^2 M^1 T^{-1}$$

En caso de momento variable de una fuerza, se pueden sumar los impulsos elementales de los momentos de las fuerzas respecto a un cierto centro

El momento cinético es la medida del movimiento de rotación que caracteriza su capacidad para transmitirse de un cuerpo a otro en

forma de movimiento mecánico. El momento cinético es igual al producto del momento de inercia, respecto al eje de rotación, por la velocidad angular del cuerpo :

$$J_z = I \dot{\theta} ; [J] = L^2 M^1 T^{-1}$$

Las determinaciones del trabajo del momento de una fuerza y de la energía cinética del movimiento de rotación, son análogas a las determinaciones de estas magnitudes en el movimiento de traslación. Sólo que en lugar de masa , en las ecuaciones entrará momento de inercia, y en lugar de desplazamientos y velocidades lineales, entrarán las angulares. De la misma forma que la velocidad y la aceleración sirven como medidas cinemáticas de la variación del movimiento, vemos que la cantidad de movimiento (así como el momento cinético) y la energía cinética, son las medidas de la variación de la cantidad de movimiento.

Llevemos todas las características analizadas ala tabla siguiente.

FIGURA 37

Para finalizar, anotemos las fórmulas que muestran la dependencia entre la variación del movimiento y la acción de la fuerza:

$$Ft = m (v_f - v_o) ; M_z (F)t = I (\dot{\theta}_f - \dot{\theta}_o)$$

FIGURA 38

Las características dinámicas citadas aúnan en estas fórmulas la acción de la fuerza con la variación del movimiento. Todas estas características se estructuran sobre las características dinámicas fundamentales de m y F, lo que no disminuye su importancia. Por el contrario, precisamente ellas ponen de manifiesto, de forma más concreta y exacta, el mecanismo de los movimientos. Esto es conveniente tenerlo siempre en cuenta ya que, durante el estudio de la técnica, con frecuencia se analizan los movimientos del hombre

de una forma simplificada, limitándose sólo a las características fundamentales y sólo para el movimiento de traslación. Con esto se empobrece el análisis, y la realidad que se refleja está muy lejos de ser suficiente y a veces es errónea.

Hay que subrayar que, aunque en las características de los movimientos de traslación y de rotación existen muchas cosas generales, sus medidas (cinemáticas y dinámicas), todas (excepto las temporales) son diferentes.

25 FUERZAS EXTERNAS RESPECTO AL SISTEMA

Para clasificar a las fuerzas como externas o internas hay que establecer, ante todo, respecto a qué sistema de objetos estas fuerzas serán analizadas. En biomecánica este sistema, claro está, debe ser el cuerpo humano. Pero a veces resulta conveniente ampliar el sistema (por ejemplo, ciclista-bicicleta) o limitarlo (por ejemplo, el cuerpo del clavadista en el agua se analiza como dos sistemas unidos: mitad superior y mitad inferior. Las tracciones musculares, que unen estos sistemas, pueden analizarse como externas a ellos).

Las fuerzas externas, respecto al sistema, son la medida de la acción que los objetos del medio circundante ejercen sobre este.

Las fuerzas externas poseen particularidades cuyo valor es muy importante para la comprensión de la dinámica. Pueden estar imaginariamente aplicadas al centro de gravedad del sistema como fuerzas que varían su movimiento, que pueden variar también su momento cinético, lo que no es posible que realicen las fuerzas internas. En esto consiste la idea fundamental de la división de fuerzas en estos grupos (fuerzas externas e internas).

Dentro de las fuerzas externas, para el cuerpo humano analizaremos: las fuerzas a distancia (gravedad) y las fuerzas en contacto (fuerzas del peso y de la inercia de los cuerpos externos, resistencia del medio, reacciones de apoyo, fricciones y deformación elástica).

25.1 FUERZA DE GRAVEDAD y PESO.

La fuerza de gravedad del cuerpo es la medida de la atracción del cuerpo hacia la Tierra, cuando se tiene en cuenta la disminución de la fuerza de atracción como consecuencia de la rotación diaria de la Tierra. La fuerza de gravedad del cuerpo es igual a la suma geométrica (vectorial) de las fuerzas gravitacional y de inercia (centrífuga), y está aplicada como resultante de todas las fuerzas de gravedad de las partículas del cuerpo en su centro de gravedad.

Todos los cuerpos en la Tierra se encuentran dentro del campo de atracción terrestre. Un cuerpo de masa m es atraído por la Tierra, de una masa M , con una fuerza F_{atr} sobre una línea que une sus centros de masa.

FIGURA 39

donde r es la distancia entre sus centros; K es el coeficiente de proporcionalidad (constante gravitacional). $K = 6,7 \cdot 10^{11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$

La fuerza de atracción depende sólo de las masas y de la distancia. La masa medida por la fuerza de atracción se denomina pesante (o ponderable) ; es cuantitativamente igual a la masa inerte

La Tierra es algo achatada a lo largo de su eje (el radio polar es de 6357 km, el ecuatorial es de 6 378 km). Por esta razón, la fuerza de atracción en el ecuador es 0,2% menor que en los polos.

FIGURA 40

Fig. 29 Fuerza de gravedad (P): a- sus componente gravitacional (F_{atr}) e inercial(F_{in}); b;c y d- su acción: b- en un apoyo horizontal, c- en una superficie inclinada, d- en partes del cuerpo.

La Tierra gira alrededor de su eje. Es por eso que en el punto A de su superficie, además de la fuerza de atracción (F_{atr}), aplicada en el sentido hacia el centro de la Tierra, actúa también la fuerza centrífuga de inercia (F_{in}) La fuerza de inercia está determinada por la aceleración centrípeta (alrededor de un radio de rotación r). Por

esta causa, en el ecuador el cuerpo es atraído hacia la Tierra con una fuerza que es 0,3% menor que en los polos.

La resultante de las fuerzas de atracción (gravitacional) y centrífuga (de inercia), que actúa sobre el cuerpo en la superficie de la Tierra, es la fuerza de gravedad del cuerpo (P), aplicada como fuerza externa (a distancia) al cuerpo mismo.

Naturalmente, en los polos la fuerza de inercia es igual a cero, la fuerza de gravedad está dirigida hacia el centro de la Tierra. En el ecuador la fuerza de inercia es máxima, pero aproximadamente 300 veces menor que la gravitacional. Aquí la fuerza de gravedad también está dirigida hacia el centro de la Tierra. En otros puntos de la Tierra, la fuerza de gravedad también es menor que la fuerza de atracción y se desvía de la dirección que pasa por el centro de la Tierra (ver fig. 29 a). La mayor desviación (α) de la dirección de la fuerza de gravedad (de una plomada) es para la latitud geocéntrica $\delta = 45$ (la latitud astronómica θ es algunos minutos angulares mayor que α).

Para determinar la magnitud de la fuerza de gravedad se emplea la medición estática: por la acción del cuerpo sobre una balanza de resorte. Bajo la acción de la fuerza de gravedad, el cuerpo mismo ejerce una presión sobre el apoyo (superior o inferior): se pone de manifiesto el peso del cuerpo.

El peso (estático) del cuerpo es la medida de la acción que el cuerpo ejerce, en reposo, tanto sobre una ligadura también en reposo (apoyo, suspensión), como sobre un obstáculo que impida su caída.

Las balanzas de brazo no aprecian las diferencias en el peso cuando esta diferencia se debe al lugar de pesaje, ya que el contrapeso varía tanto como el peso del cuerpo .

El peso del cuerpo es igual a su fuerza de gravedad, pero el peso es una fuerza en contacto, aplicada no sobre el cuerpo sino sobre el apoyo del cuerpo; la fuerza de gravedad es una fuerza a distancia que está aplicada al cuerpo mismo.

Para la determinación de la magnitud de la fuerza se emplea también la medición dinámica: mediante la aceleración de un

cuerpo en caída libre (para los cálculos técnicos se toma 981 cm/s^2). En diferentes puntos de la Tierra esta aceleración es diferente, pero en algunas tareas prácticas tales diferencias se pueden no tener en cuenta. Para cálculos aproximados (en tareas docentes) se le considera igual a $9,8$ o inclusive $10,0 \text{ m/s}^2$.

La fuerza de gravedad del cuerpo humano y el peso de los cuerpos que él sostiene, están motivados por la atracción terrestre y por esto, se les considera como fuerzas externas para el hombre.

Como el peso (de la misma forma que la fuerza de gravedad) varía en dependencia de la aceleración del cuerpo, se distingue el peso estático (el cuerpo está en reposo) y el peso dinámico. Este último es la suma geométrica del peso estático y de la fuerza de inercia durante la aceleración por la vertical.

Por ejemplo, durante la cuclilla o el despegue, las fuerzas de inercia están dirigidas contra la aceleración. Ellas aumentan o disminuyen el peso dinámico del cuerpo (su fuerza total de presión sobre el apoyo).

En un plano horizontal, la fuerza de gravedad (P) provoca una reacción de apoyo (R); ambas fuerzas se equilibran mutuamente (ver fig. 29 b). En una superficie inclinada, las componentes de la fuerza de gravedad (P_N y P_T) provocan respectivamente la reacción de apoyo R_N y la fuerza de fricción (ver fig. 29 c). Fuera del apoyo, la fuerza de gravedad provoca, en todos los miembros de un cuerpo en caída libre, igual aceleración; por eso es que la fuerza de gravedad durante el vuelo no influye ni sobre la disposición recíproca, ni sobre el movimiento relativo de las partes del cuerpo. Como el cuerpo no actúa sobre el apoyo, entonces no se puede pesar: el cuerpo se encuentra en estado de imponderabilidad.

De esta forma, la fuerza de gravedad del cuerpo actúa: a) sobre el apoyo en reposo: como peso estático; b) sobre el apoyo durante la aceleración vertical: como peso dinámico; c) fuera del apoyo: como causa de la aceleración de un cuerpo en caída libre.

En la posición sobre el apoyo, las fuerzas de gravedad atraviesan los ejes de las articulaciones del cuerpo y atraen las partes del cuerpo hacia abajo (ver fig. 29 b), o actúan sobre el brazo de la

fuerza de gravedad (d) y poseen momento respecto al eje de la articulación $M_e(P)$. De la misma forma actúan sobre el cuerpo humano, con su peso, los cuerpos externos que sostiene o que pone el hombre en movimiento.

Resulta que durante el apoyo, el peso de los miembros del cuerpo y de los pesos, siempre influirá sobre la disposición y movimiento de los miembros del cuerpo. El hombre no puede variar el peso estático de los cuerpos externos ni de las partes de su cuerpo, pero puede, ya veces resulta necesario, variar los momentos de las fuerzas de gravedad, así como el peso dinámico, en dependencia de la tarea del movimiento y de las condiciones concretas.

En mecánica, gravitación (atracción) e inercia (aceleración), según el principio de la equivalencia, prácticamente no son diferenciables por su acción.

Hablando más rigurosamente: las fuerzas de atracción, por su sentido, se encuentran hacia el centro de la Tierra, y las fuerzas de inercia, durante el movimiento de traslación, son paralelas entre sí. Las primeras dependen de la posición de los cuerpos y las segundas sólo de la aceleración.

25.2 FUERZAS DE INERCIA DE LOS CUERPOS EXTERNOS.

La fuerza de inercia de un cuerpo externo en un sistema inercial de referencia (fuerza real), es la medida de la acción que sobre el cuerpo: humano ejerce el cuerpo acelerado por él. Es igual al producto de la masa del cuerpo externo por su aceleración; está dirigida en sentido contrario a la aceleración y está aplicada sobre el punto de trabajo del cuerpo humano (lugar de su contacto con el cuerpo acelerado o con el apoyo).

El hombre, durante los movimientos, al hacer variar la velocidad de los cuerpos externos, le comunica a estos aceleración. Como reacción a la fuerza aceleratriz de acción del hombre, surge una fuerza externa de inercia de los cuerpos acelerados. La fuerza de inercia del cuerpo externo, que actúa sobre el cuerpo humano, es la reacción que experimenta el cuerpo humano, por parte del objeto

acelerado, al que él y sólo él le ha comunicado aceleración. Durante el empuje de una palanqueta surge su aceleración (a) originada por el pecho y los brazos, dirigida hacia arriba (ver Fig. 30 a). La fuerza de inercia de la palanqueta está aplicada al pecho ya los brazos, está dada por la fuerza aceleratriz F_{ace} de igual magnitud y de sentido contrario a la de inercia (hacia abajo); ella se suma al peso de la palanqueta. Si el atleta hace más lento el movimiento de la palanqueta, dirigido hacia abajo (al hacerla descender a la plataforma), entonces la aceleración de la palanqueta también estará dirigida hacia arriba. La fuerza de inercia de la palanqueta, al igual que su peso, está dirigida hacia abajo y está aplicada a las manos del atleta (ver Fig. 30 b).

Las fuerzas de inercia, como fuerzas externas, se ponen de manifiesto también cuando el hombre retarda el movimiento de los cuerpos externos, es decir, cuando los frena. Un ejemplo de manifestación de las fuerzas de inercia puede ser, en particular, la acción de los objetos materiales externos, entre ellos los líquidos y gases: el golpe de una ola, un golpe de viento.

Todos estos son ejemplos de fuerza real (newtoniana) de inercia, calculada en un sistema inercial de referencia y aplicada a un cuerpo acelerante, por parte del objeto acelerado, en un movimiento de traslación.

Cuando se curva la trayectoria del cuerpo externo por la fuerza del hombre, durante el movimiento de rotación, la fuerza centrífuga, como fuerza de inercia del cuerpo en rotación (de igual módulo que la atracción centrípeta del deportista).. está dirigida por el radio desde el centro y aplicada al punto de trabajo del cuerpo humano (ver fig. 30 c)

Durante el movimiento de rotación, la fuerza total de inercia del cuerpo está compuesta por una componente tangencial ([FORMULA 41](#) durante la aceleración angular) y normal ([FIGURA 42](#), durante la aceleración centrípeta).

En algunos casos, para el cálculo durante el análisis de los movimientos, se emplea un sistema no inercial de referencia. Entonces se tienen en cuenta también las fuerzas de inercia, que

están dadas por la aceleración del sistema de referencia mismo. Ellas tienen la misma magnitud y sentido que las fuerzas reales de inercia, pero se analizan como fuerzas aplicadas no al cuerpo acelerante (que en este sistema de referencia no existe), sino al cuerpo cuyo movimiento se estudia en un sistema móvil de referencia. Las fuerzas de inercia del cuerpo en un sistema no inercia! de referencia (ficticias) son la medida de la acción que sobre el cuerpo ejerce el movimiento acelerado mismo del sistema de referencia. Son iguales al producto de las masas de las partículas del cuerpo por la aceleración del sistema de referencia, dirigidas en sentido contrario a esta aceleración y se les considera aplicadas a todas las partículas del cuerpo. El punto de aplicación de su resultante es el centro de inercia, que coincide con el centro de gravedad, así como también con el centro del cuerpo.

FIGURA 43

Fig. 30 Fuerza de inercia: a, b y c- real cuando la aceleración es: a- positiva, b- negativa, c-normal; d- fuerza ficticia de inercia.

En un vagón que se mueve con aceleración, está suspendido un péndulo inclinado hacia la izquierda de la vertical. Desde el punto de vista de un observador situado en el vagón (puede ser una cámara fotografía que no tome los movimientos del vagón), sobre la masa del péndulo actúa una fuerza de inercia desviadora (ficticia) (F_{in}) (ver fig.30 d). Desde el punto de vista de un observador situado sobre la tierra, el vagón se mueve con una aceleración hacia la derecha y lleva consigo el punto de suspensión del péndulo. La fuerza de inercia "real" del péndulo está aplicada al punto de suspensión del mismo. Naturalmente, surge una pregunta: ¿cuáles

son las fuerzas que actúan en realidad ? La cuestión consiste en que, en mecánica, "en realidad " no existe nada absoluto. El movimiento es relativo y depende del sistema de referencia: en diferentes sistemas inerciales y no inerciales de referencia el movimiento debe ser descrito (cinemáticamente) y explicado (dinámicamente) de diferente manera.

Señalarnos que la fuerza real de inercia la provoca otro cuerpo (tercera ley de Newton). La fuerza ficticia de inercia está dada por la aceleración del sistema de referencia; no existe otro cuerpo que provoque esta fuerza, por eso aquí no es aplicable la tercera ley de Newton.

Citemos aún otro ejemplo: un ciclista ha frenado bruscamente; en el sistema de referencia que se mueve con aceleración (bicicleta) la fuerza de inercia del ciclista (ficticia), que nosotros consideramos aplicada a su cuerpo, indefectiblemente lo conduce al frente; no hay ningún otro cuerpo que lo empuje. En un sistema inercial de referencia (tierra) la explicación es otra: la bicicleta se detiene (fricción provocada por el freno), y el ciclista, aunque con un cierto retardo, continúa el movimiento por inercia. La bicicleta detenida retrasa el movimiento del ciclista, es decir, la fuerza de inercia de este último (como fuerza real) está aplicada sobre la bicicleta.

25.3 FUERZAS DE RESISTENCIA DEL MEDIO

La presión en un gas o en un líquido, es la medida de la fuerza de acción mecánica entre los elementos del medio dado, y entre los elementos del medio y otros cuerpos. Es igual a la relación entre la fuerza y el área en la cual se realiza la acción. Para cualquier área en el medio, la dirección de la fuerza de acción de un elemento del medio sobre el otro es normal (perpendicular al área).

En cualquier punto del medio, la magnitud de la presión es igual para todas las direcciones a las cuales esta presión se refiere .La presión en todos los puntos del medio que se encuentran en un plano horizontal, es la misma. Las presiones en la vertical (en el caso que el medio esté en reposo) se transmiten de forma que la diferencia de

presiones($F_2 - F_1$) sea igual al peso de la columna vertical del medio (P).

El hombre siempre se encuentra y se desplaza en un determinado medio: ya sea gaseoso, ya sea acuoso. Él entra en interacción mecánica con el medio. Las fuerzas de acción del medio pueden manifestarse estáticamente (aero e hidrostática), por ejemplo, la fuerza de empuje (según la ley de Arquímedes); o dinámicamente (aero e hidrodinámica), por ejemplo, la fuerza de sustentación en corriente de aire o agua.

La fuerza de empuje es la medida de la acción del medio sobre el cuerpo introducido en él. La fuerza de empuje es igual a la suma geométrica (vectorial) de las fuerzas que actúan sobre todos los elementos de la superficie del cuerpo; siempre es igual, por su módulo, al peso del volumen de líquido o gas desplazado y está dirigida hacia arriba.

Si el cuerpo pesa más que el agua desplazada, entonces se hundirá; si la correlación es inversa, flotará.

Cuando el cuerpo se mueve en un medio, surgen fuerzas complementarias que dependen, fundamentalmente, de la magnitud de su velocidad respecto al medio (velocidad relativa), de la forma del cuerpo, de su orientación respecto a la dirección del movimiento relativo y de las propiedades del medio .

FIGURA 44

Fig.31 Fuerzas de acción del medio: a- estática (de empuje, Q); b. y c. dinámicas: b- de resistencia frontal (R_x). c- de sustentación (R_y).

El movimiento del cuerpo en un medio (o del medio respecto al cuerpo) está caracterizado por las líneas de corriente. Estas son las líneas, en cada uno de cuyos puntos la velocidad de las partículas del medio es tangencial!. Las velocidades son tangenciales también tanto a las líneas de corriente, como a las trayectorias de las

partículas. Pero las líneas de corriente caracterizan la dirección de la velocidad de diferentes partículas en un instante dado y las trayectorias caracterizan la dirección de la velocidad de las mismas partículas. en diferentes instantes. Sólo cuando existe una distribución constante de las velocidades, las líneas de corriente y las trayectorias de las partículas coinciden. Un cuerpo es aerodinámico por completo, si las líneas de corriente están dispuestas idénticamente por encima, por debajo, por delante y por detrás del cuerpo. Es cierto que la presión sobre el cuerpo es distinta en las diferentes partes. Según la ley de Bemoulli, donde la velocidad de la corriente aumenta, la presión disminuye y viceversa. Precisamente con esto se explican las variaciones de las presiones (fuerzas complementarias).

Pero esta explicación es suficiente sólo para un medio ideal, en el cual no existe fricción interna (viscosidad). Como consecuencia de la viscosidad, el flujo currentilíneo siempre es incompleto. y por esto surge la resistencia frontal.

La resistencia frontal es la fuerza con la cual el medio obstaculiza el movimiento relativo del cuerpo en él. La resistencia frontal, cuando las velocidades son relativamente pequeñas, es aproximadamente igual al producto del área del corte transversal del cuerpo, el coeficiente de resistencia frontal, la densidad del medio y el cuadrado de la velocidad relativa:

FIGURA 45

donde S es el área de la sección transversal (sección por la maestra), que es igual al área de proyección del cuerpo en el plano perpendicular a la corriente; C_x es el coeficiente de resistencia frontal que depende de la forma del cuerpo (aerodinamidad) y de su orientación respecto a la corriente; ρ es la densidad del medio (del agua $1\ 000\ \text{kg/m}^3$, del aire $1,3\ \text{kg/m}^3$; la diferencia de densidad de estos medios es de casi 780 veces); y v es la velocidad relativa de la corriente y del cuerpo.

Por delante del cuerpo la presión es mayor, ya que la velocidad de la corriente es menor (presión). Por detrás del cuerpo las fuerzas de fricción provocan una separación de la corriente de las paredes del cuerpo, surgen remolinos, se crea una zona de presión disminuida (succión). la resultante de las fuerzas de presión sobre el cuerpo, por el frente y por detrás, está dirigida hacia atrás y frena el movimiento del cuerpo. un cuerpo con una forma más aerodinámica, tiene menor cantidad de remolinos por detrás. Por eso, en dependencia de la forma del cuerpo, la resistencia del medio puede disminuir en igualdad de condiciones en decenas de veces (ver fig. 31 b).

De esta forma, la resistencia frontal depende de la diferencia de presiones, al frente y detrás del cuerpo, en la corriente (resistencia de la forma), y de la fricción del medio (resistencia de fricción).

Cuando la superficie del cuerpo forma ángulo con la dirección de la corriente (ángulo de ataque α), surge la fuerza de sustentación (R_y , ver fig. 31 c). En este y caso, la presión por debajo del cuerpo es algo mayor que la presión de la corriente, mientras que por encima del cuerpo es algo menor; el cuerpo no tanto se sostiene por debajo, como se "succiona" hacia arriba.

La fuerza de sustentación es la fuerza que actúa por parte del medio sobre el cuerpo , dispuesto en ángulo a la corriente. La fuerza de sustentación depende de los mismos factores que la presión frontal: FIGURA 46

donde C_y es el coeficiente de la fuerza de sustentación.

La fuerza de sustentación aumenta dentro de límites conocidos cuando aumenta el ángulo de ataque, después comienza a disminuir

La resultante de la presión frontal y de la fuerza de sustentación (es la misma resultante de las fuerzas de presión y de fricción) durante el movimiento en el aire, se denomina fuerza aerodinámica total.

La resistencia frontal del medio frena el desplazamiento al frente, por ejemplo, durante el vuelo, la natación, el deslizamiento, la carrera. la fuerza de sustentación sostiene al cuerpo, por ejemplo, el cuerpo del saltador en esquís desde el trampolín en el vuelo, del nadador en el agua durante el desplazamiento de este.

25.4 REACCIONES DE APOYO.

Las reacciones de apoyo son la medida de la reacción del apoyo ante la presión ejercida por un cuerpo en reposo , o en movimiento, que se encuentra en contacto con él. La reacción de apoyo es de igual magnitud que la fuerza con la cual el cuerpo actúa sobre el apoyo; está dirigida en sentido contrario a esta fuerza y está aplicada al cuerpo en el punto por el cual pasa la línea de la fuerza que actúa sobre el apoyo.

La reacción normal (o ideal) de apoyo, durante la acción del peso del cuerpo sobre una superficie horizontal, está dirigida verticalmente hacia arriba. En todos los casos, es perpendicular al plano tangencial, a la superficie que sirve de apoyo en el punto de aplicación de la fuerza.

El hombre puede ejercer una acción sobre el apoyo no sólo por la normal, sino también en ángulo agudo. Entonces la dirección de la reacción de apoyo total no coincide con la normal. la componente horizontal de la reacción de apoyo total se denomina fuerza de fricción.

El hombre que se encuentre en un apoyo (superior o inferior) actúa sobre este con su peso estático. En este caso la reacción de apoyo es estática y es igual al peso del cuerpo (ver fig. 32). Durante el movimiento con aceleración de las partes del cuerpo humano que se encuentran sobre el apoyo, surge la fuerza de inercia del cuerpo humano que geoméricamente se suma a su peso. La reacción de apoyo aumentada o disminuida, con frecuencia, se denomina dinámica. Pero es más correcto decir que se ha agregado, a la componente estática de la reacción de apoyo, la componente dinámica, provocada por los esfuerzos que determinan la aceleración del cuerpo.

La línea de acción de la fuerza en la reacción de apoyo, cuando el cuerpo está inmóvil sobre el apoyo o cuando se encuentra bajo el apoyo, atraviesa el CGC. Sin embargo, durante los movimientos del hombre la línea de acción, tanto de la reacción de apoyo normal como de la reacción de apoyo total (resultante de la reacción de apoyo normal y la fuerza de fricción en todos los sentidos), casi nunca atraviesa el CGC.

Para el análisis de la acción de las fuerzas en una superficie inclinada, la reacción de apoyo puede ser descompuesta en sus componentes normal (perpendicular al plano) y tangencial (paralela al plano). La primera se opone a la componente normal de la fuerza de gravedad; la segunda (fuerza de fricción) a la fuerza que provoca el deslizamiento del cuerpo.

FIGURA 47

Fig. 32 Fuerzas de reacción de apoyo: 1 y 6 estáticas; 2 y 4 - disminuidas; 3 y 5 -aumentadas (orig.).

25.5 FUERZAS DE FRICCIÓN.

La fuerza de fricción es la medida de la reacción ante el movimiento dirigido tangencialmente a la superficie del cuerpo en contacto. La magnitud de las fuerzas de fricción (como componente de la reacción de la superficie de ligadura) depende de la acción del cuerpo que se mueve o se desplaza; está dirigida contra la velocidad o contra la fuerza desplazante y está aplicada en el lugar del contacto.

Las fuerzas de fricción (tangenciales a la reacción) surgen entre los cuerpos en contacto, durante el movimiento de uno respecto al otro (ver fig. 33).

Se distinguen tres tipos de fricción: por deslizamiento, por rodadura y por pivoteo.

Durante el deslizamiento, el cuerpo en movimiento está en contacto con uno inmóvil, por una misma parte de su superficie (el

esquí se desliza por la nieve). Durante la rodadura, los diferentes puntos del cuerpo en movimiento se ponen en contacto sucesivamente con el otro cuerpo (la rueda de la bicicleta rueda por la pista). El pivoteo se caracteriza por el movimiento en el lugar alrededor de un eje (trompo).

FIGURA 48

Fig.33 Fuerzas de fricción (f): a- dinámica por deslizamiento; b- estática por deslizamiento; c- momento de fricción por rodadura .

La fuerza dinámica de fricción por deslizamiento (en movimiento) se pone de manifiesto durante el movimiento del cuerpo , está aplicada al cuerpo que se desliza y está dirigida en sentido contrario a la velocidad relativa de su movimiento. Esta fuerza no depende de la magnitud de la fuerza motriz, y es aproximadamente proporcional al coeficiente dinámico de fricción por deslizamiento μ_{din} . Y a la fuerza de la presión normal sobre el apoyo (N) :

$$f_{din} = \mu_{din} \cdot N$$

De aquí que el coeficiente de fricción es igual a la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza de la presión normal (fuerza total de presión sobre la superficie de apoyo) , en otras palabras, a la relación entre la fuerza que frena al cuerpo y la fuerza que lo presiona hacia el apoyo:

FIGURA 49

La fricción está dada por muchas causas. Depende de la naturaleza y de las propiedades de las superficies en contacto. Según la teoría mecánica, las superficies en rozamiento, inclusive las más lisas, siempre presentan rugosidades. Durante el deslizamiento, las irregularidades se rozan mutuamente, surgen

deformaciones, oscilaciones de los dientes de las rugosidades y se produce su destrucción. Según la teoría molecular, la fricción depende de la cohesión molecular de las superficies en rozamiento. El mecanismo de la fricción de las superficies más rugosas lo explica mejor la teoría mecánica; y de las más lisas, la teoría molecular. La lubricación de las superficies en rozamiento hace variar la fricción: transforma una fricción seca en fricción limitada, si el grosor de su capa es de 0,001 mm o menos; cuando la fricción es semiseca existen huellas de lubricantes; cuando la fricción es semilíquida no todos los salientes están cubiertos por lubricantes, pero la rugosidad se atenúa parcialmente.

Cuando las superficies están separadas completamente por una capa de lubricante, entonces se pone de manifiesto la fricción líquida, que existe entre las capas de líquido, así como también entre un líquido y un cuerpo sólido. Al contrario de la fricción seca (entre cuerpos sólidos sin lubricantes) la fricción líquida se pone de manifiesto sólo cuando existe velocidad. Cuando se detienen los cuerpos que estaban en movimiento, la fricción líquida desaparece; por eso, inclusive la fuerza más pequeña puede comunicar velocidad a las capas del medio líquido, por ejemplo, durante el movimiento de un cuerpo sólido en el agua.

Otro cuadro se presenta en la fricción seca : si se aplica una fuerza motriz a un cuerpo en reposo, entonces ella puede desplazar al cuerpo del lugar sólo cuando es mayor que la fuerza de fricción de reposo, que impide el movimiento. De esta forma, la fricción seca y la fricción líquida son diferentes en principio.

La fuerza de fricción estática por deslizamiento (de reposo) se pone de manifiesto en el reposo, está aplicada al cuerpo desplazado y dirigida en sentido contrario a la fuerza desplazante. La fuerza de fricción estática por deslizamiento es igual a la fuerza desplazante, pero no puede ser mayor que la límite; esta última es proporcional al coeficiente estático de fricción por deslizamiento (μ_{est}) ya la fuerza de presión normal (N) :

$$f_{est.} = \mu_{est} \cdot N$$

Así pues. la fuerza de fricción estática de reposo puede tener una magnitud desde cero hasta el límite (parcial y total). La fuerza desplazante mínima, que pone al cuerpo en movimiento, es mayor que la fuerza de fricción límite de reposo.

Es difícil determinar con exactitud los coeficientes de fricción estático y dinámico por la vía experimental, ya que son magnitudes muy inestables, que varían cuando se producen las más pequeñas variaciones de las condiciones: en multitud de experimentos se han presentado grandes fluctuaciones en los resultados. Aún menos confiable es la vía del cálculo, pues en las fórmulas no se tienen en cuenta las variaciones de las superficies en rozamiento, ni sus magnitudes y velocidades de movimiento. Cuando se derrite el hielo o la nieve bajo el patín o el esquí. es difícil tener en cuenta la viscosidad, el grosor, la uniformidad de la lubricación. A medida que se eleva la velocidad, la fricción primeramente disminuye y después aumenta. En lo fundamental los coeficientes estáticos son mayores que los dinámicos. Esto es particularmente característico de los lubricantes que se emplean en las carreras con esquís. Pero a veces la diferencia entre ellos resulta tan insignificante (por ejemplo, en la pintura de los esquís de salto) que, prácticamente, puede pasarse por alto.

La relación entre la magnitud de la reacción de apoyo normal (igual a a fuerza de la presión normal) y la fuerza de fricción límite de reposo , es igual a la tangente del ángulo (α), que se denomina ángulo de fricción (o ángulo de cohesión) (ver fig. 33 b).

La tangente del ángulo de cohesión es igual al coeficiente de fricción de reposo. El ángulo real de la fuerza de presión sobre el apoyo en reposo, no puede ser mayor que el ángulo de fricción. Esto significa que mientras la línea de acción de la fuerza, aplicada sobre el cuerpo, pase dentro del ángulo de fricción, el cuerpo no puede ser desplazado del lugar .Sólo cuando la línea de acción de la fuerza se encuentre fuera de los límites del ángulo de fricción, el cuerpo será desplazado.

Sobre una superficie horizontal, la fuerza de presión normal generalmente está representada por el peso estático o dinámico (el

sujeto está inmóvil o se empuja desde el apoyo). Pero pueden existir también fuentes de presión normal, por ejemplo, durante la presión que ejercen las piernas y la espalda del alpinista sobre las paredes de la chimenea. (En la jerga de los alpinistas, se llama “chimenea” a una grieta vertical en los desfiladeros).

(La fricción por rodadura se pone de manifiesto cuando un cuerpo, de forma redondeada (esfera, disco, cilindro), rueda por una superficie. El momento de la fuerza motriz M_o (S), en caso de rodadura uniforme, es igual al momento de fricción ($\dot{k} N$). es decir: el producto del coeficiente de fricción por rodadura ($\dot{\mu}$) por la fuerza de la presión normal (N) :

$$Sh = \dot{\mu} N$$

Como se ve en la figura 33 c, el coeficiente de fricción por rodadura ($\dot{\mu}$) tiene una dimensión de longitud. Este depende de la correlación existente entre las fuerzas motriz (S) y normal (N), así como de la altura (h) de aplicación de la fuerza motriz. En una rueda de mayor radio $\dot{\mu}$ es menor. En la figura 33 c, está representada también la fuerza de fricción estática por deslizamiento f_{est} , que no permite que la rueda se deslice hacia la derecha.

La manifestación del momento de fricción se explica por la deformación del apoyo (y también de la rueda); el punto de aplicación de la reacción de apoyo se desplaza en una magnitud k durante el transcurso del movimiento.

25.6 FUERZAS DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA

La fuerza de deformación elástica es la medida de la acción del cuerpo deformado sobre otros cuerpos, con los cuales está en contacto. La magnitud y el sentido de las fuerzas elásticas dependen de las propiedades elásticas del cuerpo deformado, así como también del tipo (presión, empuje, etc.) y de la magnitud de la deformación.

Todos los cuerpos rígidos reales, así como los líquidos y los gases, en mayor o menor grado, se deforman bajo la acción de fuerzas

aplicadas, durante lo cual en ellos surgen fuerzas de deformación elástica (o fuerzas elásticas).

En los denominados cuerpos elásticos es relativamente pequeño el módulo de Young. Las deformaciones son considerables, ya que inclusive fuerzas pequeñas provocan deformaciones relativamente grandes. Después que ha cesado la acción deformante, las fuerzas elásticas hacen recuperar la forma al cuerpo. A este tipo de cuerpo, que actúa sobre el cuerpo humano, pueden pertenecer la cama elástica, el trampolín con resorte, los "expanders". Durante la deformación, ellos asimilan trabajo (se aumenta su energía potencial), y después, al recuperar su forma, realizan trabajo (disminuye la energía potencial). Los "expanders" (de goma o resorte) asimilan el trabajo realizado por el deportista. Durante el empleo de la cama elástica y de la cuña de saltos, es muy grande el trabajo que realizan estos implementos al recuperar su forma.

Las interacciones elásticas tienen lugar: durante la deformación de cuerpos unidos al apoyo bajo la acción de las fuerzas de atracción (manifestación del peso); durante la deformación del apoyo (reacciones de apoyo), de cuerpos acelerados (fuerzas de inercia), parcial del medio (fuerzas de resistencia del medio), de superficies en contacto (fuerzas de fricción).

Es conveniente aislar las fuerzas de deformación elástica en un grupo aparte, como fuerzas externas respecto al hombre, sólo en los casos de deformaciones considerables de los cuerpos elásticos externos.

26 FUERZAS INTERNAS RESPECTO AL SISTEMA

Durante la investigación biomecánica de los movimientos del hombre se analizan, con frecuencia, las fuerzas internas respecto a su cuerpo. Estas fuerzas surgen durante las interacciones de las partes del sistema biomecánico.

Las fuerzas internas de un sistema mecánico son la medida de la interacción de los cuerpos que forman parte de él.

No es posible analizar imaginariamente las fuerzas internas como aplicadas al centro de gravedad del sistema (CGS). Ellas no pueden

por sí mismas hacer variar el movimiento del CGS ni su momento cinético.

Las fuerzas internas realizan atracción y repulsión dentro del sistema, entre sus partes. En un cuerpo absolutamente rígido se equilibran recíprocamente por pares. En un sistema, las fuerzas internas, si están aplicadas a diferentes partes de este (cuerpos), no se equilibran por pares, sino que cada una produce su efecto.

Las fuerzas de atracción muscular y las fuerzas de resistencia pasiva de los órganos y tejidos, son fuerzas internas del cuerpo humano.

26.1 FUERZAS DE TRACCIÓN MUSCULAR

Las fuerzas de tracción muscular están aplicadas a los miembros de las cadenas cinemáticas dentro del cuerpo. Los músculos, en su actividad, siempre están reunidos en grupos. Las fuerzas de tracción de cada músculo varían; por eso, varían también las tracciones de un grupo aislado de músculos y las tracciones de los grupos musculares interactuantes. Los músculos pueden, durante el transcurso del movimiento, comenzar a realizar un trabajo, cesar, así como también, al variar su función, pasar de un grupo a otro. La acción conjunta de los músculos garantiza la conservación y la variación dirigida de la disposición recíproca de los miembros.

El trabajo de los músculos es la fuente fundamental de energía de los movimientos humanos: función energética. Los músculos, al hacer variar la posición de las partes del cuerpo, facilitan su acción sobre el apoyo, sobre el medio y sobre cuerpos externos. Mediante las tracciones musculares, el hombre dirige los movimientos, aprovechando las fuerzas externas y las restantes fuerzas internas: función de dirección .

26.2 FUERZAS DE RESISTENCIA PASIVA

Las fuerzas de resistencia pasiva incluyen: las reacciones de apoyo, en las articulaciones y en los puntos de inserción de los músculos y de los ligamentos; las fuerzas de fricción seca y líquida; la fuerza de

inercia durante la aceleración de los miembros de los órganos y de los tejidos; las fuerzas elásticas de las deformaciones..

la acción del peso de las partes del cuerpo y de los cuerpos externos, así como de las tracciones, de los músculos y ligamentos, aplicadas a los huesos), surgen las reacciones de apoyo. El desplazamiento recíproco de los órganos y de los tejidos durante el contacto provoca las fuerzas de fricción. A estas fuerzas de fricción pertenecen también la fricción con lubricante (del tipo limitado y semiseco) y la fricción líquida, tanto en los tejidos líquidos y en las capas intercaladas entre los órganos. como en los tejidos blandos durante su deformación (viscosidad).

En los movimientos de las cadenas multimiembros surgen multitud de aceleraciones: para cada miembro (positivas, negativas, centrípetas), para los sistemas de miembros (de arrastre, relativas y de Coriolis). Tienen lugar aceleraciones de los órganos internos y de los tejidos. Durante todas las aceleraciones surgen las correspondientes fuerzas de inercia; multitud de ellas que, como ondas, de manera imprevista, se transmiten y se reflejan en las cadenas cinemáticas, influyen unas sobre otras, se suman y se ayudan mutuamente. Durante las grandes aceleraciones y cuando las masas son grandes, las fuerzas de inercia son considerables. En el aparato locomotor, durante el movimiento, pudiéramos decir que hay todo un océano de fuerzas de inercia que están por completo fuera del dominio del hombre. Su papel en la coordinación de los movimientos es muy grande.

Como consecuencia de las deformaciones del cuerpo humano, surgen también las fuerzas elásticas en la parte pasiva del aparato locomotor .

Nos estamos refiriendo, en primer lugar, a las fuerzas elásticas en el aparato ligamentoso de las articulaciones grandes ya las uniones de tales cadenas cinemáticas, como la columna vertebral.

Con frecuencia, todas las fuerzas internas se denominan esfuerzos, para diferenciarlas de las externas. En biomecánica se denomina esfuerzo, sólo a las fuerzas de tracción muscular.

27 PARTICULARIDADES DINÁMICAS EN LOS MOVIMIENTOS HUMANOS.

27.1 GEOMETRÍA DE LAS MASAS DEL CUERPO

Las propiedades inerciales de los miembros, y de todo el cuerpo del hombre, están determinadas por sus masas y momentos de inercia, respecto a los ejes de rotación.

Las características inerciales del cuerpo (masa y momento de inercia) en los sujetos con diferentes dimensiones, peso y constitución corporal, son diferentes. Esto depende de la magnitud y de la distribución de las masas de los miembros. El peso relativo de los miembros del cuerpo permite juzgar la correlación entre sus masas (ver tabla 4). De los hombres a las mujeres, los pesos relativos se diferencian algo, aunque los datos promedios están bastante cercanos. Para los cálculos se emplean datos redondeados en por ciento, ya que las diferencias individuales son mayores que centésimas y décimas de por cientos.

Las masas de los miembros varían con la edad y bajo la influencia del entrenamiento; también son posibles variaciones durante un breve plazo, debido a la redistribución de la sangre, a la ingestión del alimento y el agua, pero son pequeñas y, durante el análisis de los movimientos, generalmente no se tienen en cuenta.

Los centros de gravedad de los miembros caracterizan la distribución relativa de las masas en ellos. Para los cálculos se les considera (con una aproximación conocida) dispuestos en los ejes longitudinales de los miembros largos, que unen los centros de las correspondientes articulaciones.

La distancia, desde el eje de la articulación proximal de un miembro dado hasta su centro de gravedad, la denominaremos convencionalmente radio del centro de gravedad del miembro.

FIGURA 50

El radio del centro de gravedad del miembro se expresa respecto a la longitud de todo el miembro tomada como la unidad. Para el muslo, el radio es aproximadamente 0,44; para la pierna, 0,42;

para el brazo, 0,47; para el antebrazo, 0,42; para el tronco, 0,44 de la distancia desde el eje transversal, que une las articulaciones de los hombros, hasta el eje de las articulaciones coxofemorales. El centro de gravedad de la cabeza está situado en la zona de la silla turca (proyección desde el frente entre las cejas; de lado 3,0-3,5 cm por encima de los conductos auditivos externos); el centro de gravedad de la mano está en la zona de la cabeza del tercer metacarpiano; el centro de gravedad del pie está sobre la recta que une la tuberosidad posterior del calcáneo con el extremo del segundo dedo a una distancia de 0,44 desde el primer punto (ver Fig. 34).

El centro de gravedad del cuerpo humano (como punto de aplicación de la resultante de las fuerzas de gravedad, de todos los miembros del cuerpo), en la posición erecta, está situado en la zona de la cadera, por delante del sacro, entre sus vértebras primera y quinta (según M. F. Ivanitski).

Es imprescindible conocerla situación del CGC durante la determinación de las condiciones mecánicas de equilibrio del cuerpo, bajo la acción de la fuerza de gravedad.

En un medio acuoso y bajo la acción de la corriente aérea, para la determinación del estado de equilibrio del cuerpo, es imprescindible conocer la situación de otros dos puntos: el centro de volumen y el centro de superficie del cuerpo humano.

El centro de volumen (CV) del cuerpo humano es el punto de aplicación de la fuerza de empuje cuando el cuerpo está completamente sumergido en el agua; está situado en el centro de gravedad del volumen del agua que tiene la forma del cuerpo sumergido. Como el cuerpo humano tiene una composición heterogénea, entonces el CGC no coincidirá con el centro de gravedad del agua (de composición homogénea) que tiene la forma de este cuerpo. El centro de volumen está situado, cuando la posición del cuerpo es verticalmente extendida, 2-6 cm por encima del CGC. Cuando se respira profundamente, el CV se desplaza hacia la cabeza. La disposición relativa del CGC y de CV fundamenta el estado de equilibrio del cuerpo en flotación.

El centro de superficie (CS) del cuerpo humano es el punto de aplicación de la resultante de los fuerzas de acción del medio, en una postura dada y en una dirección) dada de corriente del medio. De la disposición recíproca del CGC y del CS del cuerpo, dependen las condiciones de variación del movimiento de rotación respecto al CGC en el movimiento sin apoyo, en vuelo.

El momento de inercia del miembro del cuerpo, caracteriza la magnitud y la distribución de la masa del miembro respecto al eje de la articulación proximal.

Los momentos de inercia de los miembros largos de las extremidades, respecto a los ejes transversales que atraviesan sus articulaciones proximales, son iguales aproximadamente a $0,3 ml^2$ (donde m es la masa y l es la longitud del miembro). Los radios de inercia de estos miembros, respecto al eje transversal de la articulación proximal, son: del brazo, 0,55 ; del antebrazo, 0,50; del muslo, 0,53; y de la pierna, 0,50, de toda la longitud del miembro. Los radios de inercia son mayores que los radios del centro de gravedad de cada uno de ellos.

El momento de inercia del cuerpo humano, respecto a un mismo eje de rotación, caracteriza la magnitud y la distribución de las masas del cuerpo respecto a este eje.

Los momentos de inercia de toda la extremidad, así como también del cuerpo humano, son magnitudes variables, ya que durante los movimientos pueden variar las distancias desde las partes del cuerpo hasta los centros de rotación, y en cierta medida, la re distribución de las masas en estas partes del cuerpo.

El menor momento de inercia del cuerpo extendido, es el momento respecto al eje longitudinal que atraviesa el CGC; el mayor, respecto al eje antero posterior. El momento de inercia respecto al eje transversal que atraviesa la mano, es algo mayor que el momento respecto al eje que atraviesa al CGC (sobre todo cuando el individuo está en agrupamiento) (ver Fig. 34 b). la variación del momento de inercia del cuerpo se emplea para dirigir su movimiento de rotación).

27.2 PAPEL DE LAS FUERZAS EN LOS MOVIMIENTOS HUMANOS.

En la mecánica clásica se estudia la acción de las fuerzas mecánicas independientemente de sus fuentes, de su origen. En biomecánica, lo esencial es precisamente cuáles son las fuentes de las fuerzas y, por consiguiente, cuál es el "precio" que el organismo humano paga por las fuerzas empleadas. En biomecánica se acostumbra a analizar todas las fuerzas aplicadas al aparato locomotor humano, en calidad del denominado campo de fuerzas.

FIGURA 51

Fig. 34 Geometría de las masas del cuerpo humano: a- centros de gravedad y pesos relativos de los miembros (según O. Fischer y N. A. Bernshtein); b- momentos de inercia del cuerpo respecto a diferentes ejes (orig.).

Se distinguen: el campo de fuerzas externo, como el conjunto de todas las fuerzas externas al hombre; el campo de fuerza interno, como el conjunto de las fuerzas internas.

El campo de fuerzas externo se pone de manifiesto como fuerzas de resistencia; su trabajo es negativo; para superarlo se gasta energía de movimiento y de tensión de los músculos del hombre. Se distinguen resistencias de trabajo y nocivas.

La superación de las resistencias de trabajo es la tarea fundamental de los movimientos humanos, por ejemplo, en la superación del peso de la palanqueta consiste el objetivo de los movimientos con esta.

Las resistencias nocivas absorben el trabajo útil; en principio son inevitables, por ejemplo, fuerzas de fricción de los esquís sobre la nieve.

En sus movimientos, el hombre emplea también las fuerzas externas como fuerzas motrices. Para realizar el trabajo imprescindible, para superar las fuerzas de resistencia. el hombre puede emplear el

peso, las fuerzas elásticas, las fuerzas de inercia, etcétera. Las fuerzas externas son, en este caso. fuentes "valiosas" de energía, ya que el hombre gasta menos reservas internas de energía muscular .

El hombre supera las fuerzas de resistencia mediante las fuerzas musculares y las fuerzas externas correspondientes; y realiza, pudiéramos decir , un trabajo dividido en dos partes; a) un trabajo dirigido a superar todas las resistencias (tanto de trabajo como nocivas); b) un trabajo dirigido a comunicar aceleraciones a sus órganos de movimiento ya los objetos externos que desplaza.

En biomecánica, la fuerza de acción del hombre es la fuerza de acción sobre el medio físico circundante externo, que se transmite a través de los puntos de trabajo del cuerpo humano.

Los puntos de trabajo, al ponerse en contacto con cuerpos externos, transmiten el movimiento (cantidad de movimiento, así como también momento cinético) y la energía cinética (del movimiento de traslación y de rotación) a los cuerpos externos. La fuerza de acción del hombre puede ser estática, si está equilibrada por fuerzas externas, y dinámica, si provoca las correspondientes aceleraciones (positivas, negativas, tangenciales, normales).

Las tareas de los movimientos, en lo que se refiere a la técnica deportiva, en el sentido más general, consisten en la disminución de la acción de las resistencias nocivas, y el aumento de la efectividad de la fuerza de acción del hombre, con el mejor empleo de las fuerzas motrices: tracciones musculares activas y, sobre todo, las fuerzas que tienen otras fuentes.

Entre las fuerzas de frenaje que pertenecen a la resistencia, encontramos todas las fuerzas externas e internas, entre ellas las musculares. De las condiciones de un ejercicio concreto dependen cuáles son las fuerzas que desempeñarán papel de resistencias nocivas. Sólo las fuerzas de reacción (fuerzas de reacción de apoyo y fricción) no pueden ser fuerzas motrices: siempre se mantendrán como resistencias, tanto nocivas como de trabajo.

La efectividad de la aplicación de las fuerzas en mecánica, se determina por el rendimiento: por la relación entre el trabajo para la superación de las resistencias de trabajo y el trabajo de las

fuerzas motrices. Mientras mayor sea el rendimiento más efectivo será el movimiento.

Durante cálculos energéticos, para la evaluación del papel de las fuerzas, se determina la potencia de la fuerza que caracteriza el aspecto más importante de su efecto: la rapidez de ejecución del trabajo.

La potencia de la fuerza es la medida de la rapidez de incremento del trabajo de la fuerza. La potencia de la fuerza se determina como la relación entre el trabajo ejecutado y el tiempo empleado para este trabajo:

FIGURA 52

donde P es la potencia; F es la fuerza que realiza el trabajo; $\dot{A}s$ es el desplazamiento elemental; $\dot{A}t$ el tiempo empleado para superar el espacio $\dot{A}s$.

El campo de fuerzas interno incluye tanto las fuerzas motrices como las resistencias (tanto de trabajo como nocivas). En los movimientos del hombre, no siempre existen las fuerzas motrices (pueden no existir en los movimientos por inercia), y las fuerzas de frenaje siempre existen. Debido a que todos los movimientos en las articulaciones se caracterizan por trayectorias curvilíneas, en todos los casos están aplicadas fuerzas desviadoras (centrípetas). De la correlación de todas las fuerzas citadas dependen las aceleraciones de los miembros.

Como ya se ha señalado anteriormente, en principio no existe movimiento del hombre sin aceleraciones. Por consiguiente, en todos los movimientos surgen fuerzas de inercia, cuyo sentido es contrario al sentido de las aceleraciones. Las fuerzas de inercia de los cuerpos externos pertenecen a las fuerzas externas; las fuerzas de inercia provocadas por la interacción de las partes del cuerpo humano pertenecen a las fuerzas internas. La gran cantidad de fuerzas de inercia (reales, newtonianas) hacen muy compleja la dirección de los movimientos y, claro está, su análisis. Durante el análisis del movimiento compuesto de las cadenas cinemáticas, es imprescindible tener en cuenta la multitud de fuerzas de inercia, de arrastre y de Coriolis que surgen en las cadenas cinemáticas. Hay

que recordar siempre el carácter de rotación de los movimientos, ya que el momento de una fuerza constante, varía al variar el ángulo de aplicación.

27.3 ACCIÓN CONJUNTA DE LAS FUERZAS

Las fuerzas externas e internas, respecto al cuerpo humano, actúan conjuntamente sobre él. Todas estas fuerzas, independientemente de su fuente, actúan como fuerzas mecánicas, hacen variar el movimiento mecánico. En este sentido, ellas se encuentran en una unidad como fuerzas materiales: es posible realizar, al observar determinadas condiciones, su composición, descomposición, reducción y otras operaciones.

Las fuerzas externas, al actuar sobre el cuerpo humano, provocan las manifestaciones y la variación de las correspondientes fuerzas internas. Estas son fuerzas mecánicas de reacción, entre las cuales encontramos las fuerzas de tracción muscular, que están dadas por factores biológicos.

Mediante las fuerzas internas de tracción muscular, el hombre puede provocar con su acción la manifestación y la variación de las fuerzas externas, dirigiendo dentro de límites conocidos, su acción sobre sí mismo.

Las fuerzas de tracción muscular son las únicas fuentes internas de energía del hombre. Sólo mediante estas fuerzas el hombre puede aprovechar todas las restantes fuerzas y dirigir los movimientos.

Los movimientos del hombre, son el resultado de la acción conjunta de las fuerzas internas y externas. Las fuerzas externas, como expresión de la influencia del medio externo, fundamentan multitud de particularidades de los movimientos. Las fuerzas internas, como únicas directamente dirigidas por el hombre, garantizan la correcta ejecución de los movimientos dados.

A medida que se perfeccionan los movimientos, se hace posible el mejor aprovechamiento de las fuerzas musculares. La maestría técnica se pone de manifiesto por un buen aprovechamiento de las fuerzas pasivas, externas e internas, como fuerzas motrices. Cuando es necesario se garantiza no sólo la economía (ahorro de las

fuerzas) y la eficiencia (un alto rendimiento de las fuerzas musculares), sino también un máximo de las fuerzas musculares así como una rapidez considerable, durante el movimiento, en el logro de este máximo.

CADENAS BIOCINEMATICAS

9 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MIEMBROS y DE SUS UNIONES

Desde el punto de vista de la teoría de las máquinas y los mecanismos; acostumbra a analizar las partes del cuerpo que tienen uniones móviles, como miembros que componen pares y cadenas biocinématicas. los miembros de las cadenas y sus uniones se encuentran bajo la acción de las fuerzas que se aplican sobre ellos (cargas). En estas condiciones se ponen de manifiesto las particularidades de la estructura y de las funciones (propiedades mecánicas) del cuerpo humano, que influyen sobre la ejecución de los movimientos.

9.1 TIPOS DE CARGAS y CARÁCTER DE SU ACCION

Las fuerzas aplicadas a cuerpo y que en conjunto provocan su deformación se denominan cargas.

Los huesos del esqueleto y los tejidos blandos contrarrestan durante su formación la acción de las fuerzas aplicadas (cargas). Se distinguen cargas que provocan tracción, presión, flexión y torsión.

FIGURA 53

Fig. 2 Cargas que provocan deformación: a- tracción; b- presión; c- flexión; d- torsión (En los esquemas inferiores se ofrece el desplazamiento de los elementos (según S. E. J aikin) .

Las cargas que provocan tracción son las cargas más características de los tejidos blandos. Estas cargas surgen por ejemplo, cuando el sujeto se encuentra en suspensión (ver Fig. 2a) o cuando se sostiene un peso con los brazos extendidos hacia abajo.

Las cargas que crean la presión de los huesos y cartílagos, las encontramos con más frecuencia en la posición vertical del cuerpo sobre el apoyo. En este caso, sobre el esqueleto actúan, por una parte, la fuerza de gravedad del cuerpo y el peso de las cargas externas, y por otra, la presión del apoyo (ver Fig. 2 b).

Las cargas que provocan flexión se encuentran, con frecuencia, cuando los huesos ejecutan el papel de palanca. En estos casos las fuerzas de los músculos y las fuerzas de resistencia, aplicadas a ellos, están dirigidas transversalmente a los huesos y provocan su flexión (ver Fig. 2c).

Finalmente, las cargas que provocan torsión las encontramos, con frecuencia, en los movimientos de rotación del miembro, alrededor de un eje longitudinal (ver Fig. 2 d).

Por el carácter de la acción se distinguen las cargas estáticas y dinámicas. Las primeras, frecuentemente, tienen una magnitud constante y, por lo general, son relativamente pequeñas. Las segundas surgen los movimientos, donde actúan las fuerzas de inercia, que varían y pueden incrementarse hasta magnitudes muy grandes (por ejemplo, las cargas de presión después de la caída desde una gran altura, las cargas de flexión durante el choque).

Tales cargas dinámicas, sobre todo las que actúan en una dirección desacostumbrada, por ejemplo, durante el choque transversalmente al hueso pueden superar el margen de seguridad de uno u otro miembro, lo que provocan una lesión en el aparato locomotor.

Los músculos, las cápsulas articulares, los ligamentos, así como también los cartílagos, que unen los huesos del esqueleto, al deformarse, disminuyen la acción de las cargas dinámicas. Los músculos, gracias a su elasticidad, desempeñan un importantísimo papel en la disminución de esta acción. Si ellos amortiguan la carga de una forma insuficiente, entonces se lesionan los ligamentos y los cartílagos, y a veces, inclusive los huesos y los músculos mismos.

Los huesos, como cuerpos de gran rigidez, durante la transmisión de las fuerzas ejecutan el papel de palancas.

En biomecánica se analizan en calidad de palancas rígidas, muchas partes del cuerpo (brazo, muslos etc.); se considera que ellas no varían su longitud, no se flexionan y no sufren tensión .

9.1 DEFORMACIONES ELÁSTICAS

Las deformaciones elásticas surgen en el cuerpo bajo la acción de una carga y desaparece cuando esta deja de actuar.

La variación de la forma (deformación) de los cuerpos bajo la acción de una fuerza aplicada, es una propiedad de todos los cuerpos reales. En la naturaleza no existe cuerpo absolutamente rígido, todos se deforman en determinadas condiciones.

En caso de deformación elástica, la forma del cuerpo, después que ha cesado la acción de la fuerza deformante, se recupera (un resorte de acero); la deformación plástica, se mantiene después que ha cesado la carga, es decir, la forma inicial ya no se recupera (arcilla húmeda). De esta forma, la elasticidad es la propiedad de un cuerpo para recuperar por si mismo su forma, después que se ha producido la deformación.

La fuerza elástica (fuerza de tensión elástica), al reaccionar ante la variación de la forma, incrementa y finalmente suspende la deformación como fuerza de detención; en este instante es igual a la carga deformante. Esta misma fuerza elástica, cuando cesa la carga deformante, hace recuperar la forma inicial al cuerpo como fuerza de recuperación. La tensión del cuerpo deformado varía, y se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados de su corte o sección.

Analícemos la dependencia existente entre la deformación del cuerpo y la tensión (tomando como ejemplo acero suave).

En la figura 3, en la escala horizontal de la gráfica, se señala la tensión (σ) en kg/cm^2 . En la escala vertical hacia abajo (para mayor comodidad de la comparación con la figura subsiguiente) está la deformación relativa (ϵ): la relación entre el alargamiento (Δl_0) y la longitud inicial del cuerpo (l_0) en por ciento. En la gráfica vemos 4 zonas:

1. Zona de elasticidad lineal: la tensión es directamente proporcional a la deformación (resorte ideal). Después que cesa la carga, la deformación desaparece por completo .

2. Zona de elasticidad: no lineal: para iguales incrementos de deformación, los incrementos de la tensión son cada vez menores (como en el acero suave) o cada vez mayores (como en los músculos); después que ha cesado la carga la forma del cuerpo se recupera por completo .

3. Zona de deformación plástica: a medida que aumenta la deformación, la tensión se incrementa; después que ha cesado la carga, la forma del cuerpo no se recupera por completo (deformación residual).

4. Zona de ruptura: el cuerpo comienza a romperse.

Dentro de los límites de pequeñas deformaciones en un cuerpo elástico, la tensión es proporcional a la deformación . Esto está expresado en la ley de Hooke: $\sigma = E\epsilon$ que dice: la tensión de un cuerpo sometido a una carga es directamente proporcional a dicha carga . El coeficiente E (coeficiente de proporcionalidad) se denomina módulo de Young (elasticidad longitudinal). Este muestra en qué medida varía la tensión durante la deformación de un cuerpo dado, y cómo el cuerpo ofrece resistencia a la deformación. En aquellos cuerpos en que, para producir sólo una pequeña deformación, son imprescindible grandes cargas que provoquen grandes tensiones, se denominan duros; por ejemplo, en el hierro colado, el módulo de Young es igual a $900\,000\text{ kg/cm}^2$ una correa de piel tiene un módulo de Young de 2000 Kg/cm^2 ; los músculos tienen de 10 a 120 kg/cm^2 o más. Se considera que el módulo de los músculos puede variar hasta más de cien veces (datos aproximados).

FIGURA 54

Fig. 3 Gráfica de las deformaciones de un cuerpo duro (orig.).

Los músculos, como cuerpos elásticos, poseen elasticidad no lineal y rigidez variable .

10 UNIONES DE LOS MIEMBROS

Las uniones de los miembros en las cadenas biocinématicas facilitan la multitud de posibilidades de movimientos. De la forma de unión y de la participación de los músculos en los movimientos depende su dirección y amplitud (forma espacial de los movimientos..

10.1 PARES CINEMÁTICOS

El par cinemático es la unión móvil de dos miembros. La forma de unión determina las limitaciones (enlaces) ante el movimiento relativo (condiciones de enlace); la existencia de movilidad en la unión da a los miembros determinadas posibilidades de movimiento relativo (grados de libertad de movimiento).

Se distinguen enlaces: a) geométricos: obstáculos constantes al desplazamiento en determinada dirección ; b) cinemáticos: limitación de la velocidad (por ejemplo, por un músculo antagonista).

Los pares cinemáticos pueden ser: a) de traslación: un miembro puede desplazarse paralelamente al otro (por ejemplo, los movimientos laterales de la mandíbula inferior); b) de rotación (por ejemplo, los giros en las articulaciones cilíndricas y esferoides, que son las más comunes en el cuerpo humano); c) helicoidales: cuando se combinan los movimientos de traslación y de rotación (por ejemplo 1, en la articulación del tobillo). Las uniones que permiten el giro de los miembros del par se denominan articulaciones.

10.2 CADENAS CINEMÁTICAS

La cadena cinemática es la unión sucesiva o ramificada de una serie de pares cinemáticos. La cadena cinemática que tiene el miembro final libre se denomina abierta; la cadena cinemática que no tiene ningún miembro final libre se denomina cerrada.

En la cadena abierta, para cada unión, son posibles movimientos aislados. Estos movimientos son geoméricamente independientes de los movimientos de las otras uniones (si no se tiene en cuenta las

interacciones de los músculos). Por ejemplo, las extremidades cuando sus miembros finales están libres Fig. 4 a, son cadenas abiertas. Una cadena cerrada en el cuerpo humano es. Por ejemplo, esternón-costillas-esternón. Es imposible abrir estos tipos de cadenas cerradas. Las cadenas abiertas pueden cerrarse; y con frecuencias se cierran a través del apoyo(ver Fig. 4a). En una pirámide compleja compuesta por varios acróbatas se forma inclusive una especie de red, en el plano, y de “enrejado”, en el espacio, con una dependencia recíproca muy compleja de los movimientos de los miembros.

En la cadena cerrada, perenne o transitoriamente, es imposible que se produzca un movimiento aislado único, es decir, el movimiento en una unión. De esta forma, al reflexionar y extender una pierna en el movimiento de “a fondo”, cualquier sujeto puede darse cuenta que el movimiento, en cualquiera de las articulaciones, indefectiblemente provoca los movimientos en las restantes (ver Fig. 4b).

De esta forma los movimientos en las cadenas abiertas se caracterizan por una independencia relativa de los miembros. En las cadenas cerradas perennemente, así como también sobre los movimientos de otros, inclusive, sobre los miembros más lejanos (ayudan u obstaculizan).

FIGURA 55

Fig.4 Cadenas cinemáticas del cuerpo: a- tipos de cadenas: bam, abiertas; , ABCDE, cerrada en sí misma; dffldl, cerrada a través del apoyo; b- interacción de los movimientos en una cadena cerrada (orig.).

Por ejemplo, en las articulaciones de los codos, al flexionar los brazos en la posición de “plancha” (cadena transitoriamente cerrada), es posible: o realizar una abducción de los brazos, o

extenderlos en las articulaciones de los hombros. Entonces se distenderán: o los músculos abductores de los brazos (pectorales mayores, dorsales anchos, etc.) o los flexores (porciones anteriores de los deltoides). Ahora, durante la extensión de los brazos en las articulaciones de los codos, los músculos abductores o los músculos flexores de las articulaciones de los hombros, en dependencia de cuáles sean los músculos que estén distendidos, podrán transmitir su acción a las articulaciones de los codos, o sea, facilitar la extensión de los brazos en estas articulaciones .

La transmisión de la acción de los músculos a las articulaciones alejadas y adyacentes es una característica de las cadenas cerradas y, con frecuencia, tiene lugar en condiciones semejantes de trabajo muscular.

En las cadenas cerradas. las posibilidades de movimiento son menores pero la dirección de estos es más exacta que en las abiertas.

10.3 GRADOS DE LIBERTAD DE LOS MOVIMIENTOS

El número de grados de libertad de los movimientos corresponde a la cantidad posible de desplazamientos, angulares y lineales, independientes del cuerpo.

El cuerpo que no está limitado por nada en sus movimientos (puede moverse en cualquier dirección) se denomina libre. El movimiento de un cuerpo libre es posible en tres direcciones fundamentales, tanto a lo largo de los ejes de coordenadas como también alrededor de estos tres ejes; este cuerpo tiene seis grados de libertad de movimientos (ver Fig. 5 a).

Las ligaduras disminuyen el número de grados de libertad (ver tabla 1). Si fijamos un punto del cuerpo, entonces inmediatamente se le quitan tres grados de libertad: el cuerpo no podrá moverse a lo largo de los tres ejes de coordenadas; tendrá sólo la posibilidad de rotar alrededor de estos ejes, es decir , sólo tendrá tres grados de libertad (ver fig. 5 b). Esta es la forma de unión de los huesos de las articulaciones triaxiales (esferoideas).

FIGURA 56

fig.5 Grados de libertad del cuerpo a- cuerpo libre (6 grados); b- fijado en un punto (3 grados); c- fijado en dos puntos(1 grado); d- fijado en tres puntos (cuerpo inmóvil)

Cuando se fijan dos puntos en el cuerpo, es posible la rotación sólo alrededor de una línea (eje), que atraviesa ambos puntos (ver fig. 5 c). De esta forma están unidos los huesos de las articulaciones monoaxiales que garantizan un grado de libertad. Si están fijados tres puntos (que no se encuentran sobre una misma línea), entonces los movimientos del cuerpo son completamente imposibles (ver fig. 5 d).

Esta unión es inmóvil y por consiguiente no es una articulación.

La mayoría de las articulaciones del cuerpo tienen dos o tres grados de libertad.

Cuando existen varios grados de libertad (dos o más) es posible un número infinito de trayectorias. Esto quiere decir que en los movimientos, en las articulaciones pluriaxiales, no existe una precisión dada por la forma de unión. Esto es más característico aún en las cadenas con varias articulaciones pluriaxiales.

La multitud de posibilidades de movimientos en las articulaciones de un par cinemático de más de un grado de libertad, a diferencia del par técnico, exige para la ejecución de cada movimiento determinado: a) la elección de la trayectoria necesaria ; b) la dirección del movimiento según la trayectoria (dirección y magnitud de la velocidad); c) la regulación del movimiento, entendida como la lucha contra las interferencias que influyen sobre la trayectoria.

FIGURA 57

10.4 GEOMETRÍA DE LOS MOVIMIENTOS

El número de ejes fundamentales de la articulación corresponde a cantidad de grados de libertad de movimientos de un miembro con respecto a otro. El plano del movimiento es perpendicular al eje de rotación y caracteriza la dirección del desplazamiento del miembro. La amplitud de los movimientos es el desplazamiento angular del miembro desde una posición límite a otra.

En el movimiento articular se distinguen el eje, el plano y la amplitud. Todos los pares de miembros están unidos, como bisagras en las articulaciones, es por eso que ellos pueden moverse fundamentalmente sólo alrededor de ejes (sin considerar el desplazamiento insignificante). Sin embargo, no existen articulaciones de forma geométrica completamente correctas. y aún en el caso en que existieran tales articulaciones, veríamos que al presionar los cartílagos hialinos articulares, la forma de las superficies articulares se alteraría. Por consiguiente, los ejes geométricos de rotación no son constantes y es más correcto hablar de ejes instantáneos de rotación. En relación con esto, la cantidad de ejes en la articulación significa, en el sentido biomecánico de la palabra, sólo el número de grados de libertad del movimiento, y no los ejes de rotación geométricos constantes.

Los ejes longitudinales de los miembros, con frecuencia, no son completamente perpendiculares a los ejes geométricos de rotación. Es por eso que los diferentes puntos de los miembros se mueven en planos paralelos unos a otros, y el eje longitudinal mismo del miembro describe superficies semejantes a las cónicas. De esta forma, el plano del movimiento en la articulación caracteriza en qué plano se mueven los puntos del miembro. Este plano es perpendicular al eje geométrico de rotación y no coincide obligatoriamente con el plano del movimiento, del eje longitudinal del miembro mismo.

La movilidad en cada articulación aislada se mide mediante la amplitud de los movimientos. La mayor, amplitud se produce en los movimientos pasivos; cuando aumenta la carga externa (peso, fuerza de inercia) se distienden los tejidos blandos (limitantes).

La amplitud en los movimientos activos es menor que en los pasivos ya que en los primeros los músculos tienen un límite de fuerza, al mismo tiempo que la magnitud de las fuerzas externas no está limitada. Además, la fuerza de los músculos propios del par de miembros, está aplicada de una forma no conveniente en las posiciones límites de los miembros en la articulación.

La flexibilidad de toda la cadena cinemática está dada por la movilidad de los miembros vecinos en las articulaciones de cada par. La flexibilidad de la cadena (por ejemplo, de la columna vertebral) se mide por la amplitud total de movimiento del miembro final, con respecto al otro extremo de la cadena.

La amplitud total de movimiento resulta menor que la suma de las amplitudes de los movimientos aislados en las articulaciones, ya que como consecuencia de la insuficiencia pasiva de los músculos pluriarticulares, surgen ligaduras complementarias.

11 LOS MIEMBROS COMO PALANCAS

El esqueleto, compuesto por huesos unidos en forma móvil, es la base rígida de las cadenas biocinemáticas. los miembros de las cadenas, con las fuerzas aplicadas a ellos (tracción muscular, etc.), se analizan en biomecánica como un sistema de palancas compuestas..

11.1 TIPOS DE PALANCAS EN EL CUERPO HUMANO

La palanca es un cuerpo rígido que, bajo la acción de las fuerzas aplicadas puede rotar alrededor de un apoyo (eje) en dos sentidos opuestos, así como, también conservar su posición.

Como el mecanismo más simple, la palanca sirve para transmitir los movimientos y las fuerzas a distancia.

Cada palanca tiene un punto de apoyo: el eje de la palanca (O en la fig 6), los puntos (A y B) de aplicación de dos fuerzas contrarias (G y Q). Para determinar la distancia desde el eje de la palanca hasta el lugar de aplicación de las fuerzas, se miden los brazos de la palanca (OA y OB). Para determinar la distancia desde el eje de la palanca hasta la dirección de la acción de las fuerzas, se miden los

brazos de las fuerzas (d y k , que son las líneas perpendiculares que bajan desde el punto O a la línea de acción de las fuerzas, es decir, sus direcciones).

FIGURA 57.1

Las palancas pueden ser de un brazo (con el punto de apoyo en el extremo de la palanca, ver fig. 6 a) y de dos brazos (el punto de apoyo entre los extremos, ver fig. 6 b). No existe una diferencia de principio, con respecto al trabajo de las fuerzas, entre ambos tipos de palancas: si giramos un brazo de la palanca de dos brazos alrededor del punto O , desde la posición do a d_1 , y después a d_2 , podemos pasar a una palanca de un brazo (ver fig. 6 c).

Esta nueva palanca, de un brazo, tiene otra forma pero posee las mismas propiedades que la anterior, o sea, que la palanca de dos brazos.

Los miembros del cuerpo humano tienen en su fundamento palancas óseas. Las palancas de dos brazos se emplean, por ejemplo, en la conservación de la postura de pie; las palancas de un brazo, en los movimientos rápidos de las extremidades.

Un mismo miembro con respecto a diferentes músculos puede ser tanto una palanca de un brazo, como de dos brazos.

11.2 CONDICIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA POSICIÓN DE LOS MIEMBROS Y DE SUS MOVIMIENTOS COMO PALANCAS.

Para el equilibrio de la palanca es imprescindible la igualdad de los momentos de las fuerzas aplicadas de acción opuestas respecto al eje de la palanca: para la aceleración de la palanca es necesario la desigualdad de estos momentos de fuerzas.

Como resultado de la acción de fuerzas opuestas, el miembro como palanca puede: a) conservar la posición o continuar el movimiento con la velocidad existente; b) recibir aceleración por parte de una u otra fuerza. El efecto de la acción conjunta de las fuerzas, depende de la correlación de sus momentos.

Analicemos un caso simple: sobre una palanca de un brazo actúan la fuerza de tracción muscular (Q), dirigida hacia arriba, y un peso

(G), dirigido hacia abajo (ver fig. 6 a). La fuerza de tracción muscular (Q) actúa con respecto al punto de apoyo del miembro (O) a una distancia (d), que es igual al brazo de la fuerza (Q). La capacidad de rotación de esta fuerza (momento de la fuerza Q con respecto al punto O) se mide mediante el producto de la fuerza Q por su brazo d; $M_o(Q) = Qd$.

El momento de la fuerza G (dirigida en sentido contrario), con respecto al mismo punto O, es igual al producto de la fuerza G por su brazo k; $M_o(G) = Gk$.

Si los momentos de ambas fuerzas son iguales, entonces, o se conserva inmóvil la posición de la palanca, o continúa el movimiento con la velocidad existente en el instante en que se igualaron ambos momentos.

Cuando el momento de una de las fuerzas es mayor que el momento de la otra fuerza, surge la aceleración en el sentido en que está dirigida la fuerza de mayor momento. Si es mayor el momento de la fuerza de tracción muscular, el músculo se contraerá (trabajo dinámico motor) y el brazo de la palanca se desplazará en su sentido. Si es mayor el momento de la fuerza de carga, entonces el músculo se distenderá (trabajo dinámico resistente) y el brazo de la palanca se desplazará en el otro sentido.

Hay que señalar que la palanca, en los casos analizados con el objetivo de simplificar el cálculo, se considera sin peso y sin inercia. En realidad los miembros del cuerpo humano tienen peso y, durante las aceleraciones, ejercen una resistencia inercial en dependencia de sus momentos de inercia.

En el ejemplo descrito anteriormente (ver fig. 6 a) la palanca está dispuesta horizontalmente, por eso la dirección de la carga es perpendicular a la palanca y el brazo de la fuerza coincide con el brazo de la palanca (k). En los movimientos humanos esto ocurre muy pocas veces. Generalmente las fuerzas están aplicadas en ángulo agudo o ángulo obtuso. Entonces el brazo de la fuerza es menor que el brazo de la palanca, y, por consiguiente, el momento de la fuerza es menor que el máximo posible para la magnitud dada de la fuerza.. Cuando la fuerza F está aplicada en ángulo agudo u

obtusos (ver fig. 6 e,f) el brazo de la fuerza (d) se desplaza y el brazo de la palanca (l) es la hipotenusa en el triángulo rectángulo. Por consiguiente, el brazo de la fuerza es menor que el máximo (ver fig. 6 d, donde $l = d$), y por eso el momento de la fuerza tampoco es mayor. Esto también se ve cuando se descomponen las fuerzas: la componente normal (F_N), perpendicular a la dirección del movimiento, sólo presiona a la palanca en el punto de apoyo o tira de ella y directamente no influye sobre la velocidad del movimiento. La componente tangencial (F_t), que es tangente a la trayectoria de la palanca, influye sobre la velocidad de movimientos. Es por eso que la tracción tangencial se denomina de rotación (o evidente), y la normal de fijación (o latente).

Durante los movimientos varían las posiciones de las palancas óseas y los ángulos de aplicación de las fuerzas. Por consiguiente, varían los brazos de las fuerzas. La longitud de los músculos tampoco se mantiene constante, y es por eso que sus tensiones son mayores o menores.

De esta forma, los momentos de las fuerzas, sus correlaciones y de aquí también las condiciones de conservación de las posiciones, o del movimiento de las partes del cuerpo como palancas, no son constantes.

11.3 LA "REGLA DE ORO" DE LA MECÁNICA EN LOS MOVIMIENTOS HUMANOS.

El trabajo, realizado por una fuerza aplicada a un brazo de la palanca, se transmite al otro brazo.

La fuerza de la tracción muscular, aplicada al brazo corto de la palanca, provoca tantas veces un mayor desplazamiento del otro brazo, en la misma medida en que el primer brazo sea más corto que el segundo. Claramente, aquí hay una ganancia de espacio. Debido a que diferentes espacios se atraviesan en un mismo tiempo, aquí existe una ganancia de velocidad. La fuerza transmitida al brazo largo de la palanca, es precisamente tantas veces menor que la aplicada.

De esta forma, una ganancia en velocidad se obtiene como resultado de una pérdida en fuerza.

Casi todos los músculos en el cuerpo humano se fijan cerca de las articulaciones (el brazo corto de la palanca); esto conduce a una ganancia de espacio y, por consiguiente, también de velocidad, a la vez que se produce una pérdida de fuerza. En la mayoría de las posiciones de la palanca ósea, las tracciones musculares están dirigidas en ángulo agudo u obtuso al miembro (a todo lo largo del miembro), lo que implica una inseparable pérdida de fuerza muscular (disminuye la tracción de rotación). La tracción normal (latente), en este caso, facilita la fijación del miembro a la articulación.

Cuando las cargas son grandes, se ponen tensos todos los músculos que rodean la articulación, entre ellos también los antagonistas. Aquí se incrementan bruscamente las pérdidas en la tracción total del músculo; al mismo tiempo se obtiene también un efecto positivo: la fijación de la articulación cargada.

Debido a las particularidades de aplicación de las tracciones musculares a las palancas óseas, son imprescindibles tensiones considerables de los músculos, para la ejecución no sólo de los movimientos de fuerza, sino también de los de velocidad.

Los miembros del cuerpo que entran en las cadenas biocinemáticas forman un sistema de palancas compuestas, en el cual la "regla de oro" de la mecánica se pone de manifiesto, siempre de una forma más compleja que en las palancas simples aisladas.

BIODINÁMICA DE LOS MÚSCULOS.

12 PROPIEDADES BIOMECAICAS DE LOS MUSCULOS.

Los músculos, como cuerpos físicos, poseen una serie de propiedades mecánicas: elasticidad, viscosidad, escurrimiento y relajación. Como objetos biológicos, los músculos ponen de manifiesto las propiedades de excitabilidad y contractibilidad: Todas las propiedades mencionadas están interrelacionadas, lo que es muy importante tener en cuenta cuando se realice la investigación biomecánica de los movimientos.

12.1 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MUSCULOS.

La elasticidad se pone de manifiesto en el surgimiento de la tensión en el músculo, durante su deformación bajo la acción de la carga. La viscosidad se manifiesta al hacerse más lenta la deformación como resultado de las fuerzas internas (fricción de los líquidos, fuerzas moleculares).

En la gráfica "longitud-tensión", obtenida experimentalmente de un músculo aislado (ver fig. 7 a), se puede analizar la elasticidad del músculo. En ella vemos que, a medida que aumenta la carga, el músculo se alarga, y vemos cómo aumenta en este caso su tensión. De aquí que:

- 1. La carga (P) distiende al músculo, alargándolo (en Δl), es decir, para distender el músculo es imprescindible aplicar una fuerza.*
- 2. A medida que el músculo se alarga (en Δl) su tensión aumenta (en ΔF); por consiguiente, para provocar la tensión del músculo (sin una excitación complementaria es imprescindible distenderlo).*
- 3. La carga aplicada (P) determina la magnitud de la tensión del músculo (F); de esta forma, para obtener una mayor tensión, es necesario aplicar una carga mayor (resistencia a la tracción muscular); la acción es igual a la reacción.*
- 4. La elasticidad del músculo no es lineal. (Δl_2) es mayor Δl_3 , aunque ΔF_2 y ΔF_3 son iguales); por consiguiente, a medida que se incrementa considerablemente la tensión, incrementos iguales de la longitud del músculo provocarán incrementos cada vez mayores de la tensión.*
- 5. Cuando no actúa la carga, la longitud del músculo (l_0) es la menor ("longitud libre" del músculo); el músculo no distendido no está tenso.*
- 6. En las condiciones del organismo, la longitud del músculo (l_0) es mayor que la longitud libre", y el músculo está algo tenso, es decir, siempre posee el "tono" de reposo (F_0).*

Tales son las particularidades de las propiedades elásticas de un músculo no excitado.

La viscosidad del músculo, como causa del retardamiento de la deformación, puede observarse por la fluctuación entre la gráfica de la deformación real y la línea de la dependencia longitud-tensión" en un estado establecido (ver fig. 7 b, línea A). Cuando existe una menor viscosidad (línea B), la variación de la longitud se retrasa con respecto a la variación de la tensión, tanto durante la distensión del músculo(B_1), como durante su contracción (B_2). En este caso el músculo, aunque no inmediatamente, regresa a su estado inicial (punto l_1). Cuando existe una mayor viscosidad (línea C), el retraso es aún mayor y el músculo no regresa al estado inicial (punto l_2): se ha descubierto una deformación residual (distancia $l_1 l_2$).

Las curvas obtenidas (B, C) forman los denominados "lazos de histéresis ", que caracterizan el retardamiento del proceso de deformación debido a la acción de frenaje de la viscosidad. En este caso es inevitable una pérdida de energía. Esta pérdida es proporcional al área limitada por los lazos de histéresis (sombreado oblicuo desde B_1 a B_2 y sombreado vertical desde C_1 a C_2). Realmente, el área determinada por el producto de la fuerza (tensión) y el espacio (variación de la longitud), es igual al trabajo necesario para superar la viscosidad.

El escurrimiento es la propiedad del músculo para variar la correlación longitud-tensión en el transcurso del tiempo: el músculo cargado (tenso) tiene una longitud determinada; pasado cierto tiempo, si mantenemos constantes la carga y la tensión esta longitud aumenta.

La relajación consiste en que el músculo distendido, al conservar su longitud, disminuye su tensión gradualmente, se relaja, en el transcurso del tiempo.

El conjunto de estas propiedades mecánicas (elástico-viscosas, escurrimiento y relajación), en todas sus combinaciones posibles en diferentes condiciones, es lo que se acostumbra a denominar, en esencia, elasticidad del músculo.

FIGURA 58

fig.7 Gráficas de "longitud-tensión" del músculo: a- manifestación de la elasticidad (dependencia entre deformación y tensión o carga); b- manifestación de la viscosidad (lazos de histéresis), (orig.).

FIGURA 59

Fig. 8 Modelo de las propiedades de los músculos: I. Propiedades aisladas: a- contractilidad; b- elasticidad; c- viscosidad; II. Combinación de las propiedades del cuerpo; d- elásticocontráctil; e- elasticoviscosa; f- escurrimiento elástico; g- de relajación (según N. S. Severtsov). ...

Representaremos estas propiedades esquemáticamente, en forma de modelos que poseen semejantes propiedades. La contractibilidad se manifiesta en forma de tracción activa y puede ser representada con el modelo de motor (ver fig. 8 a). La elasticidad se pone de manifiesto por una tracción de reacción; su modelo es un resorte (ver fig. 8 b). La viscosidad como freno de la deformación puede estar modelada por un amortiguador (amortiguador de oscilaciones: un pistón en un cilindro con líquido espeso, ver fig. 8 c). A partir de los modelos de las propiedades elementales, podemos componer esquemáticamente sus combinaciones (cuerpos elástico-contráctil, elástico- viscoso, de escurrimiento elástico y de relajación; ver fig. 8 d, e, f, g). Sin embargo, aún resulta difícil componer correctamente un modelo elemental de las propiedades del músculo, que agrupe paralela y sucesivamente los modelos parciales. Los intentos de cálculo matemático de los fenómenos, con ayuda de este tipo de modelos, no han conducido a resultados que sean lo suficientemente semejantes a los obtenidos mediante vías experimentales. Estos modelos ofrecen las regularidades generales, pero no reflejan una ley cuantitativa rigurosa. El músculo

altamente elástico posee: una considerable capacidad a la distensión, una gran rigidez durante una gran distensión (elasticidad no lineal), y pequeñas pérdidas energéticas (poca viscosidad), durante las deformaciones. Y aunque el mecanismo que garantiza las propiedades no ha sido aún explicado por completo, es muy importante tener en cuenta la manifestación de las mismas cuando se estudien las formas para elevar la efectividad de las acciones de los músculos en los movimientos.

12.2 REGÍMENES DE TRABAJO MUSCULAR

El régimen de trabajo del músculo se determina por la variación, ya sea de su longitud, ya sea de su tensión, o de ambas simultáneamente.

La excitabilidad del músculo se pone de manifiesto en la variación, tanto de su tensión, como de las propiedades mecánicas; elasticidad, viscosidad, etcétera. Como resultado de la excitación, la energía química del músculo se convierte en energía mecánica. Manteniendo una misma carga y tensión, el músculo excitado tiene una menor longitud: es decir, el músculo se contrae sin variar su tensión.

Resulta cómodo analizar la propiedad de contractibilidad, en el gráfico de longitud-tensión", de un músculo no excitado y de un músculo excitado al máximo (ver fig. 9 a); la curva que se refiere al músculo excitado al máximo, se encuentra por encima de la del músculo en reposo.

Por consiguiente, existiendo una magnitud de tensión igual, la longitud del músculo excitado es menor.

Las curvas obtenidas con diferentes grados de excitación de los músculos, ocupan una situación intermedia entre los casos extremos señalados. Este gráfico también se puede analizar de otra forma: para una misma longitud, los puntos de la gráfica del músculo excitado están más a la derecha que los puntos de la gráfica del no excitado (por ejemplo, los puntos 1 y 3).

Es decir, al existir una misma longitud del músculo, este, al ser excitado, tendrá una mayor tensión que en estado de reposo.

FIGURA 60

Fig.9 Trabajo del músculo: a- aparición de la excitación, regímenes: isotónico (1-2), isométrico (1-3) , auxotónico (1-4) ; b- manifestación de la viscosidad del músculo

Si-el músculo se distiende antes de la contracción mediante un movimiento preparatorio (por ejemplo, péndulo o cuclillas}, entonces frenará el movimiento; la energía cinética del miembro frenado se transformará en energía potencial de deformación elástica del músculo. Ahora el músculo distendido está tenso ; en él se ha acumulado energía potencial de deformación elástica. Cuando el músculo se excita y comienza el movimiento activo, en el músculo se forma la energía mecánica de tensión, que se libera durante la reacción bioquímica.

Toda la energía biopotencial del músculo consta de energía bioquímica transformada y de energía mecánica elástica.

La transformación de toda la energía biopotencial del músculo en energía mecánica (cinética}, se pone de manifiesto de diferentes formas en las diferentes condiciones de trabajo del músculo. En la gráfica, la línea de transición del punto 1 al punto 2 representa la contracción del músculo en el régimen isotónico (sin variación de la tensión, ver fig. 9 a)".En los movimientos reales en un organismo vivo, es imposible encontrar este régimen. Durante los movimientos, varían" los momentos de las fuerzas de tracción muscular , así como de otras fuerzas, ya que varían los ángulos de aplicación de las mismas, y en los músculos varía su longitud. Es prácticamente imposible, además de innecesario, mantener una magnitud de la tensión muscular en estas condiciones.

La línea de transición del punto 1 al 3, representa en la gráfica el incremento de la tensión del músculo durante su trabajo en el régimen isométrico. Por ejemplo, cuando los obstáculos no pueden ser superados, la longitud del músculo no varía, pero sin embargo su tensión, como resultado de la excitación, aumenta. Este es el caso

de trabajo estático de los músculos cuando mantienen la posición del cuerpo.

13 ACCIÓN MECÁNICA DE LOS MÚSCULOS

La acción mecánica de los músculos se pone de manifiesto, fundamentalmente como tracción. La tracción muscular caracteriza la magnitud de la fuerza muscular aplicada y su dirección: ella se forma al sumarse las fuerzas de tracción de cada una de sus fibras.

13.1 MAGNITUD y DIRECCIÓN DE LA TRACCIÓN MUSCULAR.

La tracción muscular depende de un conjunto de condiciones mecánicas, anatómicas y fisiológicas.

Durante los movimientos es común encontrar, en el trabajo de los músculos del ser humano, el denominado régimen auxotónico (por ejemplo, la línea de transición que va en las gráficas del punto 1 al punto 4), que está relacionado con la variación, tanto de la longitud, como de la tensión de los músculos. Sería más correcto denominar "auxónico" a este régimen, teniendo en cuenta que varía no sólo la tensión, sino también la longitud del músculo. En las gráficas de movimientos reales, todas las transiciones señaladas se producen sin seguir líneas rectas, ya que la viscosidad hace más lenta la deformación. En la figura 9 b, se ofrecen los lazos de histéresis al excitar un músculo que ya estaba bajo la acción de una carga (1-2), al aplicar una carga complementaria a un músculo excitado (2-3), y después de retirar, tanto la excitación, como la carga (4-1). Las zonas sombreadas corresponden al gasto de energía para superar la viscosidad. Se considera que la viscosidad de los músculos se incrementa durante los movimientos rápidos y durante la excitación considerable, es decir, en las condiciones que caracterizan la lucha competitiva del deportista. Sin embargo, el calentamiento de los músculos disminuye la viscosidad, disminuye la inhibición durante la contracción y la distensión de los músculos. Por consiguiente, en las competencias y en los entrenamientos, es importante conservar el calor en los músculos calentados para disminuir la viscosidad. A las condiciones mecánicas pertenece la

carga, tanto la que distiende al músculo como la que se contrapone a su contracción" Cuando aumenta la longitud del músculo distendido, se incrementa su tensión elástica (si la excitación no ha variado). Esto se observa fundamentalmente durante grandes distensiones, debido a que se pone de manifiesto la elasticidad no lineal. La fuerza de tracción muscular se incrementa sólo hasta un límite conocido de aumento de la carga, después de lo cual el aumento posterior de la carga ya no provoca ningún incremento de la fuerza de tracción del músculo.

FIGURA 61

Fig. 10 Dependencia entre la rapidez de contracción y la tensión del músculo (esquema según Abbot y otros).

Cuando aumenta la carga a superar (dentro de límites conocidos), la fuerza de tracción del músculo es mayor, pero la rapidez de contracción decrece (ver fig. 10). Sin embargo, durante el trabajo dinámico resistente ejecutado con aceleración, la tensión del músculo se incrementa.

Una gran fuerza de tracción del músculo puede ponerse de manifiesto también durante una gran aceleración de un cuerpo que tenga poca masa. Debido a esto, la forma en que se desarrollen unos u otros aspectos de la preparación de fuerza, depende de la elección de las cargas y del régimen de trabajo de los músculos, al seleccionar los ejercicios para la formación de las cualidades de fuerza.

Entre las condiciones anatómicas de manifestación de la tracción muscular, encontramos la estructura del músculo y su disposición (en un instante dado del movimiento). De la estructura del músculo depende su sección fisiológica, que se determina por el corte que atraviesa todas las fibras del músculo perpendicularmente a sus ejes. Pero la cosa no consiste sólo en la fuerza total de tracción de todas las fibras del músculo. De la disposición de las fibras depende también el grado en que sean no lineales las propiedades elásticas. De esta forma, en los músculos con un transcurso oblicuo

de las fibras, cuando se produce una pequeña distensión, tiene lugar un gran aumento de las fuerzas elásticas.

La disposición del músculo con respecto al eje de la articulación y del miembro, en un instante dado del movimiento, influye en primer lugar, sobre la magnitud del brazo de la fuerza y, por consiguiente, sobre la magnitud del momento de la fuerza de tracción. Cuando los ángulos son agudos (menos de 45°) y obtusos (más de 135°), la tracción de rotación es menor que la de fijación. En segundo lugar, la disposición del músculo influye sobre la dirección de la tracción muscular. El músculo tenso tiende a acercar los puntos de fijación (centros de sus áreas) de sus extremos. Sólo si el vientre muscular o el tendón pasa a través de un saliente óseo (bloque), la dirección de la tracción estará determinada por la recta que une el centro de la parte gruesa del músculo, sobre este bloque, con el lugar de su fijación.

Las condiciones fisiológicas que determinan la magnitud de la tracción del músculo se refieren, fundamentalmente, a las condiciones de excitación de este y a sus variaciones, sobre todo, durante la fatiga; como es sabido, un haz desde 10 hasta 3000 fibras musculares (mión) está inervado por una fibra nerviosa, que es un apéndice de una célula nervioso-motora de las astas anteriores de sustancia gris de la médula espinal. De la cantidad de miones excitados depende, fundamentalmente, la fuerza de tracción del músculo. La excitación máxima de la mayor cantidad de miones garantiza la mayor fuerza de la tracción muscular. Como consecuencia de la fatiga varía considerablemente la capacidad de trabajo del músculo. Hay que tener esto en cuenta cuando se realice la investigación biomecánica de la técnica deportiva.

13.2 RESULTADO DE LA TRACCION MUSCULAR

El resultado de la aplicación de la tracción muscular en la cadena cinemática depende de: a) la fijación de los miembros ;b) la correlación entre las fuerzas que provocan el movimiento y las fuerzas de resistencia; c) las condiciones iniciales de rotación.

Para determinar el resultado de la tracción muscular es insuficiente establecer la magnitud y la dirección de esta tracción.

En diferentes condiciones de fijación de los miembros, una misma tracción conduce a un resultado diferente: a diversos movimientos de los miembros en articulación. En un par cinemático un miembro puede estar fijo, o ambos pueden estar libres, o ambos pueden estar fijos (ver fig. 11). De la forma correspondiente surgirán las aceleraciones de uno u otro miembro, o de ambos (movimientos contrarios), o la unión queda fijada. Los músculos biarticulares, y no nos referimos ya a los pluriarticulares, tienen un número de posibles variantes de resultado mucho mayor.

Cuando uno o ambos miembros pueden moverse libremente, la magnitud de la aceleración dependerá del momento de rotación, del momento de las fuerzas de resistencia externa y de la distribución de las masas del miembro. En otras palabras, el movimiento depende de la relación entre la fuerza motriz y la correspondiente resistencia.

Por último, son especialmente importantes las condiciones iniciales de la rotación: la posición de los miembros del par y la velocidad de los mismos (dirección y magnitud), en el instante de aplicación de la fuerza. De ellas depende el efecto de la tracción muscular: la aceleración del movimiento, su desaceleración o la variación de la dirección, la variación de la magnitud y del sentido de la velocidad simultáneamente

En las cadenas cinemáticas actúan los mismos factores que determinan el resultado de la tracción de cada uno de los músculos. Pero como en la cadena cinemática todos los miembros están interrelacionados de una u otra forma, entonces tenemos que: en cada caso concreto, sólo el conjunto de todos los factores, determinará el resultado de trabajo de los músculos en total.

FIGURA 62

Fig. 11 Resultado de la tracción muscular: a- en suspensión (apoyo superior) ; b- con apoyo inferior; c- sin apoyo; d- cuando se han fijado los antagonistas (según V. E. Nagomty).

13.3 TIPOS y VARIEDADES DEL TRABAJO MUSCULAR.

*En dependencia de la variación de la longitud del músculo, se distinguen los siguientes tipos de trabajo de los mismos: a) estático: la longitud del músculo no varía; b) dinámico; el músculo puede acortarse (trabajo motor) o puede alargarse (trabajo resistente) **FIGURA 63***

En dependencia de la combinación de los tres tipos de trabajo muscular (variación de la longitud), con variantes posibles de cambios de sus tensiones, pueden existir nueve variedades elementales (típicas) del trabajo de los músculos (ver tabla).

Durante la conservación de la postura del cuerpo, con mayor frecuencia encontramos una fijación constante (variedad 5). En los movimientos, los más frecuentes son el impulso (3) y el frenaje (7).

En los movimientos de precisión es característico el comienzo del frenaje (9). El trabajo de fuerza se ejecuta con tensiones en los movimientos "hasta el rechazo " (1) y con aumento de la fijación (4).

Durante la ejecución de una misma acción, pueden producirse sustituciones (a veces reiteradas) de las variedades del trabajo en un mismo músculo. La sustitución más característica de los tipos de trabajo es la del trabajo resistente al motor. El músculo distendido asimila la energía cinética del miembro frenado, la convierte en energía potencial de deformación elástica y de nuevo en energía potencial en la contracción siguiente (régimen reversible: cuando varía el sentido del movimiento).

REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MOVIMIENTOS

36 REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS

El registro de las características cinemáticas culmina con el trayecto de la señal, desde el deportista en movimiento o de cualquier otro objeto, hasta el lugar de registro de esta señal (un papel, una película, una pantalla, etc.).

Este trayecto comienza con la recepción de la señal mediante un receptor produce la transformación de la señal que lleva consigo el movimiento, la tensión u otros procesos físicos; durante la codificación se sustituye el portador de la señal. Posteriormente sigue la transmisión de la señal a distancia y las también posibles transformaciones ulteriores de la señal (amplificación, recodificación), hasta que llega a la instalación de registro. Aquí la señal de nuevo se decodifica y adopta un carácter de proceso, que deja tras sí unas u otras "huellas" (registro). La cantidad de puntos de transformación (incluyendo la recepción y el registro) puede ser diferente. La transmisión puede ser mecánica, óptica, acústica, eléctrica (por conductores, electromagnética), etcétera. Al final de la transmisión es posible una indicación en un aparato, que permite observar visualmente la señal, una indicación con registro simultáneo o sólo un registro. Todas estas variantes son semejantes si se analiza la indicación (observación en las agujas, en un rayo, etcétera) como un registro no fijado.

En los últimos años las instalaciones que transforman las señales no eléctricas en señales eléctricas, que se transmiten por conductores o transmisores de radio y que después de ser amplificadas se llevan a un oscilógrafo, han adquirido gran difusión

36.1 REGISTRO DE LAS CARACTERISTICAS ESPACIALES

Las características espaciales fundamentales (coordenadas, desplazamientos, trayectorias), pueden ser medidas, y los resultados de las mediciones pueden ser registrados. durante el transcurso de los movimientos: tanto continuamente, como discretamente, en diferentes instantes de tiempo.

La medición de estas características. se circunscribe a la medición de los espacios (en unidades de referencia lineales y angulares). la

medición de los espacios se produce ya sea mediante la medición directa en la magnitud natural, como con una determinada disminución (métodos lumínico-químico y de foto registro).

Mediciones directas. En la práctica deportiva (atletismo, salto con esquís, etc.), se miden tanto las dimensiones de los lugares de las competencias (dimensiones generales y marcaje) , como los resultados de las actuaciones deportivas (por ejemplo, altura, longitud en los saltos, longitud de los lanzamientos, etc.). Con este objetivo se emplean cintas métricas, soga de medición, visores ópticos, distancímetros mecánicos (rueda con contador), compases divisores, etcétera. Los ángulos de inclinación en los terrenos accidentados se miden con un eclímetro (goniómetro). El resultado de los movimientos se determina, por ejemplo, con ayuda de saltímetros (V. M. Abalakov), dianas para los goles con la pelota de fútbol. A lo largo de la pista se colocan, a distancias iguales, orientadores para la medición visual o automática (fotoeléctrica) del tiempo en que se atraviesa determinado tramo (por ejemplo, para determinar la velocidad mediante la dirección por una señal sonora). Todos los métodos citados para el registro de la distancia son, en principio, simples y no exigen aclaraciones.

Los ángulos en las articulaciones se miden mediante métodos goniométricos de diferentes principios. El más cómodo es el de la electrogoniografía, que es la medición continua del ángulo articular. Cuando se acercan o se alejan las dos ramas del goniógrafo (unidas contra el eje de la articulación), varía la resistencia eléctrica y las mediciones de la corriente se fijan en una cinta (película) del oscilógrafo. Cuando se emplea un sistema de electrogoniógrafos es posible obtener un registro de las variaciones simultáneas de una serie de ángulos articulares (ver fig. 40 a). Fotorregistro. En el fotorregistro se emplea la exposición simple y múltiple.

FIGURA 64

Fig. 40 Registro de las características espaciales: a- electrogoniograma (marcha a diferentes tempos, según Y. L. Slavutsky y N. V. Baskakovaia); b- fotograma(levantamiento de la palanqueta, según V. V. Mijailov)

Durante la exposición simple (con cámara fotográfica o de cine) se obtiene una foto única (fotografía), en la cual, por ejemplo, se ha tomado al sujeto en un instante de tiempo dado (situación y postura del cuerpo). Si al cuerpo se fijan, a nivel de las articulaciones o en el punto de trabajo, lámparas incandescentes y se mantiene el obturador abierto en el transcurso de todo el movimiento, entonces en el negativo se obtendrán las trayectorias continuas de los puntos (fotograma, ver figura 40 b). En una habitación oscura el fotograma será más claro. El fotograma permite fijar las proyecciones de las trayectorias de los puntos en un plano perpendicular al eje óptico del objetivo del aparato: Pero no es posible determinar en qué instante el punto en movimiento se encontraba en uno u otro lugar de la trayectoria. Durante la exposición múltiple es posible obtener en un negativo una foto doble, triple, etcétera (varias posiciones). Con el empleo de un obturador (ver figura 1 a), se obtiene el cronofotograma (ver fig. 1 b): una serie de imágenes a determinados intervalos de tiempo en una misma película (o plancha). Si se fotografía al sujeto equipado con lámparas incandescentes, con empleo de un obturador, en el negativo se obtendrá un ciclograma (ver fig. 1 d): una serie de trayectorias de puntos con distancias entre los puntos de cada trayectoria, que corresponden al desplazamiento del punto en iguales intervalos de tiempo. Finalmente, interrumpiendo el rayo de luz, que llega al objeto de la toma, también es posible obtener en un negativo una serie de posturas del hombre iluminado: estrobefotograma. Este último método permite obtener posturas, igual que en el cronograma, pero con una mayor frecuencia (cientos y miles de hertzios) con una exactitud considerable de los intervalos de tiempo. Con frecuencia se emplea la ciclografía en dos planos (con dos cámaras), los mismos datos se obtienen con ayuda de una

toma de espejos: trayectorias directas y reflejadas (como la toma desde dos puntos).

Cinerregistro. Como es sabido, el Cinerregistro (toma cinematográfica) se realiza mediante la exposición, en tramos sucesivos, de la película que se desplaza (cuadro cinematográfico). En todos los tipos de toma cinematográfica, el material inicial de registro es la película (negativa o positiva). Posteriormente puede ser empleada para la demostración en la pantalla: proyección normal y proyección en cámara lenta de cuadros de una toma acelerada (rapid). Se emplea también para obtener una serie de características mediante las mediciones y los cálculos. En cada cuadro se fija sólo una posición, a partir de la cual es posible determinar la postura y las coordenadas de los puntos del cuerpo, en el instante de tiempo correspondiente.

Condiciones para el foto y el cinerregistro. Durante todos los tipos de toma se exige una elaboración previa del esquema de disposición de las cámaras respecto al plano del movimiento, el marcaje del campo y del objeto de la toma. Hay que prever también las condiciones de iluminación.

El eje óptico del objetivo de la cámara se dispone perpendicularmente al plano del movimiento a tomar. El alejamiento a una mayor distancia con el empleo de teleobjetivo permite disminuir la distorsión perspectiva, cuando el objeto en movimiento se aleja del eje óptico. Al elegir el lugar para la toma hay que tener en cuenta sobre qué fondo se obtendrá la imagen y en qué escala.

Para la obtención de una escala exacta se fotografía el listón de medidas, situado en el plano del movimiento. Para la elaboración ulterior se sitúa, en el campo de la toma, un orientador vertical (u horizontal). Paralelamente al plano del movimiento puede hacerse un marcaje espacial (se tiene en cuenta el alejamiento de este del plano del movimiento). Para la elaboración ulterior, en las superficies del cuerpo o en la vestimenta se señalan los puntos de referencia: se fijan o se dibujan marcas (por ejemplo, crucecitas).

Las marcas se hacen sobre la proyección del eje de la articulación en la superficie del cuerpo.

De acuerdo con las condiciones de iluminación del lugar de la toma y con la velocidad del movimiento a tomar, hay que determinar cuál debe ser la abertura del diafragma del objetivo, la sensibilidad de la película y el tiempo de exposición .

Cuando los movimientos son rápidos es imprescindible un menor tiempo de exposición (para que la imagen no salga movida) y una mayor frecuencia de la toma (para una mayor exactitud de los cálculos ulteriores). Durante la toma cíclica se disminuye la iluminación del local para que se vean más claramente las bombillas. En caso que exista una iluminación insuficiente durante la toma cinematográfica, se emplean aparatos de iluminación (lámparas potentes con reflectores).

36.2 REGISTRO DE LAS CARACTERISTICAS TEMPORALES

Las características temporales fundamentales (instante, duración del movimiento, "tempo" y ritmo de los movimientos) pueden medirse, y fijarse, señalando los instantes necesarios y determinando sus correspondientes intervalos.

Para la medición del tiempo, en la práctica deportiva, se emplean cronómetros mecánicos (el valor de la menor división es de 0,1 s). Estos dan un mayor error debido al tiempo de reacción de los cronometristas durante la puesta en marcha y la detención del cronómetro. Existen instalaciones para la puesta en marcha y la detención automática del cronómetro, que disminuyen considerablemente el error de la "reacción".

Los más exactos son los electrocronómetros, que además de tener una menor división (0,01 s), se ponen en marcha y se detienen automáticamente. Los intervalos de tiempo durante la elaboración de la película se determinan por la frecuencia de la toma (la duración del intervalo de tiempo entre cuadros es una magnitud inversa a la frecuencia). Si la frecuencia de la toma no es lo suficientemente constante, entonces en el campo del cuadro de la película se filma también un cronómetro eléctrico exacto.

Para marcar el tiempo en la película, en la cual se registran unas u otras características, se emplean los cronógrafos. Las marcas del tiempo se incluyen en el ciclograma y en el estrobofotograma (según la frecuencia de la toma), así como también en el registro oscilográfico.

36.3 REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS ESPACIO-TEMPORALES

Con muy poca frecuencia se emplea el registro directo de la velocidad. En las investigaciones con objetivos prácticos es muy cómodo el espidógrafo de V.M. Abalakov; un hilo de nailon (de una longitud de hasta 200 m) une al deportista en movimiento con el tambor del tacómetro, que hace el registro de la curva de la velocidad.

Para el registro de las aceleraciones se emplean receptores que permiten registrar las aceleraciones (en una, dos o tres direcciones). Desde el receptor, la señal llega al oscilógrafo a través de un amplificador.

Hasta los últimos tiempos, las velocidades y las aceleraciones se han determinado preferentemente mediante cálculo por las coordenadas de los puntos y por los intervalos de tiempo. El registro directo de las velocidades y de las aceleraciones, en los movimientos complejos, hasta ahora, presenta muchas dificultades técnicas. En los últimos años han comenzado a emplearse equipos de diferenciación que, simultáneamente con los desplazamientos, dan un registro de las velocidades y aceleraciones calculadas a partir de estos .

37 REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

El registro de las características dinámicas puede realizarse antes o después de los movimientos del deportista, por ejemplo, la determinación de la masa del cuerpo, de su momento de inercia, fuerzas de los músculos, etcétera; y durante el movimiento, por ejemplo, la fuerza de interacción con el apoyo .

37.1 REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS INERCIALES

Las características inerciales fundamentales (masa, momento de inercia) no se registran directamente. Se determinan magnitudes a partir de las cuales se calculan dichas características. La masa del cuerpo (m) se determina por el pesaje. Al conocer, mediante el pesaje del cuerpo su fuerza de gravedad (P) y la aceleración de la caída libre del cuerpo (g), se determina la masa: $m=P/g$

La distribución de las masas en el cuerpo caracteriza, en cierta medida, la posición de su CGC. Se emplea la determinación experimental de la posición del CGC y también la determinación por cálculo.

Uno de los métodos experimentales más exactos es el pesaje del sujeto sobre la plataforma triangular (ver Fig. 41 a), en una postura dada. La postura necesaria se establece por dos métodos. O se dibuja en el cuadro de cine la postura, ampliándola hasta las dimensiones naturales, y sobre este dibujo que se encuentra en la plataforma, se acuesta al sujeto en la postura que corresponda al contorno señalado; o se miden en el cuadro de la película los ángulos en las articulaciones más grandes del cuerpo (de los hombros, de los codos, coxofemorales, de las rodillas, de los tobillos) y, empleando goniómetros, se traslada la postura necesaria al sujeto que está sobre la plataforma.

La determinación experimental se ejecuta también en modelos. El modelo de Abalakov es una figura humana, hecha al observar las proporciones medias del cuerpo (en 0,1 de las dimensiones del cuerpo y en 0,001 del peso). La figura se coloca en la postura dada, sobre una hoja de papel con los contornos de la postura (ver fig. 41 b). La hoja del modelo se desplaza por un apoyo 0, en la plataforma, que oscila libremente, mientras el CGC del modelo no coincida con el punto de suspensión de la plataforma. Al presionar desde abajo sobre la aguja, en el centro de la plataforma, se atraviesa la hoja de papel en el punto en que está situado el CGC.

Es posible emplear también el modelo articulado de O. Fischer. que permite determinarla situación del CGC en el plano antero posterior (ver fig. 41 c).

FIGURA 65

Fig.41 Determinación experimental de la posición del CGC: a- en la plataforma (según G. Hochmuth); b- según el modelo de U. M. Abalakov; c- según el modelo de O. Fischer.

La distribución de las masas en el cuerpo humano se caracteriza también por el momento de inercia respecto a un eje elegido. Se coloca al sujeto en la postura dada sobre el columpio (ver fig. 42 a), o sobre una mesa de rotación con resorte ver fig. 42 b). Después de determinar la distancia desde el CGC hasta el eje de rotación, se transmite a la instalación movimiento de oscilación y se registra el período de una oscilación. Se determina el momento de inercia de la instalación misma, I masa del cuerpo del sujeto y el período de la oscilación y, posteriormente, se calcula el momento de inercia del cuerpo .

FIGURA 66

Fig. 42 Deterrninación experimental del momento de inercia: a- en el columpio; b- en la mesa con resorte (según G. Hochmuth).

37.2 REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FUERZA

Las fuerzas, durante su variación continua. pueden ser medidas y registradas en cualquier instante que nos interese (al obtener el transcurso de su magnitud) o pueden medirse y registrarse sólo sus valores máximos.

La acción de fuerza del hombre puede medirse , tanto durante el trabajo de los grupos musculares de una o varias articulaciones, como en el transcurso del trabajo conjunto de muchos grupos musculares (despegue, golpe del boxeador, etc.). Si bajo la acción del sujeto se deforma un resorte o una lámina (plataforma), la deformación se transmite a un indicador de aguja, con una escala previamente calibrada. Las lecturas del indicador pueden observarse directamente, señalando el máximo desplazamiento de la

aguja, o fijarse mediante fotografía o toma cinematográfica, así como transmitirla a una instalación de registro (dinamografía).

Para la medición de los momentos de fuerza en las articulaciones, de una serie de grupos musculares, se emplea el método de la polidinamometría. Se mide, por las indicaciones del dinamómetro, la fuerza de tracción máxima en el extremo del miembro, con un ángulo articular igual a 90° (ver fig. 43 a).

Esta fuerza de tracción (S) se diferencia de la tracción resultante de todos los músculos (F_M) por un coeficiente (k), que es igual a la relación entre los brazos de la fuerza de tracción (y) y la resultante de la tracción muscular (y_1):

$$S = y_1 / y \cdot F_M = k F_M$$

FIGURA 67

Fig43 Dinamometría: a- polidinamometría (según V. M. Abalakov); b- dinamógrafo de salto (según v. M. Abalakov); c- vectordinamograma (según I. P. Ratov).

Para comparar las fuerzas de grupos musculares en diferentes sujetos, hay que determinar la relación de la denominada "fuerza absoluta del grupo muscular" (S) y el peso del cuerpo. Esta relación se denomina fuerza relativa del grupo muscular.

La medición de la fuerza con ayuda de los dinamómetros corrientes de presión y de tracción, está basada en el principio expuesto anteriormente; pero, debido a los grandes errores de estos, no se recomienda su empleo para investigaciones científicas.

Los dinamógrafos de Abalakov forman un gran grupo de instalaciones dinamográficas, que se montan en los aparatos deportivos, así como plataformas especiales que muestran la acción de la fuerza del hombre durante el despegue, el golpe y otras acciones (ver fig. 43 b, c).

El método de la tensometría eléctrica está basado en la variación de las propiedades eléctricas de los receptores (extensómetros) , fijados sobre aparatos que deforma el deportista (barra de la

palanqueta, barra fija, el manubrio, el mango de la raqueta de tenis, etc.), o sobre una plataforma. las plataformas tensométricas han obtenido una amplia difusión para el registro de la fuerza de despegue en salto, marcha, carrera, lanzamiento, lucha y otras muchas disciplinas deportivas.

El método de la vectordinamografía está basado en el registro electro tensométrico de las componentes recíprocamente perpendiculares de deformación de su plataforma (o de otro objeto).

Las señales eléctricas, proporcionales a los esfuerzos correspondientes que realiza el sujeto, están aplicadas sobre la plataforma, actúan sobre un rayo electrónico del electrocardioscopio vectorial (VEKS - O1). En la pantalla, el rayo electrónico deja una huella luminosa en forma de curva, que refleja las variaciones de ambas componentes de los esfuerzos (ver fig. 43 c). Después de la aplicación del esfuerzo se hace una foto de la pantalla: fotovectordinamografía. Colocando la pantalla de forma tal que aparezca en el cuadro de la película, se obtiene en estela postura del deportista y la posición del rayo electrónico (los puntos en la pantalla), que corresponde a la magnitud ya la dirección de los esfuerzos aplicados sobre la plataforma: cinevectordinamografía.

El método de la teletensimetría está basado en la transmisión, por radio, de la señal de los esfuerzos aplicados por el deportista sobre un elemento deformable (plantilla con extensómetros en el calzado del corredor, esquiador, patinador, etc.). La ventaja de los métodos tensométricos consiste en la rapidez de obtención de la información, y en las posibilidades de la representación vectorial de los esfuerzos resultantes. Su insuficiencia consiste en los grandes errores (± 5 kg para la plataforma), que no permiten obtener las particularidades importantes en la dirección sutil de los movimientos.

39.1 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ESPACIALES

La elaboración de los datos de registro, foto y cinematográficos, permite determinar las coordenadas de los puntos elegidos. Fotos

aisladas o repetidas dan un material comparativamente menos valioso que una película).

Por la película, al proyectar sucesivamente sobre un papel los cuadros y al trazar con lápiz los contornos del cuerpo, se obtienen los contomogramas. Para obtener una posición correcta de las figuras en el espacio, es necesario tener en cada cuadro no menos de dos puntos inmóviles (orientadores). Al hacer coincidir estos orientadores, durante la proyección del cuadro correspondiente, con el orientador dibujado ya en el papel, se obtienen los contomogramas naturales (ver fig. 44 a). Para obtener un cuadro del movimiento respecto a un punto elegido (punto de apoyo, eje de la articulación, CGC), este último se hace coincidir en todos los dibujos sucesivos. Los contomogramas de conjunto ofrecen un cuadro del movimiento relativo (ver fig.44 b). Para una demostración visual de las diferencias en la técnica de varios deportistas o en la técnica de ejercicios semejantes, se dibujan contornogramas de conjunto de la posición de su cuerpo en un mismo instante del movimiento: contomograma comparativo (ver fig. 44 c). Se elaboran también los cinegramas sucesivos, que son una serie de impresiones aisladas de cada cuadro en particular , así como el cinegrama natural, que es una impresión de cuadros sucesivos en una hoja de papel pan lo cual se mantiene una correcta orientación de las posturas en el espacio.

Para que todos los contornogramas y cinegramas sean útiles para las mediciones, en ellos deben estar representados los puntos de referencia. Lo mejor es que estos puntos se señalen en la superficie del cuerpo o en la vestimenta del deportista antes de la toma. Al proyectar en el mismo orden que cuando se trazan los contornogramas. se dibujan sólo estos puntos; se obtiene lo mismo que en el ciclograma, o sea, la trayectoria de los puntos: cineciclograma. Si se unen con líneas los correspondientes puntos reconocibles (proyecciones de los ejes de las articulaciones en un instante dado). entonces se obtiene el esquema de la postura del cuerpo.

Todos estos materiales gráficos (contornogramas con puntos, trayectorias de los puntos y esquemas de las posturas) son útiles para la medición de las coordenadas y de los ángulos; por eso se les denomina trazados. A los trazados pertenecen también los cinegramas (serie de impresiones de una película negativa en papel fotográficos); si sobre los cinegramas existen puntos reconocibles, se denominan cinegramas con trazado.

De esta forma, la tarea de la determinación de las características espaciales cuantitativas, a partir de los materiales de las tomas fotográfica, cinematográfica, ciclográfica o estroboscópica, consiste en la preparación de los trazados para la medición, sobre ellos, de las coordenadas de los puntos respecto a un sistema de referencia elegido. Las coordenadas de los puntos pueden determinarse no sólo sobre el trazado, sino también en cada cuadro del cinegrama con trazado. En este caso, ya partir de estas coordenadas, posteriormente se hace el trazado, o sea, los esquemas de las posturas. De esta forma, por cualquier vía (la proyección de los esquemas de las posturas y la determinación posterior de las coordenadas en el trazado; o bien por la determinación de las coordenadas en cada cuadro y la construcción de los esquemas de la postura desde estos), se obtienen los trazados (ver fig. 45) y las tablas de coordenadas. Esto es el resultado de la primera etapa de la elaboración, que ofrecen las coordenadas espaciales (para determinados instantes de tiempo) como material inicial para el cálculo posterior de las velocidades y aceleraciones.

Por el trazado es posible determinar también los ángulos en algunas articulaciones (hay que hacer la tabla de los ángulos articulares).

El trazado es el dibujo (o impresión fotográfica) de puntos o esquemas de posturas reconocibles (con contorno del cuerpo o sin ellos), en una hoja de papel, a una escala establecida y en una forma útil para las mediciones. En el trazado, además de las situaciones de los puntos, se representan orientadores espaciales (la horizontal o la vertical), se representa la escala lineal y se , anota la

escala numérica. Para el cálculo ulterior de las coordenadas resulta cómodo dibujar el trazado en papel milimétrico.

FIGURA 68

Fig.44 Contornogramas: a- natural; b- de conjunto (según E.G. Kotielnikova); c- comparativo (según N. G. Osolin).

FIGURA 69

fig 45 Trazado (esquema de las posturas) con los vectores de las velocidades (flechas continuas) y con los vectores de las aceleraciones (flechas discontinuas), (orig.).

FIGURA 70

La escala del trazado es el grado de disminución de las coordenadas reales (dimensiones naturales) al llevarlas al trazado. La escala numérica es un quebrado simple cuyo numerador es igual a la unidad y cuyo denominador muestra el grado de disminución. La escala lineal es la representación gráfica de la escala numérica en unidades lineales. Sobre una línea recta se sitúan una serie de tramos de igual longitud (unidad fundamental de la escala lineal); en el papel milimétrico, como unidad fundamental de la escala lineal, resulta cómodo tomar 1 cm. El número de centímetros reales que corresponde a la unidad fundamental de la escala se denomina magnitud de la escala lineal. De esta forma, cuando la escala es de 1: 10 se lee "en 1 cm hay 10 cm".

La elección de la escala del trazado depende de los materiales concretos y de las tareas de la investigación. Cuando es muy grande el campo de la toma, hay que elegir una escala de 1 : 20; una escala menor (por ejemplo, 1: 40) no resulta útil para las mediciones debido a que implica grandes errores. La escala más cómoda para los cálculos resulta la escala de 1:10.

Determinación de la escala del trazado. Después de haber visto la película, hay que hallar las posiciones inicial y final del movimiento a estudiar, calcular la magnitud de su desplazamiento real (por el marcaje del campo de la toma o por listones) y elegir la escala. Después de preparar una hoja de papel hay que dibujar la escala lineal. Colocar bajo la ampliadora una hoja de papel para dibujar el trazado, colocar la película en la ampliadora y establecer el aumento que corresponda a la escala.

Marcaje de los orientadores en el trazado. Es necesario llevar al trazado, como mínimo, dos puntos para hacerlos coincidir durante la proyección de los cuadros sucesivos y dibujar una línea de orientación (la horizontal o la vertical). En caso de que los orientadores se salgan de los cuadros subsiguientes, señalar orientadores transitorios.

Diseño del trazado. Al hacer pasar cuadro tras cuadro es imprescindible y hacer coincidir los puntos de orientación, se señalan en el trazado todos los puntos reconocibles de cada postura. Cuando el desplazamiento de los puntos cuadro a cuadro es muy pequeño, se puede dibujar todo el trazado cada dos cambios de cuadro (cuadro 1, 3, 5, etc.). Junto a cada postura hay que colocar los números reales de orden de los cuadros. Cuando se preparan los esquemas de las posturas es mejor unir los puntos inmediatamente después que se ha dibujado el cuadro correspondiente .

39.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TEMPORALES

Durante la toma cinematográfica se determina su frecuencia. aproximadamente se determina el intervalo de tiempo entre dos cuadros (cambio de cuadro); esta es una magnitud inversa a la frecuencia de la toma ($1/24$ s, con una frecuencia de toma de 24 cuadros en 1 s, o aproximadamente 0,04 s; con una frecuencia de 32 cuadros en 1 s es de 0,03 s). Al elaborar el trazado por los números de los cuadros, se determina a qué instante de tiempo pertenece una postura correspondiente, ya que es igual el intervalo

de tiempo entre determinadas posturas. Por estos datos, así como al emplear las características dinámicas, es posible construir el cronograma de los movimientos (diagrama temporal).

FIGURA 71

Fig.46 Cronograma: a-lineal (paso cuádruple alterno en esquí) (orig.); b- circular (un ciclo de remo, según E. G. Kotielnikova) .

Si el sistema de los movimientos en su totalidad, está dividido en tases, entonces se hace un cronograma generalizado, en el cual una fase sigue sucesivamente a otra (ver fig. 81 b). En muchos casos es conveniente hacer un cronograma dividido, aislando las fases para los movimientos de cada extremidad o inclusive de sus diferentes miembros (ver fig. 46 a). En el cronograma dividido es posible seguir la concordancia recíproca de los movimientos de los miembros y de las cadenas cinemáticas.

Por la forma de construcción se diferencian los cronogramas lineales, que se ejecutan a cualquier escala, y los circulares, que exigen un cálculo previo de su escala. Los cronogramas circulares se construyen para un ciclo completo de movimientos, con el objetivo de mostrar de una forma más evidente las especificidades de cada fase en él. En este caso, a cada cambio de cuadro le corresponde un arco de la circunferencia igual a $360^\circ/n$ donde n es el número de intervalos que corresponden a un ciclo. Después de preparar de esta forma la escala del tiempo, se construye el cronograma (ver fig. 46 b).

El cronograma es un diagrama (dibujo) de correlaciones temporales. *Sobre el eje del tiempo se señalan los tramos que corresponden a la duración de las partes (fases) de los movimientos. La fase comienza en el instante en que se produce una variación sustancial del movimiento (por ejemplo, final del vuelo y comienzo de la posición de apoyo) y termina en un determinado instante esencial (por ejemplo, el final del apoyo y comienzo del vuelo correspondientes). Semejante instante de variación del movimiento sirve de límite entre dos fases limítrofes o vecinas (instante límite).*

Determinación de los instantes límites de las fases. Al analizar el contornograma hay que establecer los límites entre las fases. Después de esto se dibuja la tabla y se anotan en la columna correspondiente el número del cuadro y la denominación del instante (no el comienzo o el final de una determinada fase, por ejemplo, final de la amortiguación, sino a partir de índices reconocibles, o sea, por lo que se produzca en el instante dado).

Determinación del contenido y duración de las fases. Por los instantes anotados en la tabla hay que determinar el contenido de las fases que ellos limitan y hay que hacer la anotación en la tabla: se señalan cuáles son los números de los cuadros que limitan cada fase. la tabla se confecciona situando cada línea de fase entre dos instantes, lo que facilita la determinación de los límites de las fases. En la última columna se anota la duración de las fases, representadas por el número de cambios de cuadros. **Construcción del cronograma lineal.** Primeramente se traza el eje del tiempo, se establece la escala de las imágenes y se lleva (en forma de número de cuadros) al eje del tiempo. Posteriormente, después de haber trazado el eje del cronograma, se señalan en él los instantes de variación de los movimientos (según la tabla) y se anota, encima, la denominación de estos instantes. Las fases se señalan en forma de rectángulos: las de apoyo por debajo del eje del cronograma; las de vuelo por encima del eje; debajo se anotan las denominaciones de las fases.

Con frecuencia, los cronogramas se hacen cuando ya ha terminado la elaboración del material, cuando ya se han determinado todas las características imprescindible (no sólo las cinemáticas sino también las dinámicas). Entonces ya se tienen más datos para la separación fundamentada de las fases a partir de los instantes de variación de los movimientos.

Por los materiales de las tomas cinematográficas de un movimiento complejo en el espacio, que no puede llevarse a un movimiento plano (grandes desplazamientos a lo largo del eje transversal, perpendicular al plano de la imagen), el cronograma puede ser el único resultado de elaboración del cinegrama.

39.3 DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES y ACELERACIONES

Para la determinación de las velocidades por el método del cálculo, hay que establecer los desplazamientos del punto en un intervalo de tiempo constante elegido. Los desplazamientos lineales de los puntos se determinan como la diferencia entre las coordenadas x y y de las posiciones final e inicial (la primera diferencia $\Delta S = S_{fin} - S_{inic.}$) para el correspondiente intervalo de tiempo. Después de dividir $m. m.$ el desplazamiento obtenido (al tener en cuenta la escala) entre el intervalo de tiempo correspondiente, se conocen las magnitudes de las componentes de la velocidad.

Cálculo de velocidades: Para transformar las coordenadas del trazado en las coordenadas reales, hay que multiplicarlas por la magnitud M inversa a la escala (por ejemplo, si la escala es de 1 : 10, entonces $M = 10$). Al determinar el intervalo de tiempo, se determina también el coeficiente de cálculo [FIGURA 74](#), donde L es el número de cambios de cuadros, a partir de los cuales se calcula el intervalo de tiempo; N es la frecuencia de la toma. El número de los cambios de cuadro, con frecuencia, se toma par; entonces la velocidad media, en el intervalo de tiempo entre los puntos, estará dada para el punto intermedio entre ellos:

[FIGURA 72](#)

donde K_v es una magnitud constante para el trazado (coeficiente de transformación las primeras diferencias en velocidades). Por ejemplo, cuando $M=10$, $L=2$, $N=24$ el coeficiente de transformación de la velocidad K_v es igual a: [FIGURA 75](#)

Por consiguiente, después de multiplicar las diferencias de las coordenadas del trazado, por ejemplo 22 mm por $K_v = 120$, obtendremos la magnitud de la velocidad $22 \cdot 120 = 2640$ mm/s (264 cm/s). Así se determinan las componentes de la velocidad en

los ejes x y y . La velocidad total (v) se determina por sus componentes como la hipotenusa del triángulo rectángulo: $V^2 = V_x^2 + V_y^2$ y su dirección por el ángulo α , al ser [FIGURA 76](#)

Tales cálculos, por lo general, no se emplean, ya que son excesivos y exigen mucho trabajo. Con frecuencia se limitan a determinar las primeras diferencias ($\dot{A}' S$). Como el coeficiente K_v es constante, la diferencia de las coordenadas es directamente proporcional a la velocidad, es decir, representa a la velocidad, a cierta escala.

Para el cálculo de las aceleraciones se determinan las diferencias entre las componentes de las correspondientes primeras diferencias (para x y y) en un intervalo de tiempo elegido con anticipación. Estas son las segundas diferencias, ($\ddot{A}'' S = \ddot{A}'' S_{fin} - \ddot{A}'' S_{inic}$) para el correspondiente intervalo de tiempo. Si se divide el desplazamiento obtenido (al tener en cuenta la escala) entre el correspondiente intervalo de tiempo al cuadrado, se determina la magnitud de las componentes correspondientes de las aceleraciones.

Cálculo de las aceleraciones. Para que por las segundas diferencias sea posible obtener las aceleraciones, es necesario multiplicarlas por K_a que es el coeficiente de transformación de las segundas diferencias en aceleraciones: [FIGURA 73](#)

De la misma forma que durante la determinación de las velocidades, para calcular las aceleraciones nos limitamos a determinar las diferencias directamente proporcionales a las aceleraciones.

Las primeras diferencias ($\dot{A}' S$) son magnitudes del numerador de la fórmula de la velocidad ([FIGURA 77](#)), expresadas en unidades de longitud. Estas aún no son las velocidades mismas. las diferencias son directamente proporcionales a las velocidades, ya que durante el cálculo se toman iguales $\dot{A}t$ ($L=2$).

Las segundas diferencias ([FIGURA 78](#)) son también magnitudes del numerador de la fórmula de la aceleración ([FIGURA 79](#)) expresadas en unidades de longitud. Ellas también son directamente proporcionales a las aceleraciones. Por eso, si nos interesa sólo cómo y cuándo varían las velocidades y las aceleraciones y no sus

magnitudes absolutas, entonces podemos no hacer el cálculo hasta el final, sino analizar sólo las diferencias.

Tablas de las diferencias (de las velocidades y aceleraciones). Se construyen dos tablas de igual dimensión que la tabla de coordenadas, se reenumeran las líneas (de acuerdo con la cantidad de posturas) y se señalan las columnas (según los puntos representados).

FIGURA 80

FIGURA 81

Cálculo de las primeras y segundas diferencias (para la horizontal y para la vertical). Como ejemplo tomaremos dos puntos: *s*, la articulación de la rodilla ;*d*, los dedos de los pies. Coloquemos la tabla de coordenadas junto a la tabla de velocidades de forma tal que veamos en la columna las cifras de coordenadas s_x del punto *s*. Al restarle a la coordenada de la tercera postura la primera: $50 - 10 = 40$ anotaremos $\ddot{A}'x$, en la columnas de la tabla de velocidades (mitad izquierda de la tabla, segunda línea). Posteriormente, en la tercera línea de esta columna, anotaremos: $88 - 23 = 65$; en la cuarta línea: $133 - 50 = 83$, etcétera, hasta el final de la columna. En la primera y última líneas no hay datos, por eso aquí se ponen guiones.

Cuando se calcula $\ddot{A}'y$ (para la vertical), se pueden encontrar: casos de resta entre una magnitud mayor y una menor (diferencia con signo menos); resta de magnitudes negativas (hay que sumarlas); resta de una magnitud negativa, etcétera; aquí hay que seguir las correspondientes reglas de la resta .

Al llenar las columnas de las primeras diferencias, para cualquier punto del cuerpo, esto permite calcular las segundas diferencias. En las tablas 6 y 7 se presentan los $\ddot{A}'x$, $\ddot{A}'y$, $\ddot{A}''x$ y $\ddot{A}''y$ calculados también para el punto *d* (según la tabla de coordenadas). Hay que

prestar atención al hecho de que en la tabla de las aceleraciones las dos primeras y las dos últimas líneas no tienen datos.

Las velocidades y aceleraciones son magnitudes vectoriales: se caracterizan por tener módulo, dirección y sentido, pueden sumarse con magnitudes semejantes. Se les puede representar en el trazado en forma de flechas de una determinada dimensión (en la escala elegida), que tengan la dirección y sentido correspondientes, es decir, es posible construir un gráfico vectorial de las velocidades y las aceleraciones. La dirección del vector depende del módulo de sus componentes: horizontal y vertical. Al sumar los vectores de las componentes (según la tabla de las correspondientes diferencias) , se obtiene el vector resultante. El origen del vector se elige en aquel punto del trazado cuya característica debe ser: representada por el vector.

El gráfico vectorial de las velocidades y aceleraciones es el trazado (con frecuencia el esquema de las posturas) donde se han dibujado con vectores las velocidades y las aceleraciones de los puntos correspondientes.

Determinación de la escala del gráfico vectorial. *La escala de los vectores de las velocidades y aceleraciones se elige arbitrariamente, pero observando dos condiciones: a) la escala de los vectores de las componentes horizontal y vertical debe ser igual, ya que de otra forma la dirección y el módulo del vector resultante estarían alterados; b) la escala de los vectores debe ser elegida teniendo en cuenta los datos obtenidos durante el cálculo, para que los vectores . quepan en el trazado. Por ejemplo, nos resulta cómodo la escala de 10 mm de trazado = 20 unidades de las diferencias (primeras y segundas). Las escalas de los vectores de las velocidades y aceleraciones no están relacionadas entre sí. Son magnitudes diferentes, y no es posible compararlas unas con otras. Construcción de los vectores de la velocidad y de la aceleración. Para representar el vector es necesario que a partir de su origen (punto correspondiente del trazado) se trace horizontalmente, en la escala necesaria, la longitud de la componente horizontal ($\ddot{A}'x$ o $\ddot{A}''x$) y a partir del punto señalado en su extremo, se coloque*

verticalmente la longitud de la componente vertical (\ddot{A}'_y o \ddot{A}''_y) Hay que unir el punto obtenido con el origen del vector y dibujar el vector con la representación convencional (por ejemplo, el vector de la velocidad con una línea continua; el vector de la aceleración con una discontinua, ver fig. 45).

Además de los gráficos vectoriales, se construyen también los gráficos cinemáticos (en función del tiempo). En el eje de las abscisas se coloca el tiempo (número de cuadros), en el eje de las ordenadas las coordenadas de los puntos, los módulos de sus velocidades y aceleraciones. La construcción de tales gráficos de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, en una escala de tiempo, permite analizar objetivamente las particularidades cinemáticas del movimiento a estudiar (ver fig. 47 a).

Por el método de las diferencias se calculan también las velocidades y aceleraciones angulares de los miembros. Se determinan las coordenadas angulares de una línea convencional (generalmente del radio del centro de gravedad) respecto al origen de referencia, se restan las primeras y segundas diferencias y se analizan sus variaciones como las variaciones de las velocidades y aceleraciones angulares respectivamente, a las cuales son directamente proporcionales.

FIGURA 83

Fig. 47 Gráficos cinemáticos: a- de las características lineales (orig.); b- circulares (según E. A. Vishnevski).

Para transformar las primeras diferencias angulares \ddot{A}'_o en velocidades angulares y las segundas diferencias angulares \ddot{A}''_o en aceleraciones angulares, se emplean los coeficientes de transformación: para la transformaciones en velocidades angulares $K_w = 0,0175 \text{ N} / L$; en aceleraciones angulares $K_a = 0,0175 \text{ N}^2/L^2$. Entonces ($\dot{a} = \ddot{A}'_o K_w \text{ rd/s}$; $\ddot{a} = \ddot{A}''_o K_a \text{ rd/s}^2$).

Al trazado se pueden llevar los gráficos circulares de las velocidades y aceleraciones angulares, colocando las magnitudes de

las diferencias angulares a lo largo de los radios del centro de gravedad. Para las velocidades angulares, la magnitud de las primeras diferencias angulares se coloca a partir del centro (si el sentido de la rotación no varía). Para las aceleraciones angulares las magnitudes de las segundas diferencias se colocan a partir de una circunferencia trazada arbitrariamente (a partir del centro, las positivas; hacia el centro, las negativas, ver fig. 47 b).

Es posible construir los gráficos cinemáticos (en el sistema de coordenadas rectangulares y gráficos circulares) tanto en función del tiempo como en función de la distancia (situación del cuerpo en el espacio).

El método descrito de cálculo de las velocidades y aceleraciones, a partir de las diferencias, introduce grandes errores. El error relativo para las aceleraciones. puede estar entre un 50-100 %. Son muy grandes los intervalos de tiempo, y es inexacto referir la velocidad media al punto intermedio. Cuando el módulo y la dirección de la velocidad varían muy rápidamente, los errores son mayores.

Con ayuda de dispositivos de diferenciación es posible realizar una determinación automática de las velocidades y aceleraciones, según las coordenadas, mucho más exacta, y lo que es muy importante, prácticamente simultánea con el registro de estas.

39.4 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

Por el método, de cálculo se determina la posición del CGC que depende de la masa de los miembros y de la postura del sujeto.

Para la determinación de la magnitud y de los puntos de aplicación de las fuerzas de gravedad se emplean los datos sobre la posición del CG de los miembros (radios de los CG) y sobre los pesos relativos de estos.

Si consideramos el peso del cuerpo como el 100 %, entonces el peso de cada miembro se expresará en unidades relativas (en %); durante la ejecución de los cálculos no es obligatorio conocer el peso absoluto (en kg.) de todo el cuerpo ni de cada miembro. Los

centros de gravedad de los miembros se determinan ya sea por orientadores anatómicos (cabeza, mano) ya sea por la distancia relativa del CG a partir de la articulación proximal (radios del centro de gravedad, que es una parte de toda la longitud del miembro de las extremidades), o ya sea por las proporciones (tronco, pie).

FIGURA 85

El método gráfico de determinación del CGC está basado en la composición de fuerzas paralelas. Para la determinación de la resultante de dos fuerzas paralelas se unen, con una línea recta, los puntos de aplicación. Durante la composición de las fuerzas de gravedad de dos miembros, esta línea une sus CG. sobre ella se encuentra dispuesto el punto de aplicación de la suma de dos fuerzas (resultante), es decir, el centro de gravedad común de dos miembros. Por ejemplo, el centro de gravedad común del brazo y del antebrazo se encuentra en la línea que une sus CG (ver fig.48 a). Como los pesos del brazo y el antebrazo son, respectivamente, un 3% y un 2% del peso del cuerpo, entonces esta línea debe ser dividida en $2 + 3 = 5$ partes. El CG de los dos miembros se encuentra situado más cerca del miembro más pesado (la correlación de los espacios de la línea es $2 : 3$, contando a partir del brazo). Al emplear este método es necesario sumar todas las fuerzas de gravedad de los restantes miembros, después de determinar previamente la posición de sus CG.

La determinación de la posición del CG de los miembros del cuerpo. Sobre la fotografía de una postura del sujeto (o sobre un trazado) se señala la situación de las proyecciones de los ejes de las articulaciones. Después de medir la longitud de cada miembro, se le multiplica por el correspondiente valor del radio del CG (dado en partes de la longitud del miembro). Al emplear estos datos y los orientadores atómicos, se sitúan los CG de todos los miembros.

Determinación de la posición del CGC. Primeramente se hallan los CG de dos miembros cualesquiera, por ejemplo, del brazo y del

antebrazo (no es necesario dibujar los vectores de las fuerzas de gravedad, basta sólo recordar los pesos relativos de los miembros). Posteriormente, después de sumar la fuerza de gravedad de la mano, se halla el CG común de todo el brazo. De esta misma forma consecutiva se suman las fuerzas de gravedad de los miembros de la pierna. Si el cuerpo tiene una posición simétrica el CG de ambos brazos estará situado de la misma forma, lo mismo sucede con ambas piernas. Al determinar el CG común de todas las extremidades, es posible no tener esto en cuenta, pero, cuando se le sume el peso del tronco o de la cabeza no debe olvidarse duplicar el peso de las extremidades. Al determinar la situación del CG del tronco, ya esté flexionado o hiperextendido, no es posible evitar grandes errores. Es por eso que en las investigaciones científicas, en las cuales se exige una gran exactitud, el método de cálculo para la determinación del CGC es menos útil que los experimentales (pesaje). Después de determinar la situación del CG común de la cabeza y del tronco (50% del peso del cuerpo, así como de todas las extremidades (es la otra mitad del peso), se divide la distancia entre ellos a la mitad, con lo que se determina, de esta forma posición del punto del CGC (ver fig. 48 b).

El método analítico de determinación del CGC está basado en el teorema de Varignon: "La suma de los momentos de las fuerzas respecto a cualquier polo es igual al momento de la suma de estas fuerzas respecto a este mismo polo". De acuerdo con este teorema se determinan los momentos de las fuerzas de gravedad de todos los miembros del cuerpo, respecto a un polo elegido, y al conocer el peso de todo el cuerpo, la coordenada del punto de aplicación.

En calidad de ejemplo analizaremos la composición de los momentos de las fuerzas de gravedad de los tres miembros de la extremidad inferior (ver fig. 48 c). Determinaremos primeramente la situación del CG de los tres miembros. Elegiremos arbitrariamente un centro (polo) respecto al cual vamos a determinar los momentos de las fuerzas de gravedad. Este debajo y a la izquierda del punto O puede ser situado";' donde se desee pero resulta más cómodo situarlo debajo y a la izquierda del dibujo, para que todos los

momentos sean positivos. Trazaremos a partir de este punto dos ejes perpendiculares entre sí: x y y .

FIGURA 86

Fig. 48 Determinación por cálculo de la posición del CGC: a y b- por el método gráfico: a- de los tres miembros de la extremidad superior, b- de todo el cuerpo; c- por el método analítico: de los tres miembros de la extremidad inferior (orig.).

Posteriormente elegiremos la escala, es deseable (pero no obligatorio) que sea igual para ambos ejes. Dibujaremos, para que sea más evidente, las coordenadas de los centros de gravedad de los miembros (s_f , x_s , s_p y y_f , y_s , y_p) y las fuerzas de gravedad en unidades relativas (P_f , P_s , P_p). El momento de la fuerza de gravedad del muslo respecto al centro O es igual al producto de esta fuerza (P_f), por la distancia del CG del muslo a partir del eje x (coordenada x_f). De la misma forma determinaremos los momentos de la fuerza de gravedad de la pierna y del pie. Ahora escribiremos la suma de estos momentos de fuerzas según el teorema de Varignon :

$$P_f x_f + P_s x_s + P_p x_p = P_{fsp} x_{fsp}$$

En la parte izquierda de la ecuación aparece la suma de los momentos de las fuerzas de gravedad de todos los miembros de la extremidad inferior respecto al centro O del eje x ; y en la derecha, el momento de su fuerza resultante ($P_{fsp} x_{fsp}$). De todas las magnitudes de la ecuación sólo no conocemos la coordenada x_{fsp} . Esta es la coordenada x del punto de aplicación de la fuerza P_{fsp} , es decir, la coordenada incógnita del CG común de toda la extremidad inferior. Ella es igual a la suma de los momentos de las fuerzas de gravedad, dividido entre el peso de toda la extremidad:

$$x_{fsp} = \frac{P_f x_f + P_s x_s + P_p x_p}{P_{fsp}} = \frac{\Sigma P \cdot x}{P_{fsp}} \quad \text{FIGURA 87}$$

De esta forma, al colocar en la ecuación, en lugar de las coordenadas x del CG de los miembros, sus coordenadas y , hallaremos la coordenada y del CG común de toda la extremidad. Ambas coordenadas x y y , determinan la situación del CG común de toda la extremidad.

De igual manera se determina el CGC. Para que resulten más cómodos los cálculos se hace una tabla de anotaciones, a partir de la cual resulta fácil comprobar el trabajo realizado. En esta tabla hay tantas líneas como miembros del cuerpo. Si el cuerpo tiene una posición simétrica es posible no anotar dos veces los datos de miembros que están igualmente situados, sino multiplicar sus momentos por dos. Si los pesos relativos no se expresan en por ciento sino en partes de unidad, entonces, después de la composición de los momentos de las fuerzas, no es necesario hacer divisiones, ya que la suma de los momentos es igual a la coordenada correspondiente al CGC. Como ya señalamos anteriormente, no tiene sentido calcular los pesos absolutos de cada miembro multiplicando el peso relativo por el absoluto; posteriormente, las operaciones de suma de los momentos hay que dividir las de nuevo entre aquel peso absoluto, lo que aumenta las operaciones aritméticas.

FIGURA 88

El orden de determinación del CGC por el método analítico es: a) señalar la situación de las proyecciones de los ejes de las articulaciones en la fotografía y hallarla situación del CG de los miembros; b) trazar los ejes de coordenadas (a partir de un centro arbitrario), y determinar las coordenadas del CG de los miembros y anotarlas en la tabla : c) calcular los momentos de las fuerzas de gravedad de cada miembro respecto al centro elegido (origen de coordenadas) y anotar en la tabla los pesos relativos de los miembros (en por ciento o en partes de la unidad); d) componer los momentos de las fuerzas de gravedad (aisladamente, por el eje x y por el eje y) y dividir la suma obtenida entre el peso relativo de todo el cuerpo; e) determinar la posición del CGC por las coordenadas halladas respecto al origen de coordenadas.

La determinación de la posición del CGC del sujeto, por el método de cálculo, introduce grandes errores, ya que los datos sobre los pesos y sobre los centros de gravedad de los miembros del cuerpo (que se dieron más arriba) son muy inexactos. En primer lugar , los

centros de gravedad de los miembros no se encuentran rigurosamente sobre sus ejes longitudinales; en segundo lugar, existen diferencias individuales considerables; en tercer lugar, muchos sistemas de miembros (mano y sobre todo el tronco) varían su forma, lo que provoca un desplazamiento de sus CG. Generalmente todos estos factores se desprecian, pero entonces

La determinación del CGC es tan inexacta, que no se pueden hacer cálculos confiables. De esta forma, cuando la columna vertebral está hiperextendida por completo, el centro de gravedad del tronco se encuentra no sobre su eje, no sobre el arco, sino sobre la línea que une los CG de las dos mitades de igual peso del tronco. Es conveniente no olvidar el hecho de que durante los movimientos de la cintura escapular se desplaza bruscamente el eje de las articulaciones de los hombros, a partir del cual se calcula la distancia hasta el CG del tronco. La posición del CG del tronco, como consecuencia de las deformaciones de los grupos de miembros, sobre todo el tronco, en todos los métodos de cálculo, se determina con muy poca exactitud. La situación del CGC hallada por el método experimental es la que resulta más cercana de la posición real del CG.

Para el cálculo del momento de inercia del cuerpo por la vía experimental, se halla el período de oscilación del cuerpo en el columpio o en una mesa de resorte. Para el cálculo del momento de inercia en la mesa de resorte} se emplea la fórmula: **FIGURA 88.1** donde I es el momento de inercia del cuerpo; T , el período de oscilación; K , la constante para el aparato dado.

Después de determinar el momento de inercia respecto a un eje (I_1) es posible calcular también respecto a cualquier otro (I_2) paralelo a él y situado a una distancia d :

$I_2 = I_1 + md^2$; donde m es la masa del cuerpo del deportista.

Durante la elaboración de los datos de los registros, con muy poca frecuencia se determinan las características de fuerza. Después de obtener la curva dinamográfica, se calcula el área limitada por esta curva y por el eje de las abscisas (eje del tiempo). Si la magnitud

obtenida (F_t), proporcional al impulso de la fuerza, se divide entre el tiempo .entonces el cociente (al tener en cuenta el coeficiente de transformación de las dimensiones) es la fuerza media durante el tiempo de aplicación del impulso de la fuerza.

En algunos cálculos es imprescindible determinar las fuerzas de inercia. Después de un análisis cuidadoso donde se establece cuáles, por su origen, son las fuerzas de inercia determinables (de Newton, de D' Alembert , de Coriolis, etc.), se determina la masa y la aceleración correspondiente (su producto es igual al módulo de la fuerza de inercia), así como el sentido de la fuerza de inercia. En el movimiento de rotación se determinan, en particular, las fuerzas de inercia: tangencial($F_t=ma_t$) y centrífuga (**FIGURA 89**). Se registra la mayor parte de los esfuerzos totales del deportista y, a partir de estos, en caso de necesidad se calcula el trabajo, la potencia y la energía.

59 MOVIMIENTOS DEL PASO

Los movimientos del paso en las locomociones terrestres tienen una amplia difusión. los movimientos del paso en la marcha, la carrera, el esquí, la carrera sobre patines, etcétera, presentan diferencias considerables. Estas últimas están provocadas por los aditamentos para las diferentes condiciones de desplazamiento ; pero, más o menos, en su cinemática y su dinámica, se pueden poner en claro los fundamentos generales.

59.1 FASES DE LOS MOVIMIENTOS DEL PASO

El período de apoyo de la pierna se divide en: fase de amortiguación y fase de empuje; el período de traslado de la pierna en: las fases de elevación, impulso, frenaje y descenso de la pierna hacia el apoyo.

En el movimiento del paso se distinguen dos períodos: de apoyo y de traslado. En el transcurso del apoyo y del traslado, la pierna realiza movimientos oscilatorios, en la articulación de la cadera, hacia atrás y hacia adelante. En el período de apoyo, durante el paso al frente, la pierna se mueve hacia atrás respecto a la cadera;

el traslado de la pierna se produce hacia adelante y hacia atrás respecto a la cadera.

Cuando el traslado tiene menor duración que el apoyo, los períodos de apoyo de ambas piernas coinciden parcialmente (ver fig. 68 a); esto es típico, por ejemplo, de la marcha y del paso alterno en esquís. Entonces, en el ciclo completo de movimientos (paso doble), existen dos períodos de apoyo doble y dos de apoyo simple. Cuando el traslado es más prolongado que el apoyo, por ejemplo, en la carrera, entonces en el ciclo existen dos períodos de apoyo simple y dos períodos de vuelo (ver fig. 68 b). Es necesario diferenciar los períodos de movimiento del hombre (apoyo doble y simple, vuelo) y los períodos de movimientos de la pierna (apoyo, traslado).

Cada período de movimientos de la pierna puede ser dividido en fases.

Hasta hace poco tiempo se mantenía difundida la división tradicional en las siguientes fases: en el período de apoyo, despegue anterior y despegue posterior (el límite entre estas fases era el instante vertical de la pierna de apoyo) ; y en el período de traslado, el paso posterior y el paso anterior (el límite era considerado el instante vertical de la pierna trasladada).

Esta división simplificada, a partir de los índices cinemáticos espaciales (por las posturas), surgió de acuerdo con presuposiciones teóricas que actualmente han sido refutadas.

FIGURA 90

Fig. 68 Cronogramas: a- de la marcha; b- de la carrera.

Se consideraba que, durante el traslado, la pierna se comportaba como un péndulo físico que se mueve bajo la acción de la fuerza de gravedad (hermanos Weber, 1836) .Ya en el siglo XIX, mediante los trabajos de una serie de investigadores (Marey, Raúl, Renault, etc.), se demostró que la teoría del péndulo era incorrecta; el papel fundamental no lo desempeña la fuerza de gravedad, sino los

esfuerzos musculares que impulsan y frenan la pierna que se traslada .

En el siglo XIX y en la primera mitad del XX , se analizó la influencia del apoyo a partir de la idea de que la reacción de apoyo, durante cualquier tipo de interacción con el apoyo, pasa a través del CGC. Según estas ideas, el apoyo situado delante del CGC siempre frenará el desplazamiento del cuerpo al frente (despegue anterior), y el apoyo, situado detrás del cuerpo, garantizará el desplazamiento del cuerpo al frente. Fundamentaciones teóricas y, posteriormente, datos experimentales, demostraron que la interacción con el apoyo no depende sólo de la situación del cuerpo respecto al apoyo, en un instante dado, sino que depende tanto de la velocidad de movimiento, como de los esfuerzos activos del hombre, sus magnitudes, direcciones, tiempo y lugar de aplicación, y no siempre corresponde a determinadas posturas.

En tal caso, la división tradicional en las fases mencionadas, no tiene sentido real para poner en claro el mecanismo de los movimientos, ya que no ofrece un cuadro veraz de la interacción del cuerpo del hombre con el apoyo. Sin embargo, es conveniente cuando hay que representar una determinada posición de la pierna (ver fig. 69 a).

El periodo de apoyo de la pierna, según los índices dinámicos, se divide en las fases de amortiguación y de empuje (ver fig. 69 b).

La fase de amortiguación comienza a partir del instante de caída de la pierna, o sea, del momento de contacto de esta con el apoyo, y finaliza cuando se suspende el movimiento del CGC hacia abajo.

FIGURA 91

Fig. 69 Fases de los movimientos del paso de las piernas: a- según los datos cinemáticos (posturas); b- según los datos dinámicos (esfuerzos), (orig.).

A primera vista son instantes bien determinados. Sin embargo, los registros en la plataforma dinamográfica, las tomas

cinematográficas sincronizadas y la electromiografía han demostrado que el contacto con el apoyo, según el dinamógrafo, el cine grama y el electromiograma, con frecuencia no se produce en un mismo instante, sino que, primeramente, se registra el contacto externo (cinemático), posteriormente se pone de manifiesto el registro de las interacciones dinámicas y, más tarde aún, surge la actividad muscular.

Resulta aún más difícil establecer el instante en que finaliza la amortiguación. Sería más exacto determinarlo a partir del cese del movimiento del CGC hacia abajo. Aun si despreciamos los errores dados por los CGC de los miembros (fluctuaciones individuales, errores en el cálculo de las coordenadas), queda sin considerar el desplazamiento de los tejidos blandos y líquidos y de los órganos internos, que finaliza después del desplazamiento de los miembros rígidos del esqueleto.

La determinación del final de la amortiguación, si partimos del cese de la flexión de amortiguación en la articulación de la rodilla, también es inexacta. La amortiguación puede continuarse inclusive después que ha cesado la flexión de la pierna en la articulación de la rodilla.

Durante la determinación de la fase de amortiguación es importante fundamentar con exactitud cuáles son los índices que sirven para establecer las fases, de manera que sea posible comparar los diferentes casos. El dinamograma del instante de manifestación de la presión hasta su máximo, es el que con mayor exactitud responde al contenido esencial de la fase de amortiguación.

De esta forma, el inicio de la fase de amortiguación se considera convencionalmente el instante de caída, y su final, el instante del máximo de la presión sobre el apoyo, o el máximo de flexión en la articulación de la rodilla (por el esquema de postura).

La fase de empuje (con la pierna) comienza desde la extensión de la pierna en la articulación de la rodilla y finaliza en el instante en que se separa la pierna del apoyo.

Existen datos acerca de que a partir del instante de la caída, los extensores del muslo en la articulación de la cadera pueden crear un transporte activo, variar la posición del muslo respecto a la cadera (extensión del muslo).

Cuando existe un apoyo periférico rígido y la suficiente tensión muscular, se desarrolla un esfuerzo que ayuda a desplazar la cadera al frente. El par de rotaciones (de la pierna en la articulación del tobillo hacia el frente, y del muslo en la articulación de la cadera hacia atrás) va acompañado de un desplazamiento de traslación del tronco al frente. Por consiguiente, la aceleración horizontal del CGC puede surgir también antes del empuje, ejecutado mediante la extensión de la pierna en la articulación de la rodilla.

El final del empuje, de la misma forma que el de la caída, no coincide según los diferentes índices. Primeramente se observa en el electromiograma, posteriormente en el dinamograma y finalmente en el cinegrama; pero a veces sucede: que la tensión de los músculos se mantiene inclusive después que la pierna se ha separado del apoyo, sobre todo cuando se "rompe" el empuje a una gran velocidad (tensiones residuales de los músculos después de un empuje no finalizado).

De esta forma, el comienzo de la fase de empuje, que sigue a la de amortiguación, sólo convencionalmente se considera el principio de la extensión de la pierna en la articulación de la rodilla; el final, el instante en que se separa esta del apoyo.

Por consiguiente, la fase de amortiguación para toda la pierna se transforma directamente en empuje. Pero para los diferentes grupos musculares (en las diferentes articulaciones) esta transformación no coincide con la suficiente exactitud en el tiempo.

*El período de **traslado** de la pierna se divide en cuatro fases: elevación, impulso, frenaje y descenso de la pierna hacia el apoyo. Esta, en el instante en que se separa del apoyo, en que ha terminado de ejecutar su función de empuje, es enviada hacia el frente y hacia arriba. El tronco atrae esta pierna hacia sí (su velocidad durante el empuje era menor que la velocidad del tronco). Surgen las fuerzas*

de inercia del pie, aplicadas a la pierna; las fuerzas de inercia del pie y la pierna, aplicadas al muslo, etcétera. Hablando en sentido figurado, el tronco arrastra a la pierna al frente, y las fuerzas de inercia de los miembros de la pierna tiran de esta hacia atrás. La pierna tiende hacia el tronco y se eleva..

*La fase de **elevación** de la pierna que se traslada, comienza en el instante en que esta se separa del apoyo y finaliza en el de máxima elevación del CG de toda la pierna, con respecto a la cadera (punto crítico posterior).*

Posteriormente, la pierna que se traslada comienza el movimiento desde la posición límite detrás de la cadera hasta la posición límite delante de ella. En este movimiento entran las fases de impulso y frenaje de la pierna.

*La fase de **impulso** de la pierna que se traslada, comienza en el instante de la situación más alta del CG de la pierna, detrás de la cadera, y finaliza en el instante de mayor velocidad lineal del CG de la pierna respecto a la cadera.*

*La fase de **frenaje** de la pierna que se traslada, se inicia en el instante de mayor velocidad lineal del CG de la pierna respecto a la cadera, y finaliza en el instante de la más alta situación del CG de la pierna, por delante de la cadera (punto crítico anterior).*

En el límite de estas dos fases la velocidad lineal del CG de la pierna es máxima, y en este instante la aceleración lineal de este punto es igual a cero, al transformarse de positiva en negativa.

*La fase de **descenso** de la pierna que se traslada comienza en el instante de la más alta situación del CG de la pierna, por delante de la cadera, y finaliza con la caída de la pierna.*

59.2 DINÁMICA DE LOS MOVIMIENTOS OSCILATORIOS DE LAS PIERNAS

Durante el frenaje del péndulo de la pierna que se traslada, y durante la flexión de amortiguación de la de apoyo, la energía cinética se convierte en energía potencial de deformación elástica de los músculos. Durante el impulso de la pierna que se traslada y

durante el empuje con la de apoyo, la energía potencial elástica se cono vierte en cinética .

Los movimientos cíclicos del paso son una serie característica de movimientos oscilatorios de rotación-retroceso. El cambio de los sentidos de los movimientos oscilatorios de la pierna, se produce en los instantes de situación más alta de su CG , por detrás y por delante de la cadera. En estos puntos surgen las aceleraciones máximas, como consecuencia de la aplicación de los máximos esfuerzos. Al final de la fase de impulso, la velocidad lineal del CG de la pierna es máxima y la aceleración es igual a cero .

Durante el frenaje del traslado de la pierna, la energía cinética se transforma en energía potencial de deformación elástica de los músculos antagonistas. En el instante de suspensión del movimiento en un sentido dado, las fuerzas elásticas, así como la energía potencial de deformación de los músculos, alcanzan su magnitud máxima. Cuando comienza el movimiento de retroceso se gasta energía potencial, se incrementan la velocidad y la energía cinética. A diferentes velocidades, el papel que desempeña la energía potencial elástica es diferente: en los movimientos rápidos, la energía potencial elástica es un factor esencial de la dinámica general; en los lentos, el papel que desempeña la energía elástica de las oscilaciones es :muy pequeño.

En la fase de amortiguación, la energía cinética del cuerpo en descenso se transforma en energía potencial de los músculos. Se produce lo que se llama el "efecto buffer" (efecto tope o efecto de amortiguación), es decir , los músculos se distienden, se ponen tensos, para contraerse inmediatamente. Aquí también existe movimiento de retroceso .De esta forma , los puntos críticos del movimiento de la pierna que se traslada y el final de la amortiguación de la pierna de apoyo, en el movimiento de oscilación, sirven como puntos del cambio de sentido.

Para mantener un régimen constante de oscilaciones, como resultado de la disipación de la energía circulante de cada pierna y de todo el cuerpo, es necesario un suministro a tiempo de energía. Las transformaciones bioquímicas en los músculos garantizan la

energía para su contracción activa. El suministro activo de energía, durante la contracción de los músculos, se efectúa después de los puntos críticos del movimiento de la pierna que se traslada , así como al comienzo del empuje con la pierna de apoyo. A grandes velocidades, la importancia primordial la tiene la aceleración de traslado de la pierna; a poca velocidad , lo más importante es el empuje. Así, en la carrera de velocidad, los esfuerzos activos de los músculos predominan en los puntos críticos de traslado de la pierna; y durante la marcha lenta, en el comienzo del empuje.

59.3 MOVIMIENTOS CONCOMITANTES DEL TRONCO y DE LOS BRAZOS

Los movimientos de las piernas durante el paso están sincrónicamente relacionados con los movimientos del tronco y de los brazos. Como la amplitud de extensión de la articulación de la cadera a partir de la posición media del muslo es de sólo 10-15°, una mayor inclinación del muslo respecto a la horizontal es posible solamente si se aumenta el ángulo de inclinación de la cadera. La cadera aumenta y disminuye su propia inclinación.

Durante el traslado de la pierna libre se produce el descenso resistente de la cadera (adducción) en la articulación coxofemoral de la pierna de apoyo. Estos movimientos, en el plano transversal, son más manifiestos en la carrera lenta que en la rápida; más evidentes aún lo son en la marcha deportiva.

Los giros de la cadera en la articulación coxofemoral de la pierna de apoyo se producen en el sentido de esta última: el empuje con la pierna derecha va acompañado con un giro de la cadera hacia la derecha .

El aumento de la inclinación de la cadera y su giro no sólo aumentan geoméricamente la longitud del paso, sino también ofrecen un efecto dinámico considerable. Cuando se producen distensiones musculares relativamente pequeñas en la articulación coxofemoral, se desarrollan grandes fuerzas elásticas (elasticidad altamente lineal). Esto permite aprovechar el fenómeno de la resonancia, acumular un gran nivel de energía, garantizar una alta

frecuencia y, por consiguiente, la velocidad de los movimientos oscilatorios de las piernas. Los movimientos de la cadera ayudan, tanto al empuje con la pierna de apoyo como al traslado de la otra pierna, ya que entran a tomar parte en el trabajo grupos complementarios de músculos que trabajan en un régimen efectivo (oscilaciones elásticas).

Los movimientos compensatorios de la cintura escapular y de las secciones superiores de la columna vertebral (movimientos contrarios), aumentan la rapidez y la amplitud total de los movimientos. Cada movimiento con deformación el tronco sirve, simultáneamente, como movimiento preparatorio para la ejecución del movimiento de retroceso en los tres planos. Por eso, aquí tienen lugar movimientos oscilatorios (con cambio de sentido y transformación de la energía cinética en energía de deformaciones elásticas, y viceversa).

Los movimientos de las piernas y del tronco están relacionados, mediante coordinación cruzada, con los movimientos concomitantes de los brazos.

59.4 VELOCIDAD, LONGITUD y FRECUENCIA DEL PASO

La velocidad de los movimientos del paso se mide por la relación entre el espacio y el tiempo empleado para recorrerlo. El espacio, en cada paso, es su longitud(l); el tiempo es la magnitud inversa al "tempo" $\Delta t = l/N$. La velocidad de desplazamiento es numéricamente igual a la longitud del paso multiplicada por su frecuencia ($v = l.N$).

Si expresamos la longitud del paso en metros y el "tempo " en cantidad de pasos en un segundo. entonces la velocidad estará expresada en mis. Como en una serie de pasos sucesivos, ni la longitud , ni la frecuencia son constantes, generalmente para el cálculo se toman las magnitudes medias de un tramo de espacio medido.

La correlación entre la longitud y la frecuencia del paso, en las diferentes formas de desplazamiento varía. Pero existen también regularidades generales: cuando se aumenta la frecuencia del paso se hace más fuerte el empuje se eleva la velocidad y aumenta la

longitud del paso. La velocidad se incrementa como resultado del aumento simultáneo de la longitud y la frecuencia del paso.

Después de un cierto límite resulta imposible el aumento posterior simultáneo de la frecuencia y la longitud del paso. .Cuando se aumenta un componente, el otro comienza a disminuir. Tales correlaciones permiten aumentar la velocidad. siempre que la disminución relativa de uno de los componentes no sobrepase el aumento relativo del otro, después de lo cual la velocidad del desplazamiento. por pasos, comienza a decrecer.

En los diferentes movimientos del paso, la velocidad óptima depende de la distancia y del nivel de preparación del deportista. A esta velocidad del paso (competitiva), le corresponden una longitud y una frecuencia óptimas. Estas tienen carácter individual, ya que dependen en mucho de las proporciones del cuerpo.

FIN DEL TEXTO DEL TEMA I

FIGURA 1

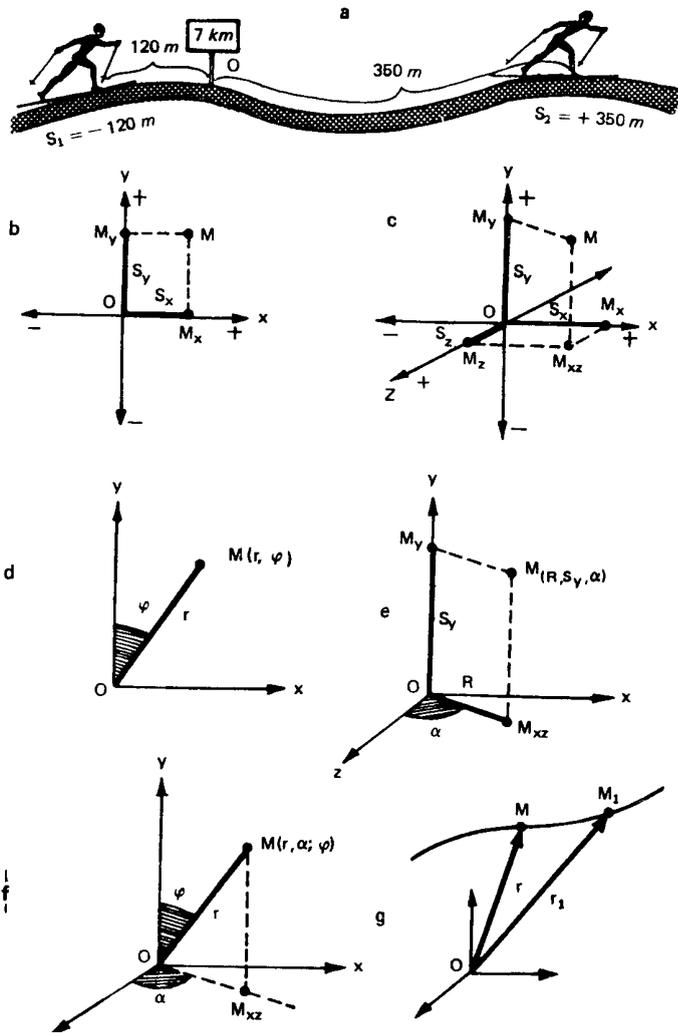


FIGURA 2

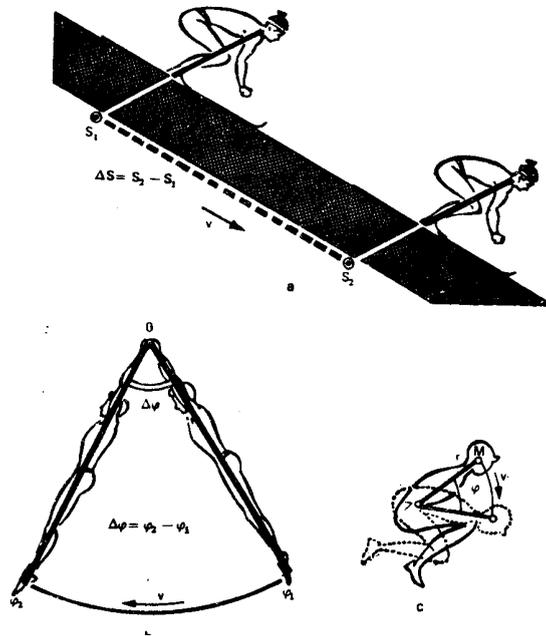


FIGURA 3

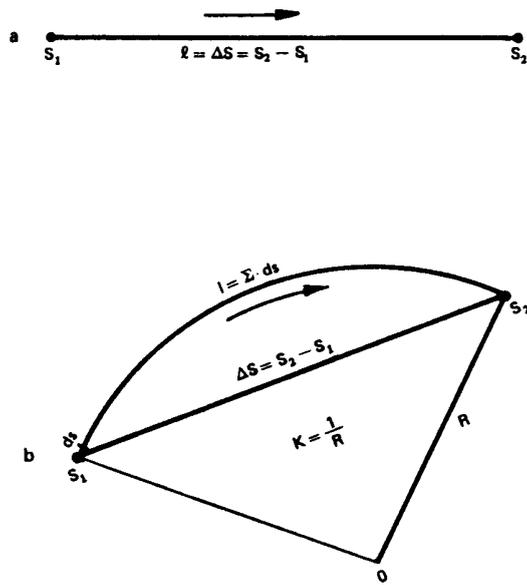


FIGURA 4

$$k = \frac{1}{R}; [k] = L^{-1}$$

FIGURA 5

$$N = \frac{1}{\Delta t}; [N] = T^{-1}$$

FIGURA 6

$$R = \Delta t_{2-1} : \Delta t_{3-2} : \Delta t_{4-3}; \textit{etcétera} ; [R] = T^0$$

FIGURA 7

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}; [v] = L^1 T^{-1}$$

FIGURA 8

$$v_t = \frac{\lim. \Delta s}{\Delta t \rightarrow 0 \Delta t}; [v] = L^1 T^{-1}$$

FIGURA 9

$$\frac{v}{r} = \mathbf{w}$$

FIGURA 10

$$\mathbf{w} = \frac{\lim. \Delta \Phi}{\Delta t \rightarrow 0 \Delta t}; [\mathbf{w}] = L^0 T^{-1}$$

FIGURA 11

$$a = \frac{\lim \Delta v}{\Delta t \rightarrow 0 \Delta t}; [a] = L^1 T^{-2}$$

FIGURA 12

$$\mathbf{a} = \frac{\lim. \Delta \mathbf{w}}{\Delta t \rightarrow 0 \Delta t}; [\mathbf{a}] = L^0 T^{-2}$$

FIGURA 13

$$\frac{a}{r} = \mathbf{a}$$

FIGURA 14

$$a = \mathbf{a}r$$

FIGURA 14.1

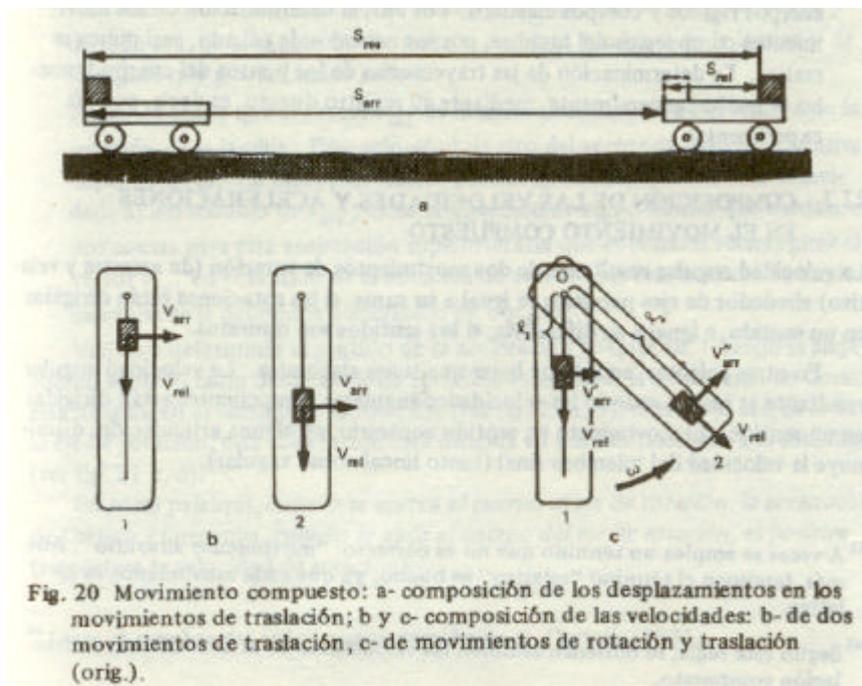


FIGURA 15

$$v''_{arr.} = \omega l_2; v'_{arr.} = \omega l_1$$

FIGURA 16

$$a_{res.} = a_{arr.} + a_{rel.} + a_{Cor.}$$

FIGURA 17

$$a = 2\omega v_{rel.}$$

FIGURA 20

$$v''_{arr.} = 2v'_{arr.}$$

FIGURA 21

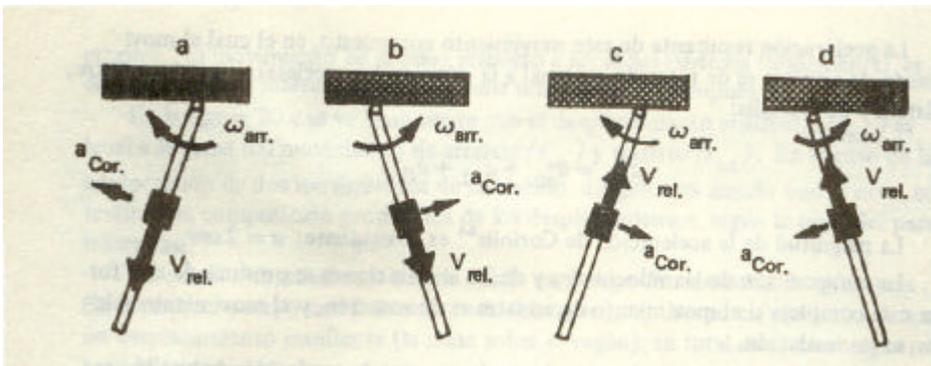


FIGURA 22

$$m = \frac{F}{a}; [m] = M^{-1}$$

FIGURA 23

$$M_z(F) = I_z \mathbf{a}$$

FIGURA 24

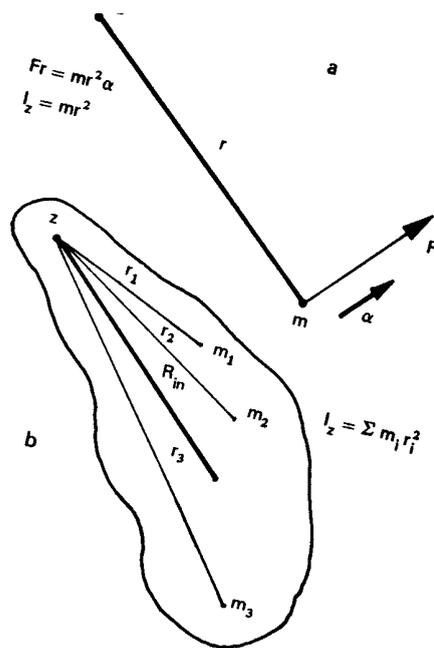


Fig. 22 Momento de inercia: a- de una partícula material: b- de un cuerpo.

FIGURA 25

$$R_{in.} = \sqrt{\frac{I}{m}}; |R_{in.}| = L^1$$

FIGURA 26

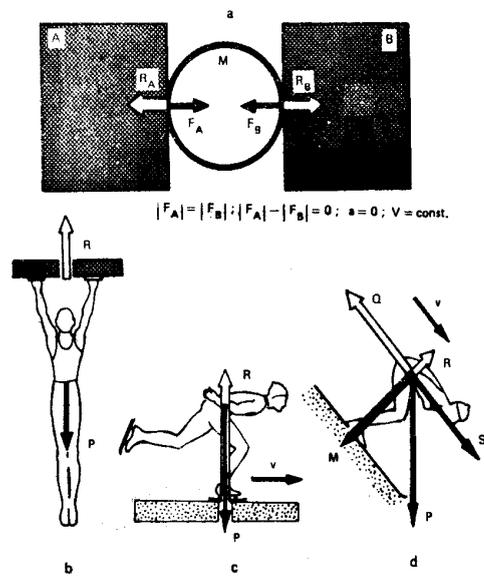


FIGURA 27

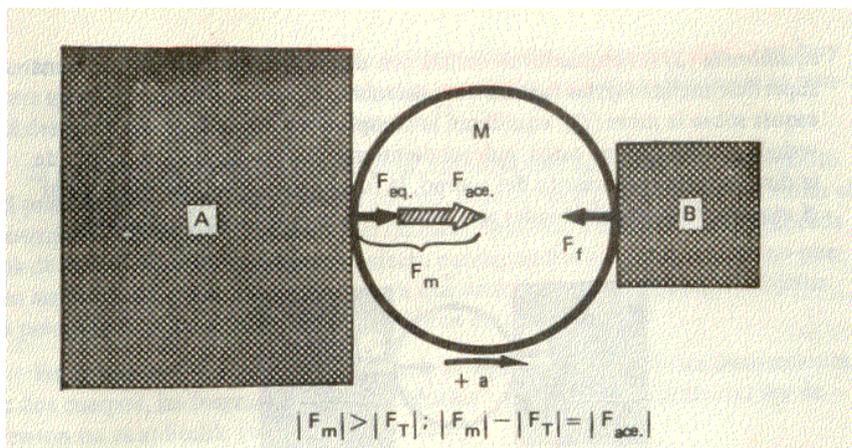


FIGURA 28

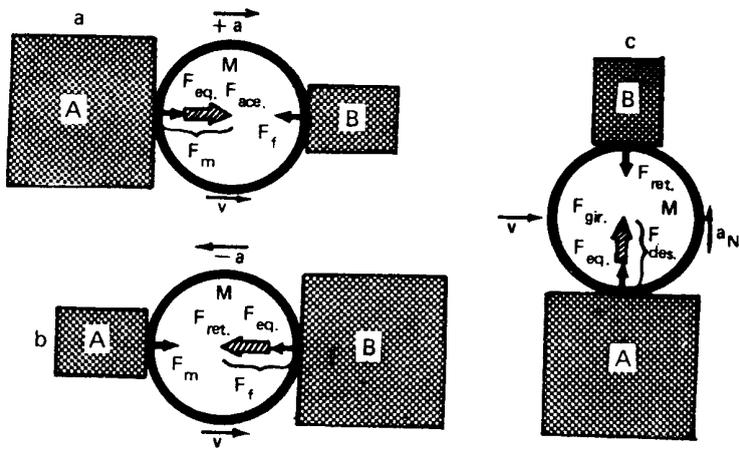


FIGURA 29.

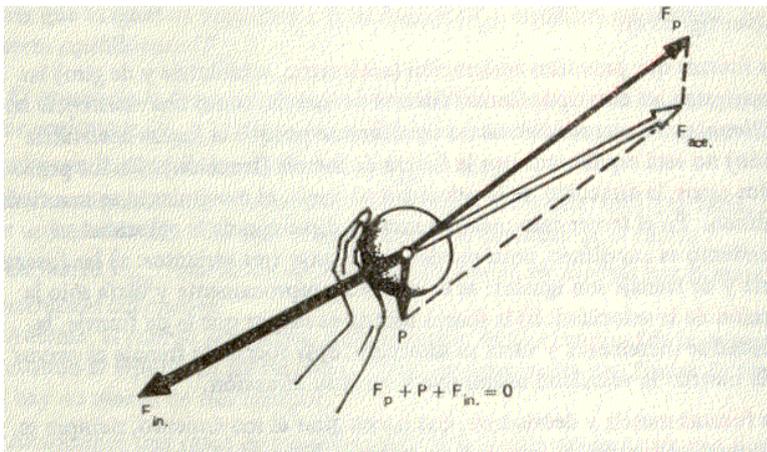


FIGURA 30

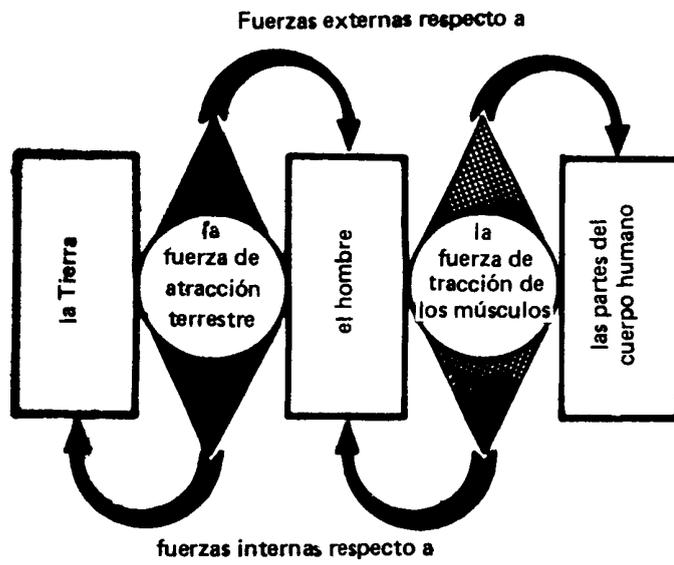


FIGURA 31

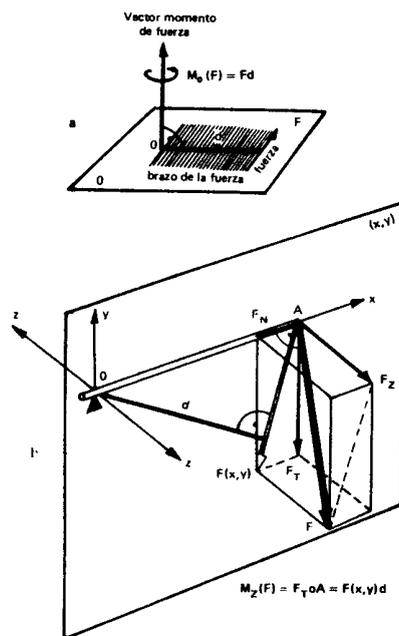


FIGURA 32

$$W = F\Delta s; |W| = M^1 L^2 T^{-2}$$

FIGURA 33

$$S = \sum F_i \Delta t_i$$

FIGURA 34

$$W = F_i \Delta s_i$$

FIGURA 35

$$P = mv; |p| = M^1 L T^{-1}$$

FIGURA 36

$$E_k = \frac{mv^2}{2}; |E_k| = M^1 L^2 T^{-2}$$

FIGURA 37

Tabla 3
ACCIÓN DE LA FUERZA Y VARIACIÓN DEL MOVIMIENTO

<i>Condiciones de la tarea sobre la acción de la fuerza</i>	<i>Medidas de la acción de la fuerza</i>		<i>Medidas de la variación del movimiento</i>	
	<i>Movimiento de traslación</i>	<i>Movimiento de rotación⁶⁰</i>	<i>Movimiento de traslación</i>	<i>Movimiento de rotación⁶⁰</i>
Acción de la fuerza en el tiempo	Impulso de una fuerza $S = Ft$	Impulso del momento de una fuerza $S_z = M_z (F) t$	Cantidad de movimiento $p = mv$	Momento cinético $J_z = I\omega$
Acción de la fuerza en el espacio	Trabajo de una fuerza $W = Fs$	Trabajo del momento de una fuerza $W_z = M_z (F) \varphi$	Energía cinética $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Energía cinética $E_{k_z} = \frac{I\omega^2}{2}$

FIGURA 38

$$F_s = \Delta \frac{mv^2}{2}; M_z(F)_i = \Delta \frac{I\omega^2}{2}$$

FIGURA 39

$$F_{atr.} = K \frac{mM}{r^2}$$

FIGURA 40

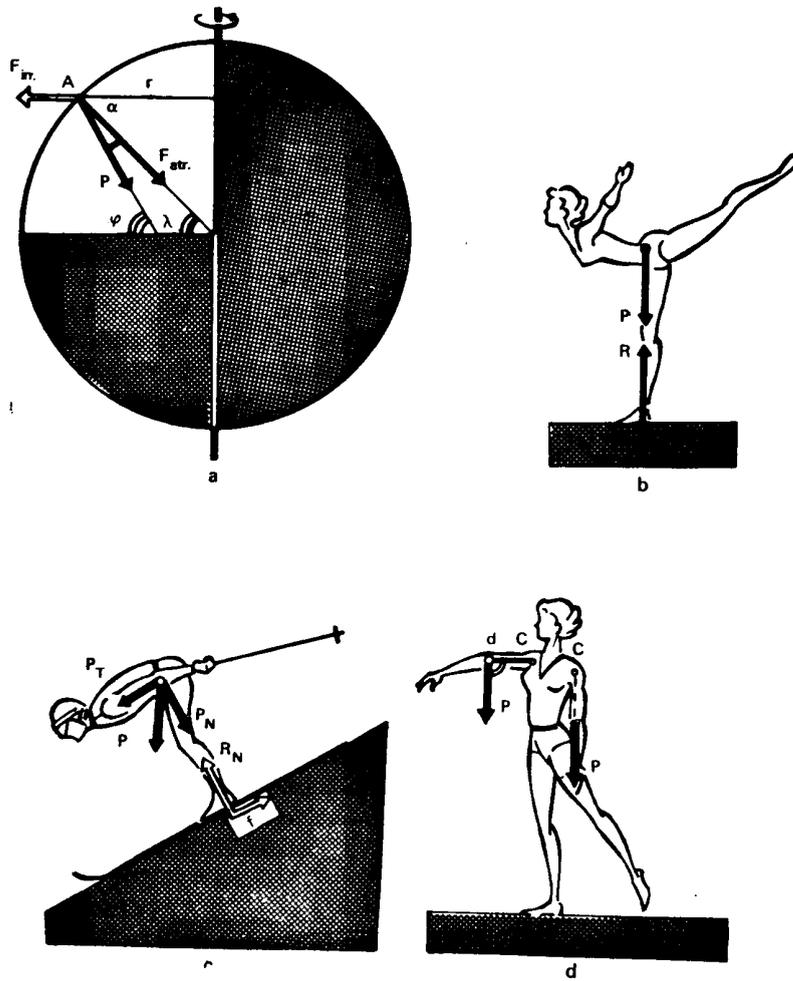


FIGURA 41

$$F_{in}^T = m a r$$

FIGURA 42

$$F^N = m \omega^2 r$$

FIGURA 43

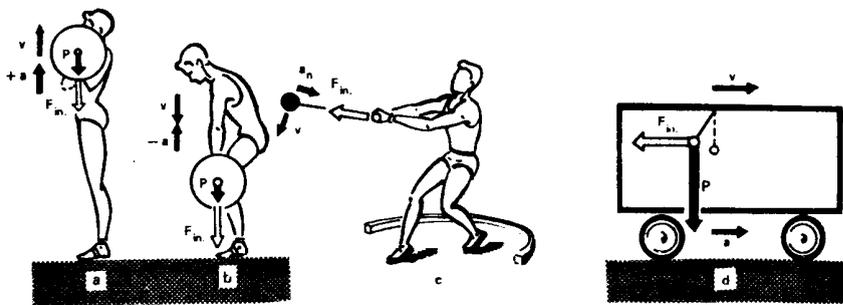


FIGURA 44

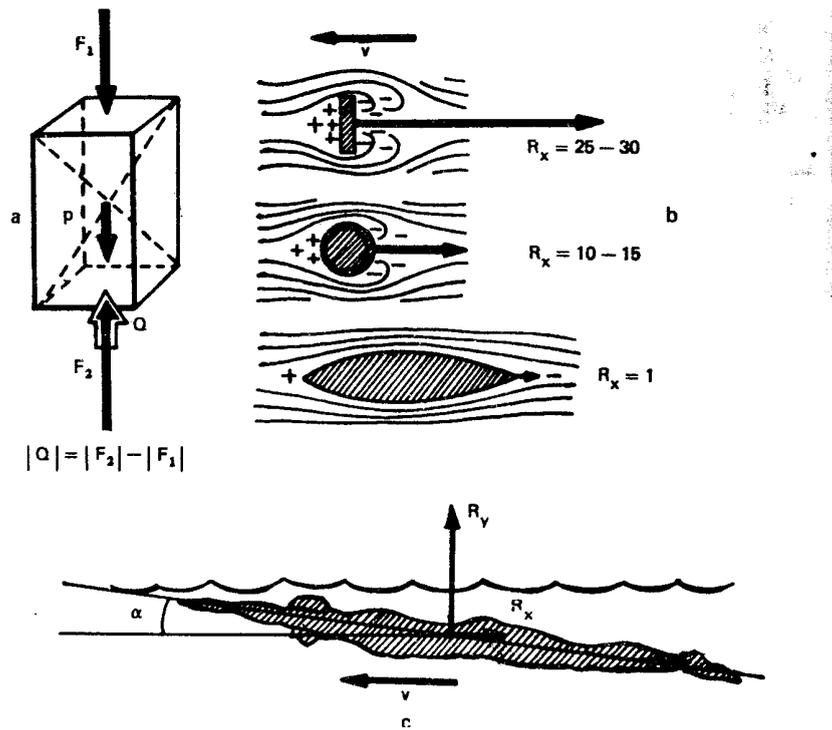


FIGURA 45

$$R_x = SC_x rv^2,$$

FIGURA 46

$$R_y = SC_y rv^2,$$

FIGURA 47

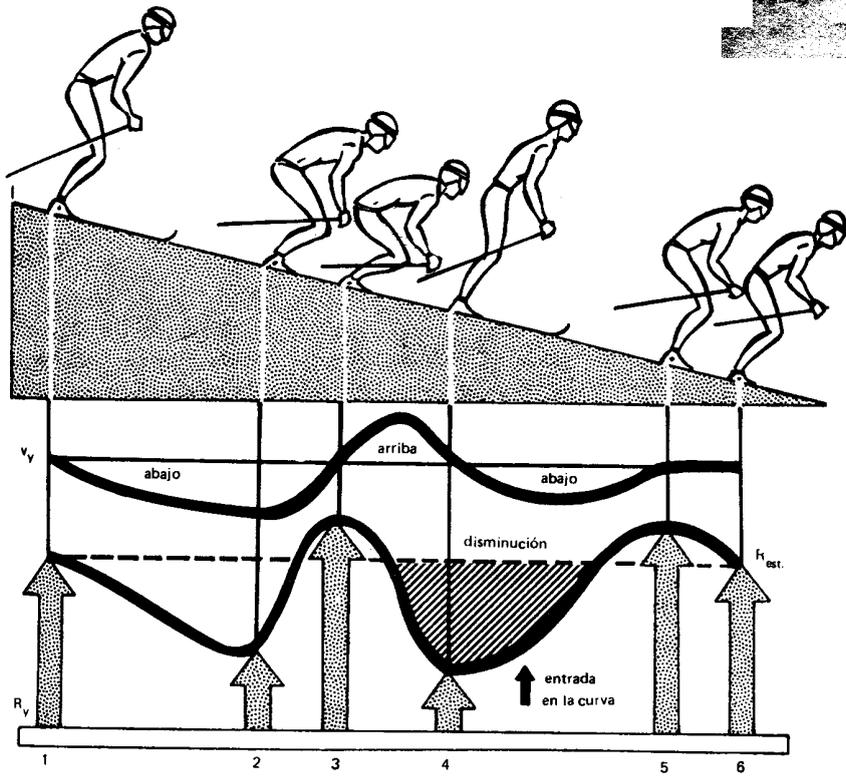


FIGURA 48

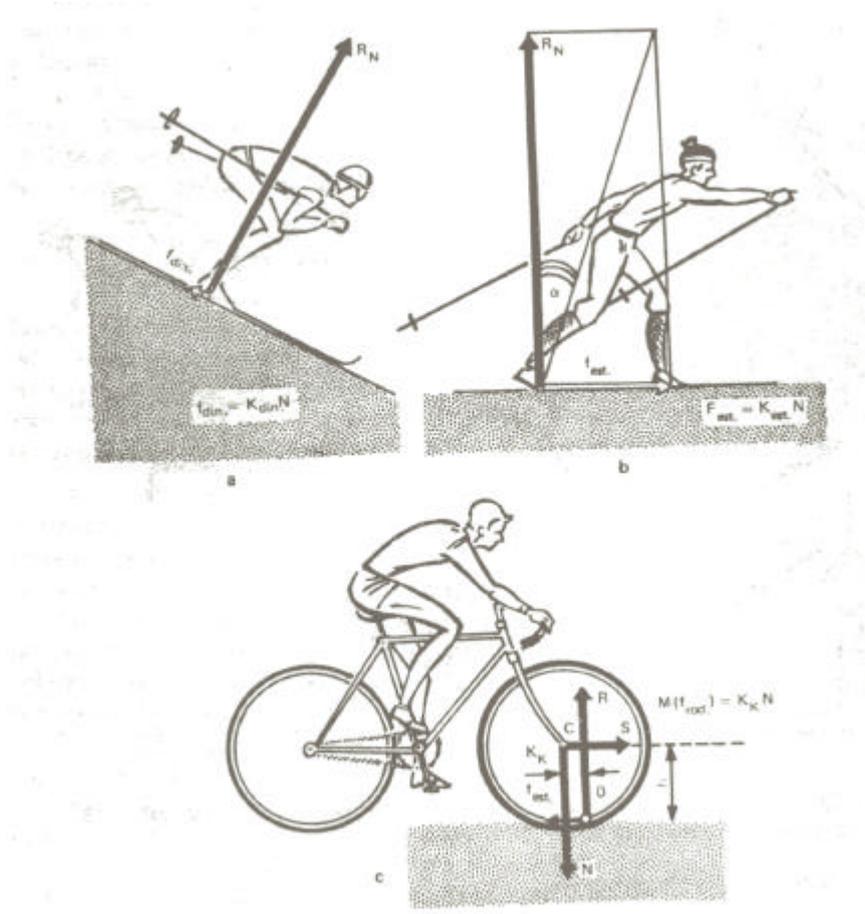


FIGURA 49

$$m_{din} = \frac{f_{din}}{N}$$

FIGURA 50

**PESOS RELATIVOS DE LAS PARTES DEL CUERPO HUMANO
(CON RELACIÓN AL PESO DE TODO EL CUERPO)**

<i>Parte del cuerpo</i>	<i>Según Fischer</i>	<i>Según Bernshtein</i>		<i>Datos redondeados %</i>
		<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>	
Cabeza	0,0706	0,0672	0,0812	7
Tronco	0,4270	0,4630	0,4390	43
Muslo	0,1158	0,1221	0,1289	12
Pierna	0,0527	0,0465	0,0434	5
Pie	0,0179	0,0146	0,0129	2
Brazo	0,0336	0,0265	0,0260	3
Antebrazo	0,0228	0,0182	0,0182	2
Mano	0,0084	0,0070	0,0055	1
Todo el cuerpo	1,0000	1,0000	1,0000*	100 ⁷¹

FIGURA 51

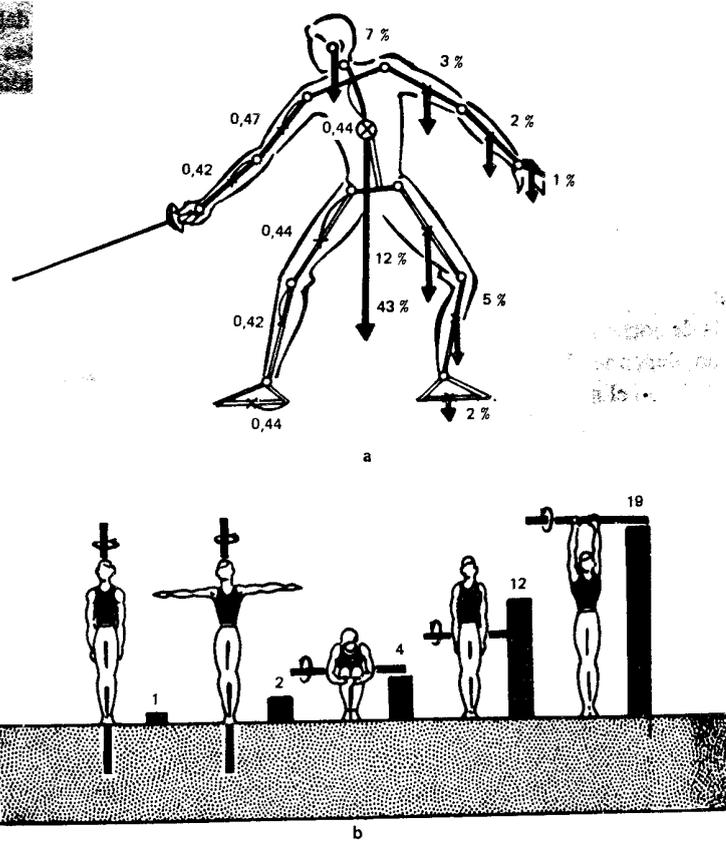


FIGURA 52

$$P = \frac{F\Delta S}{\Delta t}$$

FIGURA 53

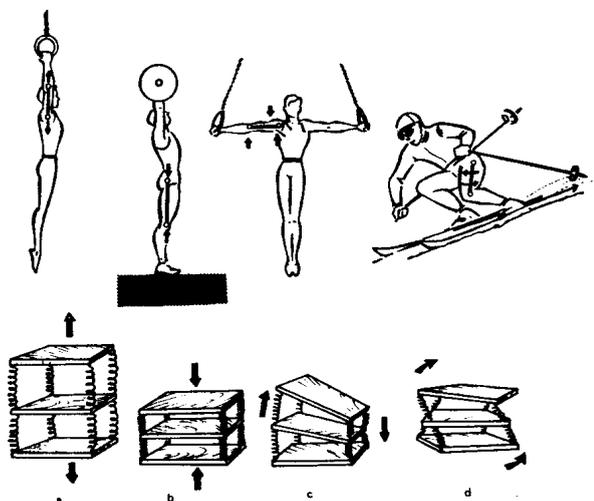


FIGURA 54

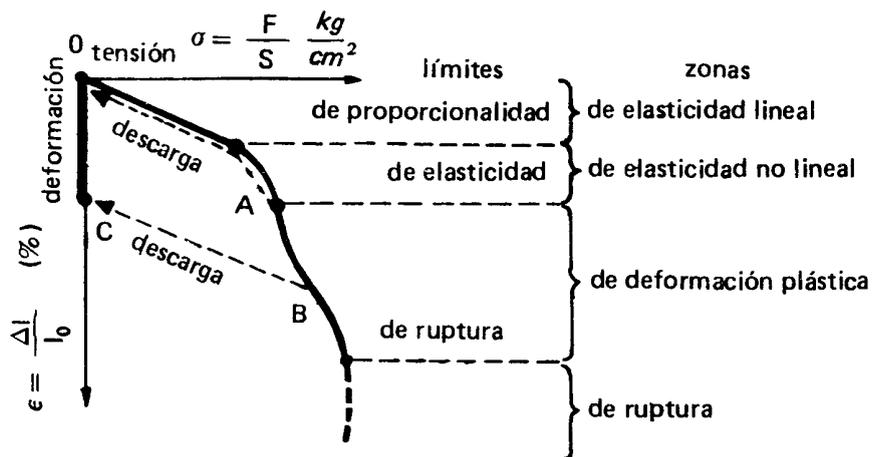


FIGURA 55

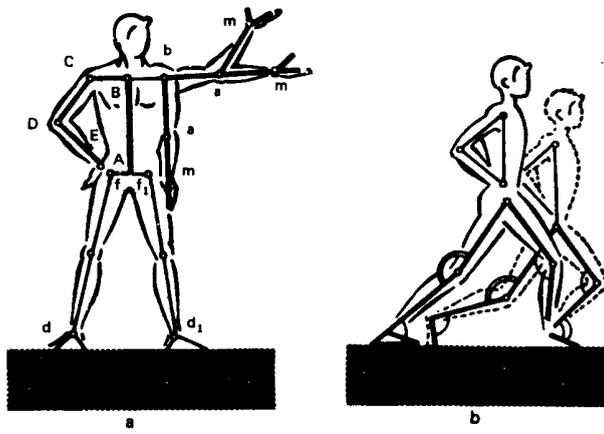


FIGURA 56

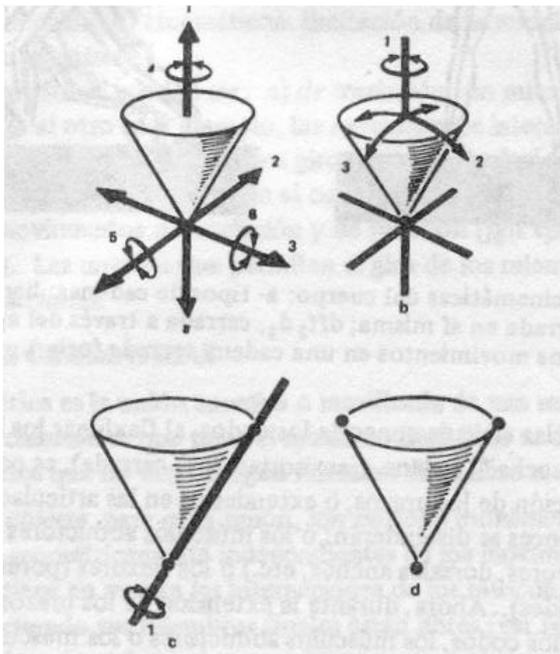


FIGURA 57

**GRADOS DE LIBERTAD DEL CUERPO Y DE SUS PUNTOS
EN DEPENDENCIA DE LAS LIGADURAS EXISTENTES**

<i>Cantidad de puntos fijados del cuerpo</i>	<i>Cantidad de grados de libertad del cuerpo</i>	<i>Cantidad de grados de libertad de un punto del cuerpo</i>	<i>Cantidad de ejes de rotación en la articulación</i>
0	6	3	—
1	3	2	3 (articulación triaxil)
2	1	1	1 (articulación monoaxil)
3	0	0	—

FIGURA 57.1

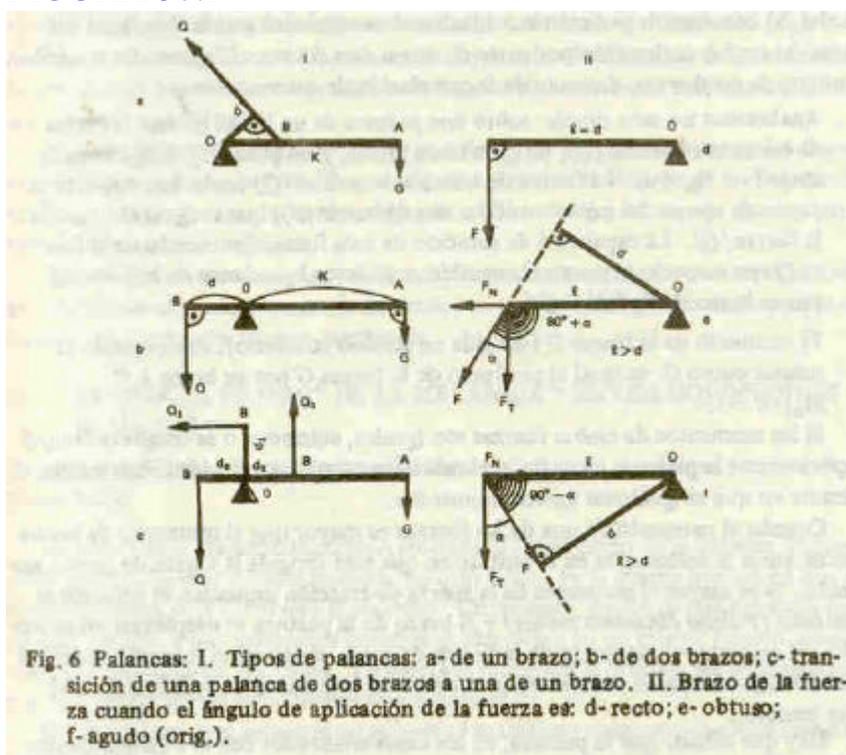


Fig. 6 Palancas: I. Tipos de palancas: a- de un brazo; b- de dos brazos; c- transición de una palanca de dos brazos a una de un brazo. II. Brazo de la fuerza cuando el ángulo de aplicación de la fuerza es: d- recto; e- obtuso; f- agudo (orig.).

FIGURA 58

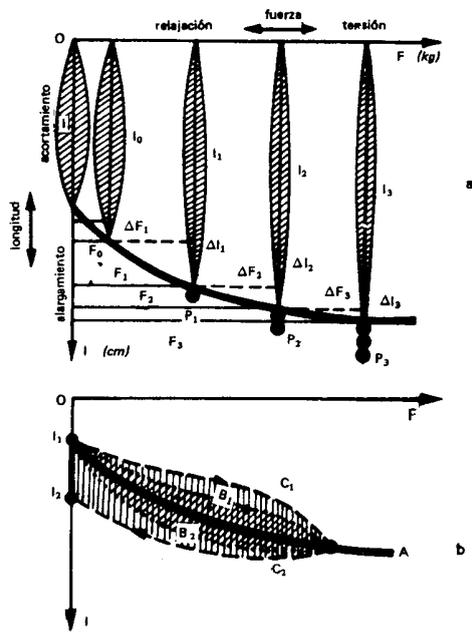


FIGURA 59

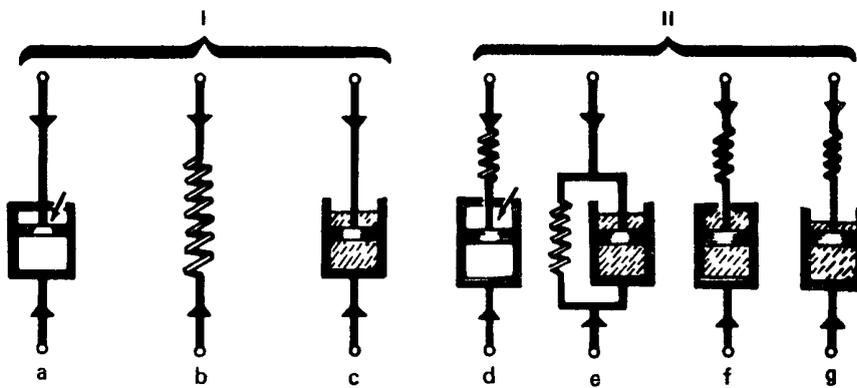


FIGURA 60

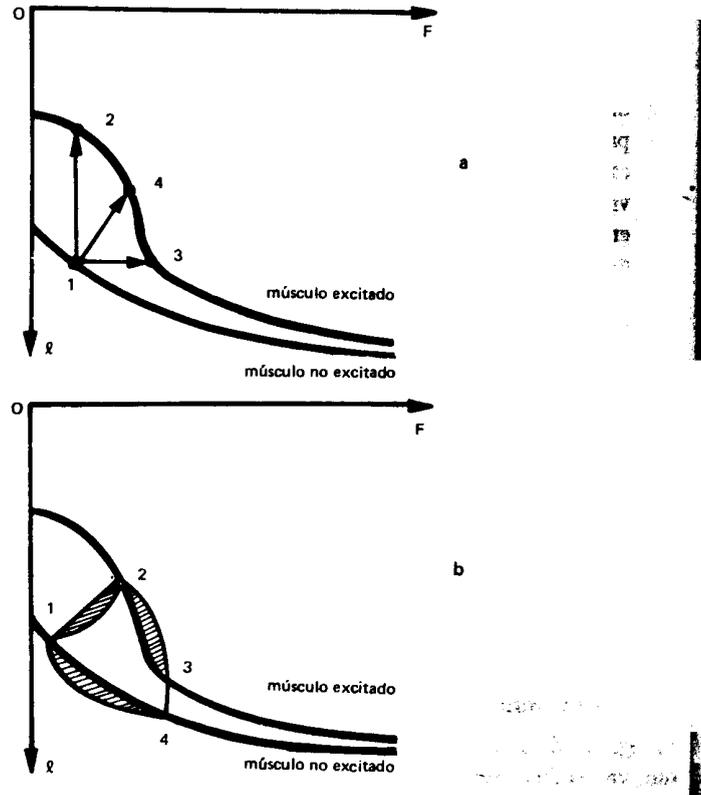


FIGURA 61

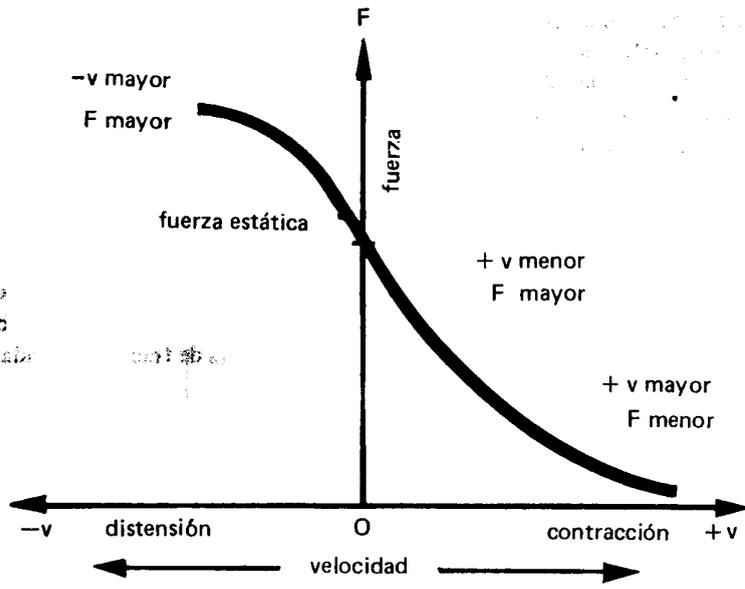


FIGURA 62

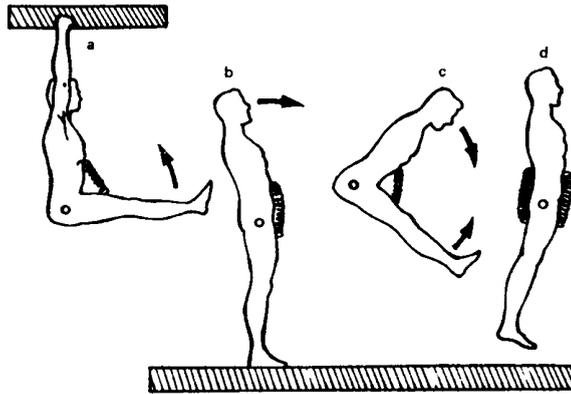


FIGURA 63

**VARIEDADES ELEMENTALES (TÍPICAS) DEL TRABAJO
DE LOS MÚSCULOS**

<i>Tensión</i>	<i>Longitud</i>		
	<i>Disminuye</i>	<i>Es constante</i>	<i>Aumenta</i>
Aumenta	1. Movimiento "hasta el rechazo"	4. Aumenta la fijación	7. Frenaje hasta la detención
Constante	2. Superación isotónica	5. Fijación constante	8. Avance uniforme
Disminuye	3. Impulso hasta el máximo de la velocidad	6. Se debilita la fijación	9. Comienzo del frenaje con aceleración
	Trabajo dinámico motor	Trabajo estático	Trabajo dinámico resistente

FIGURA 64

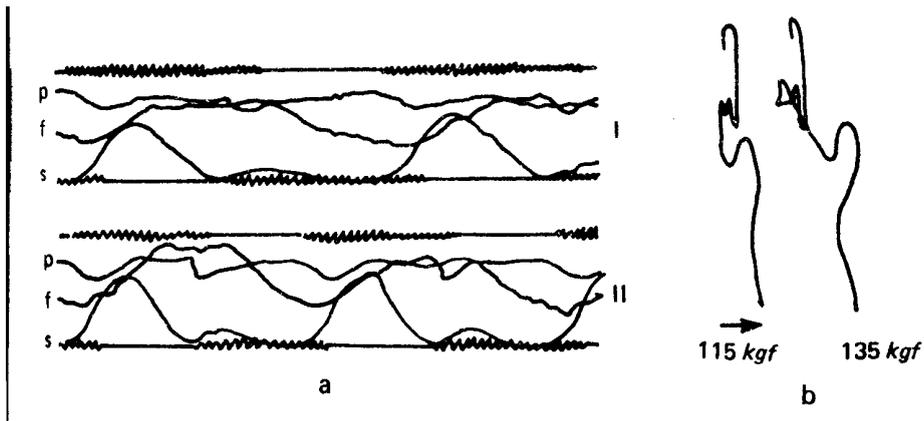
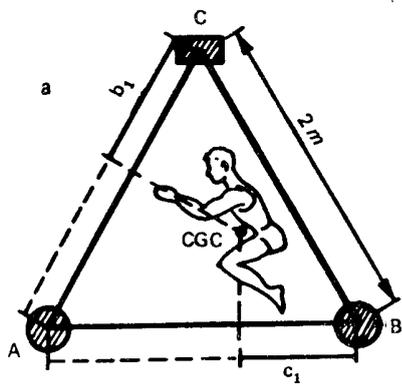


FIGURA 65



$$A + B + C = P$$

$$b_1 = \frac{2A + B}{P}$$

$$c_1 = 1 + \frac{B - A}{P}$$

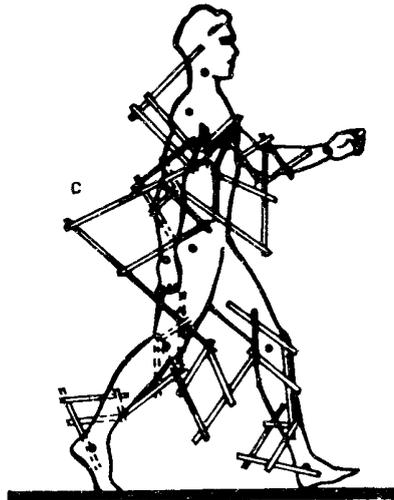
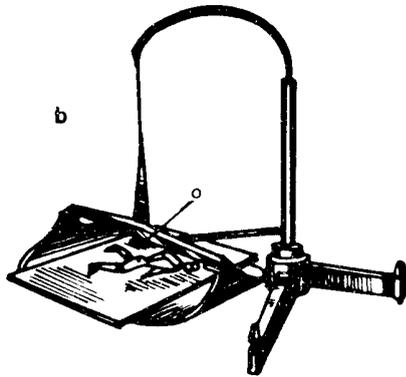


FIGURA 66

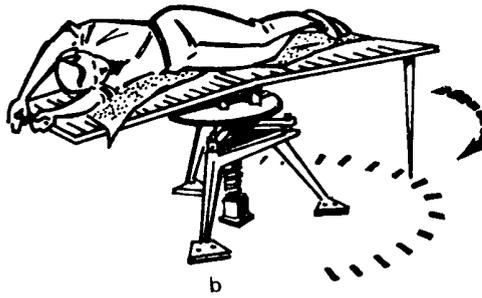
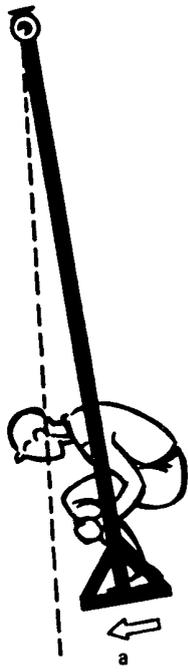


FIGURA 67

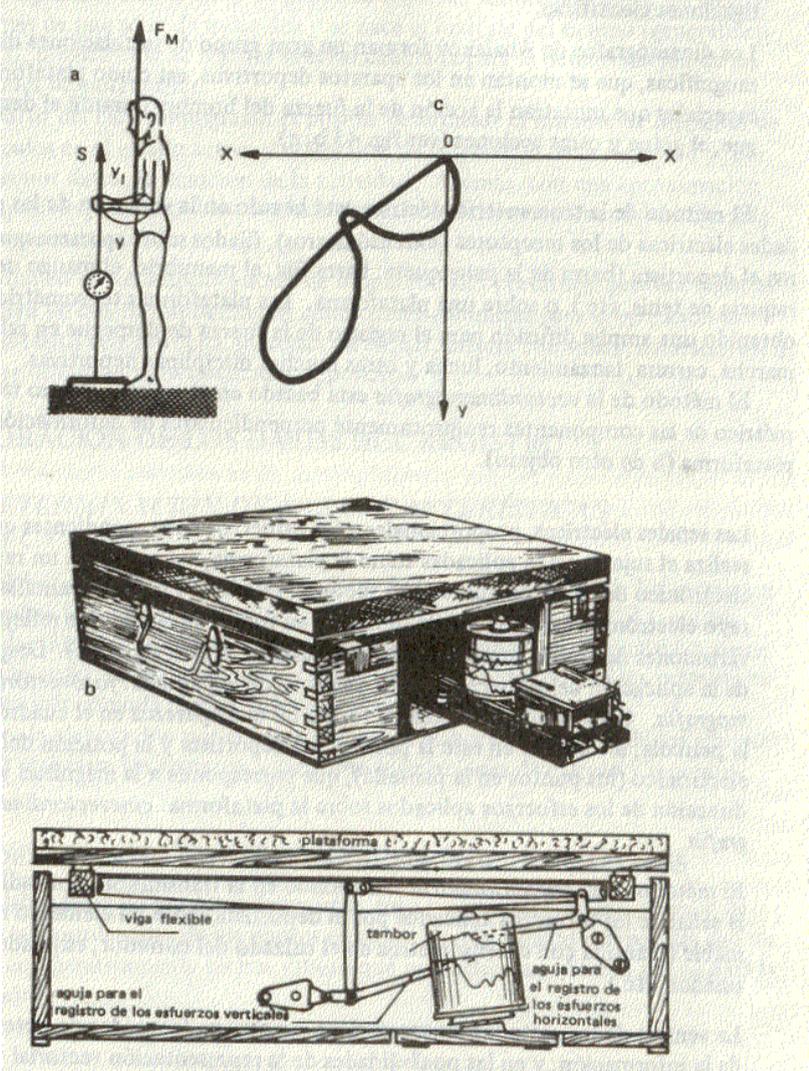


FIGURA 68

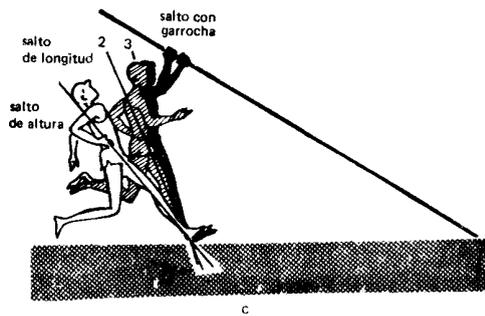
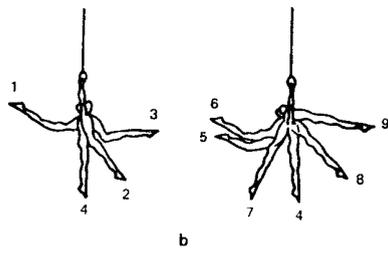
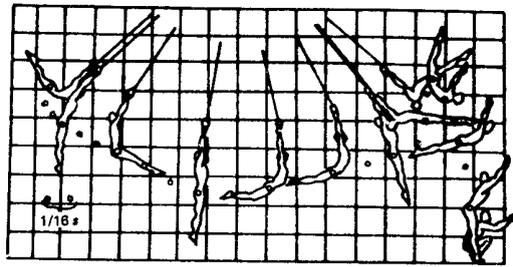


FIGURA 69

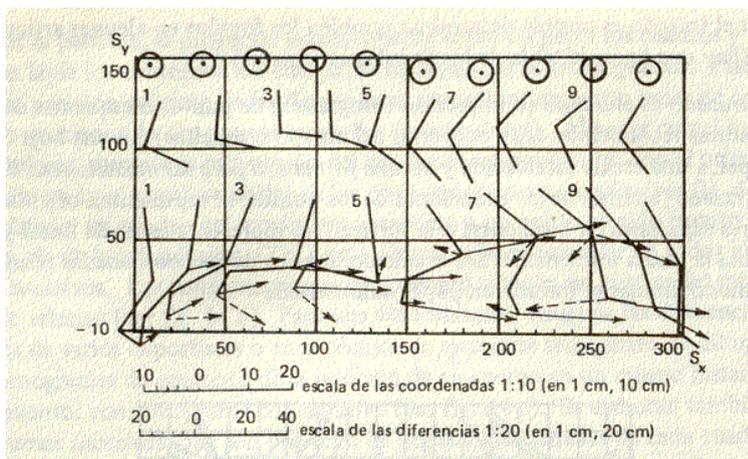


FIGURA 70

TABLA DE COORDENADAS⁸⁷

<i>Sx</i>	<i>g_c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>f</i>	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>Sy</i>	<i>g_c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>f</i>	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
1	9	15	6	30	6	10	-9	3	1	145	125	100	89	68	28	0	-8
2	38	48	46	71	35	23	5	4	2	146	129	105	100	70	33	8	-7
3	68	79	81	105	65	50	19	17	3	148	132	108	105	73	36	20	4
4	99	108	108	131	98	88	53	45	4	149	131	106	98	72	34	32	19
5	129	136	130	151	130	133	94	89	5	146	127	102	88	69	32	36	24
6	159	163	151	167	161	182	150	147	6	143	126	102	81	70	41	30	15
7	190	189	173	186	192	222	204	211	7	142	128	106	83	75	53	23	9
8	221	217	199	210	222	251	256	269	8	143	131	111	87	77	53	18	10
9	252	248	230	242	250	276	286	301	9	144	131	112	88	75	44	11	4
10	282	279	266	281	278	298	296	307	10	142	128	107	85	72	36	1	-7

⁸⁷ *g_c* - centro de gravedad de la cabeza; *b* - hombro; *a* - codo; *m* - muñeca; *f* - cadera; *s* - rodilla; *p* - tobillo; *d* - punta del pie.

FIGURA 71

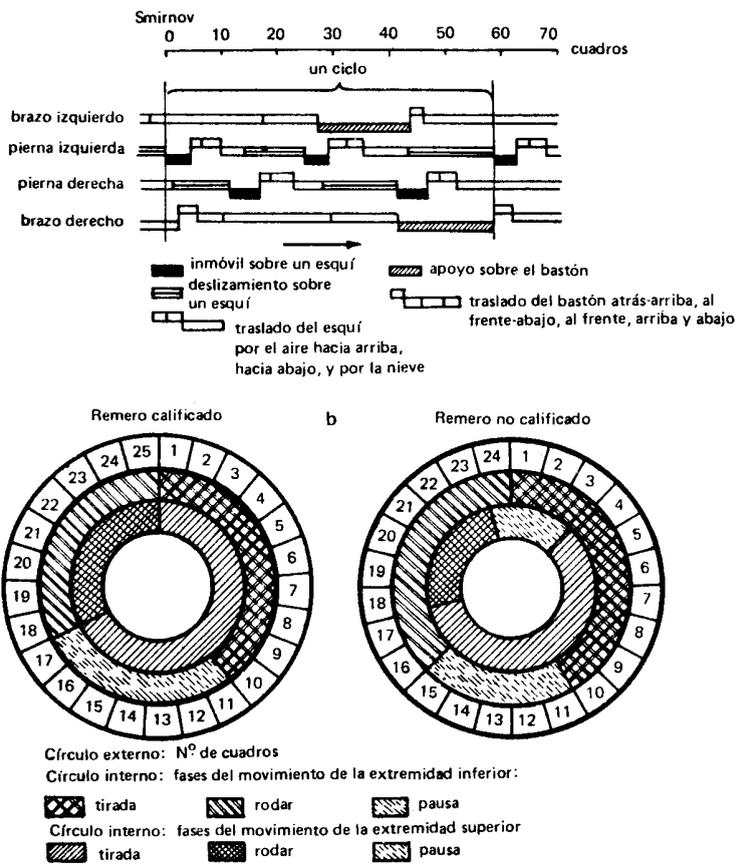


FIGURA 74

$$\frac{MN}{L}$$

FIGURA 72

$$v = \Delta S \frac{MN}{L} = \Delta SK_v \quad \frac{cm}{s}$$

FIGURA 75

$$\frac{10.24}{2} = 120$$

FIGURA 76

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

FIGURA 73

$$a = \Delta'' S \frac{MN^2}{L^2} = \Delta'' SK_a \frac{cm}{s^2}$$

FIGURA 77

$$v = \frac{\Delta' S}{\Delta t}$$

FIGURA 78

$$\Delta'' S$$

FIGURA 79

$$a = \frac{\Delta'' S}{\Delta t^2}$$

FIGURA 80

TABLA DE VELOCIDADES

$\Delta'x$	g_c	b	a	m	f	s	p	d	$\Delta'y$	g_c	b	a	m	f	s	p	d
1						—		—	1						—		—
2						40		14	2						8		12
3						65		41	3						1		26
4						83		72	4						—4		20
5						94		102	5						7		—4
6						89		122	6						21		—15
7						69		122	7						12		—5
8						54		90	8						—9		—5
9						47		38	9						—17		—17
10						—		—	10						—		—

FIGURA 81

TABLA DE ACELERACIONES

$\Delta''x$	g_c	b	a	m	f	s	p	d	$\Delta''y$	g_c	b	a	m	f	s	p	d
1						—		—	1						—		—
2						—		—	2						—		—
3						43		58	3						—12		8
4						29		61	4						6		—30
5						6		50	5						25		—35
6						—25		20	6						5		—1
7						—35		—32	7						—30		10
8						—22		—84	8						—29		—12
9						—		—	9						—		—
10						—		—	10						—		—

FIGURA 83

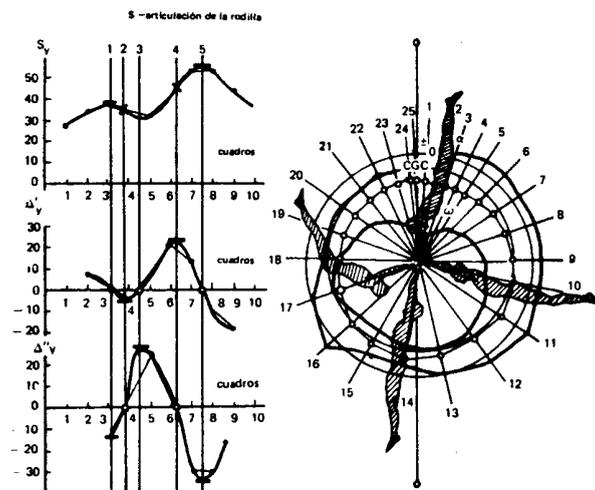


FIGURA 85

PESOS RELATIVOS Y DISPOSICIÓN DE LOS CENTROS DE GRAVEDAD DE LOS MIEMBROS DEL CUERPO

<i>Segmento</i>	<i>Peso relativo (en %)</i>	<i>Posición del CG del segmento</i>
Cabeza	7	Sobre el límite superior del conducto auditivo externo.
Tronco	43	Sobre la recta que pasa por el centro de la línea, que une las articulaciones coxofemorales y humerales, a una distancia de 0,44 a partir del eje de los hombros.
Brazo	3	A una distancia de 0,47 a partir de la articulación proximal.
Antebrazo	2	A una distancia de 0,42 a partir de la articulación proximal.
Mano	1	Articulación metacarpo-falángica del tercer dedo.
Muslo	12	A una distancia de 0,44 a partir del eje de la articulación proximal.
Pierna	5	A una distancia de 0,42 a partir del eje de la articulación proximal.
Pie	2	Sobre la línea entre el calcáneo y el segundo dedo, a una distancia de 0,44 a partir del talón.

FIGURA 86

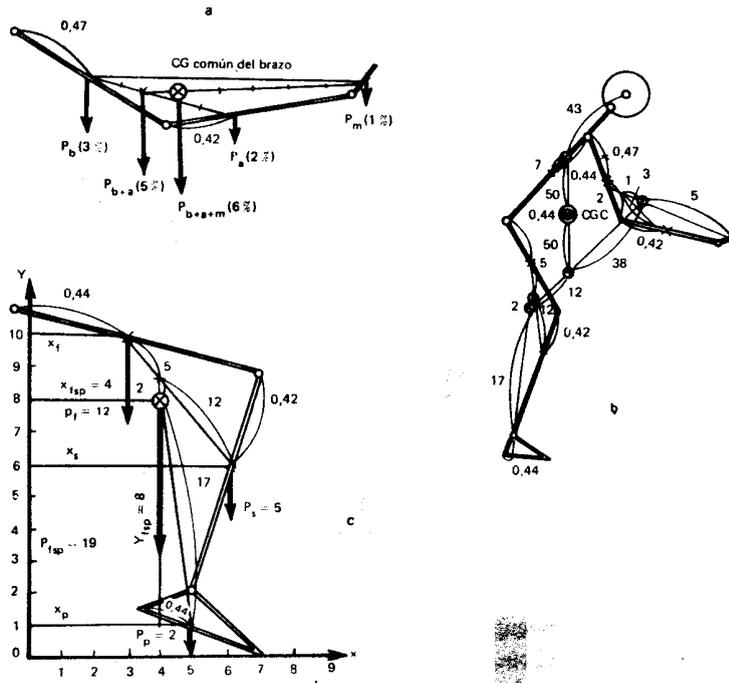


FIGURA 87

$$x_{fsp} = \frac{P_f x_f + P_s x_s + P_p x_p}{P_{fsp}} = \frac{\Sigma P \cdot x}{P_{fsp}}$$

FIGURA 88

TABLA DE CÁLCULO DE LA SITUACIÓN DEL CGC

CG	P(%)	x	y	P_x	P_y
Muslo	12	3	10	$12 \cdot 3 = 36$	$12 \cdot 10 = 120$
Pierna	5	6	6	$5 \cdot 6 = 30$	$5 \cdot 6 = 30$
Pie	2	5	1	$2 \cdot 5 = 10$	$2 \cdot 1 = 2$
Toda la extre- midad	P = 19	4	8	$P_x = 76$	$P_y = 152$

FIGURA 88.1

$$I = \frac{T^2}{4p^2} K$$

FIGURA 89

$$F_{cf} = \frac{mv^2}{r}$$

FIGURA 90

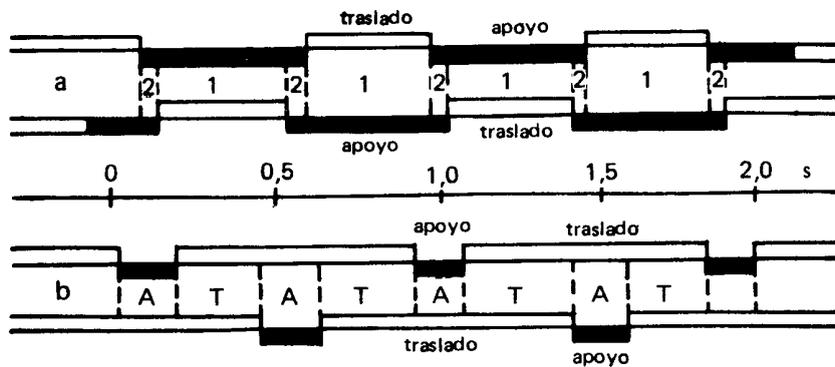
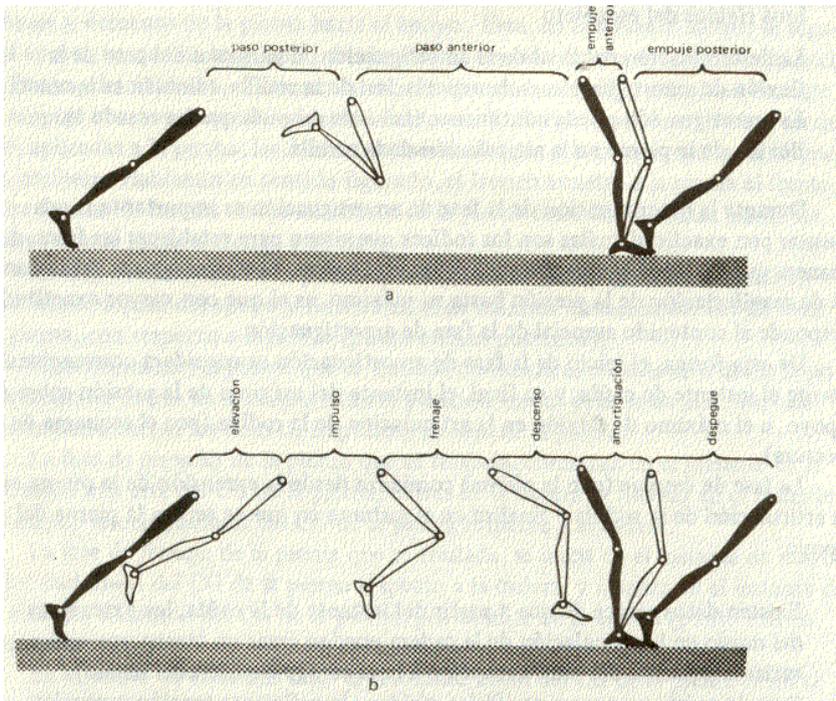


FIGURA 91



1.CONSERVACIÓN Y VARIACIÓN DE LA POSICIÓN DEL CUERPO. (D.Donskoi)

Durante la conservación y variación de la posición del cuerpo, la tarea motora consiste en garantizar el equilibrio sin que varíe el apoyo, tanto cuando la postura es constante, como cuando ésta varía (movimientos en el lugar)

EQUILIBRIO DEL CUERPO HUMANO

En los ejercicios físicos, con frecuencia, el hombre está obligado a conservar una posición inmóvil del cuerpo: posiciones iniciales (de arrancada, etc.), posiciones finales (fijación de la palanqueta después del levantamiento, etc.), posiciones intermedias (apoyo en L en las anillas, etc.). En todos estos casos el cuerpo humano, como sistema biomecánico, se encuentra en equilibrio. En equilibrio pueden encontrarse también cuerpos externos, que estén relacionados con el sujeto que conserva el equilibrio (por ejemplo, la palanqueta,, el compañero en acrobacia).

CONDICIONES DE EQUILIBRIO DEL CUERPO Y DEL SISTEMA DE CUERPOS.

La posición del cuerpo humano se determina por: 1) la postura (disposición recíproca de los miembros del cuerpo), 2) la situación, 3) la orientación respecto al sistema de referencia, y 4) la relación con el apoyo. Para conservar la posición del cuerpo hay que fijar los miembros en las articulaciones y no permitir que fuerzas externas varíen su situación, su orientación en el espacio (excluir los desplazamientos y los giros) y el vínculo con el apoyo. Las tareas citadas se solucionan equilibrando las fuerzas y los momentos de las fuerzas que actúan sobre el hombre. El equilibrio de las fuerzas constituye el fundamento de la conservación de la posición del cuerpo.

Fuerzas equilibradas durante la conservación de la posición

Al sistema biomecánico pueden estar aplicadas fuerzas de gravedad, de reacción de apoyo, del peso, tracciones musculares, así como los esfuerzos del compañero o del adversario, etc. Todas las fuerzas pueden actuar como interferentes (que alteran la posición), o como equilibrantes (que conservan la posición), en dependencia de la posición de los miembros del cuerpo respecto a su apoyo.

Las fuerzas de gravedad (fuerzas a distancia) están aplicadas a los CM de los miembros y al CM del cuerpo (Fig. 1.1a). En dependencia de las particularidades concretas de la posición, pueden estar dirigidas o bien a la variación de la posición, o bien al equilibrio de otras fuerzas interferentes (de vuelco, desviadoras).

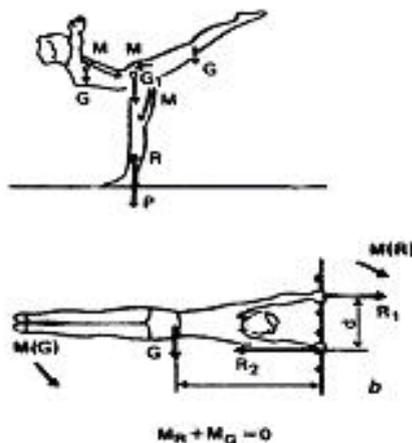


Fig 1.1 Condiciones de equilibrio significan igualdad a cero: a, del vector principal; b, del momento principal.

Las reacciones de apoyo, como reacción del apoyo a la acción del cuerpo que se encuentra sobre él, por lo general conjuntamente con otras fuerzas equilibran los miembros de apoyo, los fijan de manera inmóvil.

El peso de los miembros del cuerpo (fuerzas en contacto) está aplicado, dentro del cuerpo humano, a los miembros vecinos, como consecuencia de la atracción terrestre, de la acción de las fuerzas de gravedad. Durante la conservación de la posición, las fuerzas de

tracción muscular, con frecuencia, equilibran con sus momentos los momentos de la fuerza de gravedad de los correspondientes miembros y del peso de los otros miembros relacionados con ellos. Estas fuerzas pueden tanto hacer variar la posición del cuerpo, como hacer que el cuerpo la recupere. Las fuerzas de tracción muscular conservan la postura, al fijar la posición de los miembros en las articulaciones. Es precisamente mediante la dirección de los esfuerzos musculares que el hombre conserva la posición de su cuerpo.

Condiciones de equilibrio de la acción de las fuerzas

Para el equilibrio de la acción que sobre el cuerpo ejerce cualquier fuerza, es imprescindible que el vector principal y el momento principal de las fuerzas externas sean iguales a cero, y que todas las fuerzas internas garanticen la conservación de la postura.

Todas las fuerzas externas pueden considerarse aplicadas al CM del cuerpo (uniendo los correspondientes momentos de fuerza). La resultante de las fuerzas aplicadas al CM, el *vector principal*, condiciona su aceleración lineal. Si el vector principal es igual a cero (Fig. 1.1a), entonces el CM no variará su velocidad (y si esa velocidad es igual a cero, entonces no variará tampoco su posición).

La suma de todos los momentos de las fuerzas externas aplicadas al cuerpo es el momento principal, que condiciona la aceleración angular del cuerpo. Si el *momento principal* y el vector principal son iguales a cero, entonces el cuerpo no variará su posición (Fig. 1.1b). En otras palabras, en tal caso las fuerzas externas no pueden ni desplazar, ni volcar al cuerpo: su posición se mantendrá invariable.

Si antes de la aplicación de las fuerzas y sus momentos (equilibrados) el cuerpo se estuviera moviendo, está claro que ellos no variarán este movimiento. Este es un caso particular de equilibrio de fuerzas, pero no de conservación de la posición. Así, por ejemplo, es posible conservar la postura, pero no la posición, en el movimiento sin apoyo (en el vuelo) o con apoyo (el descenso en trineo).

Conviene subrayar que para la conservación de la posición de todo el cuerpo es imprescindible la conservación de su postura (algo así como el endurecimiento del cuerpo). Pero no siempre la conservación de la postura resulta suficiente para la conservación de la posición de todo el cuerpo. La denominada postura dinámica, durante la ejecución de los ejercicios, es la conservación de, fundamentalmente, la postura de grupos de miembros, pero no de la posición del cuerpo en su conjunto.

Tipos de equilibrio del cuerpo y su estabilidad

El tipo de equilibrio del cuerpo se divide a partir de la acción de la fuerza de gravedad, y aun en el caso en que la variación sea mínima, en: a) estable: el cuerpo regresa a la posición inicial sea cual sea la variación sufrida; b) limitadamente estable. el cuerpo regresa a la posición inicial solo si la variación se ha producido dentro de determinados límites; c) inestable: la más pequeña variación provoca el vuelco obligado del cuerpo.

Para determinar el tipo de equilibrio del cuerpo hay que analizar la acción de las fuerzas de gravedad cuando se produce la más pequeña variación. Si cuando el cuerpo se separa en forma insignificante de su posición, su CM se eleva, entonces, la energía potencial del cuerpo (en el campo de atracción terrestre) se incrementa y la fuerza de gravedad crea un momento dirigido a la recuperación de la posición, estamos ante un caso de equilibrio *estable*. Este equilibrio es característico del apoyo superior, cuando el cuerpo está suspendido de éste (Fig.1.2a). Cuando el apoyo es inferior, el cuerpo puede inclinarse solo mientras la línea de gravedad (o proyección del CM en el plano horizontal) no atraviese los límites del área de apoyo. Hasta este límite la fuerza de gravedad crea el momento de estabilidad (que puede hacer recuperar la posición de equilibrio), y a medida que se inclina el cuerpo, su CM se eleva, lo que requiere un gasto de trabajo que aumenta la energía del cuerpo. Si se continúa el vuelco del cuerpo y se atraviesa ese límite, la energía potencial comienza a disminuir (superación de la

barrera potencial), y el momento de la fuerza de gravedad se convierte en un momento de vuelco. Dentro de los límites de la barrera potencial el equilibrio es *limitadamente estable* (Fig. 1.2b).

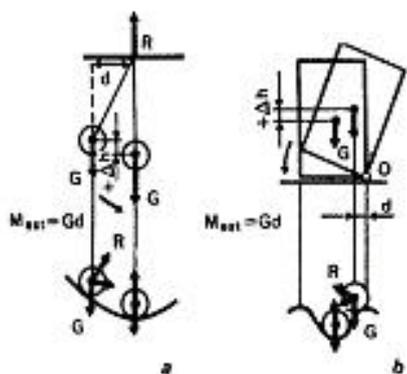


Fig. 1.2 Tipos de equilibrio: a, estable; b, limitadamente estable.

El equilibrio inestable, por su parte, lo encontramos solo cuando el apoyo es inferior, en forma de un punto de apoyo o una línea. Es suficiente desviar al cuerpo en cualquier sentido para que su CM descienda; la energía potencial en tal caso disminuye y el momento de la fuerza de gravedad resulta momento de vuelco. Este tipo de equilibrio no existe en la naturaleza, es solo un modelo abstracto. En las condiciones reales la más pequeña desviación hace que cese ese equilibrio.

Hay que recordar también el equilibrio *indiferente*; sea cual sea la desviación que se produzca, el CM no variará su altura, no surgirá el momento de la fuerza de gravedad (una esfera, un cilindro, un cono circular sobre una superficie horizontal). En el hombre este equilibrio puede producirse solo en condiciones de ingravidez (en el cosmos, bajo el agua). De esta forma, prácticamente, ni el equilibrio indiferente ni tampoco el equilibrio inestable existen referidos al cuerpo humano. El equilibrio estable se observa solo cuando el apoyo es superior (en suspensión), y el limitadamente estable, en el apoyo inferior.

El grado de estabilidad del cuerpo humano en las diferentes posiciones está caracterizado por su indicador estático: el coeficiente

de estabilidad (capacidad para contrarrestar la alteración de la estabilidad en determinadas direcciones), así como por su indicador dinámico: el ángulo de estabilidad (capacidad para recuperar la posición).

La estabilidad se determina para el equilibrio limitadamente estable. En tal caso no se debe mezclar el tipo de equilibrio con el grado de estabilidad. El tipo de equilibrio condiciona solamente los fundamentos de la conservación de la posición. Los indicadores de la estabilidad, por su parte, determinan la medida de las posibilidades de conservación de la posición. El indicador estático de la estabilidad se halla por la relación entre dos momentos de fuerza: el momento de estabilidad respecto al momento de vuelco. Esta correlación se denomina *coeficiente de estabilidad*. El momento, de estabilidad (límite) es igual al producto de la fuerza de gravedad por su brazo respecto a la línea de vuelco, en el comienzo mismo de la desviación desde la posición de equilibrio (Fig. 1.3a).

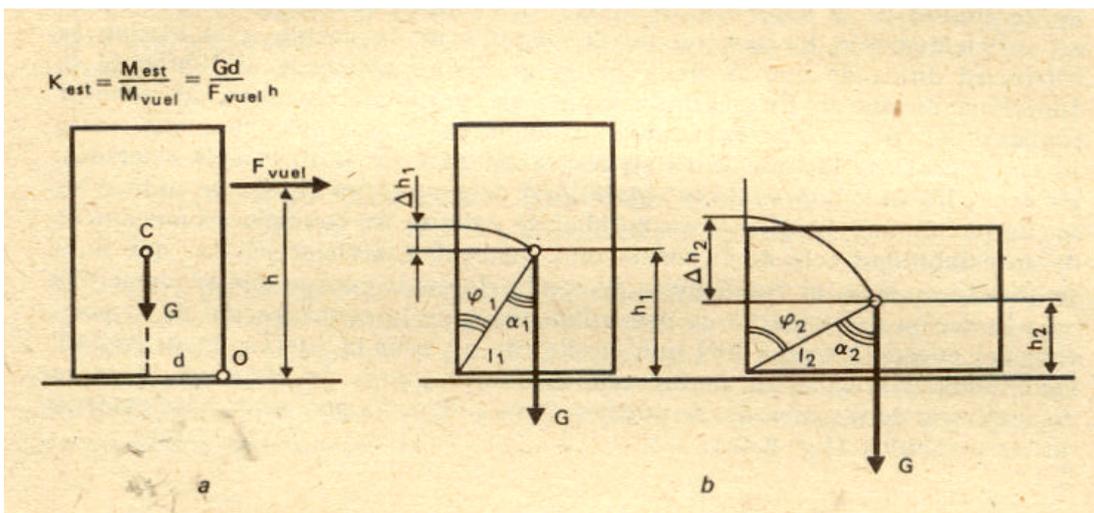


Fig 1.3 Indicadores de la estabilidad de un cuerpo rígido: a, coeficiente de estabilidad; b ángulo de estabilidad.

A medida que aumenta la desviación, el brazo de la fuerza de gravedad se acorta y el momento de estabilidad se hace menor. El momento de vuelco es igual al producto de la fuerza de vuelco por

su brazo, respecto a esa misma línea de vuelco. Cuando el coeficiente de estabilidad es mayor que la unidad, no existe vuelco. Este coeficiente caracteriza la capacidad del cuerpo para, mediante su fuerza de gravedad, resistirse a ser volcado en condiciones dadas.

El indicador dinámico de la estabilidad se determina por el *ángulo de estabilidad*. Este ángulo está formado por la línea de acción de la fuerza de gravedad y la recta que une el centro de gravedad con el límite correspondiente del área de apoyo (Fig. 1.3b). El sentido físico del ángulo de estabilidad consiste en lo siguiente: para desviar al cuerpo hasta una posición donde su CM resulte por debajo de la línea de vuelco (posición límite del cuerpo sobre el máximo de la barrera potencial) y aparezca el equilibrio inestable, hay que hacerlo girar en el correspondiente plano vertical en determinado ángulo (*a*). Si el CM del cuerpo se encuentra situado más abajo y su proyección se encuentra más alejada del límite del apoyo, entonces, el momento de estabilidad hará que se recupere la posición en un mayor espacio de desviación, la reserva de posibilidades para la recuperación de la posición será mayor, el grado de estabilidad será mayor. El ángulo de estabilidad muestra dentro de cuáles límites actúa, todavía, el momento, de estabilidad.

Los indicadores estático y dinámico de la estabilidad son completamente aplicables solo en la evaluación de la posición de un cuerpo rígido o del cuerpo humano cuando su postura es totalmente invariable. Respecto al hombre (como sistema biomecánico) al evaluar la estabilidad de la posición hay que tener en cuenta toda una serie de circunstancias. En primer lugar, la superficie de apoyo casi siempre es mayor que el área de *apoyo efectivo*. Esto quiere decir que la línea de vuelco siempre está situada dentro de los límites de la superficie de apoyo. Los tejidos blandos y los músculos, no suficientemente fuertes, no pueden equilibrar la carga, y el vuelco se producirá antes de que la línea de la gravedad atraviese el límite de la superficie de apoyo. En segundo lugar, el cuerpo del hombre, al intentar realizar un vuelco, generalmente, no conserva la postura, sino que varía su configuración: los miembros se desplazan en unas u otras articulaciones. Es decir, los indicadores

de la estabilidad de un cuerpo rígido, al aplicarlos al cuerpo humano, ofrecen la posibilidad de valorar las condiciones mecánicas de su estabilidad solo de la forma más general. Conviene señalar que aquí se analizaron solo las condiciones de equilibrio de un cuerpo que se encuentra bajo la acción de la fuerza de gravedad. Durante la conservación de la posición del cuerpo humano hay que equilibrar no solo la fuerza de gravedad, sino también muchas otras fuerzas. Desde el punto de vista de la tarea de equilibrio de las fuerzas, se pueden distinguir tres tipos de trabajo estático de los músculos (Fig. 1.4a):

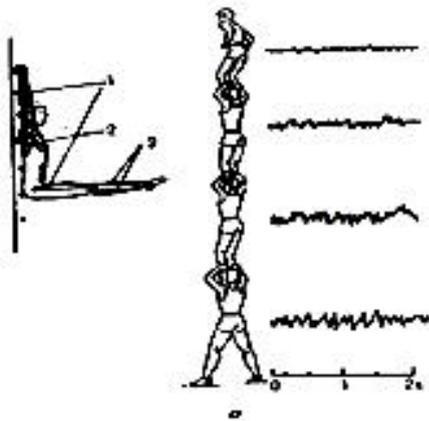


Fig 1.4 Conservación de la posición del cuerpo:
a, tipos de trabajo estático de los músculos(1, nulo; 2,de reforzamiento; 3, de fijación); b, equilibrio de tipo oscilatorio en la columna de acróbatas.
(Según V.N. Bolován)

- 1) **trabajo nulo**: contra el momento de la fuerza de gravedad; mediante los momentos de las fuerzas de tracción de los músculos se equilibran los momentos de las fuerzas de gravedad de los miembros;
- 2) **trabajo de reforzamiento**: contra las fuerzas de gravedad que actúan en el sentido de la ruptura; las fuerzas de tracción muscular refuerzan la articulación, reciben la carga;
- 3) **trabajo de fijación**: contra las fuerzas de tracción de los músculos Antagonistas y otras fuerzas; las fuerzas de tracción muscular le quitan al miembro las posibilidades de movimiento, al actuar unas contra otras, según la dirección, pero conjuntamente en los que se refiere a la tarea. Desde el punto de vista de la mecánica estos son casos idénticos: todos representan el equilibrio de fuerzas. Pero desde el punto de

vista de la biomecánica, aquí existe una diferencia cualitativa en la tarea motora y en la dirección de los músculos al darle solución.

CONSERVACION Y RECUPERACION DE LA POSICION DEL CUERPO HUMANO.

El hombre puede no solo conservar el equilibrio, sino también recuperarlo en los casos en que se altere. La diferencia entre el equilibrio de los sistemas biomecánicos y el equilibrio de los cuerpos físicos rígidos, consiste no en la existencia de leyes particulares de la mecánica para los sistemas vivos, sino en un empleo mucho más complejo de éstas, gracias a las particularidades de los sistemas vivos.

Condiciones de estabilidad del cuerpo humano.

La estabilidad del cuerpo humano está determinada por sus posibilidades para equilibrar de manera activa las fuerzas interferentes, para detener la desviación que haya comenzado y para recuperar la posición.

El equilibrio de las fuerzas interferentes en los sistemas inanimados se produce solo de forma pasiva; pero en los organismos vivos, por lo general, ocurre de manera activa. Las fuerzas equilibrantes pueden actuar como propiamente equilibrantes, y también como fuerzas que detienen la desviación y que hacen recuperar la posición.

El equilibrio de las fuerzas interferentes, como ya se señaló, se produce cuando se iguala a cero el vector principal y el momento principal de todas las fuerzas externas. Las fuerzas de tracción de los músculos (fuerzas equilibrantes) nunca son constantes. Esto depende del hecho de que los grupos de fibras musculares se incorporan y se retiran del trabajo, durante la tensión de los músculos, de una forma

no completamente ordenada; hay que agregar también las reacciones ante la desviación que aparecen por estas causas. Debido a esto, la estabilidad del cuerpo humano se caracteriza por un *equilibrio de tipo oscilatorio* (Fig.1.4b).

Como el hombre puede utilizar, para la conservación de la posición del cuerpo, solo el área de apoyo efectivo, entonces, a ella corresponde una zona de conservación de la posición, que se encuentra sobre dicha área. El hombre puede situar el CM de su cuerpo en cualquier lugar de esta zona y conservar el equilibrio. La magnitud de la zona de conservación de la posición depende de las fuerzas físicas del hombre (posibilidades de conservación de la postura) y del nivel de su preparación técnica (hábito de conservación de la posición). Dentro de los límites de esta zona puede detener la desviación que haya comenzado.

Dentro de la zona de conservación de la posición puede distinguirse una zona menor, la zona de posición del CM del cuerpo, que se denomina zona óptima. Dentro de sus límites es donde el hombre puede conservar mejor la posición requerida. Cuando las oscilaciones del cuerpo sacan al CM fuera de la zona óptima, la estabilidad es aún suficiente, pero requiere esfuerzos mayores.

Y solo cuando las oscilaciones del cuerpo sacan al CM más allá de los límites de la zona de conservación de la posición, es que comienza el vuelco. En tal caso, el sistema mecánico no está en condiciones de recuperar la posición por sí mismo, solamente mediante la acción de la fuerza de gravedad. La caída es inevitable si no se produce una acción externa complementaria. El hombre, al tratar de conservar la posición (incluso después de haber perdido el equilibrio), con ayuda de acciones activas aún puede recuperar la posición dentro de límites conocidos de desviación.

La zona de *recuperación de la posición* es aquella donde ya no es posible el equilibrio estático, pero desde la cual el hombre aún está en condiciones de regresar a la posición inicial, mediante acciones activas. Las dimensiones de todas las zonas (óptima, de conservación de la posición y de recuperación de la posición) son muy diferentes individualmente. Dependen del nivel de desarrollo

de las cualidades físicas, de los hábitos motores, del estado físico y emocional del deportista. La estabilidad del cuerpo, claro está, depende de las condiciones mecánicas del equilibrio del cuerpo, pero está determinada, fundamentalmente, por otros, factores. Así vemos que en la parada de manos en un apoyo horizontal plano, la zona de conservación del equilibrio en el sentido antero posterior no es de más de un 45-65 % de las dimensiones del área de apoyo en este sentido.

Durante los ejercicios en los aparatos, con utilización del agarre, tienen lugar las ligaduras de *sustentación*, se crean otras condiciones diferentes a las de *no sustentación* (sobre el apoyo). En las paradas de mano y los apoyos laterales mientras transcurre el apoyo de sustentación, la zona de conservación de la posición en este mismo sentido alcanza un 110-150 % de las dimensiones del área de apoyo (Fig. 1.5). Al momento de la fuerza de gravedad del cuerpo se le contrapone el momento creado por el agarre del aparato de apoyo con la mano. Estos datos varían considerablemente no solo en los diferentes deportistas, sino también en la ejecución repetida del ejercicio por un mismo deportista.

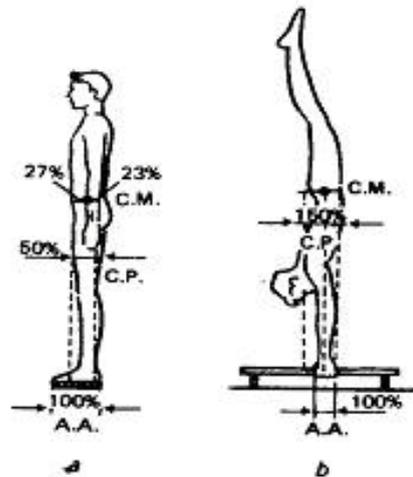
Dirección de la conservación de la posición

La conservación de la posición del cuerpo del deportista se logra mediante la dirección que ejercen las fuerzas equilibrantes y las fuerzas de recuperación durante los movimientos compensatorios de amortiguación y de recuperación.

Los movimientos *compensatorios* están dirigidos a prevenir la salida del CM del cuerpo más allá de los límites de la zona de conservación de la posición, cuando actúan fuerzas interferentes y durante los movimientos propios en el lugar. Los movimientos compensatorios neutralizan la acción de las fuerzas interferentes sobre el CM del cuerpo. Ellos se ejecutan, por lo general, simultáneamente con las desviaciones (Fig. 1.6a) y, en la mayoría de los casos, de forma automática.

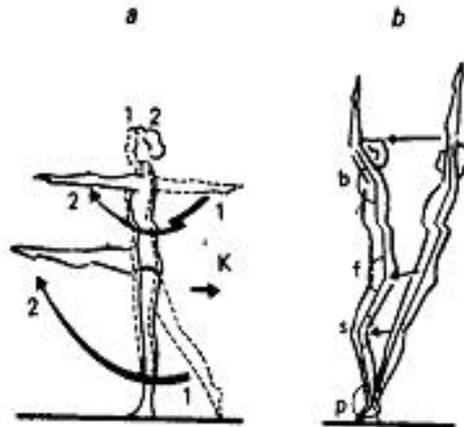
Fig 1.5 Zona de conservación de la posición cuando el apoyo es:
a, de no sustentación; b, de sustentación.

(Según V.E. Korenberg.)



Los movimientos de *amortiguación* disminuyen el efecto de la acción de las fuerzas interferentes. Son generalmente movimientos resistentes dirigidos en el sentido de la acción de la fuerza interferente. Hacen más lenta y detienen la desviación que ha comenzado (Fig. 1.6b), se les ejecutan (de la misma forma que los movimientos compensatorios) simultáneamente con la acción de las fuerzas interferentes.

Fig 1.6 Dirección de la conservación de la posición mediante movimientos :
a, compensatorios; b, de amortiguación.



Los movimientos de recuperación están dirigidos a hacer regresar al CM del cuerpo a la zona de conservación de la posición desde la zona de recuperación: ya sea mediante la acción de una fuerza externa, desplazando el CM hacia la zona de conservación del equilibrio; o mediante el desplazamiento del punto de apoyo, metiéndolo bajo el CM del cuerpo. Los movimientos de

recuperación con frecuencia no solo eliminan la desviación, sino que provocan una desviación en sentido contrario (hipercorrección). Nuevos movimientos de recuperación (*corrección secundaria*), por su parte, vuelven a atravesar la posición media, se produce una serie de oscilaciones de amortiguación (*balanceo*).

A veces hay que conjugar dos o incluso tres formas de conservación y recuperación de la posición, como una acción combinada. De esta manera, al conservar la posición, el hombre dirige sus movimientos, lucha activamente contra las fuerzas interferentes, lo que en principio lo diferencia del equilibrio pasivo de los cuerpos inanimados.

Biodinámica de la postura

La postura se define como una pose acostumbrada, establecida, del hombre, que se mantiene en determinadas condiciones.

El concepto postura con frecuencia se identifica con la postura vertical del individuo en la posición de pie. En un grado conocido, también en la posición de sentado la postura se mantiene para las partes superiores del cuerpo. Las posturas características de los ciclistas, de los esgrimistas, de los esquiadores, de los jinetes, en esencia, también son tipos de postura, pero se les acostumbra a llamar parada, etc. La postura que se mantiene en condiciones invariables se denomina *estática* y la que se mantiene en condiciones variables, *dinámica* (variación de la orientación en el espacio). En la posición de pie la postura debe responder a determinadas exigencias (tanto en inmovilidad, como durante los movimientos lentos). En lo fundamental, estos requisitos se refieren a la configuración de la columna vertebral. Como resultado de las interacciones entre los miembros del cuerpo, la configuración de la columna vertebral está dada por la posición de los miembros relacionados con ella: la cabeza, la cintura escapular, la cadera (Fig. 1.7a). En la posición de pie la cabeza se sostiene contra el momento de su fuerza de gravedad gracias a los extensores de la cabeza. Debido a que como consecuencia de la curvatura cervical hacia

adelante (lordosis) el peso de la cabeza está dirigido a la flexión de la región cervical de la columna vertebral, el trabajo de sustentación la realizan también los músculos del cuello.

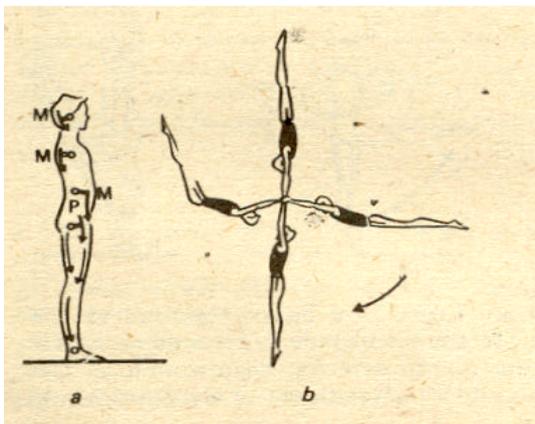


Fig 1.7 Postura: a, estática; b, dinámica

La sustentación de la cabeza con un cierto descenso de ella al frente coadyuva de manera refleja a incrementar la curvatura dorsal hacia atrás (cifosis). La sustentación de la cabeza con una ligera flexión de la región cervical de la columna vertebral (barbilla hundida) contribuye a la disminución de la cifosis dorsal.

La cintura escapular puede estar sacada al frente y los omóplatos separados de la columna vertebral, lo que también está relacionado con el aumento de la cifosis dorsal. Esta es una mala postura. Cuando existe tal postura varían no solo las curvaturas de la columna vertebral, sino también la configuración de la parte superior del tronco.

Las posiciones de la cabeza y de la cintura escapular actúan mecánicamente sobre la postura. Sin embargo, al parecer, la influencia la ejerce también la distribución refleja de la tracción muscular.

Las curvaturas de la columna vertebral dependen sustancialmente del peso de las partes del tronco suprayacentes, así como de la cabeza y de los miembros superiores. Los músculos, mediante su tensión, actúan en contra de los momentos de las fuerzas de gravedad, disminuyen las curvaturas. Ellas dependen también de los miembros del cuerpo adyacentes. La cadera, al apoyarse en las

articulaciones coxofernales, en dependencia de la tracción muscular (de los flexores y extensores de estas articulaciones) puede inclinarse, girando alrededor del eje transversal; en tal caso aumentan o disminuyen las curvaturas de la columna vertebral.

Finalmente, sobre la postura influye también la inclinación de las piernas, la extensión en las articulaciones de los tobillos: cuando las piernas se inclinan mucho, la cadera se saca al frente y disminuye su inclinación; cuando las piernas se inclinan poco, sucede lo contrario.

Los intentos desmedidos de liquidar los errores posturales pueden producir variaciones en el otro extremo. Debido a la gran cantidad de factores que determinan la postura, encontramos muchas variantes de desviaciones de la postura normal.

Las alteraciones posturales, generalmente, están relacionadas con una movilidad limitada en las articulaciones. Unos músculos resultan débiles y muy distendidos; otros (sus antagonistas), acortados y que limitan los movimientos. Por eso las medidas para recuperar la postura correcta están dirigidas a incrementar la movilidad de los miembros del cuerpo, a fortalecer los músculos debilitados y a distender los acortados. Para lograrlo hay que establecer un equilibrio correcto de las tensiones de los músculos, que condicionan tanto las curvaturas de la columna vertebral, como las posiciones de las partes del cuerpo relacionadas con ella. Podría parecer que factores que han actuado durante mucho tiempo (por ejemplo, dimensiones incorrectas de los pupitres) son difíciles de superar utilizando ejercicios de corrección durante un corto tiempo. Sin embargo, estos ejercicios conducen al mejor equilibrio de las tensiones musculares. Además, es muy importante el hecho de que se crea el ajuste para mantener la postura correcta.

La postura dinámica, a diferencia de la estática, se mantiene solo a grandes rasgos durante los movimientos. Durante la ejecución de los ejercicios gimnásticos en los aparatos hay que observar los requisitos que se le plantean a la postura, a pesar de la variación de la orientación del cuerpo en el espacio y de la variación de la acción de las fuerzas externas, que depende de ella (Fig. 1.7b). Las fuerzas externas (fuerzas de gravedad y reacciones de apoyo) provocan la

aparición, en el cuerpo humano, de múltiples fuerzas internas de interacción entre los miembros del cuerpo de las fuerzas del peso de los miembros vecinos y las correspondientes reacciones de apoyo en las articulaciones. Cuando varía la orientación del cuerpo durante los ejercicios en los aparatos, es imprescindible variar la fuerza de tracción de muchos grupos musculares, para conservar una postura dada. Así, en los movimientos pendulares en los aparatos, se conserva el requisito de mantener extendido el tronco, los brazos, las piernas. Para ejecutar una serie de elementos resultan suficientes los movimientos de dirección en las articulaciones humerales y coxofemorales en las correspondientes fases del ejercicio. La conservación de la postura dinámica, a diferencia de la estática, se logra mediante una sustitución rigurosamente coordinada de las tensiones de los músculos del cuerpo. Es conveniente dominar la postura dinámica sucesivamente: al principio aprender a conservarla en los correspondientes ejercicios en suspensión o en apoyo en los aparatos, más adelante en condiciones simplificadas pero semejantes a las condiciones reales de ejecución del ejercicio, y, finalmente, durante la ejecución del ejercicio completo. De la calidad del dominio de la postura dinámica depende en mucho el éxito en el dominio de muchos ejercicios.

MOVIMIENTOS EN EL LUGAR

Los movimientos del hombre en el lugar se caracterizan por un apoyo invariable y por la conservación del equilibrio. Los miembros que se encuentran en contacto con el apoyo no varían su posición. Cuando varía la postura del cuerpo, por el contrario (como resultado de la interacción con el apoyo), generalmente se desplaza también su CM.

VARIACION DEL MOVIMIENTO DEL CENTRO DE MASA DEL SISTEMA.

Movimiento del centro de masa del sistema.

Según la ley de conservación del movimiento del centro de masa del sistema (CMS), su movimiento se mantendrá invariable si el vector principal de las fuerzas que actúan desde fuera sobre el sistema es igual a cero.

Si se conserva el movimiento del CM, entonces el sistema se mantiene en reposo, o tiene una velocidad constante (movimiento rectilíneo y uniforme) en el sistema dado de referencia. De la ley de conservación del movimiento del CMS surge una conclusión: para variar el movimiento del CMS es necesario aplicar fuerzas externas al sistema. Si las fuerzas externas no, existen o están equilibradas recíprocamente, entonces no variará el movimiento de todo el sistema en su conjunto (de su CM). Durante los movimientos activos del hombre en el lugar, surge y varía el movimiento de su CM; es decir, se han aplicado fuerzas externas. Por consiguiente, cualquier variación de la velocidad del CM (magnitud o dirección) es una evidencia de la aplicación de fuerzas externas. El cuerpo del hombre vivo en reposo absoluto, o en movimiento rectilíneo y uniforme, por regla, no existe. Las fuerzas, aplicadas al cuerpo del hombre, y su correlación, varían, prácticamente no son iguales a cero. Es decir, tampoco el CM del cuerpo del hombre conserva el movimiento.

Para la variación del movimiento del CM de los miembros móviles y de los cuerpos desplazados, es necesario que a ellos estén aplicadas fuerzas externas; estas pueden ser tanto las fuerzas internas, respecto al cuerpo humano, como las externas.

En los movimientos en el lugar, el apoyo es invariable. Es decir, existen *miembros de apoyo* que están en relación con el apoyo. Los miembros de apoyo, generalmente, son inmóviles respecto al apoyo (las plantas de los pies en la posición de bipedestación, los brazos en el agarre en la barra durante la suspensión). Otros miembros del cuerpo se mueven respecto a los miembros de apoyo del cuerpo y respecto al apoyo; estos son los *miembros móviles*. Ellos pueden estar en relación con cuerpos que se desplazan (palanqueta, mancuernas). La interacción entre los miembros móviles y los de apoyo se mide por las fuerzas internas respecto al hombre. La acción

del apoyo sobre los miembros de apoyo es una fuerza externa para todo el cuerpo. A las fuerzas externas pertenece igualmente la acción de los cuerpos desplazados sobre los miembros móviles. Para cada uno de los miembros, la acción de los miembros vecinos sobre él, del apoyo o de los cuerpos desplazados, es una manifestación de fuerzas externas para el miembro dado.

Aquí es muy importante diferenciar las fuerzas externas para todo el cuerpo humano y las fuerzas externas para cada miembro. El CM de cada miembro varía su movimiento si a este miembro están aplicadas, fuerzas externas respecto a él. Estas fuerzas (fuerzas internas para el sistema de miembros, el cuerpo) por sí mismas (sin la participación de fuerzas externas) no pueden ser causa de la variación del movimiento de todo el sistema (de su CM).

De esta forma, durante los movimientos del hombre en el lugar, surge y varía el movimiento del CM del cuerpo humano, como consecuencia de la aplicación, sobre los miembros del cuerpo, de fuerzas externas (respecto a éstos), no equilibradas.

Las fuerzas externas de reacción (reacciones de apoyo normales, fuerzas de fricción), durante los movimientos en el lugar, equilibran la acción de los miembros móviles sobre los de apoyo. Estas fuerzas varían por sí mismas de acuerdo con las aceleraciones de los miembros móviles y de los cuerpos desplazados.

Como es sabido, la reacción de apoyo equilibra la fuerza de gravedad del cuerpo en reposo. Los miembros de apoyo son inmóviles, ya que están equilibrados por las fuerzas externas de reacción respecto al apoyo: las reacciones normales de apoyo. Durante los movimientos de los miembros móviles y de los cuerpos desplazados, surgen sus aceleraciones y, por consiguiente, también las fuerzas de inercia de sentido contrario. Cuando estas fuerzas están dirigidas en el sentido hacia el apoyo, provocan la componente dinámica de la reacción de apoyo; esta última se suma a la componente estática de la reacción de apoyo: la reacción de apoyo total es mayor que la estática. Cuando las fuerzas de inercia están dirigidas desde el apoyo la reacción de apoyo disminuye en una

magnitud igual a la resultante de las fuerzas de inercia: la reacción de apoyo total es menor que la estática.

En los casos en que las aceleraciones de los miembros móviles no estén dirigidas por la normal (no perpendicularmente, sino formando ángulo agudo con la superficie plana de apoyo), surgen las correspondientes fuerzas de fricción. Por ejemplo, si la aceleración del cuerpo está dirigida al frente, entonces sus fuerzas de inercia están dirigidas hacia, atrás, y la fuerza de fricción, aplicada al cuerpo como reacción a la fuerza de inercia, está dirigida hacia el frente. Los cuerpos desplazados, de la misma forma que los miembros móviles, durante sus aceleraciones provocan variaciones de las fuerzas de reacción de apoyo.

De esta forma, los movimientos en el lugar van acompañados por variaciones de las fuerzas externas de reacción, como consecuencia de la acción que, sobre el apoyo, ejercen las fuerzas de inercia de los miembros acelerados y otras fuerzas externas para el hombre.

Variación de la cantidad de movimiento del sistema

Según la ley de conservación de la cantidad de movimiento, en un sistema material aislado (la suma de las fuerzas externas aplicadas es igual a cero) la cantidad de movimiento se mantiene invariable.

La primera conclusión de esta ley confirma un hecho ya conocido a partir de la ley de conservación del movimiento del CMS, y que consiste en que: sin una fuerza externa no puede haber variación del movimiento del CMS; a esto mismo se refieren la primera y segunda leyes de Newton. Una segunda conclusión es más importante: para la variación de la velocidad del sistema, la fuerza externa debe actuar en el transcurso de un cierto tiempo, ya que no es la fuerza, sino su impulso quien hace variar la velocidad.

Si hablamos más rigurosamente, cualquier fuerza actúa en el tiempo; las interacciones de los cuerpos no existen fuera del tiempo. Como toda fuerza está aplicada a un cuerpo que posee determinada masa, no existen cuerpos que no tengan masa. Como todos los

movimientos en las articulaciones se producen alrededor de un eje, entonces para el miembro hay que analizar no la cantidad de movimiento, sino el momento de la cantidad de movimiento (momento cinético). Ahora, para simplificar, vamos a limitarnos a analizar la cantidad de movimiento. Dos cuerpos, con iguales masas, están unidos en un sistema, al interactuar se repelen uno al otro (Fig. 1.8a). Para este sistema, las fuerzas de repulsión recíproca son, internas, por eso ellas no pueden variar la cantidad de movimiento total del sistema. Tampoco el movimiento del CM del sistema varía bajo la acción de estas fuerzas. Pero, para cada uno de los cuerpos del sistema, las fuerzas de repulsión ($F_{1,2}$, F_2) son fuerzas externas. Ambas fuerzas son iguales y actúan en el mismo tiempo (t) en sentidos contrarios ($+F_1t_1; -F_2t_1$). Ellas provocarán variaciones en la cantidad de movimiento de los cuerpos interactuantes, que serán iguales en magnitud pero de sentidos contrarios. Pero como las masas de los cuerpos son iguales, entonces, ellos recibirán velocidades de igual magnitud, aunque de sentidos contrarios.

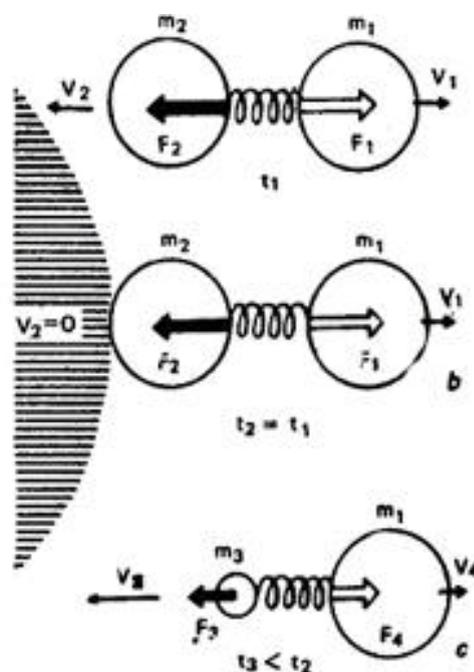


Fig 1.8 Interacción del cuerpo durante el empuje de un cuerpo con una masa: a, igual; b, mayor; c, menor.

Daremos a uno de los cuerpos (m_2) un apoyo en forma de un cuerpo con una masa incomparablemente mayor (por ejemplo, el globo

terráqueo) (fig.1.8b).Entonces, el cuerpo que ha recibido el apoyo (por ejemplo, el miembro de apoyo (m_2), bajo la acción del impulso de la fuerza ($F_2t_2 = F_{1.8}t_{1.8}$), recibirá la cantidad de movimiento anterior.

Pero esto sucederá solo en el caso de que las fuerzas de empuje y el tiempo de interacción se mantengan como eran inicialmente. Supongamos que a uno de los cuerpos le asignamos una pequeña masa (m_3) (Fig. 1.8c). Si el impulso de la fuerza se mantuviera como inicialmente, entonces, el cuerpo; es decir, le sería comunicada una velocidad consecuentemente mayor. Y el otro cuerpo con la masa anterior ($m_{1.8}$), recibirá una velocidad igual a la anterior. Sin embargo, el espacio de aplicación de la fuerza (por ejemplo, elongación de un resorte presionado, extensión de una pierna flexionada) es igual si el mecanismo de empuje de la fuerza es el mismo en los tres casos. Pero las velocidades de alejamiento de los cuerpos, uno con respecto al otro, serán diferentes (v_3 no es igual a v_4). El tiempo de repulsión será menor cuando la interacción sea con el cuerpo más ligero. La fuerza de empuje en cada caso es variable: comienza a partir de cero, se incrementa hasta el máximo y decrece hasta cero.

Cuando la interacción con un cuerpo ligero no es prolongada, ella no se incrementará hasta el máximo, o sea, hasta el mismo máximo a que se incrementaría, si la interacción fuese con el globo terráqueo.

Es decir, en el tercer caso, tanto el tiempo de empuje como la fuerza son menores. Por eso, en las condiciones reales que determinan la magnitud de la fuerza el tiempo de interacción, es importante tomar en consideración cuál cuerpo sirve de apoyo durante el empuje y cuál es el apoyo en los miembros de apoyo. De esta forma, para garantizar un aumento de la cantidad de movimiento de los miembros móviles, es necesario tener un cuerpo de apoyo con una masa lo suficientemente grande; esto permite crear el impulso de fuerza necesario.

Movimientos motores y resistentes.

En los movimientos motores, la tracción total de los músculos está dirigida en el sentido del movimiento del miembro; mientras que en los movimientos resistentes dicha fracción está dirigida en sentido contrario.

Los movimientos del hombre pueden ejecutarse con un trabajo muscular motor (positivo). Los músculos se acortan al superar las fuerzas de resistencia aplicadas al miembro, por ejemplo, el levantamiento de la palanqueta. Anteriormente, estos movimientos eran denominados activos; los pasivos eran los movimientos ejecutados sin contracción muscular, por ejemplo, con ayuda de fuerzas externas al hombre (descenso de la palanqueta bajo la acción de su peso, etc.). Con frecuencia existen movimientos pasivos en los cuales los músculos, realmente, no desempeñan ningún papel (caída libre del sujeto, caída pasiva del brazo relajado). Pero frecuentemente, encontramos movimientos pasivos, en los cuales el hombre, mediante la tensión de los músculos antagonistas, frena o detiene el movimiento provocado por fuerzas externas (el mencionado descenso de la palanqueta hacia la plataforma). En tales casos, los antagonistas realizan un trabajo resistente (negativo) (es como si, al distenderse, los músculos se resistieran a las fuerzas externas motrices), que es a veces un trabajo inmenso durante el cual (en el sentido biológico) su actividad es muy grande. Por eso, no es conveniente denominar pasivos a estos movimientos. No conviene mezclar los conceptos de fuerzas activas en el sentido mecánico (capaces de provocar movimiento) y en el sentido biológico (tracciones musculares). Es más correcto dividir los movimientos en motores (con trabajo positivo de los músculos) y resistentes (con trabajo negativo de los músculos). Ambos son movimientos activos. Deben denominarse pasivos solo a los movimientos donde no existe una participación activa de las fuerzas musculares (caída libre, vuelo por inercia, etc.).

De esta forma, solo las tracciones musculares sirven como fuentes de las fuerzas motrices en los movimientos motores, aunque otras fuerzas pueden ayudar. Las fuerzas de frenaje, por su parte,

pueden ser muy variadas. Durante los ejercicios con sobrecarga, su peso y las fuerzas de inercia son fuerzas de frenaje; en los ejercicios con extensores son fuerzas de frenaje las fuerzas de deformación elástica; durante los ejercicios con resistencia del adversario, las fuerzas de frenaje son el peso, la fuerza de inercia del cuerpo y las fuerzas musculares del contrario; en los ejercicios sin implementos, las fuerzas de frenaje están representadas por el peso y las fuerzas de inercia de las partes del propio cuerpo e, inclusive, por las tracciones de sus músculos antagonistas. Las fuentes de las fuerzas motrices, en los movimientos resistentes, pueden ser cualesquiera fuerzas; y como fuerzas de frenaje, sirven preferentemente las tracciones de los músculos antagonistas. La división de los movimientos en motores y resistentes es convencional. En el movimiento motor pueden servir de freno los músculos antagonistas; y en el movimiento resistente entre las fuerzas motrices podemos encontrar también las tracciones musculares. Con mucha frecuencia un movimiento que comienza como motor finaliza como resistente; los músculos, después de haber impulsado el miembro, dejan de trabajar en un determinado momento, y los músculos antagonistas, al incorporarse al trabajo, frenan el movimiento al actuar contra las fuerzas de inercia que han surgido durante el frenaje (por ejemplo, el movimiento de la pierna que se traslada en la carrera).

En los movimientos lentos las aceleraciones no son grandes, es decir, las fuerzas de inercia son pequeñas. Es por eso que el trabajo resistente (de frenaje) al final del movimiento es poco evidente. En los movimientos rápidos, por el contrario, las aceleraciones, durante la detención de los miembros, son grandes, por lo que surgen fuerzas de inercia considerables. En los movimientos de retroceso rápidos con transición de movimiento resistente a movimiento motor, las fuerzas de inercia y las fuerzas de deformación elástica garantizan el régimen reversible.

Durante los movimientos en el lugar, los miembros móviles se mueven de forma tal que el CM del cuerpo se mantiene dentro de los límites de la zona de conservación de la posición o, en caso extremo, dentro de la zona de recuperación de la posición.

Como es sabido, la conservación de la posición consiste en una serie de movimientos continuos en el lugar (micro y macro oscilaciones), durante los cuales, al intentar conservar el equilibrio, se disminuyen las desviaciones. En los movimientos en el lugar, al ejecutar la tarea motora fundamental, los movimientos imprescindibles de los miembros móviles garantizan la conservación del equilibrio, sin variar el apoyo. La diferencia entre estos dos grupos de movimientos (además de la tarea fundamental de la acción) consiste en la amplitud de los movimientos, la semejanza, en la garantía del equilibrio. Los movimientos compensatorios, de amortiguación y de recuperación se emplean ampliamente en los movimientos en el lugar, sobre todo cuando surge el peligro de que se altere el equilibrio.

MECANISMOS DE ACERCAMIENTO AL APOYO Y DE ALEJAMIENTO DE EL

Durante el apoyo superior, el acercamiento hacia él, mediante un movimiento motor, se realiza por el mecanismo de tracción, el movimiento en sentido contrario es resistente (por ejemplo, el descenso). Cuando el apoyo es inferior, el alejamiento de él, mediante un movimiento motor, se realiza por el mecanismo del empuje; el movimiento en sentido contrario es resistente (por ejemplo, la cuclilla).

Mecanismo de la tracción

El músculo excitado se pone tenso y, si puede superar la resistencia, se contrae, acercándose sus puntos de inserción, se acercan también los miembros unidos por el músculo. la tracción es

una forma de realización de trabajo positivo por parte de los músculos.

Durante el apoyo superior, el hombre, generalmente, tiene una ligadura estática con un cuerpo físico fijado (suspensión). Los miembros unidos con la suspensión (aparato gimnástico, saliente de un desfiladero, etc.) son de apoyo. Con frecuencia, durante los movimientos en el lugar, ellos se mantienen respecto a los miembros de apoyo y unos respecto a otros inmóviles. Los restantes miembros del cuerpo son móviles: se desplazan. El mecanismo general de la tracción, durante el apoyo superior, esquemáticamente, consiste en lo siguiente (Fig. 1.9.a).

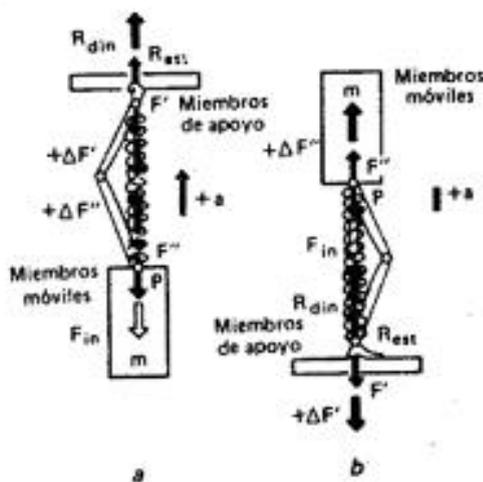


Fig 1.9 Mecanismos de los movimientos en el lugar:
 a, mecanismo de tracción; b, mecanismo de empuje

La fuerza de gravedad de los miembros de apoyo fijados al apoyo superior y la fuerza de gravedad de los miembros, esquemáticamente representados por un resorte, pueden ser despreciados. El músculo (en el dibujo está representado como un resorte distendido), que une los miembros móviles con los de apoyo, está tenso bajo la acción del peso de los miembros móviles (P). Su fuerza de tracción está aplicada a las palancas y, no les permite a éstas descender: la fuerza F' provoca una reacción igual y de sentido contrario (la reacción de apoyo R_{est}). La fuerza F'' es igual, por su módulo, a la fuerza P (como acción y reacción). En esta posición inicial aún no existe movimiento. Para provocar la tracción de los miembros móviles

hacia el apoyo superior, es imprescindible incrementar la tracción del músculo (incremento de la fuerza de tracción ΔF y ΔF respectivamente)., Entonces, la fuerza $+\Delta F$ provocará la aceleración (+a) de los miembros móviles, dirigida hacia arriba, aparecerá la fuerza de inercia (F_{in}), dirigida hacia abajo, aplicada a las palancas. Esto condicionará la manifestación de la componente dinámica de la reacción de apoyo (R_{din}). La fuerza $+\Delta F$ es la fuerza aceleratriz que provoca la tracción. El centro de masa de los miembros móviles recibe aceleración. La reacción de apoyo, como reacción de ligadura, no provoca movimiento, no es una fuerza Motriz, pero sin ella es imposible la variación del movimiento del CM. La fuente de energía del movimiento es el músculo, su fuerza de tracción $+\Delta F$ es una fuerza externa para los miembros móviles. Por consiguiente, se cumple la ley de conservación del movimiento del CMS. Así, el movimiento por el método de tracción se produce gracias al aumento de la tensión de los músculos, que aceleran con su tracción a los miembros móviles, los acercan a los de apoyo.

Movimientos resistentes durante el apoyo superior

Bajo la acción de las fuerzas externas, el cuerpo humano puede realizar movimientos resistentes, alejándose del apoyo superior. En tal caso, disminuye la tensión muscular; surge un exceso de la fuerza del peso sobre la fuerza de tracción muscular. La aceleración de los miembros móviles, dirigida hacia abajo, es provocada por una fuerza que es la diferencia entre el peso del cuerpo y la fuerza de tracción hacia arriba de los músculos. Si el peso del cuerpo provocara la aceleración, entonces se produciría, simplemente, la caída libre de los miembros móviles.

Bajo la acción de esta fuerza aceleratriz, los miembros móviles, al descender, distienden al músculo. El trabajo que éste realiza en el espacio de su acción es negativo, ya que está dirigido en sentido contrario al movimiento. El trabajo positivo lo realiza una fuerza que es igual al exceso del peso de los miembros móviles respecto a la tracción de los músculos, aplicada a las palancas. El movimiento

resistente bajo la acción del peso (fuerza constante) se produce como consecuencia de la disminución del momento de la fuerza muscular. La fuerza aceleratriz es el exceso de la fuerza del peso sobre la fuerza de tracción muscular. Durante la aceleración surge la fuerza de inercia, dirigida hacia arriba, y disminuye la reacción total de apoyo.

Como ejemplo de los movimientos con apoyo superior puede servir la tracción en suspensión y el descenso. La primera parte de este movimiento se produce por el mecanismo de tracción hacia el apoyo superior. Es imprescindible establecer cuáles movimientos, en las articulaciones, son motores, y el trabajo de cuáles músculos lo provoca. Como en la posición inicial los brazos están extendidos hacia arriba, entonces la cintura escapular está elevada, los omóplatos se han alejado de la columna vertebral y han rotado sus vértices inferiores al frente. Las clavículas y los omóplatos, durante la elevación, van a descender por la acción de los músculos dorsales anchos y pectorales mayores: los músculos romboides acercarán y harán girar a los omóplatos. En ambos movimientos participarán las partes inferiores de los músculos trapecios. Simultáneamente, los dorsales anchos y los tríceps extenderán los brazos, y los bíceps y otros flexores flexionarán el antebrazo. El descenso en la posición de suspensión se ejecuta con un trabajo resistente (negativo) de esas mismos músculos, con un desplazamiento de los miembros móviles en el sentido contrario. Durante el trabajo resistente, los músculos están en condiciones, de desarrollar una mayor tensión que durante el trabajo motor. Por eso resulta más fácil realizar un movimiento resistente con la misma carga.

Mecanismo del empuje.

Al alejarse los miembros unos de otros como resultado de la fuerza de tracción del músculo, los puntos de inserción de este se acercan; el acercamiento de un extremo de una palanca de dos brazos va

acompañado por el alejamiento de su otro extremo. El empuje es una forma de realización de trabajo positivo por parte de los músculos.

Generalmente, la unión de los miembros de apoyo con el apoyo inferior es menos firme: por ejemplo, es solo el peso de los miembros superiores del cuerpo quien presiona al pie contra el apoyo.

El mecanismo general del empuje durante el apoyo inferior consiste, esquemáticamente, en lo siguiente (Fig. 1.9b). El músculo (en la figura está convencionalmente representado como un resorte comprimido) con su tensión no permite que el peso de los miembros superiores flexionen al sistema de palancas. La fuerza F' sostiene los miembros superiores, equilibra su peso P . La fuerza F'' presiona sobre el apoyo a través de los miembros de apoyo; está equilibrada por la reacción de apoyo.

Para provocar el empuje de los miembros móviles desde el apoyo interior, es imprescindible incrementar la tensión del músculo (incremento de la fuerza de tracción $+ \Delta F'$ y $+ \Delta F''$ respectivamente). Entonces la fuerza $+ \Delta F''$ provocará la aceleración de los miembros móviles ($+a$) dirigida hacia arriba; aparecerá la fuerza de inercia (F_{in}), como resistencia no equilibrante, dirigida hacia abajo, aplicada al punto superior de las palancas. Esto condicionará la aparición de la componente dinámica de la reacción de apoyo (R_{din}). La fuerza $+ \Delta F''$ es la fuerza aceleratriz bajo cuya acción comenzará el empuje. De la misma forma que en el mecanismo de tracción, la reacción de apoyo como fuerza externa es imprescindible, pero ella no provoca movimiento. El hombre, tanto durante el empuje, como durante la tracción, es un sistema automotor; la fuente de energía del movimiento es interna. El cuerpo rígido puede desplazarse solo bajo la acción de una fuerza externa. Pero el cuerpo humano es un sistema de cuerpos, cada uno de los cuales varía su posición bajo la acción de todas las fuerzas aplicadas, precisamente, a él. De esta forma, durante los movimientos activos del hombre no existe una fuerza única que mueva todos sus miembros como sistema de cuerpos. El movimiento por el mecanismo del empuje se produce gracias al incremento de la tensión de los músculos: ellos, al acercar

sus extremos, alejan los miembros móviles de los de apoyo. Como resultado, aumenta la reacción de apoyo que contrarresta el peso de los miembros móviles y su fuerza de inercia, transmitida a los miembros de apoyo a través de las palancas.

Acercamiento resistente al apoyo inferior

De la misma forma que en el caso del alejamiento resistente desde el apoyo superior, durante el acercamiento resistente hacia el apoyo inferior, los músculos realizan trabajo bajo la acción de los miembros superiores del cuerpo. El exceso de peso sobre la acción de la tracción muscular sirve de fuerza aceleratriz, que acerca al cuerpo hacia el apoyo. Como en cualquier aceleración, aquí también surgen fuerzas de inercia y varía la reacción de apoyo.

Como ejemplo de los movimientos durante el apoyo inferior podemos analizar la flexión y extensión de los brazos en la plancha. Evidentemente, el movimiento del CM del cuerpo hacia abajo, cuando el apoyo inferior no es firme, puede realizarse bajo la acción de la fuerza de gravedad de solo las partes móviles del cuerpo. La cabeza, el cuello, el tronco y las piernas están fijos en todas las articulaciones por la tensión de los músculos antagonistas y se mueven tanto hacia arriba como hacia abajo, como un todo íntegro. Los omóplatos están fijos respecto a la caja torácica. Los movimientos fundamentales en las articulaciones durante la flexión de los brazos en la plancha (extensión en las articulaciones humerales y flexión en las de las muñecas y los codos), se producen cuando los músculos antagonistas están realizando trabajo resistente. La extensión de los brazos durante la, plancha es un movimiento motor, que se produce con la contracción de músculos que han realizado anteriormente un trabajo resistente. Ahora ellos realizan un trabajo motor positivo. Como consecuencia de la poca velocidad del movimiento y de la duración relativamente poco prolongada, las aceleraciones y las fuerzas de inercia serán pequeñas. La cinemática y la dinámica de la interacción del sistema biomecánico con el apoyo se caracterizan por algunas particularidades

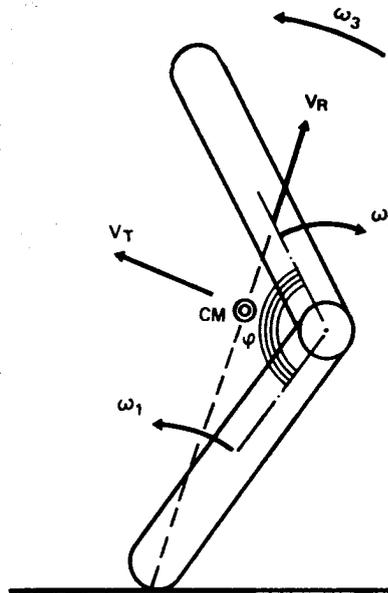


Fig 1.10 Movimientos de un par biocinématico al variar el ángulo (j) entre los miembros . (Según V.T: Nazarov y B. P.Kuzenko)

En la figura 1.10 se muestra un par biocinématico, unido de manera móvil con el apoyo. El aumento del ángulo (j) entre los miembros de este par conduce a giros de los miembros dirigidos en sentidos contrarios: el miembro cercano al apoyo girará a la izquierda (ω_1), y el miembro alejado del apoyo girará a la derecha (ω_2). En tal caso, el CM del par recibe movimiento a lo largo del radio (V_R) que lo une con el eje, de la charnela izquierda (apoyo); y también en su dirección perpendicular (V_T) hacia la izquierda. Todo el par rota (ω_3), en el sentido del miembro más cercano al apoyo. Si no está aplicado el momento de una fuerza externa, entonces se produce la compensación recíproca de las dos componentes del momento cinético respecto al eje (apoyo). 1.8) el momento cinético, que surge como resultado del movimiento de rotación de los miembros respecto a su CM, está dirigido en un sentido, y 2) el momento cinético, dado por el desplazamiento de los CM mismos respecto al eje fijo, está dirigido en el otro sentido. Los movimientos de extensión-flexión del deportista durante la interacción con el apoyo provocan una

serie de efectos cinemáticos de carácter complejo. Como ya señalarnos, cuando existe un par de velocidades angulares, es decir, una igualdad de velocidades angulares de los miembros que se mueven en diferentes sentidos, el miembro (o el grupo de los miembros) siguiente recibe movimiento de traslación.

La dinámica de la interacción del sistema de miembros con el apoyo está determinada por la transmisión y utilización de la energía. La elevación de la *rigidez* de los tejidos blandos en las articulaciones (rigidez articular) garantiza una transmisión más completa de la energía. Esto se pone de manifiesto de una forma particularmente evidente en los choques y en los diferentes empujes que, por sus características, se parecen a las interacciones de choque. Cuando se eleva la rigidez, el sistema biomecánico se asemeja a un sistema mecánico técnico que disminuye la pérdida de energía.

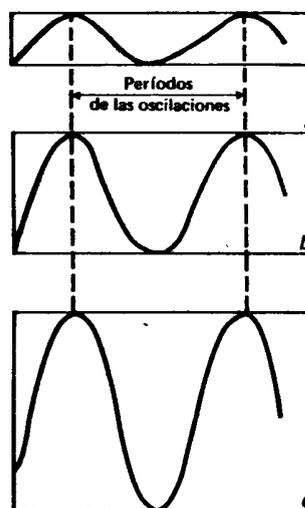
Las pérdidas de energía durante su transmisión por la cadena biocinemática (amortiguación) dependen de la transformación de la energía mecánica de los miembros en otros tipos y de su disipación; del grado de tensión voluntaria de los músculos, de la magnitud de distensión de los mismos y de otros factores. Son interesantes las grandes diferencias en los coeficientes de rigidez y amortiguación en dependencia de la especialización deportiva

Especialización	Coefficiente de rigidez	Coefficiente de amortiguación
Pesistas	2,88 ± 0,66	1039,80 ± 243,87
Velocistas (atletismo)	3,00 ± 0,53	756,05 ± 173,14
Velocistas (esqui)	2,41 ± 0,36	764,68 ± 209,24

Cuando la fase de amortiguación es ligera se produce una amortiguación considerable. Cuando es elástica (rígida) la energía cinética se convierte en energía potencial de deformación elástica; en el movimiento de retroceso esta energía se utiliza de nuevo (recuperación de la energía). El fenómeno de la eficiencia elástica se aprovecha tanto en los músculos del deportista, como en el apoyo

elástico (por ejemplo, la barra fija, las paralelas). Si el deportista, con ayuda de movimientos activos, crea las oscilaciones necesarias que coinciden en frecuencia con las oscilaciones libres del apoyo elástico, se produce el incremento por resonancia de la amplitud de las oscilaciones (fig. 1.11). De esta forma se eleva el efecto de aprovechamiento de la energía.

Fig.1.11 Oscilaciones de resonancia del gimnasta sobre el aparato:
a, oscilaciones del aparato (libres); b, oscilaciones del gimnasta respecto al aparato (obligadas); c, oscilaciones resultantes. (Según Y.A. Ippolitov.)



El coeficiente de efectividad del trabajo muscular

$$(\text{CET} = \frac{\text{trabajo mecánico}}{\text{energía consumida}}),$$

como consecuencia de la utilización reiterada del trabajo mecánico durante la eficiencia elástica, puede resultar mayor, que la unidad, pero el coeficiente de acción útil (CAU) siempre es menor que la unidad. Las particularidades cinemáticas y dinámicas de la interacción del deportista con el apoyo en los movimientos en el lugar se ponen de manifiesto también en los movimientos de locomoción y en los movimientos con desplazamiento de cuerpos externos.

2. MOVIMIENTOS ALREDEDOR DE EJES. D.Donskoi

En los movimientos alrededor de ejes, los miembros del cuerpo, o todo el cuerpo, se mantienen sobre trayectorias curvilíneas (o varían sus curvaturas) y (en casos dados) aceleran o hacen más lento el desplazamiento según la trayectoria. Estos movimientos siempre incluyen en sí un movimiento de rotación, pero, además, pueden incluir también un movimiento radial (de traslación) a lo largo del radio hacia el centro o desde el centro, lo que hace variar de igual modo al movimiento de rotación.

FUNDAMENTOS GENERALES DE LOS MOVIMIENTOS ALREDEDOR DE EJES.

Para un cuerpo rígido, el radio de curvatura de las trayectorias de sus puntos no varía y la curvatura de la trayectoria (del tramo del arco de la circunferencia) es constante. Para un sistema de cuerpos, si no varía su configuración, las condiciones serán las mismas. Pero si el sistema de cuerpos se deforma de manera que los radios de las trayectorias de sus puntos varíen, entonces, al movimiento de rotación se le suma el movimiento radial.

DINAMICA DEL MOVIMIENTO DE ROTACION

Analicemos sucesivamente el movimiento de rotación de un miembro y el movimiento de rotación del sistema de miembros del cuerpo.

Mecanismo del movimiento de rotación de un miembro

El movimiento del miembro del cuerpo alrededor de un eje se produce por la existencia de la aceleración centrípeta, provocada por la acción del cuerpo acelerante.

En el movimiento curvilíneo, la variación de la velocidad (debido al cambio de dirección de ella), en el sentido del centro de rotación, está provocada por la acción de otro cuerpo. Surge la aceleración normal (radial), dirigida hacia el centro de rotación (aceleración centrípeta). Dicha aceleración está provocada por la acción de una fuerza que tiene el mismo sentido: la fuerza centrípeta. La fuente de esta fuerza es otro cuerpo, que mantiene los puntos del cuerpo en rotación sobre los arcos de las circunferencias. Este cuerpo limita el movimiento, no le permite al movimiento por inercia continuar por la tangente al arco de la circunferencia, obliga al cuerpo en rotación a describir trayectorias curvilíneas. Es por eso que el cuerpo se denomina cuerpo soporte.

Durante el movimiento del miembro en la articulación, como cuerpo soporte actúa el miembro vecino unido a él. Como fuerza centrípeta actúa la reacción de ligadura que ejerce el aparato ligamentoso y el miembro vecino ante la tracción muscular. Esta fuerza está aplicada, a través de este aparato de unión, sobre el miembro en rotación y lo obliga a mantener las trayectorias curvilíneas de sus puntos. El eje de rotación del miembro, relacionado con el cuerpo soporte (el otro miembro), es un eje fijo.

El miembro en rotación ejerce una reacción ante la acción del cuerpo soporte en forma de fuerza centrífuga., Esta está dirigida en sentido contrario a la fuerza centrípeta, es de igual magnitud y está aplicada sobre el cuerpo soporte. La fuerza centrífuga, en el caso dado, es la fuerza real de inercia (el sistema de referencia es inercial, el cuerpo de referencia es el miembro vecino inmóvil). Pero si relacionamos el sistema de referencia con el miembro en rotación, que se mueve con aceleración, entonces, la fuerza de inercia se analizará como ficticia; está aplicada al CM del miembro en rotación. Como se sabe, el sistema de referencia se elige en

correspondencia con la tarea planteada; ambas formas de descripción de un mismo fenómeno, resultan, en principio, válidas.

La magnitud de la aceleración centrípeta depende de la velocidad y la distancia hasta el eje de rotación. A medida que aumenta la velocidad de rotación y la curvatura de la trayectoria, se incrementa la aceleración centrípeta:

$$a_{co} = \frac{v^2}{r}$$

La fuerza centrípeta es perpendicular a la dirección de las velocidades lineales de los puntos del miembro, por eso es que no puede hacer variar la magnitud de ellas. Dicha fuerza hace variar solo la dirección de la velocidad. Por su parte, la variación de la magnitud de la velocidad durante la rotación se produce en presencia de aceleración tangencial positiva o negativa. Esta variación la puede provocar solo una fuerza (o su componente tangencial), que sea perpendicular al radio (paralela a la tangente a la trayectoria en el punto dado).

Por consiguiente, al analizar el movimiento del miembro alrededor de un eje, es imprescindible diferenciar las fuerzas (o sus componentes) aplicadas a lo largo del radio y las aplicadas perpendicularmente a él. Las primeras curvan la trayectoria y las segundas hacen que la rotación sea más rápida o más lenta.

Variación del movimiento de rotación del miembro

Bajo la acción del momento de una fuerza externa (aplicada al miembro por la tangente a la trayectoria) varía el movimiento de rotación del miembro, aumenta o disminuye su velocidad angular.

Sobre cualquier cuerpo, de una u otra manera, siempre están aplicadas fuerzas de frenaje, por ello, la variación del movimiento, en el sentido del momento mayor, está provocada solamente por la diferencia entre los momentos de las fuerzas motrices y las fuerzas de frenaje.

El momento de una fuerza externa aplicada al miembro provoca su aceleración angular, que es inversamente proporcional al momento de inercia del miembro, respecto al eje de rotación:

$$M_z(F_e) = I a$$

donde $M_z(F_e)$ es el momento de la fuerza externa E respecto al eje z, I es el momento de inercia respecto a ese mismo eje, a es la aceleración angular del miembro.

Corno fuerzas externas para el miembro actúan las tracciones de los músculos insertados en él, las reacciones de los miembros vecinos y las fuerzas externas para el cuerpo humano aplicadas a dicho miembro (por ejemplo, fuerzas de gravedad o fuerzas de inercia de las cargas).

El impulso del momento de fuerza (S_z) provoca la correspondiente variación de la velocidad angular del miembro (\dot{w}), por consiguiente, causa también la variación de su momento cinético

$$S_z = \Delta I \cdot w$$

La obtención de una velocidad angular dada para el miembro depende del impulso de aceleración del momento de la fuerza externa y del momento de inercia del miembro:

$$\Delta w = \frac{S_z}{I} = \frac{M_z(F_e) \cdot t}{m \cdot R_{in}^2}$$

Como el momento de inercia de un cuerpo rígido es constante, la obtención de una velocidad dada depende del impulso de aceleración de la fuerza, es decir, de la diferencia entre los momentos de las fuerzas motrices y de frenaje y el tiempo de aplicación de estas. Para una mayor velocidad de rotación del miembro hay que aumentar el momento de la fuerza de tracción de los músculos motores y disminuir el momento de la fuerza de tracción de los músculos de frenaje.

Conviene recordar que el movimiento más característico de las articulaciones del cuerpo humano es el movimiento de rotación-retroceso (oscilatorio), limitado por condicionales anatómicas.

Durante los movimientos rápidos, los músculos antagonistas son distendidos por las fuerzas de inercia del miembro en rotación, que surgen cuando el miembro se frena y se detiene. En tal caso, en los músculos antagonistas surgen las fuerzas de deformación elástica, que detienen al miembro y ayudan a comenzar el movimiento de retroceso. Mientras más rápido sea el movimiento de retroceso (frenaje del miembro y su impulso en sentido contrario), mayor será el papel de las fuerzas de inercia del miembro y de las fuerzas de deformación elástica de los músculos antagonistas.

Variación de los movimientos de rotación de un sistema de miembros

La variación de la rotación de un sistema de miembros es posible bajo la acción de los impulsos de los momentos, tanto de fuerzas externas, como internas, que provocan el movimiento radial.

Cuando el gimnasta mantiene una postura (por ejemplo, en suspensión en la barra fija) el entrenador puede, mediante la aplicación del momento de una fuerza externa (empujón con la mano), aumentar la velocidad angular del cuerpo del gimnasta. En este caso, el cuerpo del gimnasta puede igualarse a un cuerpo rígido. Pero si el gimnasta varía la postura, entonces la velocidad angular de su cuerpo no se puede determinar como si fuera la de un cuerpo rígido, ya que la velocidad angular de un cuerpo rígido (relación entre la velocidad lineal de cualquier punto del cuerpo, excepto los que se encuentran sobre el eje, y su distancia hasta el eje) es igual para todos los puntos del cuerpo; sin embargo, cuando varía la postura, las velocidades lineales de los distintos puntos varían de manera diferente y no hay una velocidad angular única como sucede en un cuerpo rígido. No obstante, para tomar en consideración cómo varían los movimientos de rotación, el cuerpo del gimnasta se divide convencionalmente en dos mitades de igual peso. Se halla el CM de ambas mitades del cuerpo y estos dos puntos se unen con una recta. Esta línea se considera convencionalmente el eje longitudinal del cuerpo. Tomándolo como línea de referencia, se determina su

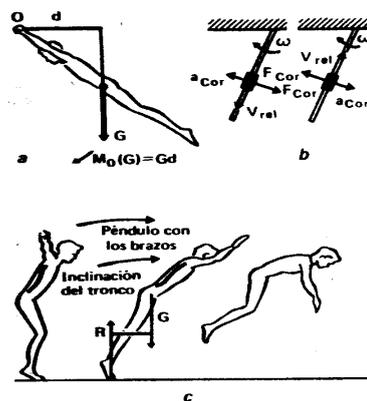
ángulo de giro y, por consiguiente, su velocidad angular, como reflejo aproximado de la rapidez de variación de la posición de todo el cuerpo respecto al eje de rotación. Se puede considerar como línea de referencia el radio del CM del cuerpo del gimnasta respecto al eje de rotación. Pero esto es menos exacto.

Así, el momento de una fuerza externa aplicada al cuerpo del gimnasta hace variar el movimiento de rotación. En los balanceos libres del gimnasta en suspensión en la barra fija, cuando él se mueve hacia abajo, el momento de la fuerza de gravedad del cuerpo respecto al eje de la barra acelera el movimiento. Durante el movimiento hacia arriba, el momento de la fuerza de gravedad hace más lento el movimiento, ya que actúa en contra de él (fig. 2.1 a).

Si no existiera una acción de frenaje de la fuerza de fricción de las manos con la barra ni resistencia del aire, los balanceos continuarían sin variación. La acción de las fuerzas de frenaje condiciona la amortiguación de las oscilaciones. Este fenómeno se puede describir desde el punto de vista de la transformación de la energía mecánica del cuerpo del gimnasta. Cuando el cuerpo desciende desde la posición más alta a la más baja, la energía potencial (energía de posición) se transforma en cinética (energía de movimiento): a medida que el cuerpo se eleva, la energía cinética de nuevo se transforma en potencial; una parte de la energía mecánica se consume en el trabajo contra las fuerzas de frenaje y se disipa.

Si se suministra energía en cada oscilación, es posible hacer que las oscilaciones no se amortigüen y, más aún, aumentar la energía por el mecanismo de la resonancia (el suministra de energía es mayor que su disipación). Una de las fuentes de este suministra de energía es el trabajo de los músculos, encaminado a acercar los miembros del cuerpo al eje de rotación.

Fig 2.1 Dirección de los movimientos alrededor de ejes , cuando existe apoyo:
a, aplicación del momento de la fuerza de gravedad; b, aprovechamiento de la fuerza de Coriolis; c, creación de la rotación inicial (desde el apoyo).



Esto provoca una disminución del radio de rotación y del radio de inercia y , por consiguiente, una disminución del momento de inercia del cuerpo del gimnasta. Analicemos la influencia del movimiento radial en el sistema de miembros sobre su rotación (Fig. 2.1b). Imaginémonos el movimiento del cuerpo del gimnasta como un movimiento compuesto: al movimiento de rotación (de arrastre, w) se le agrega el movimiento de las partes del cuerpo (por ejemplo, la flexión de las piernas) a lo largo del radio en el sentido del eje de rotación (movimiento relativo. U_{rel}). En tal caso, las velocidades lineales de las partes del cuerpo que se han acercado al eje se harán menores: tendrán aceleración negativa (aceleración de Coriolis, a_c), es decir, aceleración dirigida en sentido contrario a la rotación. Cuando existe esa aceleración de las partes del cuerpo que se han acercado al eje, aparecen sus fuerzas de inercia de Coriolis (F_c), dirigidas en tal caso en el mismo sentido del movimiento de rotación. En el sistema no inercial de referencia (relacionado con el cuerpo del gimnasta que posee aceleración) ellas, al ser fuerzas ficticias de inercia, están aplicadas al cuerpo acelerado, es decir, a las partes del cuerpo del gimnasta que se acercan al eje. Así se explica la influencia del movimiento radial sobre el incremento de la velocidad del movimiento de rotación, mediante la aplicación del momento de la fuerza de inercia de Coriolis. El movimiento radial dirigido desde el eje hace más lenta la rotación. La variación del movimiento de rotación de un sistema de cuerpos sin la aplicación de una fuerza externa, puede explicarse también sobre la base de la

ley de la conservación del momento cinético. Al acercar las partes del sistema de cuerpos (cuerpo del gimnasta) mediante fuerzas internas (tracciones musculares) al eje de rotación, es posible disminuir el radio de inercia y, por consiguiente, el momento de inercia. Si en ese tiempo ninguna fuerza externa hace variar el momento cinético ($I \cdot \omega$), por ejemplo en el movimiento sin apoyo, entonces, la velocidad angular (ω) se incrementará tantas veces como veces disminuye el momento de inercia (I). Así vemos que el movimiento de rotación de un sistema de cuerpos pueden variar tanto fuerzas externas como internas.

DIRECCION DE LOS MOVIMIENTOS ALREDEDOR DE EJES

Las formas de dirección de los movimientos alrededor de ejes, de todo el sistema biomecánico en su conjunto y de sus partes, se dividen en dos grupos: a) con variación del momento cinético del sistema, y b) con conservación del momento cinético del sistema.

Dirección de los movimientos alrededor de ejes con variación del momento cinético del sistema.

La dirección de los movimientos alrededor de ejes con variación del momento cinético del sistema biomecánico se realiza mediante los momentos de las fuerzas externas, para lo cual se requiere una fuente de dichas fuerzas: un cuerpo físico externo.

Es posible variar el movimiento de rotación de un sistema biomecánico mediante el momento de una fuerza externa, cuando el cuerpo mantiene su postura. Por ejemplo, al balancear el cuerpo del gimnasta en suspensión en la barra fija o al asistirlo al final de un mortal, mediante su propia fuerza muscular, el entrenador está aumentando o disminuyendo la rotación. El gimnasta, mediante la tensión de sus músculos, solo mantiene pasivamente la postura.

El sistema biomecánico tiene además la posibilidad de variar la rotación variando el brazo de la fuerza externa como resultado de los

movimientos de los miembros del cuerpo. Por ejemplo, si el gimnasta ejecuta balanceos en la barra fija, la fuerza de gravedad (constante) de su cuerpo como péndulo, realizará trabajo positivo (durante el movimiento hacia abajo en el plano vertical) o negativo (durante el movimiento hacia arriba desde la posición más baja). Para aumentar la energía mecánica del cuerpo (péndulo) hay que hacer que el trabajo negativo sea menor que el positivo. Para ello, durante el movimiento hacia arriba hay que disminuir el momento de la fuerza de gravedad. El gimnasta, haciendo tracción hacia la barra, acorta el péndulo y, con ello, disminuye el brazo de la fuerza de gravedad. De esta forma se hace disminuir la acción de frenaje de la fuerza de gravedad durante el movimiento hacia arriba.

Si durante el movimiento hacia abajo se aumenta el brazo de la fuerza de gravedad, entonces, el momento de la fuerza de gravedad será mayor. Pero con la elongación del péndulo se incrementa su momento de inercia: proporcionalmente al cuadrado del radio de inercia. Como resultado de esto, el incremento de la velocidad no será mayor, sino menor. Durante el movimiento hacia arriba, por el contrario, al acortarse el péndulo, disminuyen tanto el momento de la fuerza de gravedad, como el momento de inercia; ambos factores hacen más lento, en cierta medida, el decremento de la velocidad. Con la disminución de la longitud reducida del péndulo disminuye el período y aumenta la velocidad de las oscilaciones. Durante los movimientos de balanceo repetidos, es posible lograr acumulación de la energía por resonancia y aumentar la velocidad de las oscilaciones.

Finalmente, el deportista puede actuar activamente (empujarse o atraerse), creando el momento de una fuerza externa. Por ejemplo, mediante el empuje asimétrico con ambas piernas desde el apoyo, o con ambos brazos desde la barra, es posible provocar la rotación alrededor del eje longitudinal del cuerpo. Así vemos que la dirección de los movimientos alrededor de ejes con variación del momento cinético del sistema se logra:

1) mediante la aplicación de una fuerza externa (del impulso del momento de una fuerza): se acelera o se hace más lenta la rotación de todo el cuerpo a la vez que se mantiene la postura;

2) mediante la variación de las condiciones de acción de una fuerza externa existiendo un eje fijo (acercamiento a este eje y alejamiento de él): se acelera o se hace más lenta la rotación de todo el cuerpo con la variación de la postura;

3) mediante la creación activa del momento de una fuerza externa (empuje desde el apoyo o tracción hacia él): se acelera o se hace más lenta la rotación de todo el cuerpo, a la vez que varía la postura.

En todos los casos, las fuerzas externas están aplicadas al sistema biomecánico y hacen variar su movimiento. Todas estas formas son aplicables cuando existe apoyo, y la primera puede aplicarse también durante el vuelo (tanto en el caso de rotación inicial como sin ella).

Dirección de los movimientos alrededor de ejes con conservación del momento cinético del sistema

La dirección de los movimientos alrededor de ejes con conservación del momento cinético del sistema biomecánico es realizada por las fuerzas internas mediante movimientos contrarios.

Si mediante la tracción muscular se provoca el movimiento de rotación de una parte del sistema, entonces, la parte restante comenzará a rotar en sentido contrario (movimientos contrarios). En tal caso, los incrementos de los momentos eméticos de ambas partes en rotación serán de igual módulo, pero de distinto signo. De esta forma, en total, el momento cinético de todo el sistema se mantiene invariable. Esto es posible si no actúa ninguna fuerza que obstaculice los movimientos contrarios y haga variar el momento cinético del sistema. Tales condiciones existen en el vuelo, cuando no hay apoyo. Cualesquiera ejes de rotación del cuerpo atraviesan el CM del sistema biomecánico (ejes libres).

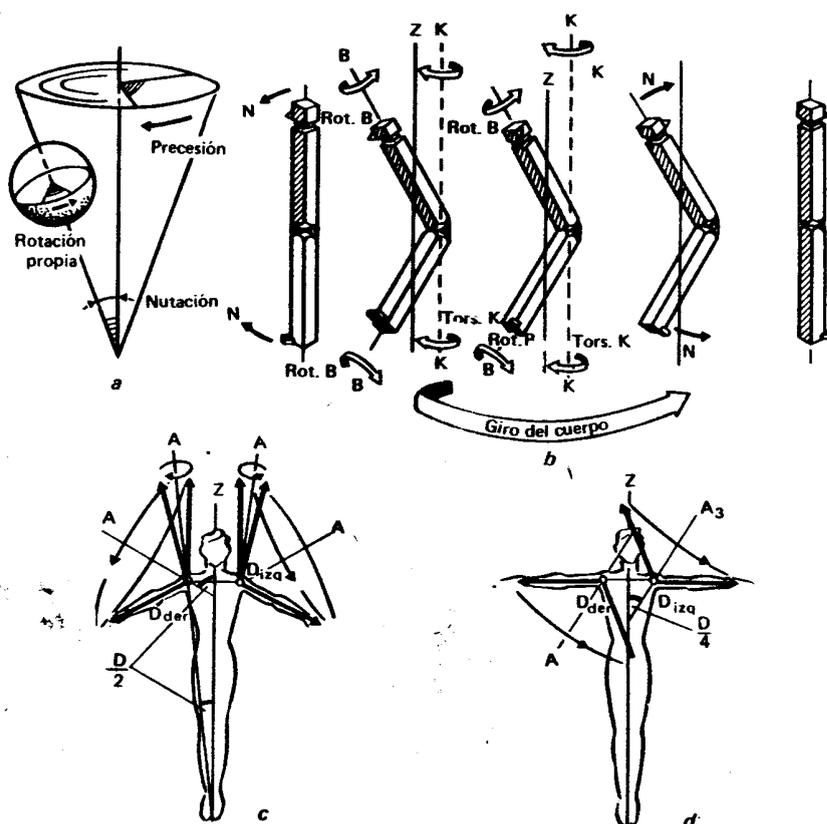
Las formas de dirección de los movimientos alrededor de ejes basadas en la creación de movimientos contrarios de partes del

sistema, pueden dividirse en dos grupos: rotaciones simples (alrededor de un eje) y rotaciones complejas (alrededor de varios ejes). La rotación contraria simple alrededor de un eje es la torsión del cuerpo y su distorsión alrededor del eje longitudinal. Naturalmente, estos movimientos tienen una amplitud anatómicamente limitada. Varía la orientación en el espacio de cada una de las partes que gira, pero, generalmente, se mantiene la orientación general de todo el sistema. Tales movimientos se emplean, por ejemplo, en los juegos con pelotas (tiros en suspensión en baloncesto, juego de balonmano). En correspondencia con la ley de la conservación del momento cinético, es posible influir sobre la velocidad de rotación variando el momento de inercia del sistema. Se puede disminuir este momento (agrupamiento) mediante las fuerzas internas, variando la postura. El trabajo que realizan estas fuerzas acelera las rotaciones alrededor del CM. Aquí también se puede notar la acción de las fuerzas de inercia de Coriolis cuando disminuye el radio de rotación. Si mediante la acción de las fuerzas internas se aleja el cuerpo del eje de rotación (desagrupamiento), entonces, la rotación se hará más lenta de forma directamente proporcional al aumento del momento de inercia. De esta forma, en un sistema libre (aislado) las fuerzas internas pueden variar la rapidez de rotación de todo el sistema, acelerándolo o haciéndolo más lento. Debido a que la velocidad angular cambia en dependencia de la variación del cuadrado del radio de inercia, incluso un pequeño acercamiento de los miembros del cuerpo al eje o un alejamiento de él conduce a una variación notable de la velocidad de rotación. Pero conviene subrayar que, cuando se emplea esta forma de dirección de los movimientos alrededor de ejes, el movimiento de rotación solo puede variarse, nunca crearse. Esta forma se emplea durante la ejecución del mortal, al acelerar y hacer más lenta la rotación inicial originada cuando aún existía apoyo.

Es posible también emplear los movimientos contrarios sin que exista una rotación previa del sistema. Esta es la única vía de

variación de la orientación del sistema sin apoyo, sin la aplicación de los momentos de una fuerza externa y sin rotación inicial.

La rotación de un cuerpo libre en vuelo. se produce en forma de rotación compleja alrededor de tres ejes. Por ejemplo, un trompo (fig.2.2a) rota, en primer lugar, alrededor de su propio eje (rotación propia); en segundo lugar, el eje del trompo describe una curva alrededor de otro eje (precesión); y finalmente, en tercer lugar, varía el ángulo entre esos dos ejes (eje de rotación propia y eje de precesión), estos ejes se acercan o se alejan (nutación). Con esta complejidad rota un cuerpo que no tiene eje fijado; cuando la rotación es de corta duración a una velocidad relativamente pequeña, notamos sólo la rotación propia, mientras la precesión y nutación, con frecuencia, pasan inadvertidas.



F

Dirección de los movimientos alrededor de ejes, cuando no existe apoyo: a, rotación propia, precesión y nutación; b, giro del cuerpo, mediante flexiones (Z es el eje de giro, K es el eje de torsión, B es el eje de rotación, N es el sentido de la nutación, B_p es el sentido de la rotación, K_p es el sentido de las torsiones según V. T. Nazarov); movimientos de los brazos: c, simétricos y d, asimétricos (A, A₁, A₂ y A₃) son los ejes de los movimientos de los brazos. (Según S. D. Ustinov.)

En los complejos movimientos de rotación del hombre durante el vuelo, primeramente se efectúa la nutación contraria de las partes del cuerpo: el cuerpo se flexiona al frente, o hacia atrás, o hacia un lado (Fig. 2.2b). Más adelante se produce la rotación propia simultánea de las partes superior e inferior del cuerpo en la región lumbar de la columna vertebral, en el sentido de los miembros homónimos, a la par con la precesión de estos (movimiento circular): los ejes de ambas partes describen superficies cónicas, pero en sentidos contrarios. No se produce una rotación simultánea de todo el sistema. Las trayectorias de todos sus puntos no serán circunferencias, cuyos centros se encuentren sobre un eje. Pero como resultado de los movimientos circulares opuestos variará la orientación de sistema en el espacio (igual que después de una rotación), se producirá un giro. Luego de la reorientación dada de todo el cuerpo, se produce de nuevo una nutación: el cuerpo se endereza. Los momentos cinéticos de las partes que giran en esta rotación compleja se equilibran recíprocamente, por eso, el momento cinético de todo el sistema no varía como resultado de estas rotaciones. El cuerpo humano en su conjunto, si se requiere, varía la orientación en el sentido dado. Como fuente de las fuerzas que provocan la rotación de las partes del cuerpo, una con respecto a otra, tenemos los músculos que las unen. Si no existe nutación contraria (el cuerpo está derecho), entonces las partes superior e inferior de; cuerpo rotarán sólo alrededor del eje longitudinal en el sentido de las extremidades contrarias (torsión del cuerpo). Además de las torsiones del cuerpo, que garantizan su giro alrededor del eje longitudinal (pirueta) durante el vuelo, se emplean los movimientos con los brazos, que incrementan el efecto de giro. Se distinguen los movimientos simétricos (fig. 2.2c) (en direcciones contrarias: por ejemplo, el brazo derecho adelante-abajo-atrás; el izquierdo atrás-abajo-adelante) y asimétricos (fig. 2.2d) (en un sentido, por ejemplo a la izquierda-abajo). Aunque los movimientos asimétricos están anatómicamente limitados y se realizan una vez, al mismo tiempo que los simétricos no están limitados y pueden repetirse varias

veces, los primeros son más convenientes ya que garantizan un mayor giro en forma de pirueta)

En la práctica, cuando se combinan los giros alrededor de los ejes longitudinal y transversal del cuerpo durante el vuelo, siempre se emplean tanto las flexiones del cuerpo como los movimientos con los brazos (Fig. 2.3).

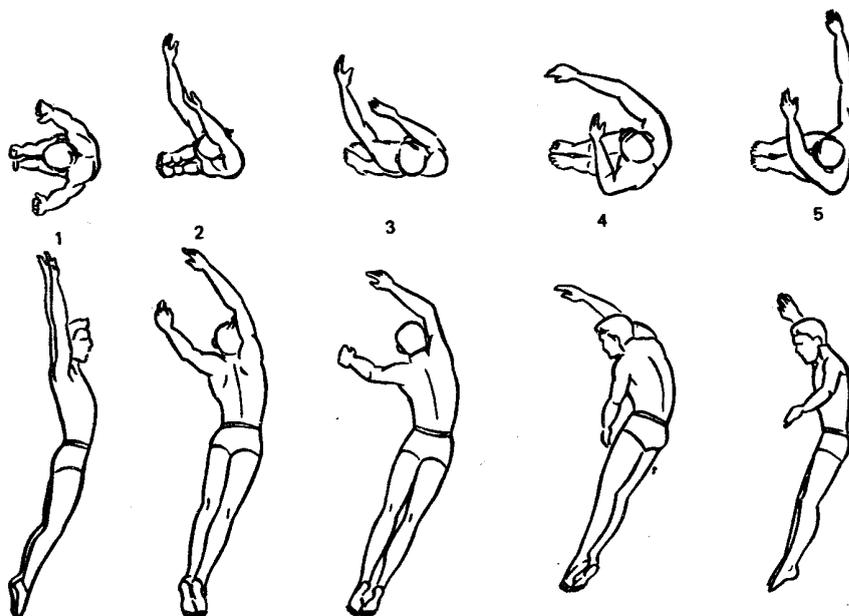


Fig. Giro del cuerpo mediante flexiones del tronco y movimientos asimétricos de los brazos. (Según S. D. Ustinov.)

Así, la dirección de los movimientos alrededor de ejes con la conservación del momento cinético del sistema se logra:

- 1) mediante la torsión y distorsión del cuerpo alrededor del eje longitudinal (giro contrario simultáneo); variación de la orientación de las partes del cuerpo unas con respecto a otras en el espacio;
- 2) mediante el agrupamiento y el desagrupamiento (acercamiento de las partes del sistema a un eje libre y alejamiento de él): se acelera y se hace más lenta la rotación de todo el cuerpo;
- 3) mediante las flexiones del tronco y los movimientos circulares de los miembros: se crea el giro complejo de todo el cuerpo alrededor de varios ejes.

En las tareas y condiciones concretas de su ejecución, con frecuencia se emplean combinaciones de diferentes formas de variación de la rotación del sistema biomecánico.

Ejemplos de ejercicios de rotación

En gimnástica se denominan ejercicios de rotación a aquellos ejercicios en los cuales los movimientos alrededor de un eje ocupan el lugar fundamental, cuando se requiere la dirección de estos movimientos. En los ejercicios de rotación es importante si se ejecutan con apoyo o sin él, alrededor de ejes libres o con apoyo (en un aparato, en el suelo), cuando existe un eje fijo.

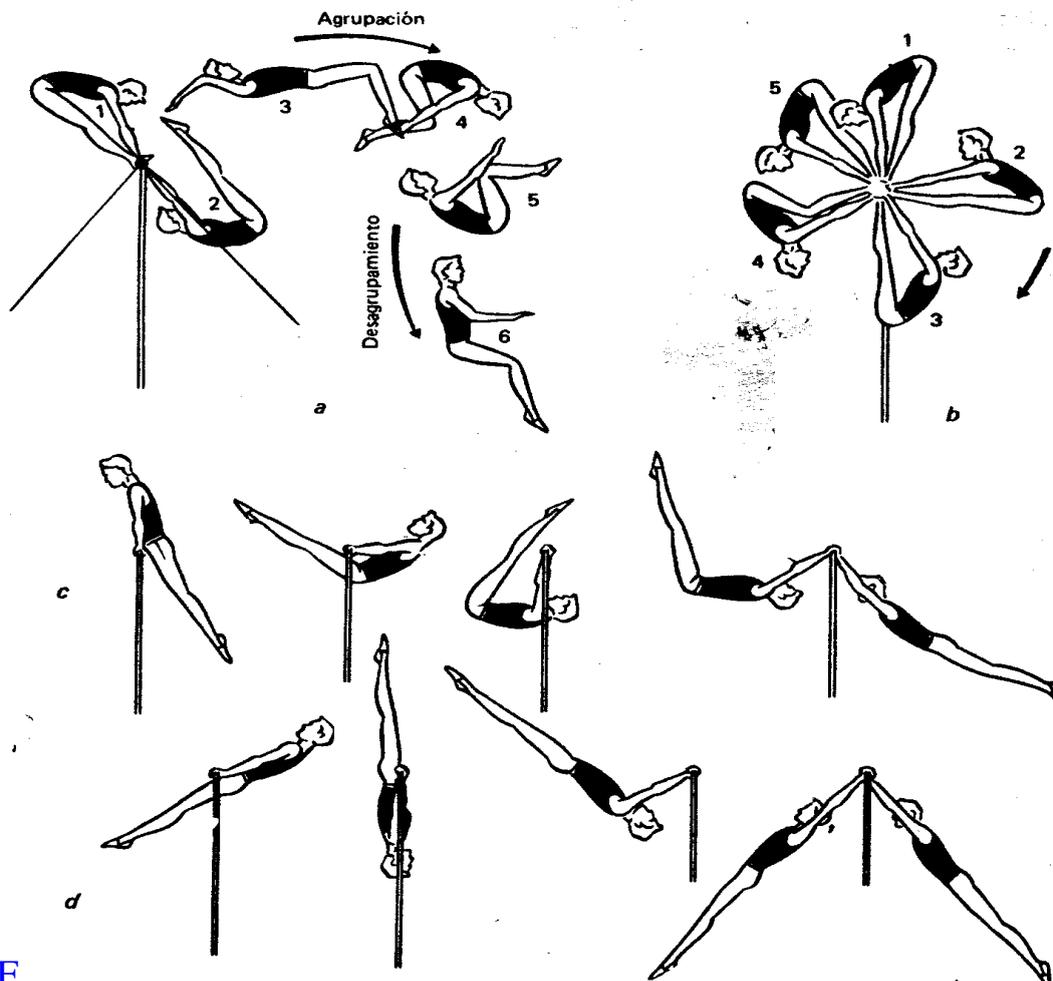
EJERCICIOS DE ROTACION SIN APOYO

En el caso de las rotaciones alrededor de ejes libres no existe un cuerpo sostén externo. Los miembros del cuerpo del hombre en rotación son mantenidos sobre trayectorias curvilíneas por ligaduras internas. En tal caso las fuerzas centrífugas de unas partes funcionan como fuerzas centrípetas de otras, que se mueven en el otro sentido del eje. El eje de rotación de todo el cuerpo, por tal causa, pasa invariablemente por el cm del cuerpo.

Salida en arco desde la barra con volteo al frente. Desde la posición de apoyo mixto (pies y manos) en la barra, el gimnasta, bajo la acción de la fuerza de gravedad, realiza el movimiento hacia atrás alrededor del eje de la barra. A partir de la postura 2, al extender bruscamente las piernas en las articulaciones coxofemorales y al flexionarlas en las articulaciones de la rodilla, el gimnasta, soltando la barra, pasa a la postura 3. El movimiento de rotación alrededor del eje libre que atraviesa el CM, y que fue creado hacia el instante de separación de la barra, se acelera bruscamente gracias al agrupamiento energético: la flexión del cuerpo al frente (postura 4). Partes del cuerpo se acercan al eje de rotación, disminuye el momento del inercia respecto al eje

transversal. Según la ley de conservación del momento cinético, la rotación hasta la postura 5 transcurre más rápidamente. A partir de ésta el gimnasta extiende el cuerpo, el momento de inercia respecto al eje transversal aumenta y la rotación alrededor de él se hace más lenta antes de la caída. En el ejercicio se aprovechan: la rotación inicial con la aplicación de una fuerza externa (aumento de la reacción de la barra al presionar sobre ella), así como también el agrupamiento y el desagrupamiento en el vuelo (fig. 2.4a).

Mortal uno y medio con medio giro. Al despegar de un apoyo resorte, el cuerpo recibe una rotación inicial alrededor de su eje transversal. Posteriormente, gracias a las flexiones del tronco, se crea la rotación compleja como resultado de la cual, al mantener inmóviles los brazos, se hace variar la orientación del cuerpo (desde la posición cabeza arriba el cuerpo pasa a la posición cabeza abajo). Mediante el agrupamiento respecto al eje transversal del cuerpo se provoca la aceleración de la rotación alrededor del eje; esta aceleración cesa mediante el desagrupamiento, antes de entrar en el agua.



F

! Ejercicios de rotación:
a, salida en arco desde la barra con volteo al frente; b, vuelta de espaldas con el apoyo.

EJERCICIOS DE ROTACION CON APOYO

La existencia de la relación con un apoyo crea condiciones para el movimiento de rotación. La reacción de apoyo del cuerpo sostén sirve de fuerza centrípeta

Vuelta de espaldas con apoyo mixto (pies y manos). En este ejercicio, al flexionar las piernas el cuerpo se acerca al eje de rotación, al extenderlas, se aleja. El gimnasta ejecuta la primera mitad de la vuelta bajo la acción del momento de la fuerza de gravedad. En el transcurso de este tiempo no varía el momento de

inercia del cuerpo respecto a la barra. La energía potencia (máxima en la postura 1) se transforma en energía cinética (máxima en la postura 3). Posteriormente, el gimnasta flexiona las piernas en las rodillas (de la postura 3 a la 4). En este tiempo, disminuye el momento de frenaje de 1.8a fuerza de gravedad y el momento de inercia del cuerpo, se ponen de manifiesto las fuerzas de inercia de Coriolis (cuando aumenta la reacción de apoyo de la barra). Todo esto completa la pérdida de energía (resistencia del aire, flexión con la barra). En los últimos instantes (hacia la postura 1) el gimnasta, al extender las piernas, continúa realizando trabajo para elevar el CM hasta la posición inicial, más alta. En este ejercicio se aprovechan: la fuerza externa (gravedad) con la transformación de la energía potencia; en cinética y, viceversa, la recuperación de la energía perdida por las fuerzas de inercia de Coriolis, mediante el acercamiento al eje de rotación como resultado de; trabajó muscular, así como el trabajo motor de los músculos de las piernas al final de; ejercicio (Fig. 2.4b).

Ascenso con resorte al apoyo (Kipper). Este ejercicio se realiza desde la posición de suspensión a la posición de apoyo. Al final del péndulo al frente el gimnasta se flexiona en las articulaciones coxofemorales, y acerca las piernas al eje de rotación. Disminuye el momento de inercia, y el movimiento del cuerpo (que se habla estado produciendo bajo la acción del momento de la fuerza de gravedad) se hace más rápido (Fig. 2.4c).

Existe otra forma de acercamiento del cuerpo al eje de rotación: mediante la extensión de los brazos en las articulaciones humerales (el cuerpo se mantiene, extendido, Fig. 2.4d). Como resultado de este movimiento, el gimnasta comienza la elevación hacia el apoyo en sentido contrario, con una velocidad suficiente para culminar el ejercicio en la posición de apoyo sobre la barra o en la posición de parada de manos. Durante los movimientos iniciales se aprovecha la variación del radio de rotación (movimiento radial) que, al provocar las fuerzas de Coriolis, garantiza el incremento de la amplitud de los movimientos. En la segunda variante del ascenso con resorte al apoyo (sin movimientos de dirección en las articulaciones

coxofemorales), el trabajo fundamental le corresponde a los músculos de las articulaciones humerales. Como fuerza externa que hace variar la trayectoria del CM del cuerpo del gimnasta actúa la reacción de apoyo de la barra, provocada por la presión que sobre ella ejercen los brazos, mediante la tensión de los músculos de las articulaciones humerales.

3. MOVIMIENTOS DE LOCOMOCIÓN. (D. Donskoi).

Todos los movimientos de locomoción tienen una tarea motora común: desplazar el cuerpo del hombre respecto al apoyo o al medio, mediante esfuerzos musculares. Entre los desplazamientos respecto al apoyo (desplazamientos terrestres) las más difundidas son las locomociones mediante el empuje en forma de pasos. En el medio acuático se emplea tanto el empuje, como (dentro de determinados límites) la tracción. Tanto en el apoyo, como en el agua se utilizan también transformadores mecánicos de los movimientos (por ejemplo, la bicicleta, el remo). Muchas locomociones conforman la técnica de deportes independientes. En algunas disciplinas deportivas (juegos con pelotas, deportes de combate, gimnástica, etc.) los movimientos de locomoción desempeñan un papel auxiliar.

FUNDAMENTOS GENERALES DE LAS LOCOMOCIONES TERRESTRES

Para el estudio de la interacción del deportista con el apoyo es imprescindible analizar la dinámica general de los desplazamientos del sistema biomecánico como un sistema automotor

MECANISMO DEL EMPUJE DESDE EL APOYO

El empuje desde el apoyo se ejecuta mediante: a) el empuje propiamente dicho con las piernas desde el apoyo; y b) los movimientos pendulares con los miembros libres y otros miembros del cuerpo. Estos movimientos están estrechamente interrelacionados en una acción única: el empuje. La perfección del empuje depende, en gran medida, de la coordinación de estos movimientos.

Interacción de los miembros de apoyo y los miembros móviles con el apoyo

Durante el empuje, los miembros de apoyo están inmóviles respecto apoyo, al mismo tiempo que los miembros móviles, bajo la acción de la fuerza de tracción muscular, se desplazan en la dirección general del empuje.

Durante el empuje del atleta desde el apoyo, el pie está fijo sobre éste de manera inmóvil. Los pinchos de la zapatilla, al entrar en la cubierta de la pista (o del sector) o en la tabla de despegue (en los saltos de longitud), garantizan un vínculo confiable con el apoyo. Sobre el pie como miembro de apoyo) desde la pierna actúa la presión de los miembros acelerados del cuerpo, que está dirigida hacia atrás y hacia abajo. A través del pie esta presión se trasmite al apoyo. La reacción de apoyo responde a dicha presión. La reacción de apoyo está aplicada sobre el pie en sentido hacia adelante y hacia arriba. Ella y la presión de la pierna están aplicadas al pie en sentidos contrarios; se equilibran mutuamente y fijan al pie sobre el apoyo.

Las fuerzas de las tracciones musculares de la pierna de despegue la obligan a extenderse. Como el pie está fijo sobre el apoyo, la pierna y el muslo transmiten la acción aceleratriz del empuje a los restantes miembros del cuerpo a través de la cadera. Durante el movimiento acelerado de los miembros móviles, sobre ellos actúan las fuerzas de frenaje (de gravedad y de inercia) de los restantes miembros como las fuerzas de resistencia de los músculos antagonistas. Por consiguiente, los miembros del cuerpo reciben

aceleración como consecuencia de que existen tuerzas motrices cuya acción sobrepasa la resistencia de las fuerzas de frenaje.

Para que varíe el movimiento del CM del cuerpo, es necesario (de acuerdo con la ley de conservación del movimiento del CM del sistema) la existencia de una fuerza externa aplicada al sistema. La reacción de apoyo durante el empuje es precisamente esa fuerza externa necesaria.

Trabajo de las fuerzas aceleratrices y variación de la energía cinética durante el empuje

Las fuerzas de las tracciones musculares aplicadas a los miembros móviles realizan un trabajo mecánico que incrementa la energía cinética del cuerpo durante el empuje. Con frecuencia se considera erróneamente que solo la reacción de apoyo, como fuerza externa, puede ser la tuerza motriz para el hombre y la fuente del trabajo que incrementa la energía cinética. Desde el punto de vista de la mecánica, el cuerpo humano es un sistema automotor. En tal sistema, las fuerzas de tracción muscular están aplicadas a los miembros móviles. Respecto a cada miembro, la fuerza de tracción muscular aplicada a él desde fuera, es una fuerza externa. Por consiguiente, las aceleraciones del CM de los miembros móviles están condicionadas por las correspondientes fuerzas externas para él, es decir, por la tracción muscular.

Para todo el sistema (cuerpo humano) existe una fuerza externa, imprescindible para la aceleración del CM. Es la reacción de apoyo. Sin embargo, ella no es una fuerza motriz, una fuente de trabajo. Por la ley de conservación de la energía cinética del sistema, se deduce que la variación de la energía cinética del sistema es igual a la suma de los trabajos de las fuerzas externas e internas. En el caso en que el trabajo de las fuerzas externas es igual a cero, solo el trabajo de las fuerzas internas es quien hace variar la energía cinética del sistema.

El trabajo de la reacción de apoyo es igual a cero. Esto es evidente si se tiene en cuenta que el punto de aplicación de la reacción de

apoyo (pie de apoyo) durante el empuje no se separa de; apoyo y su espacio es igual a cero. Por consiguiente, el trabajo de la reacción de apoyo también es igual a cero. Ni la reacción de apoyo, ni su componente (la fuerza de fricción en una superficie plana), pueden, por sí mismas, provocar el movimiento, servir de fuerzas motrices. Por tanto, es precisamente el trabajo de los músculos el que hace variar la energía cinética del cuerpo humano durante el empuje.

Las reacciones de apoyo, cuando el empuje se realiza en un ángulo que no sea recto, están inclinadas respecto a la superficie de apoyo y poseen componentes horizontales y verticales. Las componentes verticales están dadas por el peso dinámico, es decir, por la suma del peso estático y las fuerzas de inercia de los miembros móviles, que poseen aceleración (o alguna componente de ésta) dirigida verticalmente hacia arriba desde el apoyo. Las componentes horizontales de las reacciones de apoyo están dadas por las componentes horizontales de las fuerzas de inercia de los miembros móviles. Sin embargo, las aceleraciones de los miembros móviles pueden tener no solo tres direcciones recíprocamente perpendiculares, lo que, a propósito, provoca también componentes transversales de las reacciones de apoyo. El contacto de los miembros de apoyo con el apoyo no es un punto, por eso pueden ponerse de manifiesto también esfuerzos de rotación, lo que complica aún más el esquema simplificado de la reacción de apoyo que hemos explicado.

Movimientos pendulares durante el empuje

Los movimientos pendulares durante el empuje son los movimientos rápidos de los miembros libres del cuerpo y tienen igual sentido que el empuje con la pierna desde el apoyo.

Durante los movimientos pendulares se desplazan los CM de los correspondientes miembros del cuerpo. Esto quiere decir que simultáneamente se produce el desplazamiento del CM de todo el cuerpo. Así, en los saltos de altura, como resultado de los movimientos pendulares con los brazos y con la pierna libre, el CM

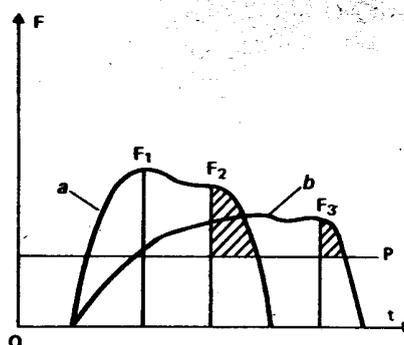
del cuerpo se eleva más hacia el instante de separación del cuerpo del apoyo, que cuando no se efectúan movimientos pendulares. Si se incrementa la aceleración de los miembros del cuerpo que ejecutan los movimientos pendulares, entonces aumentará también la aceleración del CM del cuerpo. De esta forma, los movimientos pendulares, Igual que el empuje con la pierna, realizan el desplazamiento y la aceleración del CM del cuerpo. Por consiguiente, los movimientos pendulares que alejan a los miembros del cuerpo del apoyo en el sentido de; empuje, deben ser considerados parte componente de éste. En los movimientos pendulares en la fase de *impulso*, la velocidad de los miembros aumenta hasta alcanzar su máximo. Al incrementarse aumenta también la velocidad del CM del cuerpo. Por consiguiente, mientras mayor sea la velocidad de los miembros de péndulo, más se reflejará ésta en la velocidad del CM del cuerpo. En la fase de frenaje los músculos antagonistas, al distenderse, se ponen tensos, y con esto hacen más lentos los movimientos de los miembros de péndulo, realizando trabajo negativo (en régimen resistente); la velocidad de los miembros de péndulo disminuye a cero.

Las tracciones musculares redistribuyen las velocidades de los miembros del cuerpo; el movimiento dentro del sistema se trasmite de unos miembros a otros. Por eso, para lograr la mayor velocidad del CM hay que tratar de alargar la fase de impulso en la mayor parte del espacio del desplazamiento pendular. Cuando las aceleraciones de los miembros de péndulo están dirigidas desde el apoyo, surgen las fuerzas de inercia de estos miembros, dirigidas hacia el apoyo. Conjuntamente con el peso del cuerpo ellas cargan los músculos de la pierna de apoyo y, con esto, incrementan la tensión de dichos músculos. La carga complementaria hace más lenta la contracción de los músculos e incremento su fuerza de tracción, como resultado de lo cual los músculos de la pierna de despegue se ponen más tensos y se contraen relativamente mayor tiempo. Debido. a esto se incremento también el impulso de la fuerza, que es igual al producto de la fuerza por el tiempo de su acción; y un mayor impulso de fuerza implica un mayor incremento

de la cantidad de movimiento. es decir, se incrementa más la velocidad. El impulso de la fuerza variable de empuje es igual al área entre la gráfica de la fuerza respecto al tiempo y la línea horizontal trazada al nivel del peso del cuerpo (fig. 3.1). Podría parecer que es posible aumentar esta área simplemente alargando el tiempo de empuje. Sin embargo, si el empuje se hace más lento artificialmente, disminuyen las aceleraciones, las fuerzas de inercia y las fuerzas de tracción muscular. Cuando esto ocurra, será lento también el movimiento del CM del cuerpo. Solo un alargamiento natural del empuje con la pierna gracias a movimientos pendulares acelerados incrementará el tiempo de empuje y la fuerza de tracción muscular de la pierna de despegue, y, por consiguiente, el impulso de la fuerza y la aceleración del CM del cuerpo. En la fase de frenaje de los miembros del péndulo, sus aceleraciones están dirigidas hacia el apoyo, y las fuerzas de inercia, por el contrario, están dirigidas desde el apoyo. Por consiguiente, disminuye la carga sobre los músculos de la pierna de despegue en este tiempo, su fuerza de tracción decrece, pero la rapidez de contracción se incrementa. Al contraerse más rápidamente ellos pueden sumar velocidad en los últimos instantes del empuje.

Así, los movimientos de péndulo coadyuvan al desplazamiento del CM del cuerpo, incrementan la velocidad del CM, aumentan la fuerza y alargan el tiempo del empuje con la pierna y, finalmente, crean las condiciones para un empuje culminante rápido.

Fig 3.1 Impulso de la fuerza (F) durante el empuje (sombreado): a, rápido; b, más lento; F_1 es la colocación de la pierna con un choque; F_2 y F_3 son el comienzo del empuje; P es el peso estático del cuerpo.



Dirección del empuje desde el apoyo

El ángulo de inclinación de la reacción de apoyo dinámica ofrece una idea de algunas particularidades de la dirección del empuje desde el apoyo en un instante dado.

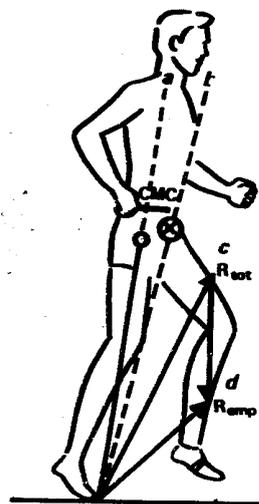
Cuando se extiende la pierna durante el empuje desde el apoyo, se produce la superposición de los movimientos de rotación de los miembros del cuerpo. Cuando existe un par de velocidades angulares, cuando ambos miembros se mueven en sentidos contrarios con igual velocidad angular, un tercer miembro que vaya tras ellos (o un grupo de miembros fijos se desplazará con movimiento de traslación respecto al apoyo. Pero bastará la descoordinación de las señaladas velocidades angulares para que el tercer miembro reciba también un giro respecto al apoyo.

Por las coordenadas del CM del cuerpo humano durante el empuje se puede calcular la aceleración lineal del CM del cuerpo en cada instante. Sin embargo, los movimientos concomitantes, en este caso los movimientos de péndulo, condicionan, además de la aceleración lineal del CM del cuerpo, aceleraciones angulares de muchos miembros.

Por eso el ángulo de empuje, como ángulo de inclinación de la componente dinámica de la reacción de apoyo, no caracteriza por completo la dirección general del empuje en cada instante. Si existiera una fuerza motriz externa, de empuje, entonces su ángulo de inclinación respecto a la horizontal podría considerarse como el ángulo de empuje. Sin embargo, en un sistema automotor a cada miembro están aplicadas fuerzas que en su conjunto determinan el movimiento de, precisamente, ese miembro dado. En este caso es imposible sustituir todo el sistema de multitud de fuerzas aplicadas a los diferentes miembros, con la resultante de una fuerza motriz. No existe una resultante equivalente de la fuerza de empuje (aplicada a un punto), que sea capaz de provocar diferentes movimientos complejos de muchos miembros en diferentes direcciones. Es por eso que se propone que solo convencionalmente se emplee el término *ángulo de empuje*.

El ángulo de inclinación del *eje longitudinal* de la pierna de despegue caracteriza, en cierta medida, la dirección del empuje (fig. 3.2a). Sin embargo, aún existiendo una misma postura de la pierna de despegue, ésta puede actuar sobre el apoyo más hacia abajo o más hacia atrás, gracias a las diferentes variantes de los esfuerzos de los grupos musculares. En otras palabras, la postura por si misma no puede determinar de forma simple la dirección del empuje. Conviene agregar que no tiene ningún sentido proponer medir de esta forma el ángulo de la fuerza de empuje en el instante en que la pierna de despegue se separa del apoyo: en este instante la fuerza de empuje (fuerza de presión sobre el apoyo) es igual a cero. El ángulo de inclinación de la línea que une el lugar del apoyo con el CM del cuerpo (fig. 3.2b) no puede caracterizar con exactitud la dirección del empuje, ya que no existe una ley según la cual la línea de acción de la fuerza de reacción de apoyo deba atravesar el CM del cuerpo. Más aún, prácticamente no se logra ejecutar el empuje de forma tal que la reacción de apoyo esté dirigida exactamente a través del CM del cuerpo: siempre se registran algunas desviaciones de ésta dirección.

F --- Dirección del empuje desde el apoyo, la que está determinada por:
a, el eje de la pierna de despegue; b, la dirección hacia el CM del cuerpo;
c, la dirección de la reacción de apoyo total; d, la dirección de la reacción de la fuerza de empuje.



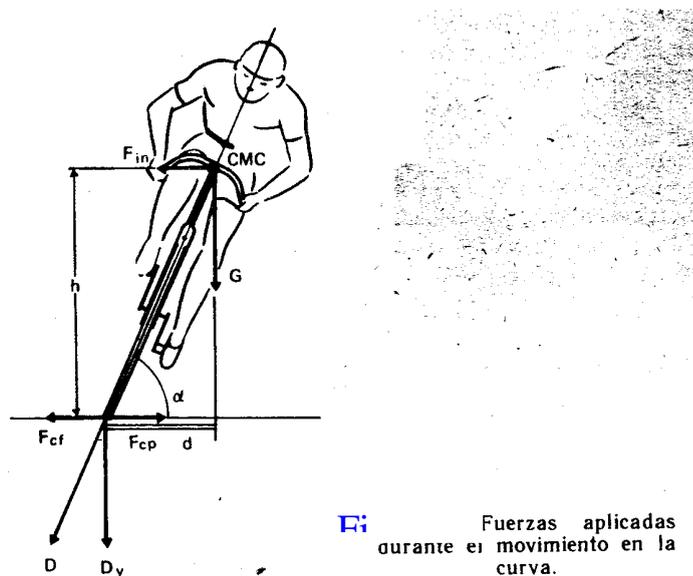
El ángulo de inclinación de la *reacción de apoyo total* (fig. 3.2c) se mide con ayuda de instalaciones tenso métricas (plataforma, plantilla en el calzado). La dirección de la reacción de apoyo total casi nunca pasa por el CM del cuerpo. Sin embargo, ejerce una

reacción (contra la fuerza que presiona el cuerpo hacia el apoyo), formada por el peso del cuerpo y por las fuerzas de inercia de los miembros, que se mueven con aceleración. Por consiguiente, es posible determinar separadamente la reacción ante el empuje provocada por la aceleración de los miembros del cuerpo. Para esto hay que restar a la reacción de apoyo total su componente estática (reacción ante el peso del cuerpo). *El ángulo de la reacción de apoyo ante los movimientos de empuje* (fig. 3.2d) caracteriza más correctamente la dirección del empuje. Nos podemos representar lo siguiente. como resultado de todos los movimientos de empuje el CM del cuerpo recibe una determinada aceleración. Si presuponemos que la masa de todo el cuerpo está concentrada en el CM del cuerpo, entonces a partir de la masa y la aceleración se puede calcular una fuerza aceleratriz equivalente convencional. Ella es aproximadamente igual, a la reacción de apoyo ante el empuje y tiene la misma dirección que ésta. Solamente hay que tomar en consideración, en primer lugar, que la reacción de empuje no pasa por el CM del cuerpo y condiciona el momento de arrancada (que provoca el vuelco hacia atrás); en segundo lugar, que una parte desconocida del trabajo de las fuerzas se consume en deformaciones que no han sido tenidas en cuenta (disipación de la energía al variar la rigidez articular), por lo que la reacción de empuje y la fuerza aceleratriz (calculada) serán de diferente magnitud; en tercer lugar, como ya dijimos, la reacción de empuje no es la fuerza de empuje.

De esta forma, el denominado ángulo de empuje, sea cual sea la forma en que se mida, no, determina por completo la, dirección del empuje. Siempre hay que tener en cuenta que durante el empuje no es solo el CM del cuerpo quien tiene una determinada aceleración lineal, sino también todos los miembros del cuerpo tienen aceleraciones angulares respecto al CM del cuerpo.

Además, no podemos olvidar que durante todo el tiempo del empuje todas las magnitudes varían, sean cuales sean los ángulos que se midan. Es decir, hay que acordar en que instante, precisamente, se va a medir cada ángulo convencional (por ejemplo, cuando la reacción del apoyo ante el empuje alcanza su máximo, o

cuando su componente vertical u horizontal alcanza su máximo). Si el empuje debe conducir al subsiguiente desplazamiento con la mayor velocidad lineal del CM del cuerpo y con la mínima rotación de éste, entonces hace falta que las aceleraciones del CM del cuerpo y de los CM de todos los miembros tengan una dirección lo más semejante posible a la dirección general. Si, por el contrario, el empuje debe incrementar la rotación del cuerpo (por ejemplo, en acrobacia), entonces es imprescindible la mayor rotación de los miembros del cuerpo en una dirección y el aprovechamiento del momento de la fuerza de gravedad del cuerpo.



En las locomociones terrestres, durante el movimiento en la curva, el deportista está inclinado hacia la parte interior de ésta. La fuerza de presión D , aplicada al apoyo en un ángulo agudo (α) puede ser descompuesta en su componente vertical (D_y) y en su componente horizontal (D_x), dirigida por el radio desde el centro de la curva (fig. 3.3). La reacción de esta última es la fuerza centrípeta (F_{cp}), que provoca la aceleración centrípeta y que curva la trayectoria en el movimiento por la curva. En el sistema inercial de referencia (la Tierra) la fuerza centrífuga es la fuerza real de inercia (F_{in}) y el la

ya señalada componente de la fuerza de presión -que está aplicada al apoyo. En el sistema no inercial de referencia (cuerpo del deportista) la fuerza centrífuga es la fuerza ficticia de inercia (F_{in}) y está aplicada al CM del cuerpo. Respecto al apoyo, ella origina el momento de la fuerza ($F_{in} h$), que equilibra el momento de la fuerza de gravedad (Gd). El ángulo de inclinación del cuerpo (α) depende de la correlación entre la fuerza de gravedad ($G = mg$) y la fuerza centrífuga $F_{cf} = \frac{mv^2}{r}$: $tg\alpha = \frac{G}{F_{cf}} = \frac{mgr}{mv^2} = \frac{gr}{v^2}$ donde el radio de curvatura de la curva, v es la velocidad lineal del cuerpo.

MOVIMIENTOS DEL PASO

Los movimientos del paso en las locomociones terrestres tienen amplia difusión. En la cinemática y la dinámica de la marcha, la carrera, el paso con esquís, etc., podemos descubrir fundamentos generales. Sin embargo, estos movimientos tienen también diferencias, considerables, provocadas por las adaptaciones a las condiciones del desplazamiento.

Los movimientos del paso se caracterizan por la actividad alterna de las piernas en lo que se refiere al empuje y al traslado de cada una de ellas. Estos movimientos se distinguen por su rigurosa armonía y por su correspondencia con la estructura del cuerpo.

Elementos de los movimientos del paso

En los movimientos del paso, cada pierna, alternadamente, es pierna de apoyo y pierna de traslado. En el período de apoyo entran la amortiguación y el empuje; en el de traslado, el impulso y el frenaje (fig. 3.4).

El *empuje*, como fundamento de los movimientos del paso, está indisolublemente relacionado con la preparación para él, con la

amortiguación. Conjuntamente ellos forman el período de apoyo, cuando la pierna está en contacto con éste y se encuentra bajo la acción del peso y de la fuerza de inercia del cuerpo.

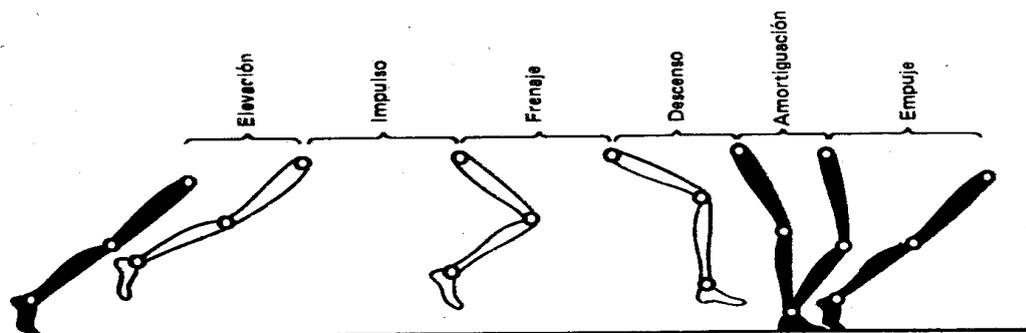


Fig 3.4 Movimientos del paso: el contorno claro es el traslado; el oscuro, el apoyo.

La *amortiguación* consiste en el frenaje del movimiento del cuerpo en el sentido hacia el apoyo. Comienza con la colocación de la pierna sobre el apoyo. Se produce un movimiento resistente, los músculos se distienden realizando trabajo negativo, y disminuyen la velocidad de movimiento del cuerpo hacia abajo. Hacia el final de la amortiguación, la componente vertical de la velocidad del CM del cuerpo disminuye hasta cero, el descenso cesa. Por su parte, la componente horizontal durante ese tiempo disminuye, pero el cuerpo no se detiene, sino que continúa el movimiento hacia adelante, aunque más lentamente. La amortiguación finaliza en el instante en que cesa el movimiento del CM del cuerpo hacia abajo. Más exactamente, este instante podría establecerse a partir del movimiento del CM del cuerpo, pero los métodos existentes de determinación de la situación del CM son inexactos.

Es posible determinar con mayor exactitud el instante en que finaliza la amortiguación mediante el dinamograma de la presión sobre el apoyo, cuando esta presión alcanza su máximo. En la practica se acostumbra a considerar convencionalmente el final de la amortiguación al instante de mayor flexión de la pierna de apoyo en la articulación de la rodilla. La convencionalidad está provocada por el hecho de que la amortiguación se logra no solo mediante el

movimiento en la articulación de la rodilla, sino también por los movimientos de los miembros hacia abajo y en otras articulaciones, que tienen lugar. La extensión de amortiguación (dorsal) en la articulación del tobillo, generalmente, termina algo después que la amortiguación en la articulación de la rodilla, sin embargo, con frecuencia, sucede lo contrario: el pie Comienza el empuje antes de la extensión de la pierna en la articulación de la rodilla. Convencionalmente, se, considera como comienzo del empuje al instante de extensión de la pierna de apoyo en la articulación de la rodilla. A este movimiento se suma la flexión plantar en la articulación del tobillo. Durante este tiempo continúa todavía la extensión resistente en las articulaciones metatarsofalángicas del pie, que, antes de la separación del apoyo, es sustituida por la flexión plantar motora.

En el instante de comienzo del apoyo puede comenzar también la extensión activa del muslo de la pierna de apoyo en la articulación coxofemoral. Este movimiento crea el denominado traslado activo: una especie de tracción del cuerpo al frente, hacia el pie que ya está apoyado delante de él. Es decir, este movimiento también coadyuva al empuje. la magnitud de esta tracción es relativamente pequeña, pero aún así disminuye la acción de frenaje del apoyo (menos pérdida de la velocidad horizontal del cuerpo). El instante en que el pie se separa del apoyo se considera el final del empuje. Sin embargo, juzgando por los dinamogramas, la acción del pie con el apoyo cesa algo antes de que se registre la pérdida de contacto con el apoyo. Durante la amortiguación, generalmente, disminuye la velocidad horizontal, y durante el empuje, aumenta. Si la pérdida de la velocidad del cuerpo y su recuperación en cada paso son iguales, entonces la velocidad media de desplazamiento se mantendrá constante de paso en paso. La preponderancia de pérdida o recuperación de, la velocidad conduce a que se haga más lento o se acelere el movimiento, respectivamente.

Después del período de apoyo comienza el periodo de traslado. La pierna se mueve al frente, al principio aceleradamente y después más lentamente. el impulso y el frenaje. Además, después que se ha

separado del apoyo la pierna se eleva hacia atrás, quedando rezagada de la cadera; luego que se frena al frente, la pierna desciende con un movimiento hacia abajo y hacia atrás (respecto a la cadera) buscando el apoyo. Debido a esto, además del impulso y el frenaje, se analiza también la elevación y el descenso de la pierna.

La elevación de la pierna atrás comienza a partir del instante en que se separa del apoyo y finaliza en el instante que comienza su movimiento al frente (respecto a la cadera). Se puede considerar como límite entre la elevación de la pierna atrás y su impulso hacia el frente al mayor ángulo de inclinación del muslo atrás respecto a la vertical. La elevación de la pierna atrás se produce como consecuencia de la diferencia de velocidades. ésta es mayor en la cadera (a la que la pierna de empuje le ha comunicado un movimiento al frente) y es menor en los miembros inferiores de la pierna de empuje (que al empujar a las restantes partes del cuerpo tienen poca velocidad respecto al apoyo). Se produce una redistribución de las velocidades, durante la cual la pierna, primeramente, se retrasa respecto a la cadera y se eleva por detrás de ésta. El impulso de la pierna comienza a partir de la flexión del muslo en la articulación coxofemoral y finaliza en el instante de mayor velocidad del CM de la pierna que se traslada. Se produce el impulso del movimiento de péndulo con todas sus particularidades, sobre las cuales ya hablamos. El frenaje de la pierna se inicia en el instante de mayor velocidad de su CM y finaliza en la posición límite del muslo adelante y al frente. Este es el frenaje del movimiento de péndulo, a cuyas particularidades ya nos referimos. El descenso de la pierna hacia el apoyo comienza a partir del instante de la posición límite del muslo al frente y arriba y finaliza en el instante de colocación del pie sobre el apoyo.

Movimientos concomitantes del tronco y de los brazos

En los desplazamientos de carácter cíclico a los movimientos de la piernas, generalmente, les corresponden movimientos pendulares de los brazos, coordinados según el principio de la coordinación

cruzada de los cuatro miembros. Cerca de las posiciones, límites de los brazos y las piernas, en el sentido antero posterior, los músculos antagonistas, al distenderse y ponerse tensos, frenan los movimientos. La energía cinética de los miembros se transforma en energía potencial elástica de los músculos. Las fuerzas elásticas, después de detener el movimiento, ayudan a comenzarlos en sentido contrario (eficiencia elástica). En los movimientos rápidos la dinámica de la eficiencia elástica se manifiesta más notablemente que en los lentos.

En dependencia de la forma del desplazamiento mediante pasos y del *tempo* de éstos, el tronco y la cadera, en mayor o menor grado, se moverán respecto a los tres ejes (flexiones al frente, atrás, o a los lados: giros alrededor de; eje vertical).

Los movimientos del tronco y la cadera, respecto a la cintura escapular, están dinámicamente relacionados con los movimientos de los brazos y las piernas. La inclinación de la cadera al frente y del tronco atrás, corresponde a la parte culminante del empuje con la pierna. Los movimientos de retraso de la cadera y del tronco se realizan en el período entre dos empujes con las piernas. El descenso de la cadera y del tronco, hacia el lado de la pierna de péndulo, transcurre durante el apoyo sobre la otra pierna, hacia el final de la amortiguación; y los movimientos de retroceso, durante la culminación del empuje. Finalmente, los giros de la cadera alrededor del eje vertical de la articulación coxofemoral de la pierna de apoyo hacia el final del paso aumentan la longitud de éste (factor cinemática).

Velocidad, longitud, frecuencia y ritmo de los pasos

La velocidad de los movimientos del paso se mide por la relación entre el espacio y el tiempo requerido para recorrer este espacio. El espacio, en cada paso, es su longitud (l); el tiempo es una magnitud inversa al *tempo* $\left(\Delta t = \frac{l}{N}\right)$ La velocidad de desplazamiento es numéricamente igual a la longitud del paso multiplicada por su

frecuencia $\left(u = \frac{lv}{t}\right)$ Si la longitud del paso se expresa en metros y el *tempo* en cantidad de pasos por segundo, entonces, la velocidad se expresará en m/s . Como en una serie de pasos sucesivos la longitud y la frecuencia de ellos no son constantes, para el cálculo, generalmente, se toman las magnitudes medias para un tramo medido del espacio.

La correlación entre la longitud y la frecuencia de los pasos, en las diferentes formas de desplazamiento, no es igual. Pero existen leyes generales: cuando aumenta la frecuencia de los pasos se hace más fuerte el empuje, aumenta la longitud de los pasos y se incrementa la velocidad. La velocidad aumenta como consecuencia del incremento simultáneo de la longitud y la frecuencia de los pasos. Después de un cierto límite se hace imposible el aumento simultáneo de la frecuencia y la longitud de los pasos. Cuando aumenta uno de estos componentes, el otro comienza a disminuir. Tales correlaciones permiten aumentar la velocidad, siempre que la disminución relativa de uno de los componentes no sobrepase el aumento relativo del otro, después de lo cual comienza a decrecer la velocidad del desplazamiento mediante pasos.

La velocidad óptima de los movimientos del paso depende de la longitud de la distancia y del nivel de preparación del deportista dado. A esta velocidad óptima (competitiva) le corresponden una longitud y una frecuencia de los pasos óptimas. Tienen carácter individual, ya que dependen en mucho de las proporciones del cuerpo.

El ritmo de los pasos (como correlación entre las duraciones de los diferentes movimientos) es el resultado de una dosificación precisa de los esfuerzos musculares. de la adecuación en tiempo, duración, magnitud de los esfuerzos, así como de la rapidez de variación de ellos. Los indicadores del ritmo que se pueden determinar con más precisión son las correlaciones entre el tiempo de duración de las siguientes partes del movimiento: apoyo-traslado, amortiguación-empuje, impulso-frenaje, deslizamiento (del esquí)-detención, vuelo (en la carrera)-apoyo, etc. Los diferentes

indicadores del ritmo de los pasos ponen en claro determinados esfuerzos, permiten poner de manifiesto la coordinación de los esfuerzos y de los movimientos, buscar y encontrar los ritmos óptimos

ACCIONES DE ARRANCADA

Las acciones de arrancada, generalmente, están dirigidas el comenzar el desplazamiento y a incrementar rápidamente la velocidad. Con las acciones de arrancada se comienzan a superar todas las distancias, así como a realizar los desplazamientos en los deportes de combate, los juegos con pelota y en otras disciplinas deportivas.

Posiciones de arrancada

Las *posiciones de arrancada* son las posturas iniciales para el desplazamiento subsiguiente, que garantizan las mejores condiciones para el desarrollo de la aceleración de la arrancada. Las acciones de arrancada (en la arrancada sin impulso) se comienza a partir de una posición inicial.. Generalmente, esta posición inicial está determinada por el reglamento de las competencias y responde a los requisitos biomecánicos que se desprenden de las tareas de la arrancada. La posición inicial garantiza el surgimiento, desde el primer movimiento, de la aceleración del CM del cuerpo en una dirección dada. Esto se logra mediante el desplazamiento de la proyección del CM del cuerpo sobre una superficie horizontal hacia el límite anterior del área de apoyo. En igualdad de condiciones, cuando se saca al CM del cuerpo al frente y su posición es más baja, se incremento la componente horizontal de la velocidad inicial. De esta forma, en la arrancada baja para la carrera, el ángulo de la velocidad inicial del CM del cuerpo es menor que en la arrancada alta. Los ángulos articulares en la posición inicial deben corresponder a las particularidades individuales de la correlación entre las palancas, al nivel de preparación de fuerza del deportista y

a las condiciones de la acción de la arrancada. La disposición de todos los miembros del cuerpo depende de las condiciones de la acción de arrancada.

Movimientos de arrancada

Los *movimientos de arrancada* son los primeros movimientos a partir de la posición inicial, que garantizan el incremento de la velocidad y el pasar seguidamente al impulso de arrancada. Durante la arrancada, el CM del cuerpo del deportista tiene una aceleración, dada por los esfuerzos musculares. Como fuerzas internas, estos esfuerzos están dirigidos en sentidos contrarios-. al frente, acelerando los miembros móviles, atrás, presionando los miembros de apoyo hacia éste. Para explicar la fuerza de arrancada N.A. Bernshtein propuso trasladar la reacción de apoyo, restándole el peso. del cuerpo al CM. Esto se puede hacer solo presuponiendo de manera convencional que el sistema biomecánico del cuerpo humano se ha endurecido, y que la reacción de apoyo desempeña el papel de fuerza motriz externa (fig. 3.5). La fuerza trasladada aquí se analiza convencionalmente como fuerza de arrancada (S), que provoca la aceleración de arrancada. Según la regla para trasladar una fuerza a un punto dado, es necesario que durante el traslado de esa fuerza al CM del cuerpo, se agregue un par de fuerzas (R y S'), que crea el momento de arrancada. Su acción está dirigida a disminuir la inclinación del cuerpo (por ejemplo, la inclinación del cuerpo del velocista durante el impulso de arrancada). Ya señalamos que la reacción de apoyo como reacción de ligadura no realiza trabajo positivo. La fuerza de arrancada y su momento son sólo medidas convencionales de la acción que provoca el movimiento complejo de todo el sistema biomecánico.

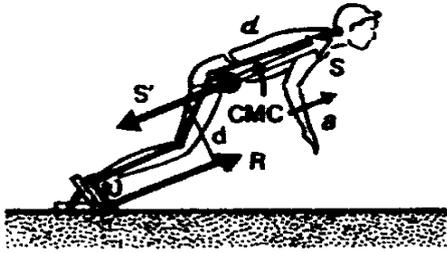


Fig 3.5

Fig. 9.5 Fuerza de arrancada (S) y su momento ($S'd$). (Según N. A. Bernshtein.)

Impulso de arrancada

El *impulso de arrancada* garantiza el incremento de la velocidad hasta que se alcanza la requerida para el recorrido de la distancia. En las carreras de distancias cortas, durante el impulso de la arrancada (pasos transitorios) la velocidad se incrementa hasta el máximo. Debido a esto, el impulso en la carrera de velocidad se mantiene durante una mayor distancia que en las carreras más largas, donde la tarea del impulso de la arrancada consiste en alcanzar solo la velocidad óptima para la distancia dada, la que se obtiene en los primeros pasos. Durante el impulso de la arrancada, de ciclo en ciclo, se produce una variación del sistema de movimientos, que va desde los movimientos propios de la arrancada hasta los movimientos óptimos para la velocidad dada. En la carrera, por ejemplo, esto se pone de manifiesto en el aumento de la longitud de los pasos, y en la disminución de la inclinación total del cuerpo. En dependencia del tipo de locomoción, todas las acciones de la arrancada se distinguen por particularidades parciales de los movimientos.

TIPOS DE LOCOMOCIONES DEPORTIVAS

El análisis de los tipos de locomociones ayuda a comprender los fundamentos de la biodinámica del desplazamiento del deportista en los movimientos de carácter acíclico (saltos) y cíclicos: con apoyo fijo (marcha y carrera), con deslizamiento (esquí), en el medio

acuático (natación), así como también con transformación mecánica del movimiento cuando existe apoyo (ciclismo) y en el agua (remo).

BIODINAMICA DEL SALTO

En los saltos, la distancia se supera mediante el vuelo. En tal caso, hay que lograr o bien la mayor longitud del salto (salto de longitud con carrera de impulso; triple salto), o la mayor altura (salto de altura con carrera de impulso; salto con pértiga), o una altura y una longitud considerables (salto con apoyo en gimnástica). La trayectoria del CM del cuerpo del deportista durante el vuelo se determina mediante la fórmula:

$$l = \frac{v^2 \operatorname{sen}.2a}{g}$$

$$h = \frac{v^2 \operatorname{sen}^2 a}{2g},$$

donde l es la longitud y h es la altura de la trayectoria del CM del cuerpo (sin tener en cuenta su altura en los instantes de salida y de caída), v es la velocidad inicial del CM del cuerpo durante el vuelo, a es el ángulo de inclinación del vector velocidad respecto a la horizontal en el instante de salida, y g es la aceleración del cuerpo en caída libre. Como vemos en las fórmulas, son particularmente importantes las magnitudes de la velocidad inicial del CM del cuerpo y el ángulo de salida de este. La velocidad inicial del CM del cuerpo se crea durante el despegue, así como durante la preparación para este. De esta forma, en los saltos deportivos se distingue la preparación para el despegue, el despegue (empuje) desde el apoyo, el vuelo y la amortiguación (después de la caída). En la preparación entran la carrera de impulso y los movimientos preparatorios en el lugar del despegue. Resulta conveniente analizar la biodinámica de las acciones fundamentales en el salto tomando como ejemplo el salto de longitud con carrera de impulso y comparándolo, donde sea necesario, con la biodinámica de salto de altura.

Carrera de impulso

En la carrera de impulso se solucionan dos tareas: la creación de la velocidad necesaria hacia el instante de llegada al lugar del despegue y la creación de las condiciones óptimas para la interacción de apoyo. En los saltos de longitud se alcanza la mayor velocidad de la carrera de impulso (más de 10 m/s en los corredores destacados) aproximadamente a los 40-50 m, en 19-24 pasos de carrera. Antes de la colocación de la pierna de despegue sobre la tabla de despegue, los últimos pasos varían: algunos pasos se alargan, lo que baja la posición del CM del cuerpo, y el último paso se realiza más rápidamente y por lo general, más corto. En los saltos de altura no se requiere una gran velocidad horizontal, la carrera de impulso es más corta (7-9 pasos) y la velocidad es menor. La pierna de despegue se coloca para realizar éste con un movimiento de *retención*. Esto disminuye la velocidad horizontal e incremento la vertical; permite adoptar una posición inicial donde la pierna de despegue está flexionada de manera óptima y sus músculos están lo suficientemente distendidos y tensos; el CM del cuerpo tiene una posición conveniente y existe la velocidad necesaria para la culminación de la carrera de impulso.

Despegue

En los saltos, el despegue desde el apoyo se realiza mediante la extensión de la pierna de despegue y movimientos pendulares de los brazos y el tronco. La tarea del despegue consiste en garantizar la magnitud máxima del vector velocidad inicial del CM del cuerpo y su dirección óptima. Después del despegue, en el vuelo, el cuerpo del deportista siempre realiza movimientos alrededor de ejes. Por eso, entre las tareas del despegue entra también el comienzo de la dirección de estos movimientos. A partir del instante de colocación de la pierna sobre el apoyo comienza la amortiguación: la cuclilla sobre la pierna de despegue. Los músculos antagonistas se distienden y se ponen tensos, los ángulos en las articulaciones se van asemejando más a los ángulos óptimos para el comienzo del

despegue. El CM del cuerpo llega a su posición inicial para el comienzo de la aceleración del despegue (elongación del espacio de aceleración del CM en el cuerpo). Mientras transcurre la amortiguación (flexión de la pierna en la articulación de la rodilla) y el lugar de apoyo se encuentra aún delante del CM del cuerpo, el deportista, flexionando activamente la pierna de despegue en la articulación coxofemoral, ya está contribuyendo activamente al desplazamiento del cuerpo al frente (traslado activo).

En el transcurso de la amortiguación disminuye la velocidad horizontal del CM del cuerpo; durante el despegue se crea la velocidad vertical del CM. Hacia el instante de la separación de la pierna del apoyo se garantiza el necesario ángulo de salida del CM del cuerpo (tabla 3.1).

Características cinemáticas del salto de longitud con carrera de impulso (según V. B. Popov)

Tabla 3.1

Apellido del deportista	Resultados, m	Velocidad de la carrera de impulso, m/s	Angulo de salida, grados	Angulo de colocación de la pierna, grados	Angulo de flexión de la pierna en la rodilla, grados	Tiempo del despegue m/s	Altura del salto, m
Boston Ter-Ovanesián	8,28	10,5	20	66	41	120	0,53
Beamón	8,37	10,4	22	65	37	115	0,62
	8,90	10,7	24	63	39	110	0,75

La extensión de la pierna de despegue y los movimientos pendulares, al crear la aceleración, hacia arriba y hacia el frente de los miembros del cuerpo, provocan sus fuerzas de inercia, dirigidas hacia abajo y hacia atrás. Estas últimas, conjuntamente con la fuerza de gravedad, condicionan el peso dinámico (la fuerza de acción sobre el apoyo) y provocan la correspondiente reacción de apoyo. En el vector dinamograma de la fuerza de acción sobre el apoyo (fig. 3.6) se observa que el despegue al frente se produce solo en las últimas centésimas de segundo; los esfuerzos fundamentales del saltador están dirigidos al despegue hacia arriba, para lograr el mayor ángulo de salida del CM del cuerpo, imprescindible para la

realización de un salto largo. En los saltos de altura, en comparación con los de longitud, los esfuerzos están dirigidos a garantizar la mayor velocidad vertical, el movimiento de retención es más considerable (hay un ángulo más agudo de colocación de la pierna) y no existe la tarea de disminuir las pérdidas de velocidad horizontal

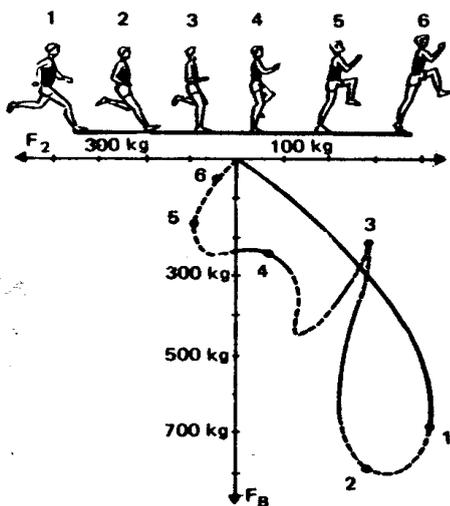


Fig. ... Vector-dinamograma del empuje en el salto de longitud. (Según I. P. Ratov y V. M. Muraviov.)

Vuelo

En el vuelo, la trayectoria del CM del cuerpo está predeterminada por la magnitud y la dirección del vector velocidad inicial del CM del cuerpo (ángulo de salida). Los movimientos son los que realizan los miembros del cuerpo alrededor de los ejes que pasan por el CM del cuerpo. La tarea se reduce a realizar la caída lo más lejos posible, manteniendo los pies lo más alto posible. Además, es esencialmente importante el desplazamiento del cuerpo al frente después de la caída. Los deportistas tratan, hacia el instante de la caída, de elevar lo más posible las piernas extendidas al frente, y llevar los brazos atrás: esto posibilita desplazarse al frente respecto al lugar de la caída, mediante un balón de los brazos hacia el frente y la subsiguiente extensión del cuerpo.

BIODINAMICA DE LA CARRERA

La carrera se puede analizar esquemáticamente como una serie continua de saltos al frente, de una pierna a otra. Sin embargo, como el objetivo de la carrera es garantizar una alta velocidad de desplazamiento, al mecanismo de los movimientos del paso se le plantean requisitos diferentes a los que se plantean durante los saltos.

En los pasos repetidos, el tiempo de traslado de cada pierna es mucho mayor que el tiempo de apoyo. Como consecuencia de esto, la carrera consta de períodos de vuelo y períodos de apoyo (fig. 3.7a). En el vuelo, la velocidad horizontal del CM del cuerpo puede disminuir solo de forma insignificante, debido a la resistencia del aire. En el apoyo, dicha velocidad inicialmente disminuye durante la acción de frenaje de la reacción de apoyo (de su componente horizontal), pero después aumenta de nuevo gracias a los movimientos de empuje (extensión de la pierna de apoyo y péndulo con la pierna que se traslada). Como la velocidad del corredor depende de la longitud y la frecuencia de los Pasos, la variación de la velocidad depende de la dirección de sus dos componentes. En la carrera de distancias cortas en los corredores de alta calificación la importancia primordial la adquiere el tiempo, la frecuencia de los pasos.

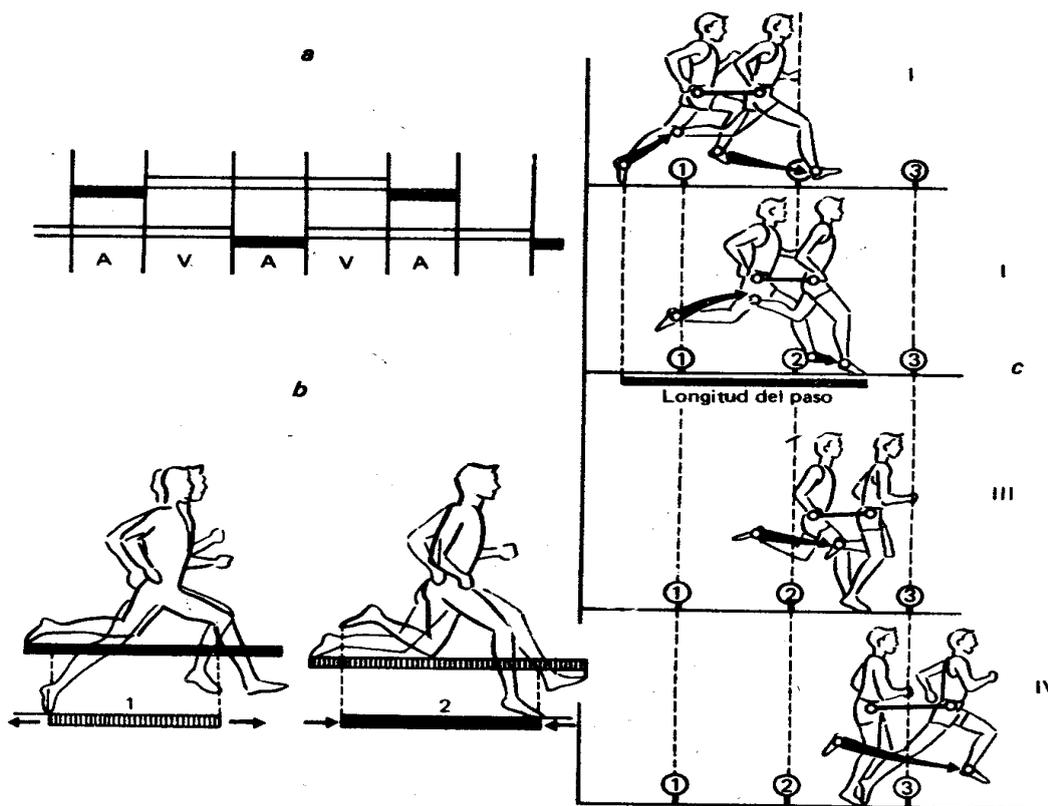
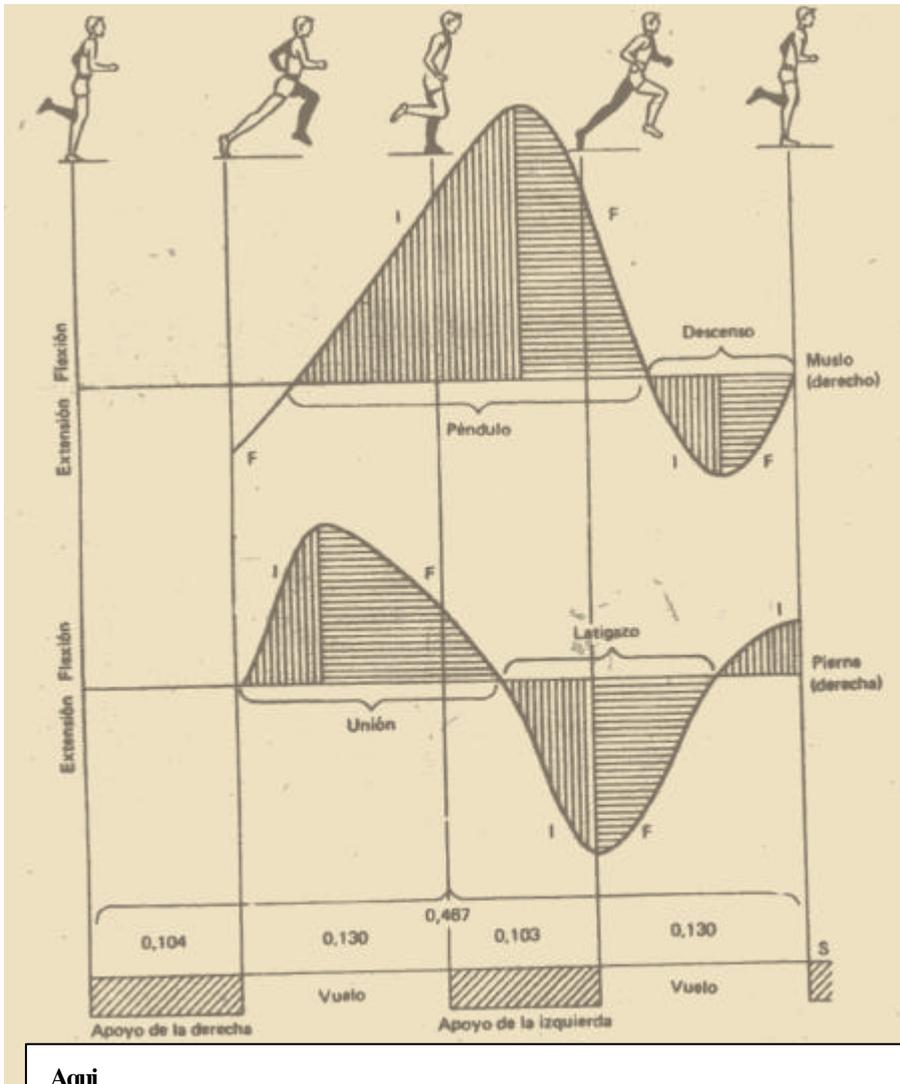


Fig. 9.7 Movimientos en el vuelo durante la carrera:
 lación entre los períodos de vuelo (v) y apoyo (a); b, separación (1) y unión
 los pies; c, longitud de un paso de carrera y direcciones de los movimientos
 de los pies (en las fases I-IV).

Vuelo

En el vuelo, después que la pierna de despegue se ha separado del apoyo, los pies se mueven en sentidos contrarios uno del otro respecto a la cadera. El pie de la pierna anterior se saca al frente con una flexión del muslo y de la pierna; el pie de la pierna posterior (la que había sido de despegue), por el contrario, se queda rezagado con respecto a la cadera, ya que se extiende por completo estando aún en vuelo y su muslo se queda atrás. Como resultado se produce la *separación de los pies*, en el vuelo (fase I) hasta la mayor distancia posible entrar ellos (fig. 3.7b). El impulso de la pierna sacada al frente es sustituido por su frenaje; y la flexión de la pierna en la articulación de la rodilla, por su extensión al frente (fig. 3.8).



Aqui

Los movimientos de las piernas durante el vuelo no varían la velocidad horizontal del CM del cuerpo, pero el tronco recibe un cierto frenaje, debido al predominio de la energía del saque de la pierna al frente, respecto a la energía de retraso de la otra pierna atrás.

A continuación, después de la mayor separación de las piernas (Fig. 3.9) comienza la *unión* (fase II) de esos, como consecuencia del saque de la pierna posterior al frente y el descenso acelerado

hacia atrás del pie de la pierna que está al frente (respecto a la cadera). La unión de los pies se produce existiendo velocidades contrarias de los pies (respecto a la cadera). Por eso, la fase II puede acortarse sustancialmente, disminuyendo el tiempo de vuelo en su conjunto. Esto eleva, la frecuencia de los pasos. El aumento de la velocidad del saque pendular de la pierna al frente garantiza un péndulo energético de la pierna en el período de apoyo. La elevación de la velocidad de descenso de la pierna hacia el apoyo no sólo disminuye el tiempo de vuelo, sino también garantiza una posición de la pierna más cercana a la vertical, durante la colocación de ésta sobre el apoyo (disminución del efecto de retención del apoyo en la horizontal).

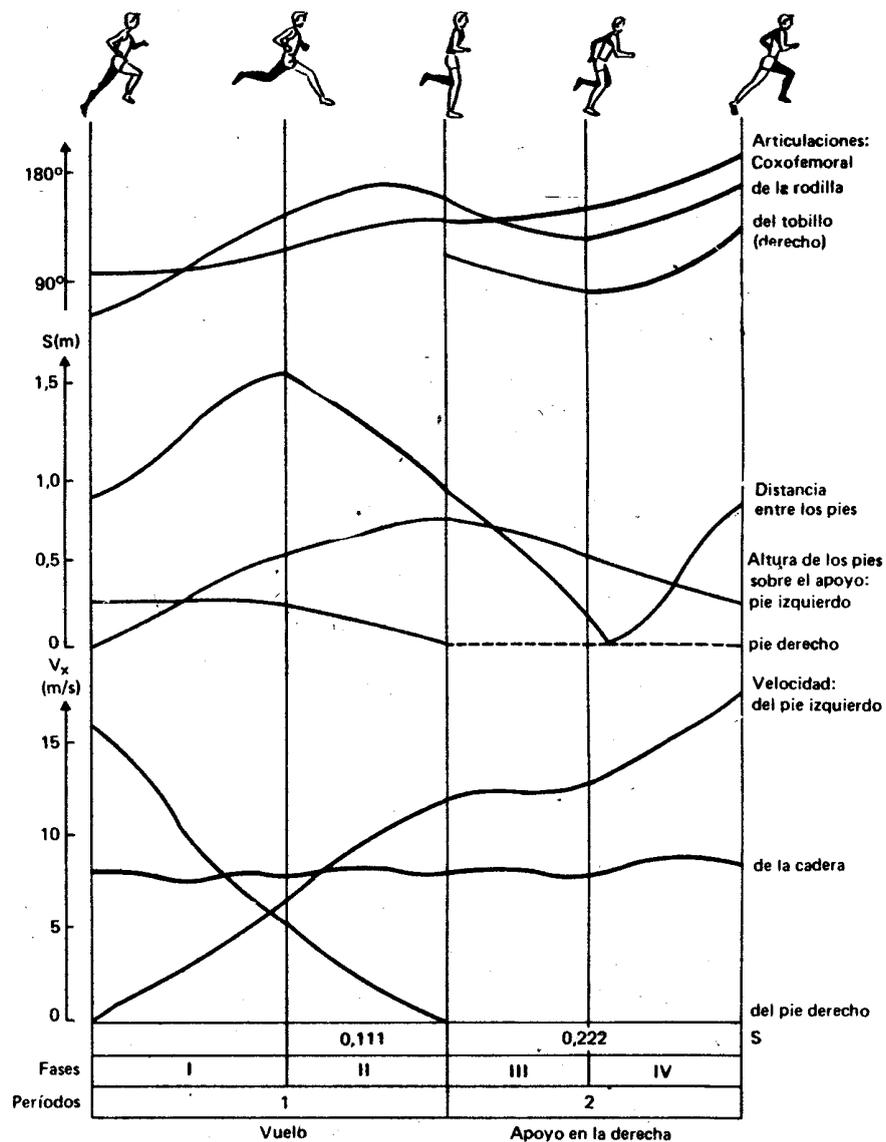


Fig 3.9 Fases de la carrera: I separación de los pies ; II, unión de los pies; III, descenso sobre la pierna de apoyo; IV, extensión de la pierna. (Según J.J Gross y V.P. Zhunlin.)

Interacción con el apoyo

A partir del instante de la colocación de la pierna sobre el apoyo comienza el período de apoyo; su primera fase es la *cucilla* (fase III). Se produce la amortiguación de los movimientos verticales hacia abajo del CM del cuerpo y su frenaje horizontal inevitable.

Aquí tiene lugar no sólo la acción de retención del apoyo, sino también pérdidas de velocidad de la pierna de apoyo respecto al cuerpo que se desplaza al frente. La colocación de la pierna con una alta velocidad dirigida hacia atrás (bajo sí) puede disminuir las pérdidas de velocidad de todo el cuerpo durante el apoyo, y compensar las pérdidas de energía producidas por la detención de la pierna sobre el apoyo.

El comienzo de la extensión de la pierna de apoyo en la articulación de la rodilla después de la cuclilla, sirve como inicio de la fase siguiente del período de apoyo (fase IV): el empuje con la extensión de la pierna de apoyo hasta que el pie de ésta se separa del suelo. En esta fase termina un paso de carrera. El ciclo completo de la carrera consta de dos pasos, ya que el traslado de la pierna (desde el apoyo en un lugar hasta el apoyo en otro) dura todavía durante el transcurso de una parte considerable del segundo paso

Carrera de diferentes distancias

Si conservamos la estructura general de la carrera (división en fases e interacción entre ellas), la carrera de diferentes distancias presenta diferencias esenciales en la longitud, la frecuencia de los pasos, su ritmo, sus características cinemáticas y dinámicas. La velocidad media de la carrera, naturalmente, disminuye a medida que aumenta la distancia. En la carrera de 100 m es de aproximadamente 10 m/s , y en la carrera de maratón es de aproximadamente la mitad (alrededor de 5 m/s). En dependencia de la distancia, la longitud del paso varía menos de lo esperado (en los 100 m es de aproximadamente 2,20 m; en los 200 m, 2,10 m; en 5000 m, 2,05 m; sin embargo, la frecuencia de los pasos varía de una forma sustancial: para las tres distancias señaladas es de 4,30; 3,60 y 2,80 pasos por segundo respectivamente). En el logro de una alta frecuencia de pasos desempeñan un importante papel las fases sin apoyo (de vuelo) y la actividad de la unión de los pies durante el vuelo.

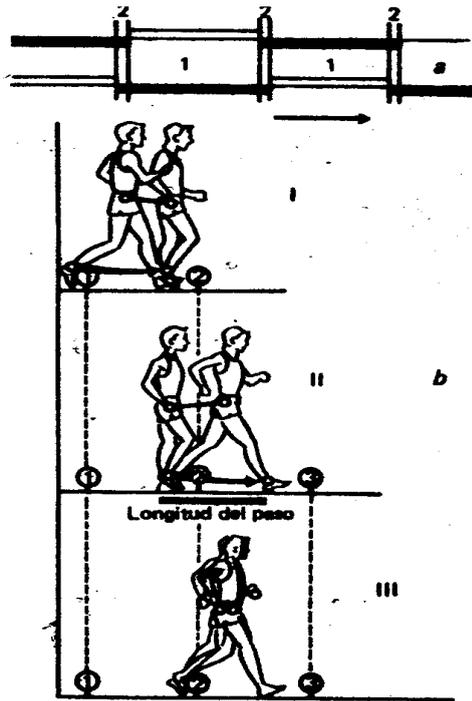
Naturalmente, la correlación entre las duraciones de los períodos de apoyo y de vuelo varía, pero no dentro de límites muy amplios: en la carrera de distancias cortas es de 0,46 y en la de 5000m es de 0,53. El apoyo es casi el doble más corto que el vuelo: además, esto se pone de manifiesto más bruscamente en la carrera de distancias cortas.

La correlación entre las duraciones de las fases de cuclilla y empuje varía considerablemente: 0.57 para los 100 m; 0.89 para 400 m; 1.39 para 5000 m.

En la carrera rápida la cuclilla es más corta que en la carrera de distancias largas, lo que está dado por una mayor rigidez en la colocación de la pierna y por existir una considerable tensión muscular y un espacio corto de amortiguación. Por su parte, la fase de empuje en las distintas distancias no presenta diferencias considerables en cuanto a su duración.

BIODINAMICA DE LA MARCHA

La marcha, de la misma forma que el paso deslizado en esquís y patines, se diferencia de la carrera y el salto por el hecho de que no tiene período de vuelo. Como el tiempo de apoyo de cada pierna es más corto que el de traslado, en cada paso surge un período de apoyo doble (fig. 3.10): la pierna que se traslada ya está colocada sobre el apoyo, mientras que la de despegue aún no se ha separado de él. En la marcha deportiva, que presenta una mayor velocidad de desplazamiento que la marcha normal, el periodo de apoyo doble se ha reducido al mínimo. Si se aumenta la frecuencia de los pasos, la marcha deportiva puede convertirse en carrera: el apoyo doble es sustituido por el vuelo.



F 1 Períodos y fases en la marcha deportiva:
a, períodos de apoyo simple (1) y doble (2); b, fase de paso posterior (1), de paso anterior (II) y de cambio de apoyo (III).

Apoyo simple

Después que el pie de la pierna de despegue se separa del apoyo, el cuerpo del deportista se apoya solo en la otra pierna, que había sido trasladada al frente. La pierna de despegue se convierte en pierna que se traslada y se saca al frente hasta el instante en que las puntas de los pies se encuentran a un mismo nivel, se produce el *paso posterior* (fase I), durante el cual el cuerpo del deportista se desplaza hacia la pierna que se encuentra al frente. El CM del cuerpo se mueve hacia adelante por inercia, aunque es posible también una cierta tracción del cuerpo por los extensores del muslo de la pierna de apoyo en la articulación coxofemoral y por el saque de la pierna que se traslada al frente. En este tiempo, la componente horizontal de la reacción de apoyo está dirigida hacia atrás, la que condiciona el decremento de la velocidad del cuerpo. La pierna, anteriormente colocada sobre el apoyo, pierde parcialmente su

velocidad, lo que también se refleja en la velocidad del CM del cuerpo.

La pierna que se traslada, después que las puntas de los pies se encuentran a un mismo nivel (respecto a la horizontal), se sigue sacando al frente, buscando el nuevo lugar.,de apoyo: este es el *paso anterior* (fase II). En este momento se continúa la extensión activa del muslo de la pierna de apoyo (despegue) en la articulación coxofemoral, que es lo que desplaza más el cuerpo del deportista al frente. En la marcha deportiva la pierna que se traslada se coloca sobre el apoyo, y durante todo el tiempo de éste se mantiene así, extendida o ligeramente flexionada en la articulación de la rodilla. Por eso, la articulación de la rodilla no participa en el empuje. El empuje desde el apoyo se realiza gracias a la flexión plantar del pie y al giro de la cadera al frente en la articulación coxofemoral de la pierna de apoyo (en particular en la marcha deportiva).

Apoyo doble

El apoyo doble comienza a partir de la colocación del pie de la pierna que se traslada sobre el apoyo y finaliza cuando se separa el pie de la pierna de despegue del apoyo (fase III). En el transcurso de este *cambio de apoyo* (desde la pierna que se encuentra atrás hacia la pierna que se encuentra delante) en la marcha deportiva se produce, fundamentalmente, el frenaje del desplazamiento del cuerpo al frente, que se continúa todavía en el transcurso de la fase I del paso subsiguiente durante el apoyo simple (paso posterior). Durante el cambio de apoyo comienza el movimiento al frente de la pierna de apoyo, que se encuentra atrás, mediante la flexión en las articulaciones coxofemoral y de la rodilla; ya en este momento esta pierna no empuja al cuerpo al frente.

Conjuntamente con el comienzo del apoyo sobre la otra pierna, se produce la amortiguación, el frenaje del cuerpo durante su movimiento hacia el apoyo. El frenaje gradual se realiza como consecuencia del trabajo resistente de los músculos extensores del pie (descenso de la punta del pie hacia el apoyo) y de los músculos

abductores de la cadera en la articulación coxofemoral de esta pierna (descenso de la cadera). La amortiguación con el frenaje por la vertical indefectiblemente va acompañada también de un cierto frenaje por la horizontal.

Como resultado de una longitud mayor que en la marcha normal (105-130 cm contra 80-90 cm) y una mayor frecuencia (180-200 pasos por minuto contra 110 -120) de los pasos, la velocidad en la marcha deportiva es 2-2,5 veces mayor que la velocidad de la marcha normal. Los brazos realizan movimientos equilibrantes con una gran amplitud, acompañando los giros de la parte superior del tronco en sentido contrario al giro de la cadera.

4. MOVIMIENTOS CON DESPLAZAMIENTO DE CUERPOS EXTERNOS

(V.Zatsiorski).

En biomecánica se denomina *movimientos con desplazamiento de cuerpos externos* a todos aquellos movimientos cuya tarea consiste en desplazar algún cuerpo (implemento, balón, adversario, compañero). Estos movimientos son muy variados.

En el deporte, podemos citar los lanzamientos, los golpes al balón o a una pelota, las proyecciones de un campanero en acrobacia, etcétera. A los movimientos con desplazamiento de cuerpos externos, en el deporte generalmente se les plantean requisitos para lograr las magnitudes máximas de:

- a) la fuerza de acción (durante el levantamiento de la palanqueta);
- b) la velocidad del cuerpo desplazado (en los lanzamientos);
- c) la precisión (los tiros libres en baloncesto).

Son frecuentes también los casos en que estos requisitos se plantean conjuntamente (por ejemplo, la velocidad y la precisión).

Entre los movimientos con deslizamiento de cuerpos externos se distinguen los movimientos:

- a) con impulso del cuerpo a desplazar (por ejemplo, lanzamiento de la jabalina);

b) con interacción de choque (por ejemplo, los tiros en fútbol o los golpes en tenis).

Como la mayoría de los movimientos con desplazamiento de cuerpos externos están relacionados, en el deporte, con la tarea de comunicar velocidad de salida a determinado implemento (balón, implemento de lanzamiento), aquí se analizan, ante todo, los fundamentos mecánicos del vuelo de los implementos deportivos.

VUELOS DE LOS IMPLEMENTOS DEPORTIVOS

La trayectoria (en particular, la longitud) del vuelo del implemento está determinada por: a) la velocidad inicial de salida; b) el ángulo de salida; c) el lugar (la altura) de liberación del implemento; d) la rotación del implemento, y e) la resistencia del aire que, por su parte, depende de las propiedades aerodinámicas del implemento, de la fuerza y dirección del viento, de la densidad del aire (en las montañas, donde la presión atmosférica es menor, la densidad del aire es menor y el implemento deportivo, en iguales condiciones iniciales de salida, puede volar una mayor distancia).

La **velocidad inicial de salida** es la característica fundamental, que varía consecuentemente a medida que aumenta la maestría deportiva. Cuando no existe resistencia del aire la longitud del vuelo del implemento es proporcional al cuadrado de la velocidad de salida. Un incremento de, digamos, 1,5 veces, debe incrementar la longitud del vuelo del implemento en $1,5^2$, es decir, 2,25 veces. Por ejemplo, una velocidad de salida de la bala de 10 m/s corresponde a un resultado promedio de 12 m en la impulsión; y una velocidad de 15 m/s a un resultado de aproximadamente 25 m.

En los deportistas de clase internacional las velocidades máximas de salida de los implementos son iguales a: en el golpe con la raqueta (saque en tenis) y con el bastón (en jockey), más de 50 m/s ; en el golpe con la mano (remate en voleibol) y con la pierna (fútbol), y en el lanzamiento de la jabalina, alrededor de 35 m/s .

Debido a la resistencia del aire la velocidad al final del vuelo del implemento es menor que la velocidad inicial de salida.

Angulo de salida. Se distinguen los siguientes ángulos de salida fundamentales:

1. Angulo de posición: es el ángulo entre el horizonte y el vector velocidad de salida (determina el movimiento del implemento en el plano vertical, si es más alto-más bajo).
2. Azimut: es el ángulo de salida en el plano horizontal (más a la derecha- más a la izquierda, se mide a partir de una dirección de referencia convencionalmente elegida).
3. Angulo de ataque: es el ángulo entre el vector velocidad de salida y el eje longitudinal del implemento. Los lanzadores de jabalina tratan que el ángulo de ataque se acerque a cero. A los lanzadores de disco se les recomienda soltar el disco con el ángulo de ataque negativo (Y. N. Tutievich); En el vuelo de los balones, la bala y el martillo no existe ángulo de ataque.

Altura de liberación del implemento. Influye sobre la longitud del vuelo. La longitud del vuelo del implemento se incremento aproximadamente tantas veces, como veces aumente la altura' de liberación del implemento (V. N. Tutievich).

Rotación del implemento y resistencia del aire. La rotación del implemento ejerce una doble influencia sobre su vuelo. En primer lugar, es como si la rotación estabilizara el implemento en el aire, al no dejarlo dar volteretas. Aquí actúa el efecto giroscópico, semejante al efecto que no deja que se caiga un trompo que gira. En segundo lugar, la rotación rápida del implemento curva su trayectoria (el denominado efecto Magnus). Si el balón rota (con frecuencia esta rotación es denominada con la palabra inglesa spin), entonces la velocidad de la corriente de aire será distinta en sus diferentes partes.

Al rotar, el balón arrastra las capas adyacentes de aire,, que comienzan a moverse alrededor de él (a circular). En aquellos sitios

donde las velocidades de los movimientos de traslación y de rotación se suman, la velocidad de la corriente de aire se hace mayor; de la parte contraria del balón estas velocidades se restan y la velocidad resultante es menor (Fig 4.1a). Debido a esto, la presión por los diferentes lados será también diferente: será mayor en el lado donde la velocidad de la corriente de aire es menor. Esto se deduce de la conocida ley de Bernulli: la presión de un gas o de un líquido es inversamente proporcional a la velocidad de su movimiento (esta ley se puede aplicar en el caso que mostramos en la figura). El efecto Magnus permite, por ejemplo, meter el balón en la portería durante un tiro de corner en fútbol (fig. 4.1b). La magnitud de la fuerza lateral, que actúa sobre el balón en rotación, depende de la velocidad de su vuelo y de la velocidad de rotación. La influencia de la rotación del balón sobre su trayectoria es mayor, mientras mayor es la velocidad de traslación. No es conveniente tratar de transmitir una gran rotación a una pelota que vuele lentamente. Las pelotas de tenis rotan a una velocidad de más de, $100 \frac{\text{vueltas}}{\text{s}}$; los balones de fútbol y voleibol, lo hacen mucho más lentamente. Si el sentido de la rotación del balón o la pelota coincide con la dirección del vuelo, entonces en la práctica deportiva este tiro se denomina *con efecto*; si no coincide, *cortado* (en el primer caso, el balón rodaría por el suelo en el sentido de su vuelo; en el segundo, hacia atrás, hacia el jugador que hizo el tiro).

Si la corriente de aire contornea el implemento formando cierto ángulo de ataque, entonces la fuerza de resistencia del aire estará dirigida en ángulo a la corriente (fig. 4.2). Esta fuerza se puede descomponer en sus componentes una de ellas estará dirigida en el sentido de la corriente (esta es la *resistencia frontal*); la otra será perpendicular a la corriente (es la *fuerza de sustentación*). Es importante recordar que la fuerza de sustentación no está obligatoriamente dirigida hacia arriba; su dirección puede ser diversa. Esto depende de la posición del implemento y de la dirección de la corriente de aire respecto a él. En los casos en que la fuerza de sustentación está dirigida hacia arriba y equilibra el peso

del implemento, éste puede comenzar a planear. Cuando la jabalina o el disco planean, esto eleva sustancialmente el resultado del lanzamiento.

Si el centro de la presión de la corriente del aire sobre el implemento no coincide con el centro de gravedad, aparece el momento de rotación de la fuerza y el implemento pierde estabilidad. Un cuadro análogo y el problema de la conservación de la estabilidad surgen también en la fase de vuelo en los saltos con esquís. La ausencia de rotación se logra mediante la elección de la postura correcta, en la cual el centro de gravedad del cuerpo y su centro de superficie (centro de presión de la corriente de aire) están dispuestos de tal forma que no se crea momento de rotación.

LA FUERZA DE ACCION EN LOS MOVIMIENTOS CON DESPLAZAMIENTO DE CUERPOS EXTERNOS

En los movimientos con desplazamiento de cuerpos externos, generalmente la fuerza de acción la ponen de manifiesto los miembros finales de la cadena cinemática de muchos miembros. En tal caso los miembros pueden interactuar de dos formas:

1. Paralelamente: cuando es posible la compensación recíproca de la acción de los miembros; si la fuerza, puesta, de manifiesto por uno de los miembros, es insuficiente, otro miembro compensa esa insuficiencia desarrollando mayor fuerza. Ejemplo, durante las proyecciones en lucha, la fuerza muscular de un brazo, insuficiente para la ejecución de; elemento técnico, puede, compensarse con una mayor fuerza del otro brazo. La interacción paralela es posible sólo en las cadenas cinemáticas ramificadas (la acción de las dos piernas o de los dos brazos).
2. Sucesivamente: cuando la compensación recíproca es imposible. En la interacción sucesiva de los miembros de una cadena cinemática de varios miembros, con frecuencia sucede que un miembro resulta más débil que los restantes, y limita la manifestación de la fuerza máxima. Es muy importante saber reconocer ese miembro retrasado, Con el fin de fortalecerle, o

de cambiar la técnica del movimiento de manera que dicho miembro no limite el incremento de los resultados. Por ejemplo, los batistas que tienen los músculos de la articulación del tobillo y del pie relativamente débiles, realizan el deslizamiento antes del esfuerzo final apoyándose sobre todo el pie; los deportistas que tienen un pie fuerte pueden ejecutar el deslizamiento sobre la punta del pie. La incorporación de los miembros débiles al trabajo (si se puede prescindir de ellos) es un error técnico, que conduce a la disminución del resultado deportivo (fig. 10.3).

Ya se ha señalado (ver capítulo 5) que la fuerza de acción depende de la posición del cuerpo del deportista. Por eso, hay que estructurar la técnica de forma tal, que se ponga de manifiesto la mayor fuerza de acción en la posición más conveniente para ello. Por ejemplo, el pesista puede aplicar diferente fuerza sobre la palanqueta en las diferentes alturas de ésta con respecto a la plataforma (fig. 10.4). Cuando existe una técnica correcta, el deportista acentúa la manifestación de los esfuerzos musculares en la postura más conveniente (el denominado balón de la palanqueta).

LA VELOCIDAD EN LOS MOVIMIENTOS CON DESPLAZAMIENTO DE LOS CUERPOS EXTERNOS

En los movimientos con desplazamiento de cuerpos externos es imprescindible comunicar velocidad al miembro de trabajo del cuerpo conjuntamente con el implemento en las acciones con impulso y sin éste en las acciones de choque).

El movimiento (y la velocidad) del miembro de trabajo es el resultado de la suma de los movimientos (y de las velocidades) de los diferentes miembros del cuerpo. Por ejemplo, la velocidad de la mano y de la bala durante la impulsión es igual a la suma de las velocidades de la articulación del hombro y de la extensión del brazo. El movimiento de los miembros del cuerpo en un sistema inmóvil de coordenadas, generalmente puede representarse como la suma de los movimientos de arrastre y relativo. Por ejemplo, el movimiento de la articulación del hombro en el espacio puede

analizarse como movimiento de arrastre, y el movimiento de la mano y la bala respecto al hombro, como relativo.

Naturalmente, la velocidad del miembro de trabajo será la mayor, si las velocidades de los movimientos de arrastre y relativo son las máximas. Por eso, para el logro de la velocidad máxima del miembro de trabajo es imprescindible una determinada concordancia en tiempo, de los movimientos de los diferentes miembros del cuerpo (fig. 4.5). Cada uno de estos miembros participa en el movimiento de rotación de esta articulación, que puede ser analizado como movimiento de arrastre. Por ejemplo, cuando se golpea un balón con el pie, la pierna se desplaza gracias a la extensión en la articulación de la rodilla (movimiento respecto al muslo y a la articulación de la rodilla), y gracias al movimiento del muslo y de la articulación de la rodilla misma (movimiento de arrastre).

El movimiento de rotación de los miembros del aparato locomotor humano está dado por:

- 1) la acción del momento de la fuerza de tracción de los músculos que pasan por la articulación; por ejemplo, sus extensores y flexores;
- 2) el movimiento acelerado de la articulación misma. Este movimiento está ,. provocado por la fuerza, cuya línea de acción pasa por el eje articular (la denominada fuerza articular, fig. 1.80.6)

Si la articulación estuviera inmóvil, claro está que entonces no surgiría movimiento respecto al eje bajo la acción de esta fuerza; pues es imposible balancear un columpio presionando sobre su eje. Pero si el eje se desplaza bajo la acción de la fuerza, entonces el miembro colgado rota alrededor de él. Los inválidos con prótesis de la pierna más arriba de la articulación de la rodilla, realizan la flexión y extensión de la prótesis de la pierna durante la marcha, gracias a la acción de esta fuerza (ya que no existen ni la articulación de la rodilla ni sus músculos). En el individuo sano, la pierna se mueve durante la marcha gracias tanto a los movimientos de la rodilla, como a la fuerza de tracción muscular de dicha

articulación. Con frecuencia, a este tipo de movimiento de rotación se le denomina latigazo en la práctica deportiva. Se emplea ampliamente en los movimientos rápidos con desplazamiento de cuerpos externos. La ejecución de latigazo de los movimientos está basada en que la articulación proximal primero se mueve rápidamente en el sentido del lanzamiento o del golpe, y después se frena bruscamente. Esto provoca un movimiento de rotación rápido del miembro distal del cuerpo. En la figura 4.7 se muestra cómo se mueve sucesivamente la onda de estas aceleraciones negativas, desde los miembros inferiores hacia los superiores durante el lanzamiento.

Durante la ejecución de los movimientos con latigazo, los máximos de velocidad relativa y de arrastre no coinciden en tiempo; es decir, los movimientos se ejecuten de forma diferente a como se muestra en la figura 10.5. En realidad, el frenaje de los miembros proximales (por ejemplo, del tronco y el brazo en la figura 4.7), claro está, hace que disminuya la velocidad de dichos miembros. Sin embargo, esto aumenta la velocidad (relativa) de los miembros distales, ya que, a pesar de la disminución de la velocidad de arrastre, la velocidad absoluta del miembro final, que es igual a la suma de las velocidades relativa y de arrastre, puede resultar mayor. En el caso del desplazamiento de cuerpos con impulso (lanzamientos, proyecciones, etc.) el incremento de la velocidad del implemento se produce, frecuentemente, en tres etapas:

1. La velocidad se comunica a todo el sistema deportista-implemento, por lo cual el sistema recibe una determinada cantidad de movimiento (carrera de impulso en el lanzamiento de la jabalina, giros en el lanzamiento del disco y el martillo, etc).
2. La velocidad se comunica solo a la parte superior del sistema deportista- implemento; al tronco y al implemento (primera mitad del impulso final; en este momento ambas piernas están en contacto con el apoyo).
3. La velocidad se le comunica solo al implemento y al brazo que realiza el lanzamiento (segunda mitad del impulso final).

La velocidad de salida del implemento es la suma de las velocidades recibida por éste en cada una de las etapas señaladas. Sin embargo, los vectores de las velocidades del impulso previo y del impulso final, generalmente, no coinciden en su sentido, por eso su suma puede ser solo geométrica (según la regla del paralelogramo). Una parte considerable de la velocidad de la arrancada se pierde. Por ejemplo, los mejores batistas pueden realizar el ejercicio sin impulso y alcanzar 19 m, lo que corresponde a una velocidad de salida del implemento alrededor de 13 m/s . En el deslizamiento ellos le comunican a la bala una velocidad de hasta $2,5 \text{ m/s}$. Si estas velocidades se pudieran sumar aritméticamente, entonces la velocidad de salida de la bala sería igual a $13 + 2,5 = 15,5 \text{ m/s}$, lo que daría un resultado de alrededor de 26 m: aproximadamente 4 m por encima del récord mundial.

Para incrementar la velocidad de salida del implemento se trata de aumentar el espacio de acción sobre éste durante el impulso final. Por ejemplo, en los batistas más destacados, a nivel mundial (finalistas de los juegos olímpicos) la distancia entre la bala y el suelo disminuyó desde 105 cm en 1960, hasta 80 cm en 1976. Para incrementar el espacio de acción sobre el implemento se emplea el denominado *retraso de los miembros* (Fig. 4.8).

LA PRECISION EN LOS MOVIMIENTOS CON DESPLAZAMIENTO DE CUERPOS EXTERNOS.

Como precisión del movimiento se entiende el grado en que éste se acerca a los requisitos de la tarea motora. En sentido general, cualquier movimiento puede ser ejecutado solo en el caso en que sea lo suficientemente preciso. Si, por ejemplo, durante la marcha el sujeto ejecuta los movimientos de manera muy imprecisa, entonces no cumplirá la tarea motora, no andará. Sin embargo, aquí nos referiremos a la precisión en un sentido más estrecho de la palabra: a la precisión de; miembro de trabajo del cuerpo (por ejemplo, la

mano) o del implemento dirigido por esta mano (el arma de esgrima, el balón, la pluma de escribir).

Se distinguen dos tipos de tareas de precisión. En la primera es imprescindible garantizar la precisión del movimiento en toda su trayectoria (ejemplo: un programa obligatorio en patinaje artístico, donde se requiere que la huella del patín sea una figura geométrica ideal). Tales tareas motoras se denominan *tareas de seguimiento*. En el segundo tipo de tareas, no importa cuál sea la trayectoria del punto de trabajo o del implemento, lo principal es dar en un determinado blanco (en la diana, en la portería, en la parte permitido del cuerpo del adversario), Estas tareas motoras se denominan *tareas de impacto*; y la precisión, precisión de impacto. La precisión de impacto se caracteriza por la magnitud de la desviación a partir, del blanco. En dependencia del tipo concreto de tarea motora se emplean diferentes formas para valorar la precisión. Si se plantea, por ejemplo, la tarea de lanzar un balón a una determinada distancia y el error puede expresarse solo conociendo si sobrepasó ese punto o no se llegó a él (las desviaciones a la derecha o a la izquierda no tienen importancia), entonces, cuando se realicen una gran cantidad de tiros el balón no ya a caer, claro está, siempre en el mismo lugar. En tal caso el punto medio de impacto puede desviarse del centro de la diana. Esta desviación se denomina *error sistemático* de impacto. Además, los lugares de caída del balón estarán algo dispersos respecto al punto medio de impacto (fig. 10.9). Por la balística conocemos que esta dispersión se subordina a la ley de la distribución normal. La distribución normal se caracteriza por la magnitud media y la desviación estándar (media cuadrática). La desviación estándar indica la magnitud del *error casual* de impacto. La magnitud inversa a la desviación estándar se denomina *agrupación* de impacto. El error sistemático y la agrupación, juntos caracterizan la precisión de impacto. Si el error sistemático es igual a cero (es decir, si el deportista acierta al centro. de la diana) entonces solo la agrupación caracteriza la precisión de impacto. Cuando tienen valor las desviaciones a partir del centro de la diana no solo de adelante-atrás (arriba-abajo), sino también a la derecha a

la izquierda (por ejemplo en el tiro deportivo o en los tiros a la portería), se distinguen la precisión horizontal y la precisión vertical. Para valorar cada una de ellas hay que conocer el error sistemático y el error casual, es decir, los cuatro indicadores.

Con frecuencia resulta más cómodo valorar la precisión por el número de intentos exitosos: impactos a la diana. Si el error sistemático es conocido (en particular, si es igual a cero) entonces, empleando tablas estadísticas, de distribución normal, a partir del porcentaje de impactos es fácil calcular la magnitud del error estándar.

Las desviaciones desde el centro de la diana hacia la derecha y hacia la izquierda dependen del azimut; y las desviaciones hacia adelante-hacia atrás (hacia abajo-hacia arriba), dependen del ángulo de situación y de la velocidad de salida del implemento. En tal caso el implemento alcanza el objetivo solo cuando existe una correlación rigurosamente determinada del ángulo y de la velocidad de salida. La variación de una de estas características, aunque la otra mantenga valor constante, conduce a error. Las investigaciones han demostrado que la dificultad fundamental en el logro de la precisión del impacto precisamente consiste en el hecho de garantizar una correcta combinación del ángulo y la velocidad de salida. Por ejemplo, las desviaciones (dispersión) de las características iniciales de salida del balón (ángulo y velocidad) en los baloncestistas francotirador son las mismas que en aquellos que no se distinguen por una alta precisión de los tiros. Pero en los primeros un ángulo elegido de salida está en correspondencia con la velocidad; y en los segundos, no.

En el logro de una alta precisión de impacto desempeña un papel sustancial la técnica de ejecución del ejercicio, en particular una organización de movimientos tal que facilite la corrección de los errores cometidos en el transcurso del intento. Como semejante corrección se produce antes de que esté claro el desenlace final de la acción, se le denomina corrección previa o preliminar. Por ejemplo, durante la ejecución de los tiros desde diferentes distancias en baloncesto, una gran parte de la velocidad de salida del balón se

desarrolla mediante el movimiento de las piernas; los brazos, por el contrario, aseguran las correcciones sutiles.

Es particularmente difícil lograr la precisión necesaria durante las acciones de choque. Por ejemplo, en fútbol, en el tiro desde los 20 m basta equivocarse solo en 1 cm en el punto de aplicación de la patada, para que el balón se desvíe casi 2 m del objetivo. Por eso son más precisos los golpes que se ejecutan sobre un área relativamente grande de contacto con el balón. Así vemos que cuando la patada se realiza con la parte interna del pie (barriendo) es más fácil lograr la precisión debida, que cuando se golpea con la punta del pie. Lo más difícil es lograr una gran precisión cuando se golpea a una pelota en movimiento. El fundamento biomecánico de estas dificultades consiste en lo siguiente.

Una pelota, al golpearse contra un plano formando cierto ángulo, rebota aproximadamente con el mismo ángulo. Por consiguiente, si interceptamos la pelota con la raqueta colocada verticalmente en diferentes tramos de la trayectoria, entonces el rebote se producirá de manera diferente en cada caso (fig. 4.10). Para devolver la pelota en el sentido necesario (sin golpearla), hay que colocar la raqueta (o el pie, en el caso de fútbol) perpendicularmente a la línea que divide aproximadamente en dos el ángulo entre la dirección del vuelo de la pelota antes y después del rebote (Fig. 4.11).

Durante las acciones de choque, a la velocidad inicial de la pelota se agrega la velocidad suministrada por el choque. Ellas se suman geoméricamente (según la regla del paralelogramo). Como resultado, la pelota después del choque se mueve en una dirección que no es la de la acción de la fuerza de choque. La pelota acierta al objetivo solo en el caso en que la dirección y la fuerza del choque correspondan rigurosamente a la dirección y a la velocidad de la pelota que vuela. Es difícil lograr tal correspondencia. La precisión de impacto disminuye cuando se incrementa considerablemente la velocidad de los movimientos. Pequeñas oscilaciones de la velocidad, de intento en intento, no influyen en la precisión de impacto. La precisión de impacto depende también de la distancia y de la dirección del objetivo.

FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DEL CHOQUE.

En mecánica se denomina choque a la interacción breve de cuerpos, como resultado de la cual varían bruscamente las velocidades de ambos. Durante tales interacciones surgen fuerzas tan grandes que es posible despreciar la acción de todas las restantes fuerzas.

Son ejemplos de choque:

- los golpes a un balón, a un disco (en jockey sobre hielo). En este caso se produce una rápida variación del módulo y la dirección de la velocidad. Semejantes choques con el subsiguiente rebote con frecuencia se encuentran en los movimientos deportivos con desplazamiento de cuerpos externos;
- la caída después de los saltos y las salidas de los aparatos (la velocidad del cuerpo del deportista desciende bruscamente a cero). Es particularmente conveniente analizar la caída como un choque si se produce sobre las piernas extendidas o está relacionada con el descenso;
- la salida de la flecha del arco, la salida del acróbata de la cuña en el circo, etcétera. Aquí la velocidad antes del comienzo de la interacción es igual a cero, y posteriormente aumenta con brusquedad.

La variación de las fuerzas de choque respecto al tiempo se produce aproximadamente como se muestra en la figura 4.12. Al principio, la fuerza se incrementa rápidamente hasta su valor máximo y después decrece hasta cero. Su valor máximo puede ser muy grande. Sin embargo, la medida fundamental de la interacción de choque no es la fuerza, sino el impulso de choque, que es numéricamente igual al área sombreada bajo la curva. Puede ser calculado como la integral:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$$

donde S es el impulso de choque, $\int_{t_1}^{t_2}$ es el símbolo de integración, t_1 y t_2 es el tiempo de inicio y final del choque, $F_{(t)}$ es la dependencia de la fuerza de choque F respecto al tiempo t .

Durante el tiempo de choque, la velocidad del cuerpo (por ejemplo, de la pelota) varía en un determinado módulo. Esta variación es directamente proporcional al impulso de choque e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. En otras palabras, el impulso de choque es igual a la variación de la cantidad de movimiento del cuerpo.

La sucesión de los fenómenos mecánicos durante el choque es la siguiente: al principio se produce la deformación de los cuerpos, durante la cual la energía cinética del movimiento se convierte en energía potencial de deformación elástica; posteriormente la energía potencial se transforma en cinética. En dependencia de qué parte de la energía potencial se convierta en cinética y cuál se disipe como calor, se distinguen tres tipos de choque:

1. Choque completamente elástico: toda la energía mecánica se conserva. Este tipo de choque no existe en la naturaleza (durante el choque, siempre una parte de la energía mecánica se transforma en calor). Sin embargo, en algunos casos, los choques, por ejemplo, de las bolas de billar, se asemejan a los choques completamente elásticos.
2. Choque inelástico: la energía de deformación se transforma completamente en calor. Ejemplo: la caída en los saltos y en las salidas de los aparatos, el choque de una pelota de plastilina contra la pared, etcétera. En el choque inelástico, las velocidades de los cuerpos interactuantes son iguales después del choque (los cuerpos se unen).
3. Choque no completamente elástico: solo una parte de la energía de deformación elástica se convierte en energía cinética de movimiento.

Newton propuso caracterizar el choque no completamente elástico mediante el denominado coeficiente de recuperación. Este es igual a la relación entre las velocidades de los cuerpos

interactuantes antes y después del choque. El coeficiente de recuperación puede medirse así: lanzar una pelota sobre una superficie horizontal dura, medir la altura de caída de la pelota (h_o) y la altura a que rebotó (h_k). El coeficiente de recuperación es igual a:

$$c = \sqrt{\frac{h_k}{h_o}} = \frac{v \text{ después del choque}}{v \text{ antes del choque}}$$

El coeficiente de recuperación depende de las propiedades elásticas de los cuerpos en colisión. Por ejemplo, será diferente durante el choque de la pelota de tenis con diferentes sucios y raquetas de diferentes tipos y calidad. El coeficiente de recuperación depende también de la velocidad de la interacción de choque: cuando aumenta la velocidad disminuye el coeficiente. Por ejemplo, según las patentes internacionales la pelota de tenis, lanzada contra una superficie dura desde una altura de 2 m 54 cm (100 pulgadas), debe rebotar a una altura de 1,35-1,47 m (el coeficiente de recuperación es de 0,73-0,76). Pero si se la lanza, digamos, desde una altura 20 veces mayor, entonces, incluso sin resistencia del aire, el rebote nunca será 20 veces mayor. En dependencia de la dirección del movimiento de la pelota, antes de la colisión, se distinguen los choques directo y oblicuo; y en dependencia de la dirección del impulso de choque, los choques central y tangencial.

En el choque directo, la dirección del vuelo de la pelota, antes de la colisión, será perpendicular al plano del cuerpo que golpea o del obstáculo. Por ejemplo, la caída de una pelota desde arriba hacia una superficie horizontal. En este caso, la pelota, después del rebote, volará en sentido contrario. En el choque oblicuo, el ángulo de acercamiento (fig. 4.13) Es distinto que cero. En el choque idealmente elástico los ángulos de acercamiento y de rebote son iguales. En los choques reales (no completamente elásticos) el ángulo de rebote es mayor que el ángulo de acercamiento, y la

velocidad, después del rebote contra un obstáculo inmóvil, es menor que antes del choque.

El choque central se caracteriza por el hecho de que el impulso de choque pasa por el CM de la pelota. En este caso, la pelota vuela sin rotar. En el choque tangencial el impulso de choque no pasa por el CM de la pelota: la pelota, después de la colisión, vuela con rotación (fig. 4.14). Como ya señalamos anteriormente, la rotación de la pelota hace variar la trayectoria de su vuelo, También hace variar el rebote de la pelota (ver. fig. 4.13). Por ejemplo, en el tenis de mesa la velocidad de traslación de la pelota con efecto, con frecuencia es mayor después del rebote que antes de ponerse en contacto con la mesa: una parte de la energía cinética de rotación se convierte en energía del movimiento de traslación (ver dirección de la componente horizontal de las fuerzas de reacción de apoyo cuando existen diferentes sentidos de rotación de la pelota en la Fig. 4.13c,d).

En el choque central de dos cuerpos elásticos (por ejemplo, dos bolas de billar) la cantidad de movimiento en el sistema de estos cuerpos se mantiene constante:

$$\mathbf{m}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{m}_2 \mathbf{v}_2 = \mathbf{m}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{m}_2 \mathbf{u}_2 = \text{const.}$$

donde m_1 y m_2 son las masas del primero y segundo cuerpos; v_1 y v_2 sus velocidades antes del choque; u_1 y u_2 son sus velocidades después del choque. Si la velocidad de uno de los cuerpos antes del choque es igual a cero, entonces después del choque será:

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1$$

En la fórmula vemos que la velocidad después del choque será tanto mayor, cuanto mayores sean la velocidad y la masa del cuerpo que realice el choque (cuerpo de choque). En los casos más complejos (choque no central o no completamente elástico) el cuadro es más complicado, sin embargo, también en ellos la velocidad después del choque será tanto mayor, cuanto mayores sean la masa de choque y la velocidad del cuerpo que realiza la colisión.

BIOMECANICA DE LAS ACCIONES DE CHOQUE

En biomecánica se denominan acciones de choque a aquellas, cuyos resultados se alcanzan mediante un choque mecánico. En las acciones de choque se distinguen:

1. El impulso: es el movimiento que precede al movimiento de choque y que conduce al incremento de la distancia entre el miembro de choque del cuerpo y el objeto sobre el que se golpeará. Esta fase es la más variable.
2. El movimiento de choque: desde el final del impulso hasta el comienzo de la colisión.
3. La interacción de choque (o choque propiamente dicho): es la colisión de los cuerpos que participan en el choque.
4. El movimiento posterior al choque: es el movimiento del miembro, de choque del cuerpo, después que ha cesado el contacto con el objeto al cual se le aplicó el golpe.

Ya señalamos que durante el choque mecánico la velocidad del cuerpo (por ejemplo, de la pelota) después del choque es tanto mayor, cuanto mayor sea la velocidad del miembro que golpea inmediatamente antes de la colisión. En los choques en el deporte esta dependencia no es obligatoria. Por ejemplo, en el saque de tenis un incremento de la velocidad de movimiento de la raqueta puede

conducir a una disminución de la velocidad de salida de la pelota (fig. 4.15), ya que la masa de choque durante los golpes realizados por el deportista no es constante: ella depende de la coordinación de sus movimientos. Si, por ejemplo, se ejecuta el golpe gracias a la flexión de la mano o con la mano relajada, entonces con la pelota interactuará solo la masa, de la raqueta y de la mano. Pero si, por el contrario, en el instante del golpe el miembro que lo realiza está fijo gracias a la actividad de los músculos antagonistas y conforma como si dijéramos un cuerpo rígido íntegro, entonces en la interacción de choque participará la masa de todo este miembro.

A veces, el deportista da dos golpes con una misma velocidad, pero la velocidad de salida de la pelota o la fuerza del choque resultan diferentes. Esto se produce debido a que la masa de choque no es igual. La magnitud de la masa de choque puede utilizarse como criterio de la efectividad de la técnica de los golpes. Como es muy complicado calcular la masa de choque, se le calcula así:

$$\left(\frac{\text{La efectividad de la}}{\text{interacción de choque}} \right) = \frac{\text{la velocidad de la pelota después del choque}}{\text{la velocidad del segmento que realiza el choque antes de este}}$$

Este indicador es diferente en los diferentes tipos de choque. Por ejemplo, en fútbol varía de 1,20 a 1,65. También depende del peso del deportista. Algunos deportistas que poseen un golpe muy fuerte (en boxeo, voleibol, fútbol, etc.), no se distinguen por una gran fuerza muscular. Pero saben comunicar una gran velocidad del segmento que realiza el golpe y en el instante de la colisión saben interactuar con una gran masa con el cuerpo golpeado.

Muchas acciones deportivas de choque no pueden ser analizadas como un *choque puro*, cuyo fundamento hemos expuesto en el epígrafe anterior. En la teoría del choque, en mecánica se presupone que el choque transcurre tan rápidamente y que las fuerzas de choque son tan grandes que todas las restantes fuerzas pueden despreciarse. En el deporte, en muchas acciones de choque esto no es permisible. El tiempo de la colisión en ellas, aunque es corto (tabla 4.1), de todas formas no se puede despreciar; el espacio de la

interacción de choque, durante el cual se mueven juntos los cuerpos interactuantes, puede alcanzar los 20-30 cm.

Por eso, en las acciones de choque deportivas, en principio, puede variar la cantidad de movimiento durante la colisión, debido a la acción de fuerzas no relacionadas con el choque mismo. Esto resulta fácil de explicar con el siguiente ejemplo: imaginemos que un automóvil, que va a una velocidad de 30 km/h choca contra un obstáculo en movimiento. En tal caso, son posibles tres situaciones:

1. El automóvil va con el motor y el freno desconectados (en punto muerto). En el sistema *automóvil-obstáculo* actúan solo las fuerzas de choque.
2. El motor está conectado y, más aún, el automóvil se mueve con aceleración. Entonces, al final del choque su velocidad será mayor que al principio; la cantidad de movimiento (impulso) del sistema se incrementa, y sobre el cuerpo colisionado actuará, además, una fuerza complementaria provocada por la acción del motor del automóvil.
3. El motor está desconectado, pero el sistema de frenos está conectado. La velocidad y la cantidad de movimiento del automóvil disminuirán debido a los frenos conectados.

Lo descrito puede compararse con la acción de los músculos del hombre durante los choques. Si el miembro de choque, durante la colisión se acelera complementariamente como resultado de la actividad de los músculos, el impulso de choque y, por consiguiente, la velocidad de salida del implemento se incrementarán (fig. 4.16); si se frena voluntariamente, el impulso de choque y la velocidad de salida disminuirán (esto se hace necesario cuando los movimientos de choque son cortos y de gran precisión, como, por ejemplo, pasar el balón a un compañero). Algunos movimientos de choque, en los cuales es muy grande el incremento complementario de la cantidad de movimiento durante la colisión, son, en realidad, algo intermedio entre los lanzamientos y los choques (así, a veces, se ejecuta el segundo pase en voleibol).

La coordinación de los movimientos en los choques de máxima fuerza se subordina a dos requisitos:

1. Comunicar la mayor velocidad al miembro que golpea hacia el instante del contacto con el cuerpo golpeado. En esta fase del movimiento se utilizan las mismas formas de incremento de la velocidad que en los restantes movimientos con desplazamiento de cuerpos externos;
2. Incrementar la masa de choque en el instante de la colisión. Esto se logra mediante el reforzamiento de los diferentes miembros del segmento que golpea, incorporando simultáneamente a los músculos antagonistas (mostrado por primera vez por el Prof. L. V. Chjaidze en 1939) e incrementando el radio de rotación. Por ejemplo, en boxeo y en kárate la fuerza del golpe con la derecha se incremento casi al doble, si el eje de rotación pasa cerca de la articulación humeral izquierda,, en comparación con los golpes en los cuales el eje de rotación coincide con el eje longitudinal central del cuerpo.

El tiempo del choque es tan corto que es imposible corregir los errores cometidos. Por eso, la precisión del golpe se garantiza, en gran medida, por las acciones correctas durante el impulso y el movimiento de choque. Por ejemplo, en fútbol, el lugar de colocación de la pierna de apoyo determina, en los novatos, la precisión de impacto en un 60-80% (G. A. Smirnov).

La táctica de los juegos con pelotas, con frecuencia, exige tiros inesperados para el adversario (escondidos). Esto se logra mediante la realización de los tiros sin preparación (a veces, incluso, sin impulso), después de movimientos de engaño (fintas), etc. Las características biomecánicas de los choques varían en tales casos, ya que se ejecutan, generalmente, gracias a la acción de solo los segmentos distales (golpes de mano).

CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS DE LA CUALIDAD DE RESISTENCIA

Bibliografía: Biomecánica de las cualidades motoras, conferencia elaborada por la Sección de Biomecánica del ISCF.

Cuando el hombre ejecuta cualquier tarea motora la suficientemente prolongada, siempre tendrá que ver con tres variables fundamentales :

1.La intensidad de la tarea a ejecutar, que se representa por una de las siguientes

magnitudes mecánicas :

- a) la velocidad del deportista. Por ejemplo., en la carrera.
- b) La potencia. Por ejemplo „durante el pedaleo en el velergómetro.
- c) La fuerza.,Por ejemplo, durante la sustentación de un peso.

2.El volumen de la tarea motora ejecutada, representado por una de las siguientes

magnitudes mecánicas.:

- a) la distancia recorrida. Por ejemplo, en la carrera.
- b) el trabajo realizado. Por ejemplo. Durante la rotación de los pedales en el velergómetro.
- c) el impulso de la fuerza. Por ejemplo. En el despegue.

3.El tiempo de ejecución.

Estos son los tres indicadores ergométricos fundamentales para la medición de la resistencia: conjunto de métodos cuantitativos para la medición de la capacidad de trabajo del hombre.

Siempre se da uno de los indicadores ergométricos como parámetro de la tarea motora, los dos restantes se miden. Por ejemplo, en la carrera de 5000 m, la distancia se da previamente (parámetro), el tiempo y la velocidad media, se miden. (parámetro : cantidad que intervienen en una ecuación y a la cual puede atribuirse la magnitud deseada).

Otro ejemplo, en la carrera con una velocidad “hasta el rechazo”, se da la velocidad máxima (parámetro) y se miden la distancia y la velocidad.

LA FATIGA es la disminución temporal de la capacidad de trabajo, provocada por el trabajo mismo. Existen varios tipos de fatiga: mental, sensorial, física (provocada por la actividad muscular). En Biomecánica sólo se analiza la fatiga muscular

Durante el trabajo muscular, la fatiga atraviesa por dos fases :

1. Fase de fatiga compensada, donde a pesar de que se incrementan las dificultades, el deportista mantiene la intensidad de la tarea motora en el nivel anterior. Por ejemplo, la velocidad en la natación.
2. Fase de fatiga descompensada, en la cual el deportista, a pesar de todos sus deseos, no puede mantener la necesaria intensidad en la ejecución de la tarea motora.

La fatiga se manifiesta en sensaciones subjetivas específicas, en muchos cambios fisiológicos y bioquímicos objetivos. También se pone de manifiesto en los indicadores biomecánicos (motores) de forma evidente.

Durante la fatiga compensada, la velocidad de desplazamiento no disminuye (u otro indicador de la intensidad). Si una característica disminuye, otra aumenta de modo que se mantiene el nivel de intensidad. Por ejemplo, si la longitud de los pasos disminuye, la frecuencia aumenta y la velocidad se mantiene.

La fatiga disminuye los indicadores de velocidad-fuerza. Hasta un nivel conocido se compensa esta disminución con la variación de la técnica de los movimientos.

Las variaciones de la técnica de los movimientos durante el estado de fatiga tienen un naturaleza doble :

1. variaciones (provocadas por la fatiga) y reacciones de adaptación que deben compensar estos cambios.
2. disminución de las posibilidades funcionales del deportista (en particular de velocidad-fuerza).

Una vez vistos los indicadores ergométricos fundamentales de la resistencia y la influencia de la fatiga en la capacidad de trabajo podemos definir la resistencia. Si se ejecuta una misma tarea por diferentes personas, las señales de la fatiga aparecerán en cada uno de ellos en diferentes momentos. La causa de esto es el diferente nivel de resistencia. Luego, podemos decir que :

LA RESISTENCIA ES LA CAPACIDAD DE CONTRARRESTAR LA FATIGA.

El rasero fundamental para medir la resistencia es el tiempo durante el cual el individuo es capaz de mantener una intensidad dada de la tarea motora (V.S. Farfell, 1937).

Para medir la resistencia se pueden emplear otros indicadores ergométricos, en correspondencia con los vistos anteriormente. Analicemos dos ejemplos :

1. Ejercicio de fuerza acostado, levantar “hasta el rechazo” una palanqueta de 50 kgf.

- Si despreciamos el nivel de fuerza máxima de los deportistas, entonces los más resistentes son los que puedan levantar la palanqueta un mayor número de veces .
- Si se tiene en cuenta que la fuerza máxima para todos los deportistas no es igual, entonces veremos que sobre el resultado obtenido influye no solo el diferente nivel de resistencia de los sujetos, sino también sus diferentes posibilidades de fuerza.
- Es posible eliminar esta influencia poniendo en la palanqueta el mismo por ciento de la fuerza máxima de cada atleta.

2. Dos corredores A y B corren 800 m. El resultado de A es 2 min. 10 s. El resultado de B de 2 min. 15 s. Luego A es más resistente que B

Supongamos que A y B corren 100 m. Y los resultados son 10,5 s y 15,0 s respectivamente.

Si tenemos en cuenta el nivel de velocidad que poseen los deportistas, calculando el tiempo teórico que harían de correr cada tramo de 800 m con el mismo tiempo alcanzado en los 100m, obtendríamos 84 s para A y 120 s para B.

Como vemos, el tiempo calculado para A discrepa mucho de su resultado real en 800 m, mientras que para B estos valores son más semejantes. Luego :

- Si no se tiene en cuenta el nivel de la velocidad máxima de los deportistas, entonces A es más resistente.
- Si se tiene en cuenta sus posibilidades de velocidad, entonces B será más resistente.

De estos ejemplos se ve la causa que condiciona los dos tipos de indicadores de la resistencia:

1. Indicadores PATENTES (o absolutos): no tienen en cuenta el desarrollo de las cualidades de fuerza y velocidad.
2. Indicadores LATENTES (o relativos) : tienen en cuenta el desarrollo de las cualidades de fuerza y velocidad.

Todos los indicadores latentes de la resistencia se basan en la comparación de los indicadores ergométricos en una tarea motora dada con lo alcanzado en otras tareas motoras. Veamos algunos indicadores latentes de resistencia:

1.Coeficiente de resistencia: Relaciona el tiempo para recorrer toda la distancia con el tiempo para recorrer cualquier tramo (patrón) de la misma.

$$CR = \frac{t_d}{t_p} \quad \text{donde } t_d \text{ tiempo de recorrido de la distancia y } t_p: \text{ mejor tiempo en un tramo corto (distancia patrón).}$$

Ejemplo : Si $t_d = 48$ s en 400 m y $t_p = 11$ s en 100 m, entonces

$$CR = \frac{48}{11} = 4,36$$

Mientras más se acerque CR a la relación entre las distancias (4 en este caso), mejor será la resistencia

2. Reserva de velocidad : Diferencia entre el tiempo promedio para recorrer el tramo patrón durante el recorrido de toda la distancia, y el mejor tiempo en ese tramo.

$$RV = \frac{t_d}{n} - t_p \quad \text{donde } n = \text{ distancia total } \setminus \text{ distancia patrón.}$$

Utilizando los datos del ejercicio anterior : $n = 4$, luego

$$RV = \frac{48}{4} - 11 = 1.s$$

Mientras menor sea RV, mayor será la resistencia.

Los entrenadores de los deportes cíclicos deben tener en cuenta estos indicadores, ya que los ayudan a determinar los aspectos débiles en

la preparación de los alumnos y a detectar qué deben desarrollar: la resistencia o la velocidad.

La resistencia como cualidad motora se encuentra íntimamente relacionada con el aprovechamiento racional de las reservas energéticas del deportista, es decir, con la economía de la técnica deportiva.

∴

∴

La economía de la técnica deportiva.

Si durante la ejecución de una tarea motora medimos la demanda de energía en diversos deportistas, veremos que sus magnitudes resultan extremadamente diferentes.

La economía del trabajo se valora con ayuda de coeficientes que relacionan la magnitud del trabajo ejecutado con las magnitudes de las energías gastadas en su realización.

Los más usados son los tres siguientes :

1. Coeficiente bruto: $K_1 = \frac{A}{E}$ Donde A: trabajo, E: energía (Julios).

2. Coeficiente neto: $K_2 = \frac{A}{E - E_n}$, E_n : Energía que consume el organismo en reposo.

3. Coeficiente delta: $K_3 = \frac{A_2 - A_1}{E_2 - E_1}$, Se comparan las magnitudes del trabajo ejecutado y del gasto energético en dos tareas motoras diferentes en intensidad.

Estos coeficientes analizan sólo los resultados extremos de las tareas motoras y son aplicables durante el análisis de tareas de tipo semejante.

La economía de la técnica deportiva depende de dos grupos de factores :

1. Fisiológicos y biológicos (en particular los procesos mediante los cuales se garantiza el suministro de energía, aerobio y anaerobio).
2. Biomecánicos.

Desde el punto de vista biomecánico, existen dos vías para mejorar la economía de los movimientos en ejercicios que requieren de una gran resistencia:

1. Disminución de las magnitudes del gasto energético en cada ciclo, por las siguientes formas :
 - a) eliminando los movimientos innecesarios,
 - b) eliminando las contracciones musculares innecesarias,
 - c) disminuyendo las oscilaciones de la velocidad dentro de cada ciclo,
 - ch) disminuyendo la resistencia externa,
 - d) eligiendo correctamente la correlación óptima entre la fuerza de acción y la velocidad de los movimientos de trabajo,
 - e) eligiendo la correlación óptima entre la longitud y la frecuencia de los pasos.
- 2) recuperación de la energía, es decir, transformación de la energía cinética en potencial y viceversa:
 - a) La energía cinética del movimiento puede transformarse en energía potencial gravitatoria.
 - b) La energía cinética del movimiento se transforma en energía de deformación elástica

de los músculos, y la energía potencial acumulada se transforma parcialmente de

nuevo en trabajo, se utiliza para comunicarle velocidad al cuerpo y para elevarlo.

DE LA CUALIDAD MOTRIZ FLEXIBILIDAD.

Autores: MSc. Luis Cortegaza Fernández,
MSc. Celia María Hernández Prado y
MSc. Eugenio Doria de la Terga.

Desde épocas remotas en la etapa esclavista, el sabio griego Sócrates veía la importancia de la flexibilidad o movilidad humana cuando señalaba "Ahí donde retrocede la elasticidad avanza la vejez" ("El deporte en la URSS 1984").

Dentro de este término se abordan las propiedades morfológicas y funcionales del aparato osteo-muscular y particular de diferentes movimientos del atleta. (Plotav 1982).

Conceptualmente por capacidad de flexibilidad se entiende a "toda la amplitud de movimientos de cada articulación".

Los índices potenciales de la flexibilidad, a diferencia de otras capacidades están determinados en gran medida por factores de carácter morfo-funcional y biomecánicos aunque algunos autores sostienen hipótesis diferentes, condicionando el desarrollo de la flexibilidad a elementos del desarrollo físico del hombre como son factores hereditarios, el medio social y natural.

Shuts (1978) señala el factor genético como elemento fundamental, señalando que sus investigaciones han arrastrado que de padres a hijos se transmiten características similares de la elasticidad muscular como base de la flexibilidad, hipótesis según criterios sustentados sobre bases muy elementales y no compartida por la mayoría de los investigadores y metodólogos valorados. También se observan otras teorías que dan relevancias al medio natural o geográfico donde se desarrolla el individuo, donde se señalan algunas investigaciones que demuestran que los individuos de los países asiáticos son más flexibles que los habitantes de otros continentes producto de altos consumos históricos de una dieta rica en vegetales y pescado que contiene alto contenido de fósforo y vitaminas ("El deporte en la URSS 1984).

Estos puntos de vista a pesar del poco rigor científico en que se sustentan; ofrecen hipótesis interesantes que deben ser objetos de investigaciones posteriores; pero entendemos que los factores fundamentales que influyen en el desarrollo son, como se planteaba anteriormente, las vinculaciones, aspectos morfo – funcionales, biomecánicos y metodológicos. Dentro de estos factores tenemos:

- Estructura morfo-funcional de las articulaciones fundamentalmente de la estructura y los grados de libertad que poseen estas.
- Aspectos biomecánicos como son : Carreras, ritmos, ángulos donde se ejecutan los movimientos.

Características musculares y neurofisiológicas como son: Elasticidad, tensión tónica, coordinación intramuscular e intermuscular, etc.(Grosser 1985).

- Edad y sexo del atleta.

- Factores físico y Psíquico del atleta, (estado de sobre carga, alteraciones psíquicas, fatiga, musculatura contraída por ejercicios de fuerza, etc)
- Metodología utilizada para el desarrollo de la flexibilidad y el entrenamiento utilizado para preparar el organismo.
- Horario y temperatura ambiental en el momento de ejecutar las cargas de flexibilidad.

IMPORTANCIA DE LA FLEXIBILIDAD COMO CUALIDAD

- 1.- Permite limitar en gran medida el número de lesiones.
- 2.- Facilita el aprendizaje de las técnicas deportivas.
- 3.- Incrementa las posibilidades de otras capacidades físicas como son: fuerza, rapidez y resistencia.
- 4.- Garantiza la amplitud de los movimientos técnicos, le economiza desplazamientos, repeticiones, etc.
- 5.- Permite ganar en elegancia y fijación de los segmentos corporales fundamentalmente en los deportes de apreciación cuyo objetivo fundamental es la calidad estética de los movimientos.

ANALISIS MORFO-FUNCIONAL Y BIOMECANICO DE LA FLEXIBILIDAD:

La movilidad humana solo es posible mediante el trabajo **articular Shuts** (1978) que son el sistema de bisagras con gran movilidad de las posibilidades de extensión de los ligamentos,

las posibilidades de la lubricación y de la influencia de fuerza de los músculos.

Otro aspecto importante es la estructura de las articulaciones y sus posibilidades en cuanto a los grados de libertad de esta, que como se plantea se divide en tres, dos y un grado de libertad.

Las primeras son grandes articulaciones que poseen movimientos de flexión y extensión, rotaciones y circunducciones. Ej.: la articulación coxo-femoral. Las articulaciones de dos grados de libertad ejecutan flexiones, extensiones y torsiones como es la articulación cubital y las de un grado de libertad que solo ejecutan flexiones y extensiones.

Diversas investigaciones realizadas en la Facultad de Cultura Física de la Universidad de Matanzas que tenían como fin demostrar el desarrollo de la flexibilidad en diferentes planos musculares como son: **R. Ávila(1988)** en esgrimistas; **Y. Nápoles (1988)** en futbolistas y **J. Miranda (1989)** en atletismo, obtuvieron resultados que nos permiten afirmar que los grandes grupos articulares (de tres grados articulares) son los que más desarrollo adquieren durante el entrenamiento de esta capacidad y dentro de estos grandes grupos musculares se destaca como la que mayor desarrollo demuestra, la articulación coxofemoral (tabla 1)

Somos del criterio que en primer lugar esto está dado por la diversidad de movimientos que puede hacer esta articulación lo que hace que en corto tiempo se desarrolle y se complementen unos a otros dichos movimientos, por ejemplo cuando hacemos circunducción se desarrollan los músculos de la flexión y extensión y en segundo lugar por el ángulo que necesita barrer la articulación para lograr la máxima elongación posible

Pudiera pensarse en que este comportamiento musculatorio es análogo al comportamiento oscilatorio de un péndulo.

Por ejemplo:

En la elevación lateral de las piernas hasta llegar a tocar la cabeza, podemos considerar la pierna que se eleva como un péndulo físico que se separa de la posición de equilibrio (que es el punto donde se compensan todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo) y la pierna de apoyo permanece en la posición de equilibrio con elevación nula.

Además, en la vida cotidiana, en la actividad laboral, etc. esos planos, en ese ángulo no se utilizan lo que permite al ejercitarlo por primera vez provocar cambios significativos en el individuo.

A diferencia de estas articulaciones tenemos la articulación cubital de dos grados de libertad donde la estructura anatómica en mucho de los casos no permite sobrepasar la posición de equilibrio, ejemplo: durante la extensión del antebrazo no podemos rebasarla ya que de ocurrir, provocaría trauma óseo-articular.

Estas reflexiones nos permiten valorar insuficiencias de algunas de las pruebas o test tradicionales para medir la flexibilidad que por lo general determinan el grado de flexibilidad midiendo distancias lineales, por ejemplo de brazo a brazo, del tronco al suelo, etc.

Para este tipo de mediciones se recomienda mediciones de ángulos de movimiento en las articulaciones que recibe el nombre de goniometría y otra de las técnicas aún más exacta es la globo grafía.

Las mediciones de flexibilidad en distancias lineales por supuesto son menos exactas, pues en ellas influyen en mayor medida las dimensiones del cuerpo humano.

Ejemplo: La longitud de los brazos (en la flexión ventral o circunducción)

La longitud del tronco (cuando se mide de cada uno de los brazos y las piernas durante la ejecución de un puente). Por tanto, al emplearlos, hay que hacer las correcciones necesarias a modo de evitar que se introduzcan errores en las mediciones condicionales por las dimensiones del cuerpo. La flexibilidad angular lógicamente además de ser más exactas nos permite establecer una rigurosa comparación entre atletas de diferentes estaturas. Diversos son los elementos de carácter biomecánico que se pueden tener en cuenta para valorar los datos expuestos anteriormente.

La elasticidad, que es una propiedad fundamental de la flexibilidad de los atletas, puede ser explicada como el comportamiento de un resorte pues las propiedades imputadas a él son aplicables a la flexibilidad muscular.

La fuerza que puede ofrecer un cuerpo elástico deformado tiene su origen en las fuerzas que atraen entre sí los átomos del resorte, que son de carácter electromagnético (descrito por la **ley de Hooke**) cuando el resorte se deforma, la resultante de todas es las fuerzas elásticas que satisface la ley de **Hooke** $F = -kX$ donde X mide la posición del extremo del resorte con respecto a la posición que ocupa cuando no está deformado y k es una constante que depende de las dimensiones y del material del resorte.

Además de otras propiedades como viscosidad y contractibilidad, es decir, un músculo es a la vez un cuerpo

elástico contráctil y elástico viscoso. Aunque este modelo mecánico no satisface plenamente la realidad del experimento, se aproxima en buena medida a ella.

Se hace necesario realizar trabajos investigativos conducentes a encontrar un modelo temático que al cuantificar la fuerza muscular; este número, coincida exactamente con el resultado de la medición realizada por otros métodos, como pudiera ser la dinamometría entre otros.

De este modo que el entrenamiento sistemático para lograr el aumento de la flexibilidad del atleta es equivalente a cambiar la constante elástica (k) del músculo, modificando sus dimensiones, dada la imposibilidad de cambiar su naturaleza, o lograr que el músculo se comporte como una conexión en serie de resortes donde la constante elástica equivalente (rigidez) es ahora menor y por tanto la elongación del músculo será mayor aumentando de tal manera la energía elástica muscular que puede ser transformada en energía cinética en virtud del movimiento que se desea alcanzar en el atleta, por supuesto a temperatura ambiente, pues las dimensiones del músculo pueden ser alternadas por un régimen de temperatura variable.

Además, no debemos olvidar los tendones, cuya estructura está perfecta cuando de flexibilidad se habla, que son un almacén de energía potencial elástica mucho mayor que los músculos.

Según **K. Bogdanov(1986)** el 90 % de la energía potencial elástica conservada por los tendones puede volverse a transformar en energía cinética.

Otro dato interesante es que los tendones pueden estirarse hasta 6 % de su longitud inicial sin lesiones notables y para los músculos esta cifra es de 30%. Todas estas hipótesis se corroboran comparando los datos obtenidos en investigaciones

hechas por **Alfonso (1988)** en Gimnástica, **R. Ávila (1988)** en esgrima, **J.Cordovés (1989)** en Pesas en lo que evidencia que se logra un aumento considerable en flexibilidad del atleta en la gimnástica, dada la alta coordinación neuromuscular que necesita este deporte lo que propicia que de forma simultánea se asocien en serie un menor número de músculos, lo que hace posible que los músculos se estiren y coordinan como lo harían muchos resortes conectados en series.

En la actividad deportiva se incrementa la flexibilidad cuando logramos una buena coordinación neuromuscular entre músculos sinergistas y antagonistas.

En todo movimiento deportivo los músculos antagonistas son responsables de la amortiguación elástica, es decir ellos proporcionan un decrecimiento de la amplitud de las oscilaciones del músculo, con tendencia a un valor, etc.

Los músculos clasificados en sinergistas y antagonistas según la dirección en la que apunte la resultante de la fuerza y por tanto la consecuente realización de un trabajo positivo o negativo, forman una unidad dialéctica, es decir, la existencia de uno presupone de hecho la existencia del otro y su interacción coordinada con los tendones, fundamentalmente proporciona la movilidad en mayor o menor grado que en ambos casos no se pierde la excelencia de la función de los músculos y tendones que es donde se transforma la energía química en trabajo mecánico.

Por ejemplo:

Para un fisioculturista que tenga un amplio desarrollo de los pectorales se le hace difícil el movimiento de flexión de brazos atrás, pues los músculos pectorales pasan a ser antagónicos y constituyen una oposición a ese movimiento lo que hace pensar

en una combinación en paralelo de los músculos que como resortes intervienen en dicha coordinación de movimientos, y para tal combinación ha aumentado su constante de elasticidad, es decir, su rigidez y por tanto son menos flexibles.

Se hace necesario resaltar el hecho de que varios deportes requieren una amplitud máxima en ciertos eslabones del aparato locomotor y en algunas direcciones (por ejemplo los lanzadores de jabalina, en la articulación humeral, los corredores de valla en la articulación coxofemoral). En tales casos es imprescindible que junto al desarrollo máximo de la flexibilidad de carácter local se asegure el fortalecimiento simultáneo de los eslabones correspondientes al aparato locomotor, además como en todos los otros deportes no se debe permitir un incremento desmedido de la movilidad.

.
.

¿Cómo se explica esto físicamente?

El límite de la flexibilidad muscular cambia de acuerdo al deporte que se practique, pero en todos los casos al tratar de aumentar la elasticidad en su atleta debe lograr hacerlo de modo que no rebase el límite de elasticidad del músculo, o sea, que siga siendo un resorte al cual se le cambia su constante elástica pero cuyo movimiento puede ser descrito por la ley de Hooke, de no ser así causaría una distensión muscular traumática para el atleta.

EDAD Y SEXO DEL ATLETA:

Entre la edad y el desarrollo de la flexibilidad, durante el transcurso de la vida ocurren cambios significativos en la magnitud de las superficies articulares, la elasticidad de los

músculos y segmentos de los discos vertebrales, lo que condicionan cambios de la movilidad en las articulaciones y el nivel de desarrollo de la flexibilidad. La mayor movilidad en las articulaciones se observa entre los 10-14 años. En estas edades el trabajo sobre la flexibilidad y su desarrollo resulta 2 veces más efectivo que en edades mayores.(**B.V.Serdeu, 1970**), en edades avanzadas una característica lógica es la falta de movilidad (hipokinesia), y se plantea que los avances en este sentido son insignificantes o nulos, sin embargo, investigaciones dirigidas por los autores en el año 1989 "Círculos de ancianos" en la provincia de Matanzas, Cuba; obtuvieron avances significativos en la flexibilidad activa - pasiva, como por ejemplo después de dos meses de trabajo 4 veces a la semana se lograron sorprendentes resultados positivos en estos ancianos, donde mejoraron en el caso de la articulación coxo-femoral 12 cm. en la extensión y en la articulación de hombros, avances de 7cm. mostrando mejora general de la salud y en la postura, así como en los movimientos normales de caminar y desplazarse donde se señala por los investigados que ganan en fortaleza y seguridad en cada paso.

Otro aspecto que se tiene en cuenta es el sexo, donde todos los especialistas señalan que las atletas del sexo femenino poseen mayor flexibilidad que los hombres, elemento investigado por **González** 1990 donde se comparó entre jóvenes gimnastas, basquetbolistas y voleibolistas y se logró determinar que por lo general en muchos de los casos las mujeres poseen una flexibilidad superior a los hombres - 5 a 6 CMS. en la flexibilidad lineal y angular en caso de 15 grados en la articulación coxo - femoral, no siendo así en la articulación tibio-peroné astragalina donde la diferencia es de solo 3 cm.

FACTORES PSIQUICO Y FISICO

Grosser (1985) Shuts (1978) valoran significativo los aspectos psíquicos dentro de la ejecución de los ejercicios de movilidad y sus resultados finales, así se puede observar que dentro de los aspectos a reflejar en la llamada tensión psíquica que puede influir sistemáticamente en la elasticidad del músculo al estar el organismo en condiciones de strees, de cansancio mental hace que la tensión muscular produzca que los músculos antagonistas ejerzan mayor resistencia ante los ejercicios de flexibilidad.

También ejerce una gran influencia en el trabajo de la flexibilidad, el sistema nervioso; cuando envía sus impulsos nerviosos contribuyen en gran medida a mejorar esta capacidad.

La temperatura de los músculos es un importantísimo factor que determina la elasticidad de ellos, la elevación de la temperatura del cuerpo bajo la influencia del calor externo al descender la temperatura, aumenta la viscosidad del líquido sinovial. Esto resulta sumamente importante para la movilidad sobre todo de las pequeñas articulaciones cuya temperatura desciende fundamentalmente por la noche hasta alcanzar de 20 a 25 grados centígrados si el líquido sinovial permanece inmóvil durante varias horas, sus macromoléculas se agregan a las estructuras del área: la viscosidad plantea **Grosser (1985)** aumenta y bastará con realizar algunos movimientos para eliminar los agregados.

Ocurre que producto de la realización del ejercicio físico se produce una más activa circulación de la sangre por los músculos lo que hace más elásticas las fibras musculares (**N.G.Ozolin 1970**), otras investigaciones han demostrado cómo la movilidad se ve limitada a causa de una gran hipertrofia muscular provocada por la fuerza.

La insuficiente movilidad en las articulaciones limita el nivel que muestran la fuerza, la velocidad debido a la dominación de

la coordinación y a la disminución de la economización en el trabajo, ello constituye una causa de la lesión para músculos y ligamentos, también el prearranque, el miedo provocado por la competencia o la excitación de algún ejercicio puede provocar contracciones que frenen el trabajo de la flexibilidad.

Dentro de los factores físicos está el de la carga que puede provocar alteraciones en la musculatura del atleta, resulta positivo o negativo una carga entre los límites medio-alto y muy alto antes del trabajo de flexibilidad, frenan su desarrollo, mientras que combinar la flexibilidad con ejercicios de fuerza se ha establecido que incrementan en gran medida la flexibilidad.

INFLUENCIA DE LA METODOLOGIA Y EL CALENTAMIENTO UTILIZADO PARA EL DESARROLLO DE LA FLEXIBILIDAD

La dosificación adecuada del trabajo de flexibilidad es uno de los factores que influyen decisivamente en el desarrollo de la misma. Es aconsejable dedicar un mayor tiempo a la flexibilidad durante el período preparatorio repitiendo muchas veces los ejercicios de flexibilidad, combinar la flexibilidad activa-pasiva con los ejercicios de pausa son elementos vitales en el desarrollo de la amplitud articular.

El entrenador debe ejecutar la flexibilidad trabajando los planos generales y específicos o sea que respondan a un deporte determinado. El calentamiento especial, el masaje, los procedimientos calóricos, impulsan el aumento de la flexibilidad. Al subir la temperatura baja la densidad del líquido sinovial lo que facilita la lubricación de la caja articular lo que hace que disminuya dicha viscosidad.

La dosificación la determina la cantidad de series (repeticiones) necesarias para alcanzar en la clase en cuestión la amplitud

límite para los movimientos del deportista. El límite del día de hoy aumenta según el nivel de entrenamiento. El deportista siente con facilidad el límite de la amplitud del movimiento al aparecer las sensaciones de dolor en los músculos extendido sobre todo en la región donde los músculos pasan a los tendones.

La primera sensación de dolor es la señal de interrumpir el ejercicio. A medida que se desarrolla la flexibilidad, se incrementa la cantidad de repeticiones de los ejercicios. Para alcanzar la flexibilidad los adultos deben ejecutar los ejercicios diariamente e inclusive dos veces al día (**Markov y Ozolin 1991**)

HORARIO Y TEMPERATURA AMBIENTAL

La flexibilidad varía en el transcurso del día, la menor flexibilidad se registra en horas de la mañana al levantarse, aumentando paulatinamente durante el día, siendo la más elevada en horas entre 12 y 2 pm.. Al anochecer comienza el descenso de la flexibilidad. Los días fríos, o sea, de invierno, también se ha demostrado disminuyen los resultados de la movilidad articular, opuestamente a esto, en etapas de verano, tienden a multiplicarse positivamente, por lo que se debe velar porque los test de flexibilidad se realicen a la misma hora y no comparar diferentes épocas del año.

TIPOS DE FLEXIBILIDAD Existen tres tipos de flexibilidad:

FLEXIBILIDAD ANATOMICA: Es la capacidad de distensión de ligamento, músculos y posibilidades estructurales de garantizar la amplitud de movimientos dados por los grados de libertad que posee una articulación de forma natural.

Los índices de movilidad nos expresan el grado de extensión de los músculos antagonistas y a la vez de la fuerza de los músculos que ejecutan los movimientos.

FLEXIBILIDAD PASIVA: Es la movilidad máxima de una articulación que el deportista puede alcanzar con la ayuda de un compañero, aparatos, su propio cuerpo, etc. (Harre 1975), plantea que transformando la movilidad pasiva se puede determinar esencialmente el grado de extensibilidad de los músculos que limitan la amplitud del movimiento.

LA FLEXIBILIDAD ACTIVA: Es la amplitud máxima que puede alcanzar un atleta sin la ayuda, que ocurre solo a través de la distensión y contracción de sus propios músculos.

Se ha demostrado a través de múltiples investigaciones que los parámetros de flexibilidad siempre son superior que los de la activa trabajos ejecutados por el colectivo de autores y los colaboradores **Y. Nápoles (1988)**, **E.Cartas (1988)**, **R. Ávila (1988)**, **J. Miranda (1989)** en futbolistas, tenistas, esgrimistas y corredores de distancias cortas demostraron en una muestra de 208 atletas la diferencia sustancial entre estas dos formas de ejecutar la flexibilidad en articulaciones como es la articulación coxofemoral los índices son como promedios entre 11 y 14 cms mientras que la articulación de los hombros la diferencia es más discreta mostrando indicadores que oscilan en un rango que va entre 6 y 7 cms. de diferencia.

Esa diferencia que se denota entre la flexibilidad pasiva y activa se denomina **RESERVA DE FLEXIBILIDAD.**

RESERVA DE FLEXIBILIDAD F. PASIVA - F. ACTIVA

La flexibilidad activa es la que realmente se puede realizar durante la práctica de diferentes actividades competitivas ya que

es imposible recibir ayuda de un atleta para ejecutar una acción, por lo que el acortar la reserva a la flexibilidad o sea acercar más la flexibilidad activa a la pasiva debe ser un objeto fundamental del entrenador deportivo.

La flexibilidad anatómica la podemos observar en todos los movimientos ejecutados en la vida cotidiana, en estos movimientos el hombre no utiliza todas las posibilidades que le brinda su estructura anatómica, mientras que en la ejecución de la técnica de determinado evento deportivo la movilidad puede alcanzar entre 85-95 % (**Platonov/82**).

En muchas mediciones se ha podido observar una alta reserva de flexibilidad o sea un elevado nivel de la flexibilidad articular de tipo pasiva con respecto a la flexibilidad activa y ante estos elementos que nos revelan los diferentes test aplicados cabe preguntarse qué factores pueden determinar esta diferencia tan significativa? para responder esta interrogante debemos partir que la flexibilidad pasiva es una amplitud potencial, que existe, el atleta la posee y en muchos casos no la explota, por lo que muchos de los autores que han investigado esta capacidad coinciden en señalar que esto se dan por dos motivos : uno de carácter físico condicional como es la falta de la capacidad fuerza y el segundo de tipo psicológico determinado por el poco desarrollo de las cualidades volitivas.

Como es lógico valorar el factor del desarrollo de la fuerza muscular siempre estará unido a la flexibilidad. Esas fuerzas internas que tienen que tirar de los músculos para llevarlo al plano o ángulo óptimo que permiten el desarrollo anatómico dado a la elasticidad de los músculos, en muchos casos no está lo suficientemente fortalecido y no llegan al nivel reservado, también la ausencia de las capacidades volitivas interfiere en el desarrollo de estas capacidades de forma activa ya que el atleta dado la monotonía, a lo que en ocasiones dolorosa de la práctica

de esta capacidad no rebasa límites que permitan un desarrollo planificado acorde a la etapa en que se encuentre el plan de entrenamiento.

De esto se deduce que unido al desarrollo de la flexibilidad activa se desarrollan las fuerzas internas del atleta, mientras que en la pasiva el desarrollo de la fuerza es mínimo porque siempre se recomienda que en la medida que podamos acompañar los ejercicios de flexibilidad con pesos ayudará en su fase de recuperación al desarrollo de la fuerza en los planos antagónicos.

EJEMPLO: En una flexión del tronco al frente y abajo colocarse unas pesas o mancuernas en las manos que aceleran el movimiento pero en la fase de recuperación o sea de extensión de extensión fortalecerá la musculatura de la espalda.

En ambas formas de ejecución o sea activo o pasivo se pueden desarrollar de forma dinámico y estático.

.

.

METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE LA FLEXIBILIDAD

Los medios fundamentales para desarrollar la flexibilidad son los ejercicios físicos de tipo general y especial ejecutados de forma pasiva y activa (sin ayuda y con ayuda) y combinados dentro de ello se destacan los diferentes estiramientos, giros, inclinaciones, torsiones, flexiones, extensiones, etc. Estos adquieren un carácter general al desarrollar todos los planos articulares en diferentes movimientos pasando por todos los planos y ejes.

Estos mismos medios para que respondan a las exigencias de un deporte específico son los llamados de flexibilidad especial, estas parten al igual que los demás ejercicios condicionales especiales a estructuras técnicas del modelo ideal que se posee de un deporte determinado, como pueden ser la amplitud de cada movimiento, distribución de las partes del cuerpo, trayectoria, etc.

Un ejemplo lo podemos observar durante ejercicios de defensa del campo lateral, lanzamiento de balones a 3 a 4 mas del atleta y exigir defenderlo con una mano y un último paso lo más alto posible.

También se debe tener como norma fundamental que los ejercicios de flexibilidad especial aumentan su trabajo en aquellas articulaciones que se corresponden con las particularidades del deporte practicado.

EJEMPLO: En un vallista la articulación coxofemoral un jabalinista o lanzador de béisbol articulación escapulo humeral, etc. todo esto trae aparejado que los ejercicios de flexibilidad de carácter especial deben tener similitud con los ejercicios de la competencia. Pueden ser utilizados para estos fines complejos de ejercicios que actúan en el vencimiento de la resistencia elástica de los músculos y ligamentos a través de número elevado de repeticiones.

Hay varias formas fundamentales de desarrollar la flexibilidad pero las fundamentales son:

- a) De resorte
- b) De péndulo
- c) Con la ayuda de un compañero.
- d) Con la ayuda de pesos adicionales.
- e) Con la ayuda de tensores.

f) Con la ayuda de medios estáticos (espalderas, tabla de abdominales, etc)

g) Movimientos simples (de tipo conteo)

.
. .
. .
. .
. .
. .
. .

Al concluir el período preparatorio (**Bakov-Ozolin 1991**) el método fundamental para desarrollar la flexibilidad es el ejercicio de repetición standard, aunque se puede desarrollar a través del juego y la competencia, así como el uso de los deportes complementarios.

En cuanto a las formas a las formas organizativas se pueden utilizar los circuitos, las estaciones, el método frontal y otras informaciones que faciliten el control visual por parte del entrenador.

Estos métodos deben estar unidos al principio de la accesibilidad y carácter individual, valorando que hay atletas que de forma natural poseen mayor flexibilidad que otros por lo que se aplican menos cargas, también debe tener en cuenta experiencias, tipo de deporte, edad, sexo, etc. De la gradualidad de la carga se debe valorar su ascenso paulatino donde las cargas anteriores sirven de peldaño para las ulteriores, la flexibilidad se debe trabajar durante el período preparatorio todos los días en cada unidad de entrenamiento, formando en

primer término, del calentamiento y antes de grandes cargas o sea a continuación del calentamiento.

El calentamiento para preparar al organismo para ejecutar las sesiones de flexibilidad debe ser profundo y bien dosificado que permita lubricar las articulaciones y activar la circulación sanguínea con la elevación de la temperatura y el líquido sinovial.

Este calentamiento debe estar integrado por movimientos suaves relajatorios donde se lubriquen las articulaciones evitando futuras lesiones por la intensidad profunda de los ejercicios de flexibilidad.

El método del ejercicio repetido puede desarrollarse con varias variantes y además con el orden siguiente:

- Método de los ejercicios activos.
- Métodos de los ejercicios pasivos.
- Métodos de los ejercicios de pausa sostenida.
 - Método de ejercicios combinados
 -
 - .

METODO DE EJERCICIOS ACTIVOS

Se desarrolla a través de ejercicios sin ayuda, utilizando solo las fuerzas integradas, iniciar el proceso de trabajo de flexibilidad, por lo general tienen un carácter dinámico, se debe comenzar a ritmo lento , moderado hasta terminar con mayor velocidad. Aquí la cualidad que más se desarrolla es la flexibilidad aunque los planos opuestos durante la extensión desarrollan la fuerza. Un elemento importante del régimen dinámico es que dado a las

oscilaciones y aceleraciones del cuerpo se logra una mayor amplitud del movimiento articular.

Dentro del grupo del grupo de flexibilidad activa tenemos:

- Brazos flexionados al pecho y extenderlo con doble empuje.
- Círculos de brazos (con conteo)
- Flexión al frente y abajo del tronco.
- Elevación y descenso de piernas rítmicamente en forma de péndulo.

-
.
.

METODO DE EJERCICIOS PASIVOS

Se desarrolla a expensas del apoyo de fuerza externas con ejercicios con un régimen dinámico, desarrollándose conjuntamente con la flexibilidad la fuerza de resistencia a pesos o a un compañero.

Este método permite la superación de los músculos estirados a costa de la fuerza del cuerpo o de sus partes con ayuda de otros medios (dublés, ligas, etc) o de un compañero.

Ejemplo de ejercicios pasivos:

En la espaldera.

METODOS DE LOS EJERCICIOS DE PAUSA SOSTENIDA

Son los ejercicios mantenidos durante una pausa de tiempo determinado. Su objetivo consiste en vencer la resistencia de ligamentos y tendones que se opongan a una mayor amplitud

articular. Después de ejecutado el movimiento pasivo o activo se finaliza en una pausa de tiempo sosteniendo esta posición.

El tiempo de pausa que se recomienda para iniciar esta pausa va de 10 seg. hasta 1 minuto, trabajos efectuados por **J. Miranda 1989**) investiga en atletas del área de velocidad en campo y pista en tres grupos experimentales A, B y C con 10 integrantes cada uno, los diferentes tiempos de pausa a utilizar.

El grupo A se el situó ejercicios de pausa durante 10 segundos 4 veces a la semana durante 2 meses, al grupo B, ejercicios de pausa durante 30 seg. en igual período de tiempo y el tercer grupo 1 minuto de ejercicio de pausa durante un tiempo similar que los grupos A y B, los resultados obtenidos mostraron que los tiempos óptimos para el mantenimiento de las cargas funcionales del grupo B o sea 30 s donde se experimentaron los avances más significativos en el desarrollo de la flexibilidad.

Este trabajo permite valorar junto a otros trabajos ejecutados por **R. González (1988)** y **R. Álvarez (1990)** la importancia de los ejercicios con pausas para el desarrollo de la flexibilidad por encima de los métodos anteriores, pero con las bases establecidas por estos.

EJEMPLOS DE EJERCICIOS DE PAUSA

- Elevación de brazos atrás tratando de tocarse los codos manteniendo la posición 30 seg.
- Flexión del tronco al frente con la ayuda de un compañero, mantener la posición final durante 45 seg.
- Elevación de una pierna a colocarla en una espaldera, manteniendo la posición en cada pierna 30 seg.

METODOS DE EJERCICIOS COMBINADOS

Consiste en combinar los métodos analizados anteriormente, favorece el desarrollo de la elasticidad muscular y de la fuerza de los músculos agonistas y antagonistas, aquí se dan combinaciones como son : Activo - pasivo, activo - mantenido, pasivo - mantenido, activo - pasivo mantenido.

EJEMPLO DE EJERCICIOS

- Flexión sin ayuda del tronco al frente al llegar al límite, un compañero presiona en la espalda del atleta buscando mayor amplitud en el movimiento (activo - pasivo)
- Flexión sin ayuda del tronco al frente a llegar al límite mantener la posición por medio de la presión de la espalda con la ayuda del compañero 30 seg.
- Flexión sin ayuda del tronco al frente a llegar al límite un compañero presiona en la espalda del atleta buscando mayor amplitud en el movimiento, después mantener esta posición durante 30 seg.

ACTIVO-PASIVO-PAUSA

DOSIFICACION DEL TRABAJO DE LA FLEXIBILIDAD

Para el trabajo de la flexibilidad es recomendable incluirlo en cada sesión de entrenamiento, aunque algunos autores plantean que con 3 a 4 sesiones semanales es suficiente. Este tipo debe ser incrementando durante el período preparatorio del ciclo anual de entrenamiento.

Las sesiones diarias pueden ser una, dos y algunos entrenadores utilizan hasta 3 sesiones, los trabajos efectuadas al respecto por los autores y el **Lic. R. Avila** (1989) en atletas de altos rendimientos del deporte de esgrima en la provincia de Matanzas, permitieron demostrar comparativamente que los mayores logros en la flexibilidad se obtuvieron utilizando 2 sesiones diarias de flexibilidad combinando los diferentes métodos de flexibilidad.

El tiempo a utilizar para el trabajo de flexibilidad por lo general va desde 15 a 45 minutos comprendidos el tiempo dedicando el entrenamiento que oscile en un 20 a 30 % y el resto al trabajo de flexibilidad como capacidad física.

Para el trabajo anual la relación entre los diferentes métodos debe iniciarse en las primeras edades con mayor proporción de la flexibilidad pasiva, después la activa, los ejercicios de pausa y por último los combinados dado la alta carga psíquica y física que implica.

Cuando la flexibilidad es alcanzada la necesidad de mantener altos niveles de cargas desaparece. Una flexibilidad bien desarrollada es suficientemente estable y se mantiene por medio de ejercicios al nivel alcanzado sin mucho trabajo. Con este objetivo en el período competitivo del entrenamiento es suficiente entrenarse de 2 a 3 veces por semana disminuyendo la dosificación. De suspenderse la ejecución de los ejercicios especiales, entonces la flexibilidad disminuye gradualmente y regresa a su valor inicial.

A diferencia de lo planteado por autores como son **Ozolin (1970)** **Harre (1975)** y **Shuts (1978)** que señalan que los trabajos de flexibilidad deben ejecutarse siempre cuando el organismo esté en óptimas condiciones **Matveev (1983)** argumenta serias contradicciones con esta situación y expresa

que los ejercicios de flexibilidad pueden incluirse en todas las partes las sesiones de entrenamiento con la condición de que los mismos se conjugan oportunamente con otros de esos elementos y estén dosificados conforme a las reglas generales de la normación de las sobrecargas.

También es importante valorar que los ejercicios son eficientes cuando la capacidad de trabajo esté disminuida. En estado de agotamiento de los músculos - antagónicos los índices de la flexibilidad "Pascua" pueden incrementarse, lo que permite utilizar ejercicios pasivos de "estiramiento" después de otros ejercicios, en los intervalos de descanso, como también al final de la parte fundamental e incluso en lo culminante de las sesiones. (**Matveev 1983**).

El entrenamiento de las capacidades motrices ya sean condicionales básicas o coordinativas debe tratar de racionalizar y economizar tiempo utilizando vías metodológicas que permitan darle cumplimiento a los objetivos trazados en corto período de tiempo con calidad y que garanticen la estabilidad futura de los logros obtenidos, además garantizar una transferencia positiva inter - capacidades, el desarrollo de la capacidad condicional fuerza, combinando con ejercicios pasivos o activos. **Platonov** (1978) De no cumplirse la vinculación entre las cualidades no permite mostrar en todo esplendor al desarrollarse la otra cualidad.

Muchos entrenadores no conciben esta estrecha vinculación y en muchos casos cuando se ejecutan ejercicios de fuerza externa se pueden ejecutar con la amplitud necesaria y al realizar ejercicios de flexibilidad activa fundamentalmente en ejercicios competitivos la falta de capacidad fuerza deja en reserva potencialidades de flexibilidad que no son explotados, aspecto señalado anteriormente.

De esto se deduce que al planificar ambas capacidades se organicen de forma tal que se combinen de forma aeróbica.

Para lograr esto podemos partir de la valoración de los ejercicios típicos utilizados para el desarrollo de las capacidades fuerza o flexibilidad y adicionarles componentes que propicien y combinen ambas capacidades.

Ejemplo: En una flexión al frente hacerlo en forma de frecuencia con pesos o dumbbells en las manos que ayuden al desarrollo de la elasticidad de los músculos agonistas de la acción y en la extensión trabajen en condición de fuerza los planos antagonistas y viceversa.

O durante el lanzamiento de pesos (pelotas medicinales, balas, etc.) con dos manos por arriba exagerar el arqueado para trabajar la flexibilidad de la articulación de la cadera y hombros.

Otro aspecto que se debe valorar en el momento de la dosificación es que el desarrollo de la flexibilidad de la articulación, lo que permite prever para un futuro si los avances mostrados por nuestros atletas son o no satisfactorios. Aunque los datos que les mostraremos pueden servir de guía, no constituyen una norma rígida a seguir ya que el desarrollo de la flexibilidad como se explicó anteriormente están influenciado por múltiples factores dignos de valorar y analizar.

TIEMPO NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE LA FLEXIBILIDAD PASIVA EN LAS ARTICULACIONES HASTA EL 90% DEL NIVEL DE FLEXIBILIDAD ANATOMICA. (DATOS DE B.V. SARNIEV 1970 E INVESTIGACIONES EFECTUADAS POR COLECTIVOS DE LA FACULTAD DE CULTURA FISICA DE LA UNIVERSIDAD DE MATANZAS 1988,1989,1990).

<u>ARTICULACIONES</u> <u>FAC.CULT</u>	<u># DE DIAS</u>	<u>COLECTIVO</u>
<u>MATANZAS</u>	<u>B.V.</u>	<u>SARNIEV</u>
COLUMNA VERTEBRAL	50-60	-
ESCAPULO HUMERAL	25-30	50-60
HUMERO RADIAL	20-25	-
RADIO-CUBITO-CARPIANA	25-30	NO SE DAN CAMBIOS SIGNIFICATIVOS
COXO-FEMORAL	60-120	30-40
FEMURO-TIBIAL	25-30	NO SE DAN CAMBIOS SIGNIFICATIVOS
TALO-CRURAL	25-30	50-60

Por el desarrollo de cada articulación un elemento importante lo constituye la sistematización del trabajo a través de dos elementos fundamentales como son la continuidad y la repetición.

Los ejercicios seleccionados por articulaciones deben permitir el mayor logro de la amplitud articular a través de repeticiones progresivas de ejercicios con el mínimo de pausas, sin interrupciones de días por el medio en este trabajo. Así el aumento de los índices de flexibilidad en uno de los experimentos comparativos efectuado en un total de 10 sesiones realizadas en un régimen conectado (2 sesiones diarias durante 5 días y 30 inclinaciones rítmicas en cada sesiones) resulto ser el doble mayor que en el mismo número de repeticiones y

sesiones pero efectuadas con un día por el medio. (**Matveev 1982**).

Nuestros trabajos en tablas continuas corroboran lo expuesto por muchos investigadores, **Osolin(1970)**, **Harre (1979)**, **Matveev (1993)** que con 8 a 10 semanas de trabajo sistemáticos se logran los aumentos más significativos en un proceso de desarrollo de la capacidad flexibilidad.

La ejecución de cualquier ejercicio nos muestra un avance significativo al inicio de ellas, al llegar a su máximo se mantiene este nivel, durante un tiempo determinado, y después disminuyen paulatinamente de dejarse de entrenar continuamente esta cualidad.

Como es lógico para cada articulación el tiempo de trabajo no puede ser igual dado su estructura, ángulos y funciones que puede desempeñar.

FORMAS DE CONTROL DE LA FLEXIBILIDAD.

Para el control de esta capacidad se deben confeccionar diferentes test que establezcan mediciones angulares y lineales, siempre se debe medir una articulación y ángulo como ejercicios activos y pasivos para establecer la reserva a la flexibilidad como elemento decisivo que permita diagnosticar si existen avances reales del desarrollo de la flexibilidad. Como se aplica en los inicios de este capítulo a pesar de ser la forma de medición de flexibilidad el método lineal, este presenta insuficiencias diríase que insalvables que pueden ser solucionadas con un simple goniómetro construido con un semicírculo graduado y un aditamento sencillo que se le construye.

INDICACIONES METODOLOGICAS.

- Los ejercicios de flexibilidad deben estar precedidos de un profundo calentamiento donde se trabajan todas las articulaciones.
- Se debe incluir ejercicios de flexibilidad dentro del calentamiento entre 20 a 30 % de lo planificado y el resto durante el trabajo de desarrollo de la capacidades, trabajando estos todos los días durante el período preparatorio y de 2 a 3 veces durante el competitivo.
- Por el desarrollo de la flexibilidad el entrenador puede valerse de espalderas, cajones, pesas, chalecos con plomos, ayuda de un compañero, etc.
- Usar los métodos que deben ser pasivos, para edades pequeñas bien dosificado, activo, pausa y combinados.
- Variar los ejercicios dinámicos y estáticos, la relación estático - dinámico en niños y jóvenes es 1:4 en los adultos 1:1.
- La cantidad de repeticiones con la que debemos alcanzar el desarrollo de la flexibilidad en cada ejercicio oscila entre 8-12 repeticiones.
- En deportistas de alto nivel un límite satisfactorio oscila en los 40 a 60 repeticiones por ejercicios.
- Para selección de los ejercicios debemos analizar si son para la preparación general o especial, en el caso de los segundos deben responder a las exigencias de la modalidad deportiva determinada.

- En las medidas de las posibilidades debemos unir el desarrollo de la flexibilidad al trabajo de fuerza.
- La movilidad se puede ejecutar durante cualquier momento de la clase, aunque se recomienda que el organismo no esté en un estado de cansancio elevado (puede ejecutarse después del calentamiento) aunque en ocasiones este puede aplicarse después de altas cargas de trabajo para formar hábitos de aplicar ejercicios con alta amplitud articular en estado de cansancio.
- Se ha demostrado que un trabajo de doble sesión diaria de cargas de flexibilidad desarrolla en mayor medida sus índices en el organismo.
- Los ejercicios para la flexibilidad se realiza con varias velocidades; lentos para deportistas con débil preparación con rapidez para los bien entrenados.
- En la medida de las posibilidades debemos unir el desarrollo de la movilidad con los ejercicios de fuerza.
- Los ejercicios con pausas son aquellos que se mantienen una posición sostenido alrededor de 3 a 10 segundos en jóvenes pudiendo llegarse a plantear algunas posiciones desde 10 a 60 segundos.
- Algunas investigaciones analizadas demuestran que un trabajo de 8 a 10 semanas de flexibilidad permiten obtener un desarrollo óptimo de estas capacidades.
- En cada unidad de entrenamiento se realizan ejercicios de extensión hasta sentir dolor, lo que indica que debemos variar el ángulo o ejercicio, aunque siempre debemos trabajar hasta lograr el límite de cada posibilidad articular.

- De mantenerse fuertes dolores al día siguiente de haber estado ejecutando los ejercicios en una región determinada debemos suspender los ejercicios y reiniciarlos después de eliminados estos dolores.
- La edad donde se obtiene mayor flexibilidad es la de 10 a 14 años aunque en las categorías adultas con un trabajo sistemático también podemos lograr buenos resultados en esta capacidad.
- Al realizar los test pedagógicos debemos siempre ubicar pruebas con ejercicios activos y pasivos y la diferencia entre lo pasivo activo, está dado por factores de carácter volitivo o débil desarrollo de la capacidad física fuerza.
- Cuando elijamos ejercicios debemos velar por el cambio continuo de las 5 zonas articulares y musculares: Por ejemplo primer ejercicio todo el cuerpo segundo: brazos y hombros. tercero: musculatura de la espalda cuarto: coxo - femoral quinto: tobillos y piernas.

Según **Grosser, Stareschko, Zimmerman (1985)** si el número de repeticiones indicadas no es suficiente, es posible incrementar los programas del siguiente método.

1ero Aumentar cada ejercicio con 5 o 10 repeticiones 2do no incluir ninguna pausa 3ero Aumentar intensidad es decir la velocidad de ejecución 4to aplicar pequeñas cargas adicionales (chaleco de pesas, zapatos de peso, bolsos de arena, etc) eventualmente también pueden utilizarse el compañero.

BIBLIOGRAFIA

- CORTEGAZA L., JAQUINET R.. FLEXIBILIDAD. ANTOLOGIA. DIPLOMADO METODOLOGIA DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA. MEXICO.1993.
- HERNANDEZ CORVO R. "MORFOLOGIA FUNCIONAL DEPORTIVA. SISTEMA LOCOMOTOR". EDITORIAL CIENTIFICO TECNICO C. DE LA HABANA 1984
- HERNANDEZ C. L. CORTEGAZA. ALGUNAS CONSIDERACIONES MORFOLOGICAS Y BIOMECANICAS EN EL DESARROLLO DE LA FLEXIBILIDAD" BOLETIN TRIMESTRAL C.E.M.A. MATANZAS 1992.
- NAPOLES YANELIS. " ESTUDIO DE LA FLEXIBILIDAD EN JOVENES FUTBOLISTAS" TRABAJO DE DIPLOMA FILIAL DE CULTURA FISICA I.S.C.F MATANZAS 1988.
- AVILA ROBERTO " ESTUDIO DE LA FLEXIBILIDAD EN JOVENES ESGRIMISTAS" TRABAJO DE DIPLOMA FILIAL DEL I.S.C.F. MATANZAS 1989.
- MIRANDA JUAN " ESTUDIO DE LA FLEXIBILIDAD EN JOVENES CORREDORES". TRABAJO DIPLOMA. FILIAL DE CULTURA FISICA I.S.C.F. MATANZAS. 1989.
- BOGDANOO K. "EL FISICO VISITA AL BIOLOGO" EDITORIAL M.I.R. MOSCU 1986.
- K. IDOER/ G. SELCHLADER " TEORIA ELEMENTAL DEL ENTRENAMIENTO" DEPORTE ESCOLAR 1978.

.

:

·
FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA METROLOGIA DEPORTIVA

1 INTRODUCCION A LA METROLOGIA DEPORTIVA
Vladimir Zatsiorski

1.1 EL OBJETO DE ESTUDIO DE LA METROLOGIA DEPORTIVA

La palabra metrología, en su traducción de griego, significa "la ciencia de las mediciones" (métron, medida; lógos, ciencia).

La tarea principal de la metrología general es el aseguramiento de la unidad y la exactitud en las mediciones. Como disciplina científica, la metrología deportiva representa una parte de la metrología general cuyo objetivo específico es el control y las mediciones en el deporte. En particular, su contenido incluye: 1) el control del estado del deportista, las cargas de entrenamiento, la técnica de ejecución de los movimientos, los resultados deportivos y la conducta del deportista en las competencias; 2) la comparación de los datos obtenidos en cada uno de estos controles, su valoración y análisis.

Sin embargo, en el programa de curso de "Metrología deportiva", que se imparte en los institutos de cultura física, se han incluido algunos temas, que provienen de otras esferas de conocimiento (por ejemplo, fundamentos de estadística matemática, que se desarrolla en el capítulo-3; métodos instrumentales en el capítulo 7; etc.). Esto se ha hecho porque se imparten temas similares, en menor volumen, en los institutos de cultura física de la URSS y no sería racional incorporarle estos objetivos específicos en el plan docente. De esta manera, el contenido del curso docente de "Metrología deportiva" va más allá de los límites de la metrología deportiva como disciplina científica.

Tradicionalmente, la metrología se ha ocupado solamente de la medición de magnitudes físicas. En los últimos decenios se han creado métodos que permiten medir diversos indicadores de naturaleza no física (psicológicos, biológicos, sociológicos, pedagógicos y otros). Sin embargo, entre los metrologos no existe un punto de vista único acerca de las fronteras de esta ciencia. Unos especialistas consideran que, al igual que antes, la metrología debe ocuparse solamente de los problemas de la medición de las magnitudes físicas; otros, la analizan como la ciencia que abarca todo tipo de mediciones. En el presente libro se encuentra reflejado el segundo punto de vista (más amplio), por cuanto, en la práctica deportiva es evidente que resulta insuficiente medir solo las magnitudes físicas.

FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LAS MEDICIONES. Vladimir Zaisiorski, Vladimir Utkín

Se denomina *m e d i c i ó n* (en el amplio sentido de la palabra) a la correspondencia que se establece entre los fenómenos estudiados, por una parte, y su expresión numérica por la otra.

Por todos son conocidas y comprendidas las variedades más simples de mediciones, por ejemplo, la medición de la longitud del salto y la del peso del cuerpo. Sin embargo, ¿cómo medir (¿es posible medir?) el nivel de los conocimientos, el grado de fatiga, el carácter expresivo de los movimientos, la maestría técnica? Parece ser que éstos son fenómenos inmensurables. Pero, en verdad, en cada uno de estos casos es posible establecer las relaciones "mayor-igual-menor", y decir que el deportista A domina mejor la técnica que el deportista B, mientras que la técnica de B es mejor que la de C, etc. Resulta posible utilizar los números en lugar de las palabras. Por ejemplo, en lugar de las palabras "satisfactorio", "bueno", "excelente", emplear los números "3", "4" y "5". En el deporte, con mucha frecuencia es necesario expresar en números, indicadores aparentemente inmensurables. Por ejemplo, en las

competencias de patinaje artístico sobre hielo, la maestría técnica y el nivel artístico se expresan numéricamente en las valoraciones de los jueces. En el amplio sentido de la palabra todos estos son casos de medición.

Analizaremos tres problemas que representan los fundamentos de la teoría de las mediciones: las escalas de mediciones, las unidades de medidas y la exactitud en las mediciones.

2.1 LAS ESCALAS DE MEDICIONES

Existen diversas escalas de mediciones. Aquí se describen cuatro de ellas.

2.1.1 La escala de denominaciones (escala nominal)

Esta es la más simple de todas las escalas. En ella los números desempeñan el papel de señales y sirven para detectar y diferenciar los objetos estudiados (por ejemplo, la numeración de los jugadores del equipo de fútbol). Los números que componen la escala de denominaciones pueden intercambiar sus lugares. En esta escala no existen relaciones del tipo "mayor-menor", por eso algunos plantean que el empleo de la escala de denominaciones no amerita considerarse una medición. Al emplearse la escala de denominaciones pueden realizarse solamente algunas operaciones matemáticas. Por ejemplo, sus números no se pueden sumar o restar, pero puede contarse cuántas veces (con qué frecuencia) se presenta el mismo número.

2.1.2 La escala de orden

Existen deportes donde el resultado del deportista está determinado (por ejemplo, solamente por el lugar ocupado en las competencias en los combates cuerpo a cuerpo). Al finalizar estas competencias resulta claro cuál de los deportistas es más fuerte y cuál más débil. Pero no se puede decir en cuánto es más fuerte o más débil. Si tres deportistas ocuparon respectivamente

el primero, el segundo y el tercer lugar, las diferencias en la maestría deportiva permanecen siendo desconocidas: el segundo deportista puede ser casi igual al primero o puede ser sensiblemente más débil que él y casi igual al tercero. Los lugares ocupados en la escala de orden se denominan rangos, mientras que la propia escala se denomina *de rango o no métrica*. En esta escala, los números que la componen se encuentran ordenados por rangos (es decir, por el lugar que ocupan), pero los intervalos entre ellos no se pueden medir con exactitud. diferencia de la escala de denominaciones, la escala de rangos permite establecer no solo el hecho de la igualdad o desigualdad de los objetos medidos, sino también determinar el carácter de la desigualdad en forma de apreciación "mayor-menor", "mejor-peor", etcétera.

Con la ayuda de las escalas de orden es posible medir indicadores cualitativos, que no poseen una medida cuantitativa estricta. Estas escalas se utilizan de manera particularmente amplia en las ciencias humanísticas: pedagogía, sicología y sociología.

A los rangos de la escala de orden se puede aplicar un mayor número de operaciones matemáticas, que a los números de las escalas de denominaciones.

2.1.3 La escala de intervalos

Esta es una escala en la cual los números no solo se encuentran ordenados por rangos, sino que también están divididos en determinados intervalos. La particularidad que diferencia esta escala de la de relaciones que se describirá posteriormente, consiste en que el cero de la escala se selecciona de manera arbitraria. Pueden servir de ejemplos el tiempo calendario (en los distintos calendarios el conteo de los años se ha establecido sobre bases arbitrarias), el ángulo articular (para una extensión completa del antebrazo, el ángulo de la articulación cubital puede tomarse igual a cero o 180°), la temperatura, la energía

potencial de una carga que se levanta, el potencial del campo eléctrico, etcétera.

Los resultados de las mediciones por la escala de orden pueden elaborarse matemáticamente, excepto el cálculo de relaciones. Los datos de la escala de intervalos dan respuesta a la pregunta ¿Cuánto mayor?, pero no permiten confirmar que un valor de la magnitud medida sea tantas veces mayor o menor que el otro. Por ejemplo, si la temperatura aumentó de 10 a 20' C, no se puede decir que hace dos veces más calor.

.

2.1.4 La escala de relaciones

Esta escala se distingue de la escala de intervalos por el hecho de que en ella se encuentra estrictamente determinada la posición de; cero de la escala. Gracias a esto la escala de relaciones no establece ningún tipo de limitaciones al aparato matemático empleado para la elaboración de los resultados de las observaciones.

En el deporte, por la escala de relaciones, se miden la distancia, la fuerza, la velocidad y otras decenas de variables. Por la escala de relaciones también se miden aquellas magnitudes que se forman como resultado de la diferencia entre números calculados por la escala de intervalos. Así, el tiempo calendario se cuenta por la escala de intervalos, mientras que los intervalos de tiempo se calculan por la escala de relaciones.

Al emplear la escala de relaciones (y ¡solamente en este caso!) la medición de una magnitud determinada se reduce a la determinación experimental de la relación entre esta magnitud y otra semejante, tomada como unidad. Al medir la longitud del salto, conocemos en cuántas veces esta longitud es mayor que la longitud de otro cuerpo tomado como unidad de longitud (la regla métrica en este caso particular); al pesar

la palanqueta, determinamos la relación que existe entre la masa de este cuerpo y la masa de otro, la unidad de peso en kilogramo, etcétera.

Si solamente tenemos en cuenta el empleo de las escalas de relaciones, es posible dar otra definición (más estrecha o particular) de la medición: medir una magnitud cualquiera significa encontrar, por la vía experimental, su relación con la correspondiente unidad de medida.

En la tabla 1 se da una información resumida sobre las escalas de medición. En ella se señalan de manera particular, los métodos de estadística matemática que se pueden emplear al trabajar con una escala determinada. Será necesario regresar a esta tabla, después de familiarizarnos con los métodos de la estadística matemática (capítulo 3).

2.2 UNIDADES DE MEDIDAS

Para que los resultados de las distintas mediciones puedan ser comparados unos con otros, estos deben estar expresados en las mismas unidades. La historia cuenta con un gran número de diversas unidades de medidas.

El primer sistema único de medidas fue elaborado durante el período de la gran revolución francesa, al final del siglo XVIII. Este es el por todos conocido sistema métrico de medidas, o como también se le llamó, sistema decimal. Este sistema reflejó el nivel de conocimientos de aquel tiempo, él incluía solamente las unidades de longitud, masa, área, volumen y capacidad. Por eso, el trabajo de perfeccionamiento de los sistemas de unidades prosiguió. En 1960, en la Conferencia general internacional de pesas y medidas, se aprobó el Sistema Internacional de unidades, que recibió el nombre abreviado de SI (de las letras iniciales de las palabras *Système International*).

Tabla 1

Escalas de mediciones

Escalas	Operaciones básicas	Procedimientos matemáticos permisibles	Ejemplos
De denominaciones <i>ESCALA NOMINAL</i>	Establecimiento de igualdad	Número de casos Moda Correlación de sucesos casuales (coeficientes tetracórico y policórico de correlación)	Numeración de los deportistas en el equipo Resultados del sorteo
De orden	Establecimiento de las correlaciones "mayor" o "menor"	Mediana Correlación por rangos Criterios de rangos Comprobación de las hipótesis.	Lugar ocupado en las competencias Resultados de la categorización de los deportistas por el grupo de expertos
De intervalos	Establecimiento de la igualdad de los intervalos	El valor promedio La desviación media (cuadrática (estándar)) La correlación	Las fechas calendarias (el tiempo) El ángulo articular
De relaciones	Establecimiento de la igualdad de las relaciones	El coeficiente de variación La media geométrica	La longitud, la fuerza, el peso, la velocidad, etcétera

FIGURA 109

Actualmente el SI incluye siete unidades b á s i c a s, independientes unas de otras, de las cuales se deducen como d e r i v a d a s las restantes magnitudes físicas. Las unidades derivadas están determinadas sobre la base de fórmulas que relacionan las magnitudes físicas entre sí. Por ejemplo, la unidad de longitud (metro) y la unidad de tiempo (segundo) son unidades básicas, mientras que la unidad de velocidad (el metro por segundo) es derivada. El conjunto de unidades básicas seleccionadas y de unidades derivadas, obtenidas con la ayuda de las primeras, para una o varias esferas de medición se denomina sistema de unidades (tabla 2).

Tabla 2

Unidades básicas del SI

Magnitud	Símbolo	Unidad	
		Denominación	Simbología internacional de la unidad de medida
Longitud	L	metro	m
Masa	M	kilogramo	kg
Tiempo	T	segundo	s
Intensidad de la corriente eléctrica	I	ampere	A
Temperatura	O	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	N	mole	mol
Intensidad de la luz	J	candela	cd

FIGURA 110

Además de las unidades básicas, en el SI se destacan dos unidades complementarias: el *r a d i á n*-unidad de ángulo plano, y el *r a d i á n e s f é r i c o*-unidad de ángulo sólido (de ángulo en el espacio). Para la formación de las unidades fraccionarias y decimales deben emplearse prefijos especiales (tabla 3)

Todas las magnitudes derivadas tienen su dimensión. Se denomina *dimensión* a la expresión que conjuga la magnitud derivada con las magnitudes básicas del sistema, utilizando para ello un coeficiente de proporcionalidad igual a la unidad. Por ejemplo, la dimensión de longitud, L; y el período de tiempo T; de aquí que la dimensión de la velocidad sea igual a **FIGURA 111** $\frac{L}{T} = LT^{-1}$, mientras que la dimensión de la aceleración es igual a **FIGURA 112** LT^{-2} .

La gran ventaja del SI es que, al ser aplicado, muchas magnitudes físicas importantes (por ejemplo, la energía) se expresan en las mismas unidades en sistemas de diferente naturaleza (mecánicos, eléctricos, magnéticos, etc.):

1 joule=1 Newton. metro= volt . coulomb = ampere . Weber.

Además de las unidades de medición que forman parte del sistema, existen también unidades fuera del sistema (hora, minuto, caballo de fuerza, calorías, etc.). Muchas de estas unidades no pueden ser eliminadas, debido a la comodidad de su empleo, y algunas se han conservado históricamente.

Algunas de las unidades fuera del sistema han sido elaboradas partiendo de las unidades básicas del sistema, pero no por el principio decimal (por ejemplo: minuto, hora); otras en general no guardan relación alguna con las unidades de los sistemas establecidos (caloría, milímetro de Hg., etc.). Muchas de estas unidades fuera de; sistema sería conveniente retirar.

FIGURA 113

Tabla 3
Factores y prefijos para la formación de las décimas y las centésimas de las unidades y sus denominaciones (a elección)

Factores	Prefijos
$1.000.000 = 10^6$	mega
$1.000 = 10^3$	kilo
$100 = 10^2$	hecto
$10 = 10^1$	deca
$0,1 = 10^{-1}$	deci
$0,01 = 10^{-2}$	centi
$0,001 = 10^{-3}$	mili
$0,000001 = 10^{-6}$	micro

2.3 LA EXACTITUD EN LAS MEDICIONES

Ninguna medición puede ser ejecutada de manera absolutamente exacta. Inevitablemente el resultado de la medición contiene un error cuya magnitud es menor, mientras más exacto sea el método de medición y el equipo de medición. Por ejemplo, con la ayuda de una regla ordinaria dividida en milímetros, no se puede medir una longitud con una exactitud de 0,01 mm.

2.3.1 El error básico y el error adicional

El *error básico* es el error en el método de medición, o en el equipo de medición, en condiciones normales de empleo.

El *error adicionales* es el error del equipo de medición ocasionado por desviación de las condiciones de trabajo de los valores normales. Es evidente que un equipo destinado a trabajar a temperatura ambiente, dará valores inexactos si lo

utilizamos en verano, en un estadio, bajo un sol abrasador. También pueden surgir errores de medición cuando la tensión de la red eléctrica, o de la batería de alimentación es inferior a la norma, o variable en magnitud. También es un error adicional el llamado error dinámico, que está condicionado por la inercia del equipo de medición, y que surge en aquellos casos en que la magnitud medida varía de una manera singularmente rápida. Por ejemplo, algunos pulso tacómetros (equipos para la medición de la frecuencia de las contracciones cardiacas-FCC) están calculados para la medición de los valores promedio de la FCC y no son capaces de captar fluctuaciones temporales de la frecuencia en relación con el nivel promedio. Las magnitudes de los errores básico y adicional pueden ser expresados tanto en unidades absolutas, como en unidades relativas.

2.3.2 El error absoluto y el error relativo

Se denomina error absoluto a la magnitud $\Delta A = A - A_0$ igual a la diferencia entre el valor que muestra el equipo de medición (A) y el valor real de la magnitud medida (A_0). Se mide en las propias unidades en que se mide la magnitud medida..

. En la práctica, con frecuencia resulta cómodo emplear no el error absoluto, sino el error relativo. El error relativo de la medición puede ser de dos tipos: real y reducido. Se denomina *error relativo real* a la relación entre el error absoluto y el valor real de la magnitud medida:

$$\text{FIGURA 115 } \Delta A_r = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%$$

El error relativo reducido es la relación entre el error absoluto y el valor máximo posible de la magnitud medida:

$$\text{FIGURA 116 } \Delta A_n = \frac{\Delta A}{A_m} \cdot 100\% \quad A$$

En aquellos casos en que se valora el error del equipo de medición y no el error de medición, se toma como valor máximo de la magnitud medida el valor límite de la escala del equipo. Sobre la base de esta concepción, el valor mayor permisible de **FIGURA 117** ΔA_n expresado en porcentaje, determina, en condiciones normales de trabajo, el grado de precisión del equipo de medición. En este caso se tiene en cuenta solamente el error básico. Por ejemplo, un pulso tacómetro de grado de exactitud 1,0, calculado para la medición de la frecuencia de las contracciones cardíacas (FCC), en un rango de hasta 200 puls/min, en condiciones normales de trabajo, puede introducir en la medición un error igual a $200 \text{ puls/min} \cdot 0,01 = 2 \text{ puls/min}$.

Por lo general, los errores relativos se miden en porcentaje. En este caso el signo del error absoluto no se considera: el error absoluto puede ser o positivo o negativo, mientras que el error relativo siempre es positivo.

Citemos un ejemplo de cálculo de los errores absoluto y relativo de las mediciones. El tiempo de la carrera de un deportista medido visualmente, sin la ayuda de equipos de medición, fue igual a 205 pasos/min. Paralelamente, los períodos de apoyo de la carrera fueron registrados con la ayuda de un sistema radio telemétrico. Este control objetivo demostró que, en realidad, el tiempo de la carrera fue de 200 pasos/min. Se requiere hallar las magnitudes de los errores absoluto y relativo cometidos durante la medición visual del tiempo de la carrera.

Establezcamos las simbologías:

tiempo de la carrera, medido visualmente: $A = 205 \text{ pasos/min}$,

tiempo real de la carrera: $A_o = 200 \text{ pasos/min}$,

error absoluto, **FIGURA 118** $\Delta A = A - A_o = 5 \text{ pasos} \times \text{min}$

El error relativo (real) es **FIGURA 119** $\Delta A_r = \Delta A_o \cdot 100\% = 2,5\%$. De esta manera, el error absoluto de la medición visual del tiempo

de la carrera es igual a 5 pasos/min, el error relativo real es igual a 2,5%.

Por cuanto el valor límite del tiempo de la carrera, en las condiciones del problema, no se indica, no se puede calcular el error relativo reducido.

2.3.3 Los errores sistemático y aleatorio.

Se denomina error sistemático al error cuya magnitud no varía de una medición a otra. En virtud de esta particularidad propia, con frecuencia el error sistemático puede ser dicho con anterioridad o, en caso extremo, detectado y eliminado al concluir el proceso de medición.

El método de eliminación del error sistemático depende, en primer lugar, de su naturaleza. Los errores sistemáticos de medición se pueden dividir en tres grupos:

1. Errores de origen y magnitud conocidos.
2. Errores de origen conocido y magnitud desconocida.
3. Errores de origen y magnitud desconocidos.

Los más inofensivos son los errores del primer grupo. Ellos son fácilmente eliminados mediante la incorporación de las correcciones correspondientes en el resultado de la medición.

Pertenecen al segundo grupo, ante todo, los errores relacionados con la imperfección del método de medición y de los aparatos de medición. Por ejemplo, el error de la medición de la capacidad de trabajo físico con la ayuda de una máscara para recoger el aire espirado: la máscara dificulta la respiración y el deportista, por lo regular, muestra una capacidad de trabajo físico inferior, en comparación con su valor real medido sin la máscara. La magnitud de este error no se puede predecir; ella depende de las

particularidades individuales del deportista y de su estado general en el momento de la investigación.

Otro ejemplo de error sistemático de este grupo es el error relacionado con la imperfección del equipamiento, cuando el equipo de medición aumenta o disminuye notoriamente, el valor real de la magnitud medida, pero el valor del error resulta desconocido.

Los errores del tercer grupo son los más peligrosos, su aparición tiene lugar tanto debido al imperfeccionamiento del método de medición como también a las particularidades del objeto de medición o sea, del deportista.

La lucha contra el error sistemático de la medición se lleva a cabo de diferentes maneras, entre las cuales está la comprobación y calibración de los equipos de medición, así como el método aleatorio.

Se denomina t a r a c i ó n (del alemán Tarieren) a la comprobación de las indicaciones de los equipos de medición, mediante su comparación con las indicaciones de valores modelos de las medidas (de patrones), dentro de todo el rango de los valores posibles de la magnitud medida.

Se denomina c a l i b r a e i ó n a la determinación de los errores o a una corrección de estos para un conjunto de mediciones (por ejemplo, para un juego de dinamómetros). Tanto en la taración, como en la calibración, a la entrada del sistema de medición, en lugar del deportista, se conecta una fuente de señal patrón de una magnitud conocida. Por ejemplo, al tarar una instalación para la medición de los esfuerzos, en la plataforma tenso métrica se colocan consecutivamente pesos de 10, 20, 30 kilogramos.

Se denomina m é t o d o a l e a t o r i o (en inglés random, aleatorio), a la transformación del error sistemático en eventual. Este procedimiento está dirigido a la eliminación de los errores sistemáticos desconocidos. Por el método aleatorio la medición de la magnitud estudiada se realiza varias veces. En este caso las mediciones se organizan de tal forma, que el factor constante

que influye en el resultado de éstas, actúe en cada caso de diferente manera. Digamos, al investigar la capacidad de trabajo físico, se puede recomendar que se haga su medición varias veces, variando en cada una de ellas la forma de aplicación de la carga. Al finalizar todas las mediciones, los resultados de éstas se promedian según las reglas de la estadística matemática.

Los errores aleatorios surgen bajo la acción de diversos factores, los cuales no se pueden decir con anterioridad, ni considerar con exactitud. Inicialmente, los errores aleatorios son inevitables. Sin embargo, empleando los métodos de la estadística-matemática, es posible valorar la magnitud del error aleatorio y tenerlo en cuenta al interpretar los resultados de la medición. Sin la elaboración estadística los resultados de las mediciones no pueden considerarse veraces.

4 FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LAS PRUEBAS

Vladimir Zatsiorski

4.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La medición (o el experimento) realizado con el objetivo de determinar el estado o las capacidades del deportista se denomina prueba.

No todas las mediciones pueden ser utilizadas como pruebas, sino solamente aquellas que responden a exigencias especiales. Entre ellas se encuentran:

- 1) la estandarización (el procedimiento y las condiciones de aplicación de pruebas deben ser iguales en todos los casos);
- 2) la existencia de un sistema de evaluaciones (ver capítulo 5);
- 3) la confiabilidad;
- 4) el nivel de información.

Las pruebas que satisfacen las exigencias de seguridad y de información se

denominan sólidas o auténticas (del griego *authentikós*, de manera fidedigna)

. El proceso de experimentación se denomina aplicación de pruebas, y el valor numérico obtenido como consecuencia de la medición se denomina resultado de la aplicación de las pruebas (o resultado de la prueba). Por ejemplo, la carrera de 100 m es una prueba, el procedimiento de ejecución de los recorridos y el cronometraje es la aplicación de pruebas, y el tiempo de la carrera es el resultado de la prueba.

Las pruebas que tienen como base tareas motoras se denominan motoras. Sus resultados pueden ser o resultados motores (tiempo de recorrido de la distancia, cantidad de repeticiones, la distancia recorrida, etc.), o indicadores fisiológicos y bioquímicos. En dependencia de esto, así como de la tarea que se presenta ante el investigado, se distinguen tres grupos de pruebas motoras (tabla 19).

A veces se utiliza no una prueba, sino varias pruebas que tienen un mismo objetivo final (por ejemplo, la evaluación del estado del deportista en el período competitivo del entrenamiento). Este grupo de pruebas se denomina complejo de pruebas.

4.2. CONFIABILIDAD DE LAS PRUEBAS

2.1. Concepto de confiabilidad de las pruebas

Una misma prueba aplicada a un mismo grupo de investigados debe dar, en igualdad de condiciones, resultados coincidentes (si solamente no han variado los propios investigados). Sin embargo, aún cuando la estandarización es muy estricta y los equipos son exactos, los resultados de la aplicación de la prueba siempre varían en algo. Por ejemplo,

el deportista que ha terminado de realizar un salto de longitud desde el lugar de 260 cm, en el salto siguiente muestra solamente 255 cm.

La confiabilidad de la prueba es el grado de coincidencia de los resultados cuando se repite la aplicación de la prueba a unas mismas personas (u otros objetos), en igualdad de condiciones. La variación de los resultados en las mediciones reiteradas se denomina intraindividual o (empleando una terminología más común de la estadística matemática) intra grupo. Son cuatro las causas principales que ocasionan esta variación.

1. La variación del estado de los investigados (fatiga, el tiempo de entrada al trabajo, la instrucción, el cambio de motivación, la concentración de la atención, etcétera).
2. Los cambios no controlables de las condiciones externas y los equipos (temperatura, viento, humedad, voltaje en la red eléctrica, presencia de personas ajenas, etc.), es decir, todo lo que reúne el término "error aleatorio de la medición" (ver capítulo 2).
3. La variación de; estado del hombre que conduce o evalúa la prueba (y, evidentemente, la sustitución de un experimentador o juez por otro)
4. La imperfección de la prueba (existen algunas pruebas que son notoriamente poco confiables, por ejemplo, los tiros libres en el baloncesto hasta el primer fallo. Incluso un baloncestista, que tiene un alto porcentaje de encestes, puede errar de manera casual en los primeros tiros).

•
•
•
•
•

Tabla 19

Tipos de pruebas motoras

Denominación de la prueba	Tarea del deportista	Resultado de la prueba	Ejemplo
Ejercicios de control	Mostrar el resultado máximo	Logros motores	Carrera de 1500 m. tiempo de la carrera
Pruebas funcionales estándar	a) por la magnitud del trabajo realizado	Indicadores fisiológicos o bioquímicos para un trabajo estándar	Registro de la FCC para un trabajo estándar 1000 kgm/min
	o b) por la magnitud de los cambios fisiológicos	Indicadores motores para una magnitud estándar de los cambios fisiológicos	Velocidad de la carrera para una FCC de 160 pulsaciones por minuto
Pruebas funcionales	Mostrar el resultado máximo	Indicadores fisiológicos bioquímicos	Determinación de la "deuda" máxima de oxígeno o del consumo máximo de oxígeno

FIGURA 120

La diferencia principal de la teoría de la confiabilidad de las,4 pruebas en relación con la teoría de los errores de las mediciones, analizada en los epígrafes 2.3 y 3.2.5, consiste en que, en la teoría de los errores la, magnitud medida se considera invariable, mientras que en la teoría de la confiabilidad de las pruebas, se estima que ésta varía de medición en medición. Por ejemplo, si medimos el resultado del intento ejecutado en el lanzamiento de la jabalina, éste está totalmente determinado, y no puede variar en el transcurso del tiempo. Evidentemente que, en virtud de causas aleatorias (por ejemplo, por tensión desigual de la lienza de medición) no se puede medir con una exactitud ideal, digamos, con una exactitud de 0,0001 mm, medir el mismo resultado. Sin embargo, al emplear un instrumento de medición más exacto (por ejemplo, un medidor láser de distancia) y ejecutando mediciones reiteradas (ver 3.2.5), es posible incrementar la precisión de las mediciones hasta el nivel necesario. Además, si se nos presenta la tarea de determinar el nivel de preparación del lanzador en determinado período del entrenamiento, la medición más exacta de los resultados

mostrados por él nos ayudará muy poco: estos resultados variarán de un intento al otro.

Para poder analizar la idea de los métodos empleados en la evaluación de la confiabilidad de las pruebas, analicemos un ejemplo simplificado. Supongamos que queremos comparar los resultados de los saltos de longitud desde el lugar de dos deportistas que han ejecutado dos intentos. Las conclusiones deben ser exactas, por eso no podemos limitarnos solamente al registro de los mejores resultados. Supongamos que cada uno de los resultados de ambos deportistas varían dentro de los límites de FIGURA 121 $\pm 10\text{cm}$ en relación con la magnitud promedio, y son iguales a FIGURA 122 $220 \pm 10\text{cm}$ (es decir, 210 y 230 cm) y FIGURA 123 $320 \pm 10\text{cm}$ (es decir, 310 y 330 cm) respectivamente. En este caso la conclusión evidentemente será una sola: el segundo deportista es superior al primero. La diferencia entre sus resultados ($320 - 220 = 100\text{cm}$) es obviamente mayor que las oscilaciones casuales ($\pm 10\text{cm}$). El resultado será mucho menos definido si para esta misma variación intra grupo ($\pm 10\text{cm}$) la diferencia entre los investigados (variación intergrupo) fuese pequeña. Digamos que los valores promedio fuesen iguales a 220 cm (en un intento 210 cm y en el otro 230 cm) y 222 (212 y 232 cm respectivamente). Entonces, puede suceder que, por ejemplo, en el primer intento, el primer deportista saltase 230 cm; y en el segundo, solamente 212 cm; precisamente se crea la impresión de que el primero es considerablemente más fuerte que el segundo. En el ejemplo vemos que, la principal importancia consiste no en la variación intra grupo por sí misma, sino en la relación que ésta guarda con las diferencias intergrupo. Una misma variación intra grupo presenta diferente confiabilidad cuando las diferencias entre los grupos son variables (en el caso dado, entre los investigados, Fig., 20).

La teoría de la confiabilidad de las pruebas parte de que el resultado de cualquier medición realizada en el hombre (x_t) es la suma de dos valores:

FIGURA 124

$$x_t = x_\infty - x_e \quad (4.1)$$

donde **FIGURA 125** x_∞ , es el denominado resultado verdadero que se quiere determinar; x_e es el error ocasionado por las variaciones incontroladas en el estado del investigado y los errores aleatorios de la medición.

En un análisis más profundo estas dos componentes se analizan por separado; en aras de la simplificación nosotros no lo haremos. Este enfoque es semejante a la proposición de que el error aleatorio de la medición es pequeño, en comparación con el grado de oscilación de los resultados ocasionado por las variaciones en el estado de los deportistas.

Por resultado verdadero se entiende el valor promedio de x_t para un número infinitamente grande de observaciones en igualdad de condiciones (por eso a la x se le coloca como subíndice el símbolo de infinito: **FIGURA 126** ∞).

Si los errores son aleatorios (su suma es igual a cero y en los diversos intentos no guardan dependencia alguna entre sí), entonces, de la estadística matemática podemos escribir:

FIGURA 127

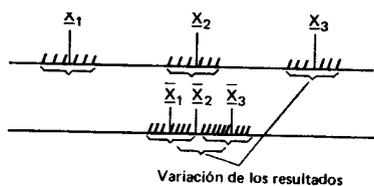


Fig. 20 Correlación entre las variaciones interclase e intraclass para confiabilidades alta (superior) y baja (inferior). Las líneas cortas verticales son los datos de las diferentes series; \bar{X}_1 , \bar{X}_2 y \bar{X}_3 son los resultados promedio de los tres investigados.

FIGURA 128 $s^2 = s_\infty^2 + s_e^2 \quad (4.2)$

es decir, la dispersión de los resultados registrada durante el experimento (**FIGURA 129** s_t^2) es igual a la suma de las dispersiones de los resultados verdaderos (**FIGURA 130** s_∞^2) y de los errores **FIGURA 131** (s_e^2).

FIGURA 130 s_{∞}^2 caracteriza una variación intergrupo idealizada (es decir, libre de errores), **FIGURA 131** s_e^2 es la variación intra grupo. La influencia de **FIGURA 131** s_e^2 varía la distribución de los resultados de la prueba (Fig. 21).

Se denomina coeficiente de confiabilidad (r_{tt}) a la relación entre la dispersión verdadera y la dispersión registrada durante el experimento:

$$\text{FIGURA 132 } r_t = \frac{\text{dispersión.verdadera}}{\text{dispersión.registrada}}$$

$$\text{FIGURA 133 } r_{tt} = \frac{s_{\infty}^2}{s_t^2} \quad (4.3)$$

Con otras palabras, r_{tt} es simplemente la parte de la variación verdadera, de aquella variación que fue registrada durante el experimento.

Además del coeficiente de confiabilidad, se emplea también el índice de confiabilidad:

$$\text{FIGURA 134 } r_{t\infty} = \sqrt{r_{tt}} \quad (4.4)$$

que se analiza como el coeficiente teórico de correlación entre los valores registrados durante la prueba y los verdaderos. También se emplea el concepto de error estándar de confiabilidad. Así se denomina la desviación media cuadrática de los resultados registrados de la prueba (x_t) de la línea de regresión que une el valor x_t con el resultado verdadero **FIGURA 135** x_{∞} . (Fig. 22).

$$\text{FIGURA 136 } s_{t\infty} = s_t \sqrt{1 - r_{tt}} \quad (4.5)$$

El error estándar de confiabilidad caracteriza la desviación media cuadrática de los resultados de los diversos investigados en relación con valores promedio. Por ejemplo, si el error estándar de confiabilidad es igual a - 3 cm, esto significa que en

el 68 % de los casos, los resultados de los deportistas, durante las mediciones reiteradas, se encontrarán dentro de los límites de **FIGURA 137** $\pm 3cm$ con respecto al resultado promedio que cada uno de ellos demostró.

FIGURA 138

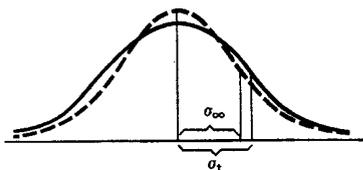


Fig. 21 Distribución de los resultados registrados de la prueba (X_t , línea continua) y de los resultados teóricos verdaderos (X_∞ , línea discontinua). Los valores promedio se presuponen iguales, $\sigma_t > \sigma_\infty$.

4.2.2 La evaluación de la confiabilidad a partir de los datos experimentales

El concepto resultado verdadero de la prueba es una abstracción. Durante el experimento no se puede medir x_∞ (ya que, en la realidad es imposible realizar una cantidad suficientemente grande de observaciones en igualdad de condiciones). Por eso, resulta necesario emplear métodos indirectos.

El método más difundido para la evaluación de la confiabilidad es, el análisis de varianza con el cálculo posterior de los coeficientes de correlación intra grupo (ver 3.5.3. y 3.5.4). Como es conocido, el análisis de varianza permite descomponer la variación de los resultados de la prueba, registrada durante el experimento, en componentes condicionados por la influencia de los distintos factores por separado. Por ejemplo, si para los investigados se registran los resultados de una prueba determinada, repitiendo esta prueba en días diferentes, además, cada día se realizan varias repeticiones, variando periódicamente los experimentadores, tendrán lugar las siguientes variaciones:

- a) de investigado a investigado (variación interindividual);
- b) de un día al otro;
- c) de un experimentador al otro;
- d) de un intento al otro.

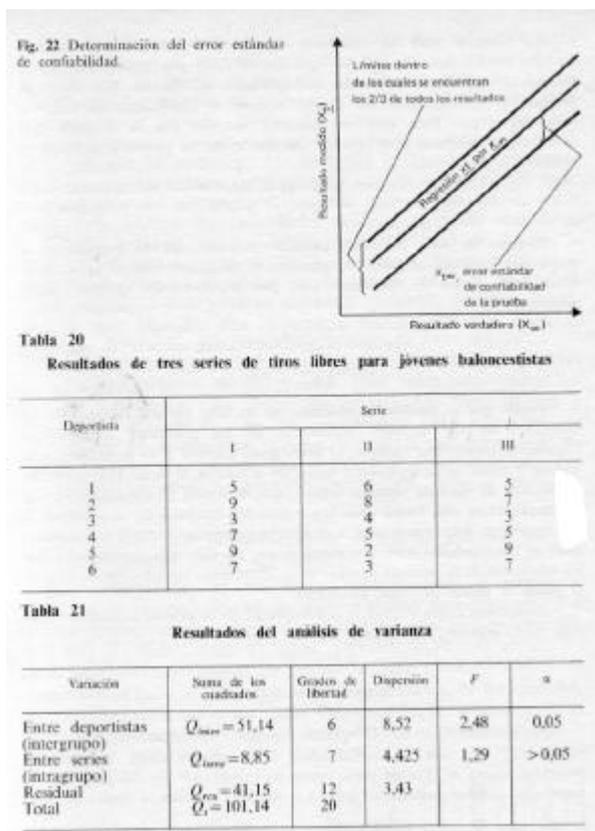
El análisis de varianza brinda la posibilidad de destacar y evaluar estas variaciones.

Mostremos un ejemplo sencillo de cómo esto se hace. A un grupo de jóvenes baloncestistas el entrenador propuso ejecutar tres tandas de diez tiros libres cada una. ¿Resulta esto suficiente para evaluar la exactitud de los baloncestistas (o sea, poder decir con convicción cual de ellos es el más certero, quién ocupa el segundo lugar, etc.)? Los resultados de la aplicación de la batería de pruebas se muestran en la tabla 20.

Empleando el algoritmo del análisis de varianzas, descrito en el epígrafe 3.5.3, obtenemos la tabla resumen 21.

Aunque las tablas 20 y 21 son análogas a las tablas 14 y 15 respectivamente, en el caso dado (al evaluar la confiabilidad) se denomina dispersión intergrupo a la dispersión de los resultados entre los investigados, y no entre los intentos, como sucedió en el epígrafe 3.5.3. Esta variación de denominación no influye en la técnica de los cálculos (es necesario no confundir cómo se llama cada dispersión).

FIGURA 139



La razón F para no dispersión de los resultados entre los intentos (=1,29) no alcanza el nivel de significación 0,05; por consiguiente, de un intento al otro como promedio los resultados no varían. Por eso, para evaluar la confiabilidad se puede utilizar el coeficiente de correlación intra grupo, Para esto es necesario calcular por la fórmula 3.51 la dispersión conjunta para la variación dentro de los grupos y la variación residual:

$$\text{FIGURA 140 } s_{\text{conj}}^2 = \frac{8,85 - 41,15}{7 + 12} = 2,63 \quad (\text{ver 3.5 1})$$

Después de esto se puede calcular el coeficiente de correlación de grupo por la fórmula 3.52. Por ejemplo, si se

quiere evaluar la confiabilidad de la media de las tres series, por los datos del ejemplo citado, entonces:

$$h = \frac{8,52 - 2,63}{2,52 - \left[\frac{3}{3} - 1 \right] \cdot 2,63} = 0,69 \quad (\text{Ver 3,52})$$

FIGURA 141

Vemos que el coeficiente obtenido no es muy elevado. Realmente los resultados de los distintos deportistas en las diferentes series varían considerablemente. Por ejemplo, el investigado número 5 en la primera serie encestó 9 veces; en la segunda, 2 veces; en la tercera, 9 veces. Los resultados del análisis de varianza también señalan que la prueba en cuestión no puede ser empleada en esta forma para una evaluación confiaste de la exactitud de los deportistas. La razón F para la dispersión intergrupo (=2,48) no alcanza el nivel de consideración 0,05; por consiguiente, los diferentes investigados, por los resultados de la presente prueba, no se diferencian considerablemente entre sí desde el punto de vista estadístico.

Analicemos cómo variará la confiabilidad de la prueba si utilizamos no tres, sino, digamos, seis series. En este caso:

FIGURA 142

$$h = \frac{8,52 - 2,63}{8,52 - \left[\frac{3}{6} - 1 \right] \cdot 2,63} = 0,813 \quad (\text{Ver 3.52})$$

La confiabilidad de la prueba aumentó considerablemente. Para incrementar más aún la confiabilidad de la prueba dada, es necesario aumentar, como se dice en estos casos, la longitud de la prueba, es decir, a la cantidad de tiros por serie, o la cantidad de series, o ambos a la vez.

De esta manera, para evaluar la confiabilidad es necesario, en primer lugar, efectuar el análisis de varianza y, en segundo

lugar, calcular el coeficiente de correlación de grupo (coeficiente de confiabilidad).

Surgen algunas complicaciones cuando tiene lugar el denominado trend, es decir, el aumento o la disminución sistemática de los resultados de un intento al otro (Fig. 23). En este caso, se emplean métodos más complejos de evaluación de la confiabilidad (no se describen en el presente libro).

En los casos en que se realizan dos intentos y ausencia de trend, las magnitudes del coeficiente de correlación intra grupo en la práctica coinciden con los valores del coeficiente normal de correlación entre los resultados del primero y el segundo intento. Por eso, en estos casos, para evaluar la confiabilidad también se puede emplear el coeficiente habitual de correlación (en este caso él evalúa la confiabilidad de uno, y no de los dos intentos). Sin embargo, si el número de intentos repetidos en la prueba es más de dos y (particularmente) si se emplean esquemas complejos de aplicación de pruebas (por ejemplo, dos intentos al día durante dos días), es necesario el cálculo del coeficiente intra grupo.

El coeficiente de confiabilidad no es un indicador absoluto en la caracterización de la prueba. Esta coeficiente puede variar en dependencia del grupo de investigados (principiantes y deportistas calificados), de las condiciones de aplicación de las pruebas (si se efectúan intentos reiterados uno tras otro, digamos, con un intervalo de una semana), y de otras causas. Por eso, siempre es necesario describir cómo y con quién se efectuó la prueba.

4.1.3 La confiabilidad en el trabajo práctico con las pruebas

La confiabilidad de los datos experimentales disminuye la magnitud de las evaluaciones de los coeficientes de correlación. Por cuanto ninguna prueba puede correlacionarse con otra prueba más que con si misma, aquí el límite superior de la

evaluación del coeficiente de correlación ya no es $\pm 1,00$, sino el índice de confiabilidad **FIGURA 143** $r_{tt} = \sqrt{r_{tt}}$. Para pasar de la evaluación de los coeficientes de correlación entre los datos empíricos, a las evaluaciones de la correlación entre los valores verdaderos, se puede emplear la expresión:

$$r_{xy} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{r_{xx} \cdot r_{yy}}}, \quad (4.6)$$

Fig. 23 Series de seis intentos, de los cuales los tres primeros (a la izquierda) o los tres últimos (a la derecha) indican trend.



donde: r_{xy} es la correlación entre los valores verdaderos x y y ; r_{xy} es la correlación entre los datos empíricos; r_{xx} y r_{yy} son las evaluaciones de confiabilidad de x y y.

Por ejemplo, si $r_{xy} = 0,60$, $r_{xx} = 0,80$ y $r_{yy} = 0,90$, la correlación entre los valores verdaderos es igual a 0,707.

La fórmula citada (4.6) se denomina corrección de disminución (o fórmula Spearman-Brown). Esta se emplea constantemente en la práctica

No existe un valor concreto de la confiabilidad que permita considerar la prueba contable en un grado determinado. Todo depende de la importancia de las conclusiones hechas sobre la base de la aplicación de la prueba. No obstante, en el deporte, en la mayoría de los casos, se pueden emplear los siguientes valores aproximados: 0,95 - 0,99 confiabilidad excelente; 0,90 - 0,94 buena; 0,80-0,89 aceptable; 0,70-0,79 mala; 0,60-0,69 dudosa para evaluaciones individuales (la prueba es aplicable solo para caracterizar el grupo de investigados). Es posible lograr cierto incremento de la confiabilidad de la prueba,

aumentando el número de repeticiones. He aquí, por ejemplo, cómo en un experimento aumentó la contabilidad de la prueba (lanzamiento de una granada de 350 g con carrera de impulso) a medida que aumentó el número de repeticiones: un intento, 0,53; dos intentos, 0,72; tres intentos, 0,78; cuatro intentos, 0,80; cinco intentos, 0,82; seis intentos, 0,84. En el ejemplo vemos que, al principio, la contabilidad crece rápidamente, y se hace mucho más lenta después de 3-4 intentos.

En los casos en que se hacen varias repeticiones, los resultados se pueden determinar de varias maneras: a) por el mejor intento, b) por el valor de la media aritmética, c) por la mediana, d) por la media de 2 ó 3 de los mejores intentos, etc. Las investigaciones han demostrado que, en la mayoría de los casos, lo más confiable es la utilización de la media aritmética, resulta algo menos confiable la mediana y aún menos confiable el mejor intento.

Al hablar de la contabilidad de las pruebas, se distinguen su estabilidad (posibilidad de reproducción), su grado de concordancia y su equivalencia.

4.3 NIVEL DE INFORMACION DE LAS PRUEBAS

4.3.1 Conceptos fundamentales.

El nivel de información de la prueba es el grado de exactitud con la cual ésta mide la propiedad (calidad, capacidad, característica, etc.) para cuya evaluación se aplica. Con frecuencia el nivel de información también se denomina validez (del inglés validity, fundamentación, realidad, legalidad). Supongamos que, para determinar el nivel de la preparación especial de fuerza de los velocistas (corredores y nadadores), se desean emplear los siguientes indicadores: 1) dinamometría de la mano, 2) fuerza de los flexores del pie, 3) fuerza de los extensores del brazo, 4) fuerza de los extensores del ,cuello.

Sobre la base de estas pruebas se propone la dirección del proceso de entrenamiento, en particular, encontrar los eslabones débiles del aparato motor Y fortalecerles de manera dirigida. ¿Son buenas o no las pruebas seleccionadas? ¿Son o no informativas? Incluso sin efectuar experimentos especiales podemos darnos cuenta de que la segunda prueba es informativa para los corredores de velocidad; la tercera, para los nadadores, mientras que la primera y la cuarta posiblemente no mostrarán nada interesante ni para los nadadores, ni para los corredores (aunque pueden resultar muy útiles para los representantes de otros tipos de deporte, por ejemplo, los luchadores). En los distintos casos unas mismas pruebas pueden presentar diferente nivel de información.

El problema del nivel de información de la prueba se descompone en dos problemas particulares:

- 1) ¿qué mide la prueba dada?**
- 2) ¿con qué exactitud ella mide?**

Por ejemplo, ¿es posible por un indicador como es el CMO, evaluar el nivel de la preparación de los corredores de fondo, y, si esto es posible, ¿con qué grado de exactitud? Con otras palabras, ¿cuál es el grado de información del CMO para los corredores de fondo? ¿Es posible utilizar esta prueba durante el control?

Si la prueba se emplea para determinar el estado del deportista en el momento del examen, entonces se trata del nivel de información de diagnóstico de la prueba. Si sobre la base de los resultados de la aplicación de la prueba quieren determinarse los posibles futuros indicadores del deportista, entonces el nivel de información es de pronóstico. La prueba puede ser diagnósticamente informativa, y pronósticamente no, y viceversa.

El nivel de información puede caracterizarse cuantitativamente, sobre la base de los datos experimentales (el denominado nivel de información empírico), y cualitativamente, sobre la base del análisis de contenido de la situación (de

contenido o lógica). Aunque en el trabajo práctico el análisis de contenido siempre debe anteceder al matemático; aquí, en aras de la comodidad de descripción, se comienza el análisis por los métodos de cálculo del nivel de información empírico.

4.3.2 El nivel de información empírico (primer caso: existe un criterio medible)

La idea de la determinación del nivel de información empírico (del griego *empeiria*, experimento) consiste en que los resultados de la prueba se comparan con un criterio establecido. Para esto se calcula el coeficiente de correlación entre dicho criterio y la prueba (este coeficiente se denomina coeficiente del nivel de información y se representa por r_{tc} donde *t* es la primera letra de la palabra "test" (prueba); y *c* de la palabra "criterio").

Como criterio se toma el indicador que refleja, de manera notoria e indiscutible, aquella propiedad que se pretende medir con la ayuda de la prueba.

Frecuentemente sucede que existe un criterio totalmente determinado con el cual se puede comparar la prueba propuesta. Por ejemplo, al evaluar el nivel de la preparación especial de los deportistas para deportes con resultados objetivamente medibles, por lo general sirve de criterio el propio resultado: es más informativa aquella prueba, cuya correlación con el resultado deportivo es superior. Al determinar el nivel de información de pronóstico, el criterio es el indicador cuyo pronóstico es necesario realizar (por ejemplo, si se pronóstico la talla del niño, el criterio es su estatura en la edad adulta).

En metrología deportiva los criterios más frecuentes son:

- 1) el resultado deportivo;
- 2) cualquier característica cuantitativa de la actividad competitiva (por ejemplo, la longitud del paso durante la carrera, la fuerza del despegue en los saltos, el éxito en la lucha debajo del tablero en el baloncesto, la ejecución del

saque en el tenis o en el voleibol, el porcentaje de pases largos exactos en el fútbol);

- 3) los resultados de otra prueba cuyo nivel de información se encuentra demostrado (si la ejecución de la prueba criterio es voluminosa y compleja, y es posible seleccionar otra prueba igualmente informativa, pero más simple. Por ejemplo, en lugar del metabolismo gaseoso, determinar la FCC). Este caso particular, cuando el criterio es otra prueba, se denomina nivel de información concurrente:
- 4) la pertenencia a un grupo determinado. Por ejemplo, es posible comparar los maestros del deporte con los deportistas de las categorías inferiores; la pertenencia a uno de estos grupos es precisamente el criterio. En el caso dado, se emplean variantes especiales del análisis de correlación;
- 5) el denominado criterio compuesto, por ejemplo, la suma de los puntos en las pruebas múltiples. En este caso, los tipos de pruebas múltiples y las tablas de puntuación pueden ser tanto los empleados comúnmente, o los confeccionados de nuevo por el experimentador (ver el capítulo 5 acerca de cómo se elaboran las tablas). El criterio compuesto se emplea cuando no existe un criterio único (por ejemplo, si la tarea consiste en evaluar el nivel en su preparación física general, la maestría de; jugador en los juegos con pelota, etc, ningún indicador, tomado por sí solo, puede servir de criterio).

Ejemplo de la determinación de; nivel de información de una misma prueba es la velocidad de la carrera volante de 30 m, cuyos valores para los distintos criterios se brindan en la tabla 23 (estos datos se obtuvieron con la participación de 62 deportistas, que mostraron en los saltos de longitud resultados desde 6 m hasta 7,72 m; los resultados en el triatlón se tomaron por encuesta).

La cuestión de la elección de; criterio es, en esencia, la más importante en la determinación de; valor real y de; nivel de

información de la prueba. Por ejemplo, si la tarea consiste en determinar el nivel de información de una prueba como es el salto de longitud desde el lugar, en los velocistas, es posible elegir criterios diferentes: el resultado de la carrera de 100 m, la longitud de paso, la relación entre la longitud del paso y la longitud de las piernas o la talla, etc. En este caso el nivel de información de la prueba variará (en el ejemplo citado éste aumentó de 0,558 para la velocidad de la carrera, hasta 0,781 para la relación "longitud del paso/longitud de la pierna"; fueron investigados 44 velocistas, que en la carrera de 100 m mostraron resultados desde 11,6 s hasta 10,5 s).

Tabla 23
Nivel de información de la prueba "carrera volante de 30 m" ($n=62$)

Criterio	Medida del criterio	Coefficiente del nivel de información
Salto de longitud con carrera de impulso	Resultado del salto (cm)	0,658
Carrera de impulso en los saltos de longitud	Velocidad de la carrera en los últimos 10 m (m/s)	0,918
Resultados deportivos en los saltos de longitud	Categoría en atletismo (desde 2da. hasta maestro del deporte)	0,715
Resultado del triatlón: carrera de 100 m, saltos de longitud, carrera de 100 m con vallas	Suma de puntos	0,764

En los deportes donde no se puede medir objetivamente la maestría deportiva, se trata de superar esta dificultad introduciendo criterios artificiales. Por ejemplo, en los juegos con pelota, por equipos, los expertos distribuyen a todos los jugadores según su maestría en determinado orden (es decir, elaboran listas con 20, 50 ó, digamos, 100 de los mejores jugadores). El lugar ocupado por el deportista (su rango) se analiza como criterio con el cual precisamente se comparan los resultados de las pruebas, con el objetivo de determinar su grado de información.

Podría surgir la pregunta siguiente: ¿para qué emplear las pruebas si se conoce el criterio?, ¿no sería más sencillo, por ejemplo, organizar competencias de control y determinar el resultado deportivo, que determinar los resultados en los ejercicios de control? Sin embargo:

- 1) determinar el resultado deportivo no siempre es posible, o conveniente (por ejemplo, no se pueden celebrar con frecuencia competencias de carrera de maratón, en invierno, por lo general no se puede registrar el resultado en el lanzamiento de la jabalina; y en verano, en las carreras en esquíes),
- 2) el resultado deportivo depende de muchas causas (factores) tales como son, por ejemplo, la fuerza de; deportista, su resistencia, la técnica, etc. La aplicación de las pruebas brinda la posibilidad de determinar los aspectos fuertes y débiles del deportista, evaluar cada uno de estos factores por separado.

4.3.3 El nivel de información empírico (segundo caso: no existe un criterio único; nivel de información de factor)

Con frecuencia sucede que no existe un criterio único, con el cual sea posible comparar los resultados de las pruebas propuestas. Supongamos que se quieren hallar las pruebas más informativas para la evaluación del nivel de preparación de fuerza en jóvenes. ¿A qué dar preferencia: a las tracciones en la barra fija o a la extensión de brazos con apoyo en las paralelas; las cuclillas con pesas; ejercicios de halón o pasar a posición de sentado desde la posición de acostado? ¿Qué puede servir aquí de criterio para la elección correcta de la prueba?

Es posible aplicar al investigado un complejo o batería de pruebas de fuerza, y después seleccionar entre ellas aquellas que brindan la mejor correlación con los resultados de todo el complejo (en realidad, no se puede aplicar sistemáticamente

todo el complejo: ya que es sumamente voluminoso e incómodo). Estas pruebas serán lo más informativas posible: ellas brindan conocimientos sobre los posibles resultados de los investigados según toda la batería inicial de pruebas. Pero los resultados de ella no se expresan por un solo número. Evidentemente, es posible crear cierto criterio compuesto (por ejemplo, determinar la suma de los puntos acumulados por una escala cualquiera). Sin embargo, es mucho más efectiva la otra vía, basada en el análisis de factor.

El análisis factorial es uno de los métodos de la estadística multidimensional (la palabra "multidimensional" indica que se estudian a la vez muchos indicadores diferentes, por ejemplo, los resultados de los investigados en muchas pruebas). Este es un método bastante complejo, por eso es conveniente limitarse solamente a la exposición fundamental de su idea.

El análisis factorial parte de que el resultado de cualquier prueba es consecuencia de la acción conjunta de una serie de factores no observados directamente (latentes). Por ejemplo, los resultados de las carreras de 100, 800 y 5000 m dependen de las cualidades de velocidad del deportista, de su fuerza, de su resistencia, etc. La importancia de estos factores para cada una de las distancias no es igual. Si se eligen dos pruebas, sobre las cuales influyen aproximadamente en igual grado uno o más factores, los resultados de estas pruebas se correlacionarán fuertemente entre sí (digamos, en las carreras de distancias de 800 y 1000 m). Pero si estas pruebas no presentan factores comunes de ningún tipo, o ellos influyen de diferente forma sobre los resultados, la correlación entre estas pruebas será baja (por ejemplo, entre los resultados de las carreras de 100 y 5000 m). Cuando se emplea un gran número de pruebas diferentes y se calculan los coeficientes de correlación entre ellas, con la ayuda del análisis factorial es posible determinar cuántos factores actúan conjuntamente sobre las pruebas dadas y cuál es su grado de influencia en cada prueba. Posteriormente, ya

resulta fácil seleccionar las pruebas (o sus combinaciones) que evalúan los diferentes factores de la manera más exacta.

Citemos un ejemplo. La tarea del experimento consistía en encontrar las pruebas más informativas para la evaluación del nivel de la preparación general de fuerza para los estudiantes deportistas de III a I categoría, que practican diferentes tipos de deporte. Con este objetivo se analizaron 108 personas en 15 pruebas (N. Averkovich, V. Zatsiorski, 1966). Como resultado del análisis factorial se destacaron tres factores: 1) la fuerza muscular de los miembros superiores, 2) la fuerza muscular de los miembros inferiores, 3) la fuerza muscular de los abdominales y de los flexores del muslo. Entre las pruebas seleccionadas las más informativas fueron: para el primer factor, flexión con apoyo; para el segundo, salto de longitud desde el lugar, para el tercero, en suspensión elevación de las piernas extendidas al frente y pasar a la posición de sentado desde la posición de acostado, durante 1 min. De limitarse a una sola prueba, la más informativa fue giros con apoyo en la barra fija (se evaluaba el número de repeticiones).

4.3.4 El nivel de información empírico en el trabajo práctico

El la utilización práctica de los indicadores del nivel de información empírica es necesario tener en cuenta que éstos son válidos solo en relación con aquellos investigados y condiciones, para los cuales fueron calculados. La prueba que es informativa para un grupo de principiantes, puede resultar totalmente no informativa en el grupo de maestros del deporte.

El nivel de información de la prueba no es igual cuando varía la composición de los grupos. En particular, en los grupos más homogéneos en composición, por lo general la prueba es menos informativa. Si se ha determinado el nivel de información de la prueba para un grupo cualquiera, y después los más fuertes de este grupo se incluyen en el equipo nacional, el nivel de

información de esta misma prueba para el equipo nacional será considerablemente menor. Las causas de esto se comprenden al analizar la figura 24; la selección disminuye la dispersión total de los resultados en el grupo y reduce las magnitudes del coeficiente de correlación. Por ejemplo, si se determina el nivel de información de una prueba como el CMO para los nadadores de 400 m, que presentan resultados considerablemente diferentes (digamos, de 3 min. 55 s hasta 6 min. 30 s), el coeficiente del nivel de información será muy elevado ($r_{tc} > 0,90$); si realizamos estas mismas mediciones en un grupo de nadadores que presentan resultados de 3 min. 55 s hasta 4 min. 30 s, en magnitud absoluta r_{tc} no superará los 0,4-0,6; si determinamos este mismo indicador para los nadadores más fuertes del mundo ($3 \text{ min. } 3 \text{ min. } 53 \text{ s} \leq t_{natac} \leq 4 \text{ min. } 00 \text{ s}$), el coeficiente del nivel de información en general puede ser igual a cero; con la ayuda de una prueba como ésta no será posible diferenciar a los deportistas que hayan realizado el recorrido, digamos, en 3 min. 55 s, en 3 min 59 s; ya que, tanto para unos, como para otros, los valores del CMO serán elevados y aproximadamente iguales.

Los coeficientes del nivel de información dependen considerablemente de la confiabilidad de la prueba y del criterio. La prueba con baja confiabilidad siempre es poco informativa, por eso no tiene sentido comprobar el nivel de información de pruebas poco confiables. La confiabilidad insuficiente del criterio también conduce a la reducción de los coeficientes del nivel de información. Sin embargo, en el caso dado sería incorrecto despreciar la prueba como poco informativa, ya que el límite superior de la posible correlación de la prueba no es ± 1 , sino su índice de confiabilidad. Por eso es necesario comparar el coeficiente del nivel de información con este índice. El nivel de información real (con la corrección por la no confiabilidad del criterio) se calcula por la fórmula:

$$r_{ic} = \frac{r_{tc}}{\sqrt{r_{cc}}} \quad (4.7)$$

Así, en una de las investigaciones, el rango de un deportista de polo acuático (el rango se tomó como criterio de maestría) se estableció sobre la base de las evaluaciones de cuatro expertos. La confiabilidad (grado de concordancia) del criterio, determinada con la ayuda del coeficiente de correlación intra grupo, fue igual a 0,64. El coeficiente del nivel de información fue igual a 0,56. El coeficiente real del nivel de información (con la corrección por la no confiabilidad del criterio) es igual a:

$$r_{ic} = \frac{0,56}{\sqrt{0,64}} = 0,70$$

Se encuentra estrechamente relacionado con el nivel de información y la confiabilidad de la prueba el concepto de su *posibilidad distintiva*, o sea, aquella diferencia mínima entre los investigados que se diagnostica con la ayuda de la prueba (por su sentido, este concepto es análogo al concepto de sensibilidad de un instrumento). La posibilidad distintiva de la prueba depende de

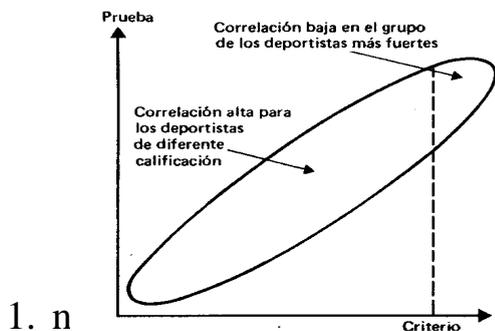


Fig. 24 Influencia de la selección de los investigados en el nivel de información de la prueba.

1. La variación interindividual de los resultados. Por ejemplo, una prueba como "el número máximo de lanzamientos de una pelota de baloncesto a una pared a una distancia de 4 m durante ¡Os", es buena para los principiantes, pero inapropiado para los baloncestistas calificados, ya que todos ellos muestran

aproximadamente un mismo resultado, y se hacen indistinguibles, es decir, para ellos la prueba no presenta posibilidad distintiva. En muchos casos la variación de los resultados entre los investigados (variación intergrupo) puede elevarse mediante el incremento de; grado de dificultad de la prueba. Por ejemplo, si les aplicamos a deportistas de diferentes calificaciones una prueba funciona; fácil para ellos (digamos, 20 cuclillas, o pedaleo en el velergómetro con una potencia de 200 kgm\min), la magnitud de los cambios fisiológicos será aproximadamente igual, y resultará imposible evaluar el nivel de preparación. Si les aplicamos una tarea difícil, las diferencias entre ellos se hacen mayores, y será posible evaluar su nivel de preparación por los resultados de la prueba.

De la confiabilidad de la prueba (es decir, de la correlación de las variaciones interindividual e intraindividual) y del criterio. Si los resultados de un mismo investigado, en los saltos de longitud desde el lugar, varían, digamos, dentro de los límites de $\pm 10\text{ cm}$, y aunque la longitud del salto se pueda determinar con una precisión de $\pm 1\text{ cm}$, no es posible distinguir con certeza a los investigados cuyos "verdaderos" resultados han sido igual a 315 y 316 cm.

No hay una cantidad fija de información de la prueba, a partir de la cual se pueda considerar ésta como aceptable. Aquí mucho depende de la situación concreta: de la exactitud deseada del pronóstico, de la necesidad de obtener aunque sea ciertas informaciones complementarias acerca del deportista, etc. En la práctica, para el diagnóstico se emplean pruebas cuyo nivel de información no sea menor de 0,3. Generalmente, para el pronóstico se necesita un nivel de información más elevado: no menos de 0,6.

Evidentemente, el nivel de información de una batería de prueba es superior al nivel de información de una prueba. Con frecuencia sucede que el nivel de información de una prueba tomada por separado, resulta demasiado bajo para emplearla. No obstante, el nivel de información de la batería de pruebas en

la cual ésta se encuentra incluida, puede resultar totalmente suficiente.

4.3.5 El nivel de información de contenido (lógico)

No siempre es posible establecer el nivel de información de la prueba con la ayuda del experimento y la elaboración matemática de sus resultados. Por ejemplo, si la tarea consiste en preparar las preguntas para los exámenes o los temas de los trabajos de diploma (esto también es una variedad de la aplicación de pruebas), es necesario seleccionar las preguntas más informativas, por las cuales se pueda evaluar, de la manera más exacta, los conocimientos de los estudiantes y su nivel de preparación para el trabajo práctico. Por ahora, en casos similares se apoyan solamente en el análisis lógico, de contenido, de la situación.

A veces también sucede que el nivel de información de la prueba es claro, sin ningún tipo de experimentos, particularmente cuando la prueba es simplemente una parte de las acciones que ejecuta el deportista en las competencias. Difícilmente se necesiten experimentos para demostrar el nivel de información de indicadores tales como el tiempo para la ejecución de vueltas en la natación, la velocidad en los últimos pasos de la carrera de impulso en los saltos de longitud, el porcentaje de tiros libres acertados en el baloncesto, la calidad de la ejecución del saque en el tenis o en el voleibol.

Sin embargo, no todas las pruebas semejantes son igualmente informativas. Por ejemplo, los saques desde atrás de la línea lateral en el fútbol, aunque es también un elemento del juego, difícilmente se puede analizar como uno de los más importantes indicadores de la maestría de los futbolistas. Si estas pruebas son muchas, y es necesario seleccionar las más informativas entre ellas, resulta imposible solucionar este problema sin los métodos matemáticos de la teoría de las pruebas. .

El análisis de contenido del nivel de información de la prueba y su fundamentación matemático-experimental deben complementarse entre sí. Ninguno de estos enfoques por separado es suficiente. En particular, si como resultado del experimento se ha determinado un alto coeficiente del nivel de información de la prueba, es necesario comprobar obligatoriamente si esto no es consecuencia de la denominada falsa correlación. Ella resulta posible cuando, sobre los resultados de ambos síntomas correlacionados influye un tercer indicador, que, por sí mismo, no representa interés alguno. Por ejemplo, entre los escolares de los grados superiores es posible encontrar una considerable correlación entre los resultados de la carrera de 100 m y los conocimientos de geometría, por cuanto estos escolares, en comparación con los alumnos de los grados inferiores, muestran como promedio indicadores más elevados tanto en la carrera, como en el conocimiento de la geometría. El tercer síntoma colateral, que ocasionó la manifestación de la correlación, resultó ser la edad de los investigados. Es evidente que cometerá un error el investigador que no detecte esto y recomiende un examen de geometría como prueba para los corredores de 100 m. Para no cometer semejantes errores es necesario analizar de manera obligatoria las relaciones de causa-efecto, ocasionadas por la manifestación de correlación entre el criterio y la prueba. En particular, resulta útil imaginarse, qué pasaría si los resultados de la prueba mejoraran. ¿Conduciría esto al incremento de los resultados del criterio? En el ejemplo citado esto significa que si el alumno mejora sus conocimientos de geometría, correrá más rápidamente la distancia de 100 m. La evidente respuesta negativa lleva a una conclusión natural: los conocimientos de geometría no pueden servir de prueba para los velocistas. La relación hallada resulta falsa. Se sobreentiende que las situaciones de la vida real son considerablemente más complejas que este pueril ejemplo.

Un caso particular del nivel de información de contenido de las pruebas es el nivel de información por definición. En nuestro caso, simplemente se aplica en el sentido que es necesario dar a una palabra determinada (término). Por ejemplo, se dice "el salto de altura desde el lugar caracteriza la saltabilidad". Sería más exacto decir: "se ha convenido denominar saltabilidad a aquel ejercicio que se mide como resultado del salto de altura desde el lugar". Este convenio es necesario, ya que evita incomprensiones innecesarias (pues cualquiera puede entender por saltabilidad los resultados de una serie de diez saltos sobre una pierna, y el salto de altura desde el lugar considerarlo, digamos, la prueba para la fuerza "explosiva" de las piernas).

5 FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LAS EVALUACIONES Vladimir Zatsiorski

5.1 EL PROBLEMA DE LAS EVALUACIONES

5.1.1 Conceptos fundamentales

Los resultados mostrados por los deportistas (en particular, los resultados de las pruebas), en primer lugar, se expresan en diferentes unidades de medida (tiempo, distancia, etc.), y por eso no son directamente comparables entre sí; en segundo lugar, por sí mismo no indican cuán satisfactorio es el estado del deportista (por ejemplo, el tiempo de una carrera de 100 m igual a 12 s puede analizarse tanto como muy bueno, como muy malo, en dependencia de quién se trate).

Por eso los resultados se transforman en evaluaciones (goles, puntos, marcas, categorías, etcétera).

Se denomina evaluación (o evaluación pedagógica) a la medida unificada del éxito en una tarea determinada, en el caso particular, en la prueba. El proceso de deducción (de cálculo, de determinación) de las evaluaciones se denomina calificación.

Son ejemplo de evaluación: las tablas de puntuación para los deportes, las evaluaciones de los resultados de las pruebas, las

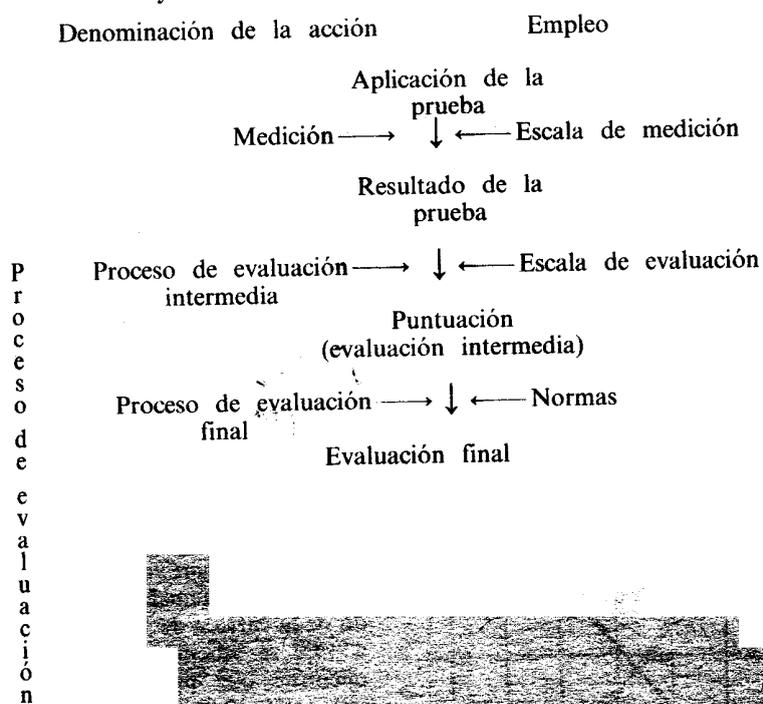
calificaciones de las escuelas y los centros de enseñanza superior en cultura física y educación física, las posiciones en las competencias y la práctica -que se justifica por sí misma- del cálculo no oficial de las puntuaciones en los juegos olímpicos. La evaluación puede ser expresada de diferentes maneras, por ejemplo, en forma de característica cualitativa ("bien-satisfactorio-mal" o "aprobado- desaprobado") en forma de notas, de puntos acumulados.

En todos los casos ésta presenta rasgos generales comunes. Se distinguen las evaluaciones docentes que otorga el profesor a los alumnos en el desarrollo del proceso docente, y las evaluaciones de calificación, que abarcan todas las demás evaluaciones (en particular, los resultados de las competencias oficiales, de la aplicación de las pruebas, etc.). No existe una gran diferencia entre las evaluaciones docentes y las de calificación; sin embargo, por lo general, el procedimiento para la evaluación de calificación, como norma, es más complejo.

En su forma completa y desarrollada, la evaluación de calificación se realiza en dos etapas. En la primera etapa los resultados deportivos mostrados se transforman en puntos, sobre la base de las denominadas escalas de evaluaciones (evaluación intermedia), mientras que en la segunda etapa, después de comparar los puntos acumulados con normas previamente establecidas, se determina la evaluación final. Por ejemplo, en los eventos múltiples, al principio los resultados en los distintos deportes se transforman en puntos y, posteriormente, después de su comparación con las normas de la clasificación deportiva, se determina la evaluación final, o sea, se otorga la categoría deportiva. La secuencia de las acciones en el proceso de evaluación se presenta en el esquema expuesto, en el cual también se han incluido las etapas de aplicación de la prueba y medición de los resultados de la prueba.

No en todos los casos el proceso de evaluación tiene lugar según este esquema desarrollado. A veces los procesos de las evaluaciones intermedia y final se funden.

Esquema del proceso de evaluación de los resultados deportivos y de los resultados de las pruebas



5.1.2 Las tablas de puntuación para los diferentes deportes y las escalas de evaluación.

El análisis de las tablas de puntuación para algunos deportes permite introducir una serie de conceptos necesarios para el estudio posterior de; curso de metrología deportiva.

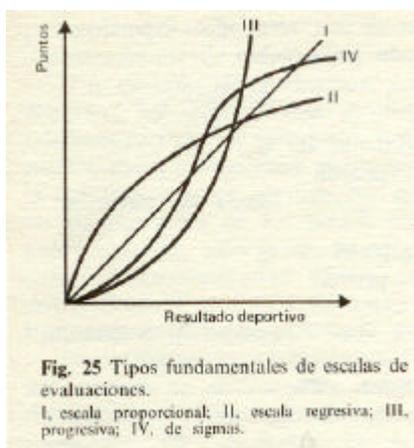
El objetivo de cualquier tabla semejante es la transformación del resultado deportivo mostrado (expresado en medidas objetivas: kilogramos, segundos, etc., el lugar ocupado o el número y la significación de las victorias) en puntos convencionales. La ley de transformación de los resultados deportivos en puntos se denomina escala de evaluación. La escala puede estar dada en forma de expresión matemática (fórmula), tabla o gráfico. En la figura 25 se muestran de

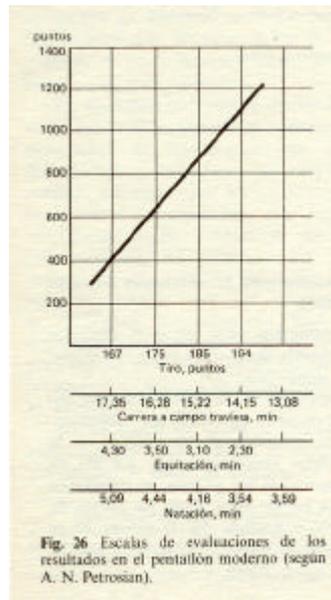
manera esquemática 4 tipos básicos de escalas que se presentan en el deporte y la educación física.

El primer tipo son las **escalas** proporcionales. Este tipo de escala presupone la adjudicación de igual número de puntos por un mismo incremento de los resultados (por ejemplo, por cada 0,1 s de mejoría en el resultado de la carrera de 100 m se adjudican 20 puntos). Las escalas proporcionales se encuentran aprobadas en las pruebas múltiples contemporáneas, carreras en patinaje sobre hielo, las carreras en esquíes, el biatlón en esquíes, el biatlón convencional y otros deportes (Fig. 26).

El segundo tipo son las **escalas** regresivas. En este caso por un mismo incremento del resultado, se adjudica un número cada vez menor de puntos a medida que crecen los resultados deportivos (por ejemplo, por un incremento del resultado de la carrera de 100 m de 15,0 a 14,9 se adicionan 20 puntos; mientras que por 0, 1 s, en el rango de 10,0 a 9,9 s, solo 15 puntos). Estas escalas parecen ser injustas, pero en muchos casos su aplicación resulta conveniente (ver 5.1.4). Las escalas de este tipo se encuentran aprobadas actualmente para algunos tipos de saltos y lanzamientos de atletismo (Fig. 27).

El tercer tipo, son las **escalas** progresivas. Aquí, mientras mayor sea el resultado deportivo, mayor será la adición de puntos que se confiere a su mejoramiento (por ejemplo, por mejorar el tiempo de la carrera de





15,0 a 14,9 s se adicionan 1 0 puntos; y de 10,0 a 9,9 s, 100 puntos). Las escalas progresivas se aplican en la natación, en algunos elementos de atletismo, en el levantamiento de pesas (Fig. 28).

El cuarto tipo son las **escalas** en forma de sigma (o en forma de S). En estas escalas el mejoramiento de los resultados en las zonas de logros muy bajos y logros muy altos se estimula pobremente; la mayor cantidad de puntos corresponden a los resultados en la zona media de los logros. En el deporte estas escalas no se emplean, pero se utilizan ampliamente en la evaluación del nivel de la preparación física (por ejemplo, así se comporta la escala de patrones del nivel de la preparación física de la población de los EE.UU.).

5.1.3 Las tareas fundamentales del proceso de evaluación

Las tareas fundamentales del proceso de evaluación son las siguientes:

1. Comparar los diferentes logros en una misma tarea (prueba, disciplina deportiva, ejercicio, elemento de los eventos

múltiples). Por ejemplo, comparar los resultados deportivos iguales a la norma de maestro del deporte y de la primera categoría. ¿Cuántos resultados de primera categoría corresponden a uno de maestro del deporte?

2. 2. Comparar los logros en las distintas tareas. Aquí lo principal es equiparar las evaluaciones con los logros de igual nivel de complejidad en los diferentes tipos de deportes, o en las diversas disciplinas de las competencias. Estos logros de igual nivel de dificultad se denominan **equivalentes**.

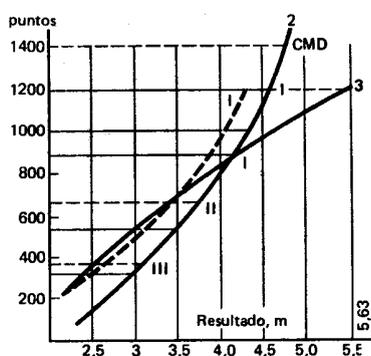


Fig. 27 Escalas de evaluaciones de los resultados en los saltos con garrocha (por las tablas de puntuación de diferentes años: 1, tabla de 1950; 2, de 1962; 3, tabla internacional de 1964); I, II y III categorías, CMD, normas de CDU.

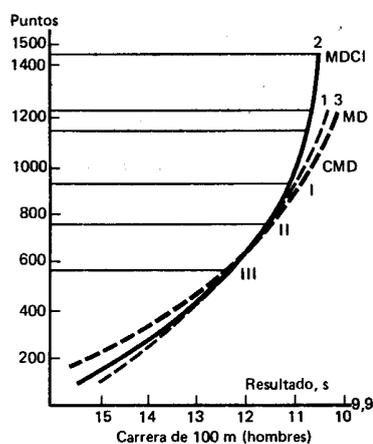


Fig. 28 Escalas de evaluaciones en la carrera de 100 m (1, tabla de 1950; 2, de 1962; 3, tabla internacional de 1964).

3. Determinar las normas. En los distintos casos (evaluaciones escolares, etc.) las normas coinciden con las gradaciones de la escala.

La solución de estas tareas, íntegramente, determina el sistema de evaluación.

5.1.4 El problema del criterio

La fundamentación de la evaluación se puede basar en dos grupos de criterios. La evaluación debe:

1. Ser justa, es decir, evaluar los resultados:

a) de igual nivel de dificultad (equivalentes) con la misma cantidad de puntos, y

b) de diferente nivel de dificultad, adjudicado a un mayor número de puntos, mientras mayor sea el nivel de dificultad de los logros.

2. Conducir a resultados prácticamente útiles.

Estos criterios no siempre son compatibles. Por ejemplo, en principio, la escala progresiva resulta justa: incluso superar ligeramente una marca mundial es incomparablemente más difícil, que alcanzar el mismo incremento de los resultados a nivel de III categoría. La escala considera este desigual nivel de dificultad: mientras más elevado sea el resultado deportivo, mayor es la cantidad de puntos que se confieren consecuentemente con el incremento de los logros. En la práctica esto conduce a que a los deportistas participantes en los eventos múltiples les resulte ventajoso entrenarse intensamente, primero, en los deportes más gustados, o sea, en aquellos donde pueden obtener la mayor cantidad de puntos. En las condiciones de la participación por equipos, la escala progresiva eleva el valor de los altos resultados deportivos, pero frena la masividad: un maestro de deporte brinda al equipo mucho más puntos que varios deportistas de las otras categorías.

Las escalas regresivas difícilmente pueden considerarse justas, pero son útiles. En las pruebas múltiples ellas estimulan la atención a los eventos rezagados; y en las competencias por equipos, a la masividad (en deterioro de la maestría).

La cuestión de cuál sistema de evaluación es mejor no tiene sentido, si no se plantea el objetivo en aras del cual se aplica este sistema. Por ejemplo, si el objetivo es (digamos, en las competencias de preparación física general, PFG) eliminar los eslabones débiles de la preparación, la escala regresiva es la más aceptable, independientemente de su falta de justedad.

Se sobreentiende que en todos los casos, en que esto es realizable, resulta conveniente combinar los criterios de ambos grupos (la justedad y el efecto útil)

•

Ya se ha señalado que no se pueden compatibilizar directamente los logros en las diferentes tareas (digamos, no está claro qué es más difícil: la carrera de 1 00 m en 11,0 s, o un salto de altura de 2,00 m). En estos casos se emplean enfoques indirectos. Las más difundidas son las escalas donde se consideran equivalentes los logros accesibles a un mismo número de personas de igual sexo y edad. De acuerdo con este criterio, todas las marcas mundiales existentes son equivalentes y deben evaluarse con una misma cantidad de puntos; son también equivalentes los cientos de resultados que se encuentran en los historiales de los más fuertes deportistas; son equivalentes los resultados accesibles al 50% de las muchachas de 12 años de edad, etc. En el epígrafe 5.2 se describen las escalas basadas en este criterio.

5.2 LAS ESCALAS DE EVALUACION

5.2.1 Las escalas estándares

Estas escalas se han denominado así, porque la medida en ellas son las desviaciones estándares (medias cuadráticas). La más simple de las escalas estándar es la escala Z. En esta escala los puntos conferidos son iguales a la desviación normada. En ella el resultado promedio se evalúa como cero puntos, los resultados inferiores al

valor promedio obtienen puntos negativos, mientras que la mayoría aplastante de los resultados se ubica en un rango que está desde -3 hasta +3. Debido a los valores negativos esta escala resulta incómoda y se emplea muy poco.

La más popular de las escalas estándares es la **escala T**. Aquí el valor promedio se iguala a 50 y el estándar a 10 puntos:

$$T = 50 + 10 \cdot \frac{x - \bar{X}}{s} = 50 + 10Z \quad (5.1)$$

donde x es el resultado mostrado; \bar{X} y s , como siempre, son la magnitud promedio y la desviación estándar. Por ejemplo, si el valor promedio en los saltos de longitud desde el lugar resultó igual a 224 cm, y el estándar es 20 cm; por un resultado de 222 cm se confieren 49 puntos, mientras que por 266 cm se dan 71 puntos (compruebe si esto es correcto). Se sobreentiende que el hecho de igualar el valor promedio a 50 puntos y el estándar a 10 es arbitrario. En la práctica mundial también se emplean otras escalas estándares (tabla 24).

Tabla 24

Algunas escalas estándar

Denominación de la escala	Fórmula básica	Dónde y para qué se emplea
Escala C	$C = 5 + 2Z$	En las investigaciones masivas, cuando no se requiere una gran precisión
Escala de las notas escolares	$H = 3 - Z$	En algunos países de Europa
Escala Binet	$B = 100 + 16Z$	En las investigaciones psicológicas del intelecto
Escala de exámenes	$E = 500 + 100Z$	En EE.UU. para el ingreso a los centros de enseñanza superior

Las escalas estándares son proporcionales (ver 5.1.2). Se pueden emplear si la distribución de los resultados de la prueba se encuentra cerca a la normal. Al emplear las tablas de la distribución normal resulta fácil conocer el porcentaje de personas que se encuentran en un rango determinado de la escala estándar. Por ejemplo, en promedio el 34% de todos los deportistas acumularán más de 50 puntos y menos de 60 por la escala T.

5.2.2 La escala de percentiles

Si se realiza, por ejemplo, una carrera masiva con arrancada común, al deportista se le pueden conferir tantos puntos, cuantos participantes (en porcentaje) él sobrepase. Si se adelantó a todos (100%), obtiene 100 puntos; si le ganó al 72%, 72 puntos, etc. El mismo principio también se puede emplear en las demás pruebas: igualar la cantidad de puntos conferidos al porcentaje de personas que sobrepasó el participante en cuestión. La escala estructurado de esta manera se denomina de percentiles; y el intervalo de esta escala, percentil. Un percentil abarca el 1% de todos los investigados. Como es conocido, el percentil 50 se denomina mediana. Por cuanto la mayor parte de las personas muestran resultados cercanos al promedio, y son relativamente pocas las personas con resultados muy altos o muy bajos, los percentiles corresponden a los diferentes incrementos de los resultados de las pruebas: a mitad de la escala se encuentran los resultados bajos y en los extremos, los altos (Fig.29).

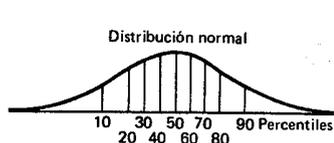


Fig. 29 Correlación entre la distribución normal y la escala de percentiles.

Las escalas de percentiles pertenecen a las escalas en forma de sigma y son, en esencia, funciones (cumulatas) de distribución normal (ver Fig. 6). Las escalas de percentiles son muy demostrativas y por eso se utilizan ampliamente (Fig. 30).

La figura 31 ilustra algunas escalas basadas en las propiedades de la distribución normal.

5.2.3 Las escalas de puntos seleccionados.

Las escalas descritas se pueden construir si se conoce la distribución estadística, de los resultados de la prueba: la media, los

estándares y demás parámetros de la distribución. Estos datos no siempre se logran obtener. Esto resulta posible, por ejemplo, al elaborar escalas tales como la serie GTO (ver capítulo 9), las normas de educación física en la escuela, etc, y no son realizables al elaborar las tablas para los distintos deportes.

En este último caso generalmente se procede de la siguiente forma: se toma cualquier resultado deportivo elevado (por ejemplo, la marca mundial o el décimo resultado en la historia del deporte dado) y se iguala, digamos, a 1.000 6 a 1.200 puntos. Seguidamente, sobre la base de los resultados de experimentos masivos, se determina el resultado promedio del grupo de personas débilmente preparadas y se le da un valor de, digamos, 100 puntos. Después, si se emplea la escala proporcional, solamente resta ejecutar los cálculos aritméticos, ya que dos puntos determinan, invariablemente, una línea recta. La escala construida de esta forma se denomina **escala de puntos seleccionados**.

Al utilizar las escalas progresivas o regresivas, resulta complejo seleccionar sus grados de desviación respecto a la dependencia lineal. Por ejemplo, si por mejorar el tiempo de la carrera de 15,0 a 14,9 s se confieren 10 puntos, la diferencia entre los resultados 10,0 y 9,9 s puede evaluarse, digamos, en 15 6 150 puntos. Por lo general esta selección se basa en la opinión personal de los especialistas. Los métodos científicos para la solución de este problema no se han elaborado. Es precisamente por esto que muchos deportistas y entrenadores, en casi todos los deportes donde se emplean estas tablas, no las consideran totalmente justas.

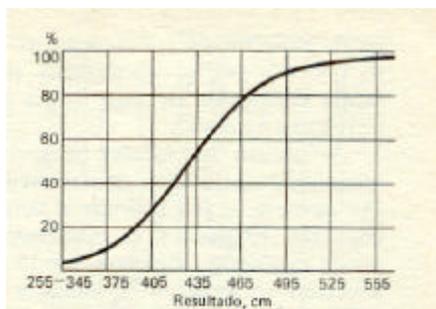


Fig. 30 Ejemplo de una escala de percentiles elaborada con los resultados de la aplicación de la prueba a estudiantes de los centros de enseñanza superior de Moscú en los saltos de longitud ($n=4.000$, datos de E. Y. Bondarievski).

En las abscisas, el resultado en los saltos de longitud; en las ordenadas, el porcentaje de estudiantes que mostraron un resultado igual al dado, o mejor que este (por ejemplo, el 50% de los estudiantes saltaron una distancia de 4 m y 30 cm y superior).

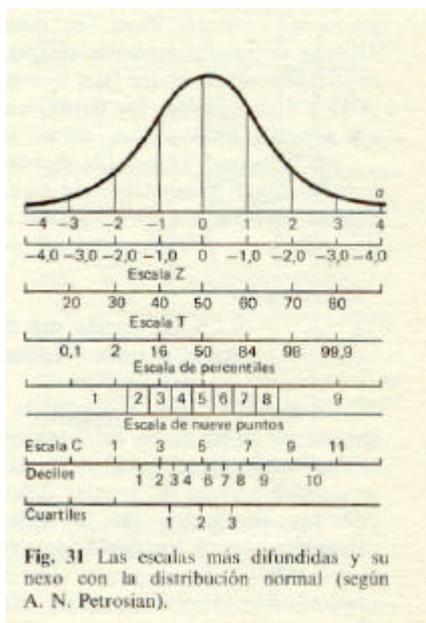


Fig. 31 Las escalas más difundidas y su nexo con la distribución normal (según A. N. Petrosian).

5.2.4 Las escalas paramétricas

En los deportes de carácter cíclico y en el levantamiento de pesas los resultados dependen de parámetros tales como la longitud de la distancia y el peso del deportista. Estas dependencias se denominan **paramétricas**. Para las marcas mundiales éstas presentan un aspecto comparativamente simple (figuras 32 y 33). Para los demás resultados equivalentes (por ejemplo, iguales en grado de dificultad a la II y I categorías) las dependencias de los parámetros deben tener un aspecto análogo, es decir, longitudes similares.

En principio es posible encontrar dependencias paramétricas que sean el lugar geométrico de puntos de resultados equivalentes. Las escalas construidas sobre la base de estas dependencias se denominan paramétricas, y pertenecen al grupo de las más exactas.

5.2.5 La escala del Instituto Estatal Central de Cultura Física (Orden "Lenin")

En muchos casos, al repetir la aplicación de la prueba, no se logra garantizar condiciones estrictamente constantes. Varían, por ejemplo, el deslizamiento, el perfil de la distancia, etc. En estas situaciones no se pueden aplicar las escalas descritas. Evidentemente que es posible, por los resultados de la aplicación de la prueba, realizar la categorización de los deportistas (es decir, emplear la escala de orden, ver 2.1.2) y, comparando los resultados de varios experimentos realizados en diferente tiempo, analizar el rango del deportista como su evaluación. Por ejemplo, si al aplicar la prueba al equipo de jockey sobre hielo, un deportista ocupó el décimo lugar por los resultados de las pruebas sobre hielo, tanto en noviembre, como en febrero, se puede considerar que su nivel de preparación no ha variado, en comparación con el nivel de preparación de los demás miembros del equipo. Sin embargo, en las investigaciones periódicas, la composición la cantidad total de miembros del equipo sometido a la prueba, por diferentes causas, no permanece constante: alguien se enfermó, otro fue retirado para la participación en las demás competencias, etc. Supongamos que en noviembre la prueba se aplicó a 10 deportistas; y en febrero, a 20. Resulta evidente que ocupar el décimo lugar entre 10 ó entre 20 participantes no es lo mismo (en el segundo caso, el deportista superó a diez, y en el primero a ninguno). Además, como ya se ha señalado, la escala de rangos (la escala de orden) no resulta cómoda porque no determina los intervalos entre los investigados.

Para los casos en que las condiciones de aplicación de la prueba no permanecen constantes, en la cátedra de biomecánica del IECCF (Orden "Lenin") fue propuesta una escala cuya base es la siguiente expresión matemática:

$$Puntos = 100 \times \left(1 - \frac{mejor.resultado - resultado.evaluado}{mejor.resultado - peor.resultado} \right) \quad (5.2)$$

Por ejemplo, el mejor resultado en el lanzamiento de la pelota medicinal fue de 20 m; el peor, de 10 m. Los puntos conferidos por un resultado de 15 m son:

$$Puntos = 100 \times \left(1 - \frac{20 - 15}{20 - 10} \right) = 50 \text{ puntos}$$

Por la escala del IECCF, el deportista que mostró el mejor resultado siempre obtiene 100 puntos; el que ocupó el último lugar no obtiene puntos.

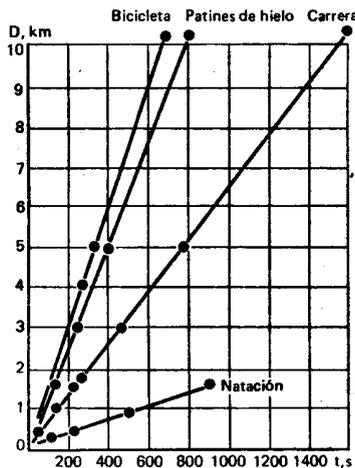


Fig. 32 Dependencia paramétrica entre la longitud de la distancia y el tiempo (por los datos de las marcas mundiales en los deportes de carácter cíclico).

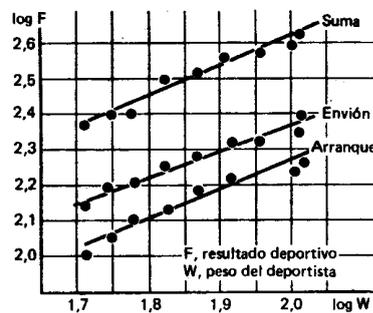


Fig. 33 Dependencia paramétrica entre el resultado deportivo y el peso individual de cada pesista (por los datos de las marcas mundiales).

5.2.6 La evaluación de la batería de pruebas

Si los deportistas pasan los experimentos en complejo de pruebas, el proceso de evaluación se puede realizar mediante dos procedimientos fundamentales. En el primer caso, no se calcula la evaluación general para toda la batería de pruebas, sino que, mediante un análisis posterior, se utilizan las evaluaciones obtenidas por separado para cada prueba. En estos casos se emplean con mucha frecuencia, las expresiones gráficas de los resultados de la aplicación de la batería de pruebas, o sea, los denominados perfiles. En la figura 34 se da un ejemplo de estos perfiles. También son posibles otras formas de representación de los perfiles. Los resultados mostrados por el deportista, o por el grupo, se comparan con los resultados promedio y las desviaciones estándares de los

resultados mostrados hasta el momento por un grupo grande de deportistas.

En el segundo procedimiento se calcula la evaluación final para toda la batería de pruebas. Aquí son posibles dos variantes: 1) se suman las evaluaciones obtenidas para las distintas pruebas que forman parte de la batería, al igual que se realizan las evaluaciones finales en las competencias de eventos múltiples; 2) las evaluaciones obtenidas en las distintas pruebas, primeramente se multiplican por coeficientes ("pesos") diferentes para cada prueba, y después se suman. Esta evaluación final para la batería de pruebas se denomina evaluación de ponderación. Se emplea cuando es necesario incrementar la importancia de los distintos elementos. Para las pruebas más importantes se toman "pesos" elevados.

5.3 LAS NORMAS

5.3.1. Las variedades de las normas

En la metrología deportiva se denomina norma a la magnitud límite de; resultado que sirve de base para incluir al deportista en uno de los grupos de clasificación. Los deportistas pueden incluirse en estos grupos de acuerdo con las categorías deportivas (ver capítulo 9), las normas de la serie GTO, el grado de entrenamiento, etcétera.

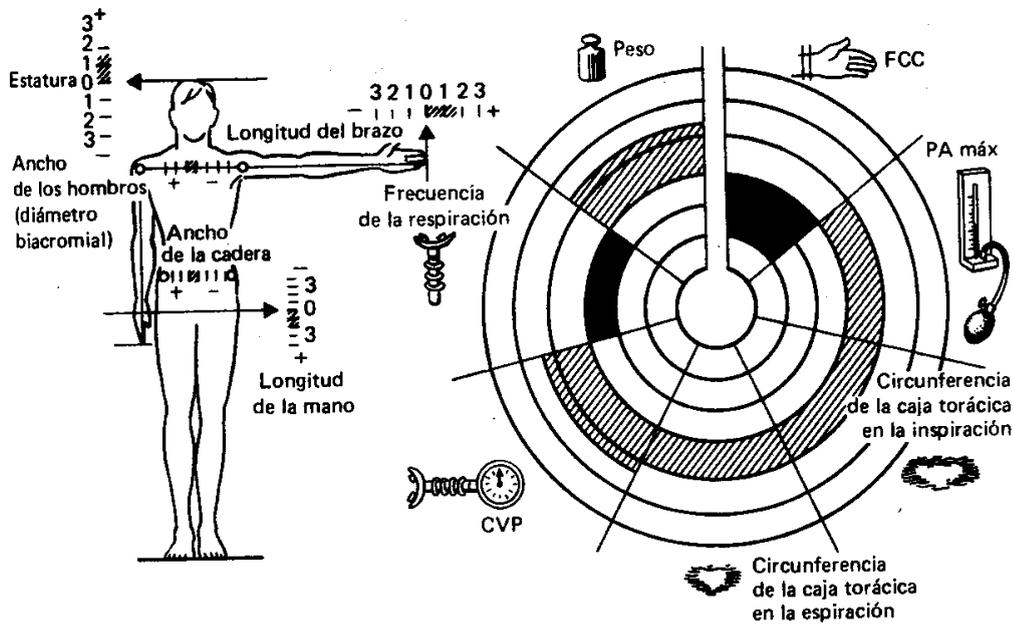


Fig. 34 Perfil del desarrollo físico de los representantes del remo académico, participantes en los Juegos Olímpicos de 1960 (por los datos de L. Gedda y coautores).

Antes de iniciarse los Juegos Olímpicos fueron analizados 5923 deportistas participantes. Sobre esta base se calcularon las magnitudes promedio y las desviaciones estándar de los resultados (las magnitudes promedio corresponden a los valores nulos en el gráfico; los números 1, 2 y 3 a los valores estándar de las desviaciones). Vemos que los remeros superaron a los restantes participantes de los Juegos Olímpicos en indicadores tales como la estatura, el peso, la longitud de los brazos, el ancho de los hombros y la cadera, etc., en una o dos desviaciones estándar. La FCC de los remeros fue menor en 2σ .

Tabla 25 Posibles gradaciones de las normas y las evaluaciones

Evaluación		Límites	porcentaje investigado	Normas en las escalas		
En palabras	en puntos			Z	T	de percentiles
Muy baja	1	Inferior a $\bar{X}-2\sigma$	2,27	—	—	—
Baja	2	De $\bar{X}-2\sigma$ hasta $\bar{X}-1\sigma$	13,59	-2,0	30	2,5
Inferior a la media	3	De $\bar{X}-1\sigma$ hasta $\bar{X}-0,5\sigma$	14,99	-1,0	40	16
Media	4	De $\bar{X}-0,5\sigma$ hasta $\bar{X}+0,5\sigma$	38,29	-0,5	45	31
Superior a la media	5	De $\bar{X}+0,5\sigma$ hasta $\bar{X}+1\sigma$	14,99	+0,5	55	69
Alta	6	De $\bar{X}+1\sigma$ hasta $\bar{X}+2\sigma$	13,59	+1,0	60	84
Muy alta	7	Superior a $\bar{X}+2\sigma$	2,27	+2,0	70	97,5

Existen tres tipos de normas: a) comparativas, b) individuales y e) necesarias.

Las normas comparativas tienen como base la comparación de las personas que pertenecen a un mismo universo. Generalmente estas normas se establecen con la ayuda de las escalas descritas en el epígrafe 2, pero pueden elaborarse indirectamente con los datos de las medias y los estándares. Por ejemplo, si se crean siete grupos de clasificación, esto se puede hacer como se muestra en la tabla 25. Las normas en la escala de percentiles se obtienen redondeando el por ciento de investigados incapaces de cumplirlas.

El establecimiento de normas de este tipo es fácil porque inmediatamente resulta claro a qué porcentaje de personas se puede aplicar. Estas normas resultan convenientes cuando se pueden registrar de manera experimental los valores promedio y las desviaciones estándar de los resultados en el universo para el cual se aplican.

En las normas comparativas a veces se emplea otro criterio (además del porcentaje de personas para las cuales la norma es factible). Se trata del tiempo necesario para alcanzar determinado nivel de los resultados. Por ejemplo, al determinar las normas de las categorías en la Clasificación deportiva única de la URSS CDU (ver capítulo 9) se supone que los plazos para la preparación de los deportistas en una misma categoría en todos los deportes, sean aproximadamente iguales.

Las normas comparativas caracterizan solamente los éxitos de los investigados en dicho universo comparativamente, pero nada dicen acerca de; universo en general. Puede resultar que en determinada región, y en determinadas condiciones históricas, el nivel de la preparación física de los niños sea insuficiente. Si en este caso se construye una escala de evaluaciones de cualquier tipo (por ejemplo, una de las escalas estándares) y después, sobre la base de esta, se aplican las normas (como se ha hecho, por ejemplo, en la tabla 25) entonces, un nivel que es notoriamente inaceptable será tomado como "promedio" y se creará una apariencia de prosperidad. Por eso,

las normas comparativas deben confrontarse con los datos obtenidos en los demás universos investigados, y emplearlas en combinación con las normas individuales y necesarias.

Las normas individuales están basadas en la comparación de los indicadores de un mismo deportista en diferentes estados, por ejemplo, en muchos deportes no existe dependencia entre el peso del deportista y el resultado deportivo (deportistas de cualquier peso pueden alcanzar éxitos aproximadamente iguales). Aplicar en estos casos una norma comparativa no tiene sentido. Sin embargo, para cada deportista existe un peso individual óptimo, que corresponde a su estado en forma deportiva. Esta norma individual se puede determinar de manera sistemática, registrando el peso del deportista dado durante un tiempo lo suficientemente prolongado. Las normas individuales corrientemente se utilizan de una forma particularmente amplia.

Las normas necesarias están basadas en el análisis de lo que debe ser capaz de hacer el hombre, para ejecutar con éxito las tareas que la vida le plantea: el trabajo, la actividad de la defensa, la vida cotidiana, el deporte, etc. Por ejemplo, sería incorrecto aplicar las normas de natación en la serie GTO sobre la base del nivel promedio de la capacidad de nadar de personas de determinada edad. Puede suceder que, como promedio, ellas no naden lo suficientemente bien. Estas normas se deben aplicar teniendo en cuenta, cómo debe ser capaz de nadar el hombre para sostenerse confiadamente en el agua y vencer los obstáculos acuáticos. Resulta evidente que aquí es conveniente aplicar la norma necesaria.

De esta manera, las normas comparativas, individuales y necesarias tienen como base la comparación de los resultados de un deportista con los resultados de los demás deportistas, los indicadores de un mismo deportista en los diferentes períodos y estados y los datos existentes con los valores establecidos.

5.3.2 Las normas por edades

Estas normas pertenecen al grupo de las comparativas. Están basadas en el hecho evidente de que, con la edad, varían las posibilidades funcionales de las personas. Existen dos variantes para determinar las normas por edades. En la primera variante, se elabora para las personas de cada edad, de la manera convencional, una escala de evaluaciones (por ejemplo, la escala de percentiles o la escala T) y después, con su ayuda, se aplican las normas (digamos, iguales a 50 o 75 puntos por la escala de percentiles). En la segunda variante se determina la denominada edad **biológica** (en este caso particular, la motora). Ella corresponde a la edad promedio calendario de las personas que han tenido un resultado dado. Por ejemplo, un niño (no importa de qué edad) realizó un salto de longitud desde el lugar de 144 cm. El resultado promedio de los niños de 8 años es de 140 cm (tabla 26); y el de los niños de 8 años y 5 meses, 145 cm. De aquí que resulta fácil calcular que 144 cm corresponde a una edad motora de 8 años y 4 meses (8-4).

Tabla 26
Edad motora de los niños por los
datos de los saltos de longitud desde el
lugar

Resultado (cm)	Edad motora (años, meses)
130	7-1
135	7-6
140	8-0
145	8-5
150	9-1
155	9-9
160	10-8
165	11-8

Si la edad motora supera la edad calendario, estos niños se denominan **acelerados** o motores; si se rezaga se llaman **retardados** motores. Por ejemplo, si tres niños, uno de los cuales tiene 7 años, el otro 8 y el tercero, 9 (estas son sus edades calendario), ejecutaron un salto de longitud desde el lugar, de 140 cm el primero de ellos, por lo tanto, es acelerado; el tercero, resultó retardado, y la edad motora de; segundo (por los datos de la prueba) correspondió a la edad calendario. Puede suceder que en unos indicadores el niño pertenezca al grupo de los acelerados, mientras que por los otros, a

los retardados. Acelerados y retardados completos se presentan muy raramente.

Al determinar las normas por edades las personas se agrupan consecuentemente Para los niños y adolescentes las gradaciones por edades son más frecuentes que para los adultos. Esto se debe a la rápida variación de las posibilidades motoras de los niños. En las investigaciones científicas se han aprobado gradaciones de no más de medio año; y en casos particularmente precisos, hasta dos meses. Determinar la edad en meses y días no resulta fácil. Los patrones internacionales requieren que se calcule por el sistema decimal (tabla 27). En este caso, la edad se determina por la diferencia entre la fecha de aplicación de la prueba y la fecha de nacimiento (en el sistema decimal).

Por ejemplo, la fecha de aplicación de la prueba fue: 17 de octubre de 1977=77,792

la fecha de nacimiento: 20 de julio de 1961=61,548

la edad el día de aplicación de la prueba será: $77,792 - 61,548 = 16,244$ años.

Tabla 27

Días del año en el sistema decimal

Día	1 Ene	2 Feb	3 Mar	4 Abr	5 May	6 Jun	7 Jul	8 Ago	9 Sep	10 Oct	11 Nov	12 Dic
1	000	085	162	247	329	414	496	581	666	748	833	915
2	003	088	164	249	332	416	499	584	668	751	836	918
3	005	090	167	252	334	419	501	586	671	753	838	921
4	008	093	170	255	337	422	504	589	674	756	841	923
5	011	096	173	258	340	425	507	592	677	759	844	926
6	014	099	175	260	342	427	510	595	679	762	847	929
7	016	101	178	263	345	430	512	597	682	764	849	932
8	019	104	181	266	348	433	515	600	685	767	852	934
9	022	107	184	268	351	436	518	603	688	770	855	937
10	025	110	186	271	353	438	521	605	690	773	858	940
11	027	112	189	274	356	441	523	608	693	775	860	942
12	030	115	192	277	359	444	526	611	696	778	863	945
13	033	118	195	279	362	447	529	614	699	781	866	948
14	036	121	197	282	364	449	532	616	701	784	868	951
15	038	123	200	285	367	452	534	619	704	786	871	953
16	041	126	203	288	370	455	537	622	707	789	874	956
17	044	129	205	290	373	458	540	625	710	792	877	959
18	047	132	208	293	375	460	542	627	712	795	879	962
19	049	134	211	296	378	463	545	630	715	797	882	964
20	052	137	214	299	381	466	548	633	718	800	885	967
21	055	140	216	301	384	468	551	636	721	803	888	970
22	058	142	219	304	386	471	553	638	723	805	890	973
23	060	145	222	307	389	474	556	641	726	808	893	975
24	063	148	225	310	392	477	559	644	729	811	896	978
25	066	151	227	312	395	479	562	647	731	814	899	981
26	068	153	230	315	397	482	564	649	734	816	901	984
27	071	156	233	318	400	485	567	652	737	819	904	986
28	074	159	236	321	403	488	570	655	740	822	907	989
29	077		238	323	405	490	573	658	742	825	910	992
30	079		241	326	408	493	575	660	745	827	912	995
31	082		244		411		578	663		830		997

5.3.3 Importancia de las particularidades de la complexión

Las dimensiones del cuerpo (la estatura, el peso, etc.) influyen en las posibilidades motoras de las personas. Así, las personas de estatura elevada tienen ventaja en los saltos de altura. Evidentemente se desea determinar normas que sean lo más justas posible, para que las diferencias en complexión no influyan sobre ellas. La vía más simple para esto es la elección de pruebas en las que no influyan las particularidades de la complexión. Por ejemplo, para las niñas la velocidad máxima de la carrera no depende de la estatura (Fig. 35), mientras que para los niños esta dependencia existe solamente en el período de la madurez sexual. Si no se pueden seleccionar pruebas similares, se hace necesario aplicar normas que tengan en consideración no solo la edad, sino también la talla y el peso.

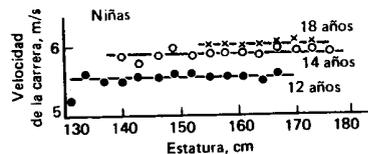


Fig. 35 Velocidad máxima de la carrera para los niños de diferente edad y con diferente estatura (datos de más de cien mil observaciones, según F. Bach).

. En la figura 36 se da un ejemplo de nomograma para la determinación del resultado promedio en los saltos de longitud desde el lugar, para los niños y niñas de quince años de edad. Para determinar el resultado promedio es necesario unir en el nomograma los valores de talla y peso con una línea recta. El punto donde esta línea intercepta la escala de los resultados en los saltos de longitud desde el lugar, indicará el valor promedio de esta prueba. A estos mismos objetivos sirven los denominados índices de clasificación (IC). Cada uno de estos índices, empleados para la evaluación del nivel de la preparación física de los escolares en los EE.UU. y Canadá, presenta el siguiente aspecto: $IC = 20 \text{ edad (en el sistema decimal)} + 2,5 \text{ talla (cm)} + 2,0 \text{ peso (Kg.)} - 12$.

Para cada valor del IC se ha elaborado una escala de percentiles. Al determinar el valor del IC para un investigado por separado, se puede evaluar su nivel de preparación física, considerando la edad, la talla y el peso.

5.3.4 La aplicabilidad de las normas

Las normas se elaboran para un grupo (universo) determinado de personas y son aplicables solamente a este grupo. Por ejemplo, las normas elaboradas sobre la base de la investigación de los niños de Moscú, no se pueden extrapolar mecánicamente a los niños de las regiones sureñas del país. La aplicación de las normas solamente a aquel universo, para el cual fueron elaboradas, se denomina relevancia de las normas.

Las normas son aplicables si han sido establecidas sobre la base de la investigación de una muestra típica de analizados dentro de todo el grupo (del universo) al cual se aplican. Como es conocido de

la estadística matemática, la muestra que refleja fielmente el universo se denomina representativa. Por ejemplo, si para determinarlas normas se seleccionan escuelas que presentan las mejores condiciones para las clases de cultura física, esta muestra puede ser no representativa en relación con todas las escuelas.

Finalmente, considerando que las posibilidades motoras de las personas de diferentes generaciones no son iguales, las normas se deben revisar periódicamente. La norma debe ser moderna.

La relevancia, la representatividad y la modernidad de las normas son condiciones obligatorias para su aplicación.

.
:
:
:
FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA METROLOGIA DEPORTIVA

1 INTRODUCCION A LA METROLOGIA DEPORTIVA
Vladimir Zatsiorski

1.2 EL OBJETO DE ESTUDIO DE LA METROLOGIA DEPORTIVA

La palabra metrología, en su traducción de griego, significa "la ciencia de las mediciones" (métron, medida; lógos, ciencia).

La tarea principal de la metrología general es el aseguramiento de la unidad y la exactitud en las mediciones. Como disciplina científica, la metrología deportiva representa una parte de la metrología general cuyo objetivo específico es el control y las mediciones en el deporte. En particular, su contenido incluye: 1) el control del estado del deportista, las cargas de entrenamiento, la técnica de ejecución de los movimientos, los resultados deportivos y la conducta del deportista en las competencias; 2) la comparación de los datos obtenidos en cada uno de estos controles, su valoración y análisis.

Sin embargo, en el programa del curso de "Metrología deportiva", que se imparte en los institutos de cultura física, se han incluido algunos temas, que provienen de otras esferas de conocimiento (por ejemplo, fundamentos de estadística matemática, que se desarrolla en el capítulo-3; métodos instrumentales en el capítulo 7; etc.). Esto se ha hecho porque se imparten temas similares, en menor volumen, en los institutos de cultura física de la URSS y no sería racional incorporarle estos objetivos específicos en el plan docente. De esta manera, el contenido del curso docente de "Metrología deportiva" va más allá de los límites de la metrología deportiva como disciplina científica.

Tradicionalmente, la metrología se ha ocupado solamente de la medición de magnitudes físicas. En los últimos decenios se han creado métodos que permiten medir diversos indicadores de naturaleza no física (psicológicos, biológicos, sociológicos, pedagógicos y otros). Sin embargo, entre los metrologos no existe un punto de vista único acerca de las fronteras de esta ciencia. Unos especialistas consideran que, al igual que antes, la metrología debe ocuparse solamente de los problemas de la medición de las magnitudes físicas; otros, la analizan como la ciencia que abarca todo tipo de mediciones. En el presente libro se encuentra reflejado el segundo punto de vista (más amplio), por cuanto, en la práctica deportiva es evidente que resulta insuficiente medir solo las magnitudes físicas.

FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LAS MEDICIONES. Vladimir Zaisiorski, Vladimir Utkín

Se denomina *m e d i c i ó n* (en el amplio sentido de la palabra) a la correspondencia que se establece entre los fenómenos estudiados, por una parte, y su expresión numérica por la otra.

Por todos son conocidas y comprendidas las variedades más simples de mediciones, por ejemplo, la medición de la longitud del salto y la del peso del cuerpo. Sin embargo, ¿cómo medir (¿es posible medir?) el nivel de los conocimientos, el grado de fatiga, el carácter expresivo de los movimientos, la maestría técnica? Parece ser que éstos son fenómenos inmensurables. Pero, en verdad, en cada uno de estos casos es posible establecer las relaciones "mayor-igual-menor", y decir que el deportista A domina mejor la técnica que el deportista B, mientras que la técnica de B es mejor que la de C, etc. Resulta posible utilizar los números en lugar de las palabras. Por ejemplo, en lugar de las palabras "satisfactorio", "bueno", "excelente", emplear los números "3", "4" y "5". En el deporte, con mucha frecuencia es necesario expresar en números, indicadores aparentemente inmensurables. Por ejemplo, en las competencias de patinaje artístico sobre hielo, la maestría técnica y el nivel artístico

se expresan numéricamente en las valoraciones de los jueces. En el amplio sentido de la palabra todos estos son casos de medición.

Analizaremos tres problemas que representan los fundamentos de la teoría de las mediciones: las escalas de mediciones, las unidades de medidas y la exactitud en las mediciones.

2.4 LAS ESCALAS DE MEDICIONES

Existen diversas escalas de mediciones. Aquí se describen cuatro de ellas.

2.4.1 La escala de denominaciones (escala nominal)

Esta es la más simple de todas las escalas. En ella los números desempeñan el papel de señales y sirven para detectar y diferenciar los objetos estudiados (por ejemplo, la numeración de los jugadores del equipo de fútbol). Los números que componen la escala de denominaciones pueden intercambiar sus lugares. En esta escala no existen relaciones del tipo "mayor-menor", por eso algunos plantean que el empleo de la escala de denominaciones no amerita considerarse una medición. Al emplearse la escala de denominaciones pueden realizarse solamente algunas operaciones matemáticas. Por ejemplo, sus números no se pueden sumar o restar, pero puede contarse cuántas veces (con qué frecuencia) se presenta el mismo número.

2.4.2 La escala de orden

Existen deportes donde el resultado del deportista está determinado (por ejemplo, solamente por el lugar ocupado en las competencias en los combates cuerpo a cuerpo). Al finalizar estas competencias resulta claro cuál de los deportistas es más fuerte y cuál más débil. Pero no se puede decir en cuánto es más fuerte o más débil. Si tres deportistas ocuparon respectivamente el primero, el segundo y el tercer lugar, las diferencias en la maestría deportiva permanecen siendo desconocidas: el segundo

deportista puede ser casi igual al primero o puede ser sensiblemente más débil que él y casi igual al tercero. Los lugares ocupados en la escala de orden se denominan rangos, mientras que la propia escala se denomina *de rango o no métrica*. En esta escala, los números que la componen se encuentran ordenados por rangos (es decir, por el lugar que ocupan), pero los intervalos entre ellos no se pueden medir con exactitud. diferencia de la escala de denominaciones, la escala de rangos permite establecer no solo el hecho de la igualdad o desigualdad de los objetos medidos, sino también determinar el carácter de la desigualdad en forma de apreciación "mayor-menor", "mejor-peor", etcétera.

Con la ayuda de las escalas de orden es posible medir indicadores cualitativos, que no poseen una medida cuantitativa estricta. Estas escalas se utilizan de manera particularmente amplia en las ciencias humanísticas: pedagogía, sicología y sociología.

A los rangos de la escala de orden se puede aplicar un mayor número de operaciones matemáticas, que a los números de las escalas de denominaciones.

2.4.3 La escala de intervalos

Esta es una escala en la cual los números no solo se encuentran ordenados por rangos, sino que también están divididos en determinados intervalos. La particularidad que diferencia esta escala de la de relaciones que se describirá posteriormente, consiste en que el cero de la escala se selecciona de manera arbitraria. Pueden servir de ejemplos el tiempo calendario (en los distintos calendarios el conteo de los años se ha establecido sobre bases arbitrarias), el ángulo articular (para una extensión completa del antebrazo, el ángulo de la articulación cubital puede tomarse igual a cero o 180°), la temperatura, la energía potencial de una carga que se levanta, el potencial del campo eléctrico, etcétera.

Los resultados de las mediciones por la escala de orden pueden elaborarse matemáticamente, excepto el cálculo de relaciones. Los datos de la escala de intervalos dan respuesta a la pregunta ¿Cuánto mayor?, pero no permiten confirmar que un valor de la magnitud medida sea tantas veces mayor o menor que el otro. Por ejemplo, si la temperatura aumentó de 10 a 20' C, no se puede decir que hace dos veces más calor.

.

2.4.4 La escala de relaciones

Esta escala se distingue de la escala de intervalos por el hecho de que en ella se encuentra estrictamente determinada la posición de; cero de la escala. Gracias a esto la escala de relaciones no establece ningún tipo de limitaciones al aparato matemático empleado para la elaboración de los resultados de las observaciones.

En el deporte, por la escala de relaciones, se miden la distancia, la fuerza, la velocidad y otras decenas de variables. Por la escala de relaciones también se miden aquellas magnitudes que se forman como resultado de la diferencia entre números calculados por la escala de intervalos. Así, el tiempo calendario se cuenta por la escala de intervalos, mientras que los intervalos de tiempo se calculan por la escala de relaciones.

Al emplear la escala de relaciones (y ¡solamente en este caso!) la medición de una magnitud determinada se reduce a la determinación experimental de la relación entre esta magnitud y otra semejante, tomada como unidad. Al medir la longitud del salto, conocemos en cuántas veces esta longitud es mayor que la longitud de otro cuerpo tomado como unidad de longitud (la regla métrica en este caso particular); al pesar la palanqueta, determinamos la relación que existe entre la

masa de este cuerpo y la masa de otro, la unidad de peso en kilogramo, etcétera.

Si solamente tenemos en cuenta el empleo de las escalas de relaciones, es posible dar otra definición (más estrecha o particular) de la medición: medir una magnitud cualquiera significa encontrar, por la vía experimental, su relación con la correspondiente unidad de medida.

En la tabla 1 se da una información resumida sobre las escalas de medición. En ella se señalan de manera particular, los métodos de estadística matemática que se pueden emplear al trabajar con una escala determinada. Será necesario regresar a esta tabla, después de familiarizarnos con los métodos de la estadística matemática (capítulo 3).

2.5

NIDADES DE MEDIDAS

U

Para que los resultados de las distintas mediciones puedan ser comparados unos con otros, estos deben estar expresados en las mismas unidades. La historia cuenta con un gran número de diversas unidades de medidas.

El primer sistema único de medidas fue elaborado durante el período de la gran revolución francesa, al final del siglo XVIII. Este es el por todos conocido sistema métrico de medidas, o como también se le llamó, sistema decimal. Este sistema reflejó el nivel de conocimientos de aquel tiempo, él incluía solamente las unidades de longitud, masa, área, volumen y capacidad. Por eso, el trabajo de perfeccionamiento de los sistemas de unidades prosiguió. En 1960, en la Conferencia general internacional de pesas y medidas, se aprobó el Sistema Internacional de unidades, que recibió el nombre abreviado de SI (de las letras iniciales de las palabras *Système International*).

Tabla 1

Escalas de mediciones

Escalas	Operaciones básicas	Procedimientos matemáticos permisibles	Ejemplos
De denominaciones <i>ESCALA NOMINAL</i>	Establecimiento de igualdad	Número de casos Moda Correlación de sucesos casuales (coeficientes tetracórico y policórico de correlación)	Numeración de los deportistas en el equipo Resultados del sorteo
De orden	Establecimiento de las correlaciones "mayor" o "menor"	Mediana Correlación por rangos Criterios de rangos Comprobación de las hipótesis.	Lugar ocupado en las competencias Resultados de la categorización de los deportistas por el grupo de expertos
De intervalos	Establecimiento de la igualdad de los intervalos	El valor promedio La desviación media (cuadrática (estándar) La correlación	Las fechas calendarias (el tiempo) El ángulo articular
De relaciones	Establecimiento de la igualdad de las relaciones	El coeficiente de variación La media geométrica	La longitud, la fuerza, el peso, la velocidad, etcétera

Actualmente el SI incluye siete unidades b á s i c a s, independientes unas de otras, de las cuales se deducen como d e r i v a d a s las restantes magnitudes físicas. Las unidades derivadas están determinadas sobre la base de fórmulas que relacionan las magnitudes físicas entre sí. Por ejemplo, la unidad de longitud (metro) y la unidad de tiempo (segundo) son unidades básicas, mientras que la unidad de velocidad (el metro por segundo) es derivada. El conjunto de unidades básicas seleccionadas y de unidades derivadas, obtenidas con la ayuda de las primeras, para una o varias esferas de medición se denomina sistema de unidades (tabla 2).

Tabla 2

Unidades básicas del SI

Magnitud	Símbolo	Unidad	
		Denominación	Simbología internacional de la unidad de medida
Longitud	L	metro	m
Masa	M	kilogramo	kg
Tiempo	T	segundo	s
Intensidad de la corriente eléctrica	I	ampere	A
Temperatura	O	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	N	mole	mol
Intensidad de la luz	J	candela	cd

Además de las unidades básicas, en el SI se destacan dos unidades complementarias: el **r a d i á n** unidad de ángulo plano, y el **r a d i á n e s f é r i c o** -unidad de ángulo sólido (de ángulo en el espacio). Para la formación de las unidades fraccionarias y decimales deben emplearse prefijos especiales (tabla 3)

Todas las magnitudes derivadas tienen su dimensión. Se denomina *dimensión* a la expresión que conjuga la magnitud derivada con las magnitudes básicas del sistema, utilizando para ello un coeficiente de proporcionalidad igual a la unidad. Por ejemplo, la dimensión de longitud, L; y el período del tiempo T; de aquí que la dimensión de la velocidad sea igual a $\frac{L}{T} = LT^{-1}$, mientras que la dimensión de la aceleración es igual a LT^{-2} .

La gran ventaja del SI es que, al ser aplicado, muchas magnitudes físicas importantes (por ejemplo, la energía) se expresan en las mismas unidades en sistemas de diferente naturaleza (mecánicos, eléctricos, magnéticos, etc.):

1 joule=1 Newton. metro= volt . coulomb = ampere . Weber.

Además de las unidades de medición que forman parte del sistema, existen también unidades fuera del sistema (hora, minuto, caballo de fuerza, calorías, etc.). Muchas de estas unidades no pueden ser eliminadas, debido a la comodidad de su empleo, y algunas se han conservado históricamente. Algunas de las unidades fuera del sistema han sido elaboradas

partiendo de las unidades básicas del sistema, pero no por el principio decimal (por ejemplo: minuto, hora); otras en general no guardan relación alguna con las unidades de los sistemas establecidos (caloría, milímetro de Hg., etc.). Muchas de estas unidades fuera del sistema sería conveniente retirar.

Tabla 3
Factores y prefijos para la formación de las décimas y las centésimas de las unidades y sus denominaciones (a elección)

Factores	Prefijos
$1.000.000 = 10^6$	mega
$1.000 = 10^3$	kilo
$100 = 10^2$	hecto
$10 = 10^1$	deca
$0,1 = 10^{-1}$	deci
$0,01 = 10^{-2}$	centi
$0,001 = 10^{-3}$	mili
$0,000001 = 10^{-6}$	micro

2.6 LA EXACTITUD EN LAS MEDICIONES

Ninguna medición puede ser ejecutada de manera absolutamente exacta. Inevitablemente el resultado de la medición contiene un error cuya magnitud es menor, mientras más exacto sea el método de medición y el equipo de medición. Por ejemplo, con la ayuda de una regla ordinaria dividida en milímetros, no se puede medir una longitud con una exactitud de 0,01 mm.

2.6.1 El error básico y el error adicional

El *error básico* es el error en el método de medición, o en el equipo de medición, en condiciones normales de empleo.

El *error adicional* es el error del equipo de medición ocasionado por desviación de las condiciones de trabajo de los valores normales. Es evidente que un equipo destinado a trabajar a temperatura ambiente, dará valores inexactos si lo utilizamos en verano, en un estadio, bajo un sol abrasador. También pueden surgir errores de medición cuando la tensión

de la red eléctrica, o de la batería de alimentación es inferior a la norma, o variable en magnitud. También es un error adicional el llamado error dinámico, que está condicionado por la inercia del equipo de medición, y que surge en aquellos casos en que la magnitud medida varía de una manera singularmente rápida. Por ejemplo, algunos pulso tacómetros (equipos para la medición de la frecuencia de las contracciones cardiacas-FCC) están calculados para la medición de los valores promedio de la FCC y no son capaces de captar fluctuaciones temporales de la frecuencia en relación con el nivel promedio. Las magnitudes de los errores básico y adicional pueden ser expresados tanto en unidades absolutas, como en unidades relativas.

2.6.2 El error absoluto y el error relativo

Se denomina error absoluto a la magnitud $\Delta A = A - A_0$, igual a la diferencia entre el valor que muestra el equipo de medición (A) y el valor real de la magnitud medida (A_0). Se mide en las propias unidades en que se mide la magnitud medida.

. En la práctica, con frecuencia resulta cómodo emplear no el error absoluto, sino el error relativo. El error relativo de la medición puede ser de dos tipos: real y reducido. Se denomina ***error relativo real*** a la relación entre el error absoluto y el valor real de la magnitud medida:

$$\Delta A_r = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%$$

El error relativo reducido es la relación entre el error absoluto y el valor máximo posible de la magnitud medida:

$$\Delta A_n = \frac{\Delta A}{A_m} \cdot 100\%$$

En aquellos casos en que se valora el error del equipo de medición y no el error de medición, se toma como valor máximo de la magnitud medida el valor límite de la escala del

equipo. Sobre la base de esta concepción, el valor mayor permisible de ΔA_r expresado en porcentaje, determina, en condiciones normales de trabajo, el grado de precisión del equipo de medición. En este caso se tiene en cuenta solamente el error básico. Por ejemplo, un pulso tacómetro de grado de exactitud 1,0, calculado para la medición de la frecuencia de las contracciones cardíacas (FCC), en un rango de hasta 200 puls/min, en condiciones normales de trabajo, puede introducir en la medición un error igual a $200 \text{ puls/min} \cdot 0,01 = 2 \text{ puls/min}$.

Por lo general, los errores relativos se miden en porcentaje. En este caso el signo del error absoluto no se considera: el error absoluto puede ser o positivo o negativo, mientras que el error relativo siempre es positivo.

Citemos un ejemplo de cálculo de los errores absoluto y relativo de las mediciones. El tiempo de la carrera de un deportista medido visualmente, sin la ayuda de equipos de medición, fue igual a 205 pasos/min. Paralelamente, los períodos de apoyo de la carrera fueron registrados con la ayuda de un sistema radio telemétrico. Este control objetivo demostró que, en realidad, el tiempo de la carrera fue de 200 pasos/min. Se requiere hallar las magnitudes de los errores absoluto y relativo cometidos durante la medición visual del tiempo de la carrera.

Establezcamos las simbologías:

tiempo de la carrera, medido visualmente: $A = 205 \text{ pasos/min}$,

tiempo real de la carrera: $A_o = 200 \text{ pasos/min}$,

error absoluto, $\Delta A = A - A_o = 5 \text{ pasos} \times \text{min}$

El error relativo (real) es $\Delta A_r = \Delta A_o \cdot 100\% = 2,5\%$. De esta manera, el error absoluto de la medición visual del tiempo de la carrera es igual a 5 pasos/min, el error relativo real es igual a 2,5%.

Por cuanto el valor límite del tiempo de la carrera, en las condiciones del problema, no se indica, no se puede calcular el error relativo reducido.

.

2.6.3 Los errores sistemático y aleatorio.

Se denomina error sistemático al error cuya magnitud no varía de una medición a otra. En virtud de esta particularidad propia, con frecuencia el error sistemático puede ser dicho con anterioridad o, en caso extremo, detectado y eliminado al concluir el proceso de medición.

El método de eliminación del error sistemático depende, en primer lugar, de su naturaleza. Los errores sistemáticos de medición se pueden dividir en tres grupos:

4. Errores de origen y magnitud conocidos.
5. Errores de origen conocido y magnitud desconocida.
6. Errores de origen y magnitud desconocidos.

Los más inofensivos son los errores del primer grupo. Ellos son fácilmente eliminados mediante la incorporación de las correcciones correspondientes en el resultado de la medición.

Pertencen al segundo grupo, ante todo, los errores relacionados con la imperfección del método de medición y de los aparatos de medición. Por ejemplo, el error de la medición de la capacidad de trabajo físico con la ayuda de una máscara para recoger el aire espirado: la máscara dificulta la respiración y el deportista, por lo regular, muestra una capacidad de trabajo físico inferior, en comparación con su valor real medido sin la máscara. La magnitud de este error no se puede predecir; ella depende de las particularidades individuales del deportista y de su estado general en el momento de la investigación.

Otro ejemplo de error sistemático de este grupo es el error relacionado con la imperfección del equipamiento, cuando el equipo de medición aumenta o disminuye notoriamente, el valor real de la magnitud medida, pero el valor del error resulta desconocido.

Los errores del tercer grupo son los más peligrosos, su aparición tiene lugar tanto debido al perfeccionamiento del método de medición como también a las particularidades del objeto de medición o sea, del deportista.

La lucha contra el error sistemático de la medición se lleva a cabo de diferentes maneras, entre las cuales está la comprobación y calibración de los equipos de medición, así como el método aleatorio.

Se denomina taración (del alemán Tarieren) a la comprobación de las indicaciones de los equipos de medición, mediante su comparación con las indicaciones de valores modelos de las medidas (de patrones), dentro de todo el rango de los valores posibles de la magnitud medida.

Se denomina calibración a la determinación de los errores o a una corrección de estos para un conjunto de mediciones (por ejemplo, para un juego de dinamómetros). Tanto en la taración, como en la calibración, a la entrada del sistema de medición, en lugar del deportista, se conecta una fuente de señal patrón de una magnitud conocida. Por ejemplo, al tarar una instalación para la medición de los esfuerzos, en la plataforma tenso métrica se colocan consecutivamente pesos de 10, 20, 30 kilogramos.

Se denomina método aleatorio (en inglés random, aleatorio), a la transformación del error sistemático en eventual. Este procedimiento está dirigido a la eliminación de los errores sistemáticos desconocidos. Por el método aleatorio la medición de la magnitud estudiada se realiza varias veces. En este caso las mediciones se organizan de tal forma, que el factor constante que influye en el resultado de éstas, actúe en cada caso de diferente manera. Digamos, al investigar la capacidad de trabajo físico, se puede recomendar que se haga su medición varias veces, variando en cada una de ellas la forma de aplicación de la carga. Al finalizar todas las mediciones, los resultados de éstas se promedian según las reglas de la estadística matemática.

Los errores aleatorios surgen bajo la acción de diversos factores, los cuales no se pueden decir con anterioridad, ni considerar con exactitud. Inicialmente, los errores aleatorios son inevitables. Sin embargo, empleando los métodos de la estadística-matemática, es posible valorar la magnitud del error aleatorio y tenerlo en cuenta al interpretar los resultados de la medición. Sin la elaboración estadística los resultados de las mediciones no pueden considerarse veraces.

4 FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LAS RUEBAS

4.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La medición (o el experimento) realizado con el objetivo de determinar el estado o las capacidades del deportista se denomina prueba.

No todas las mediciones pueden ser utilizadas como pruebas, sino solamente aquellas que responden a exigencias especiales. Entre ellas se encuentran:

- 5) la estandarización (el procedimiento y las condiciones de aplicación de pruebas deben ser iguales en todos los casos);
- 6) la existencia de un sistema de evaluaciones la confiabilidad;
- 7) el nivel de información.

Las pruebas que satisfacen las exigencias de seguridad y de información se

denominan sólidas o auténticas (del griego *authentikós*, de manera fidedigna)

El proceso de experimentación se denomina aplicación de pruebas, y el valor numérico obtenido como consecuencia de la medición se denomina resultado de la aplicación de las pruebas (o resultado de la prueba). Por ejemplo, la carrera de

100 m es una prueba, el procedimiento de ejecución de los recorridos y el cronometraje es la aplicación de pruebas, y el tiempo de la carrera es el resultado de la prueba.

Las pruebas que tienen como base tareas motoras se denominan motoras. Sus resultados pueden ser o resultados motores (tiempo de recorrido de la distancia, cantidad de repeticiones, la distancia recorrida, etc.), o indicadores fisiológicos y bioquímicos. En dependencia de esto, así como de la tarea que se presenta ante el investigado, se distinguen tres grupos de pruebas motoras (tabla 19).

A veces se utiliza no una prueba, sino varias pruebas que tienen un mismo objetivo final (por ejemplo, la evaluación del estado del deportista en el período competitivo del entrenamiento). Este grupo de pruebas se denomina complejo de pruebas.

4.2. CONFIABILIDAD DE LAS PRUEBAS

2.1. Concepto de confiabilidad de las pruebas

Una misma prueba aplicada a un mismo grupo de investigados debe dar, en igualdad de condiciones, resultados coincidentes (si solamente no han variado los propios investigados). Sin embargo, aún cuando la estandarización es muy estricta y los equipos son exactos, los resultados de la aplicación de la prueba siempre varían en algo. Por ejemplo, el deportista que ha terminado de realizar un salto de longitud desde el lugar de 260 cm, en el salto siguiente muestra solamente 255 cm.

La confiabilidad de la prueba es el grado de coincidencia de los resultados cuando se repite la aplicación de la prueba a unas mismas personas (u otros objetos), en igualdad de condiciones. La variación de los resultados en las mediciones reiteradas se denomina intraindividual o (empleando una terminología más común de la estadística matemática) intra

grupo. Son cuatro las causas principales que ocasionan esta variación.

5. La variación del estado de los investigados (fatiga, el tiempo de entrada al trabajo, la instrucción, el cambio de motivación, la concentración de la atención, etcétera).
6. Los cambios no controlables de las condiciones externas y los equipos (temperatura, viento, humedad, voltaje en la red eléctrica, presencia de personas ajenas, etc.), es decir, todo lo que reúne el término "error aleatorio de la medición" (ver capítulo 2).
7. La variación de; estado del hombre que conduce o evalúa la prueba (y, evidentemente, la sustitución de un experimentador o juez por otro)
8. La imperfección de la prueba (existen algunas pruebas que son notoriamente poco confiables, por ejemplo, los tiros libres en el baloncesto hasta el primer fallo. Incluso un baloncestista, que tiene un alto porcentaje de encestes, puede errar de manera casual en los primeros tiros).

-
-
-
-
-

Tabla 19

Tipos de pruebas motoras

Denominación de la prueba	Tarea del deportista	Resultado de la prueba	Ejemplo
Ejercicios de control	Mostrar el resultado máximo	Logros motores	Carrera de 1500 m. tiempo de la carrera
Pruebas funcionales estándar	a) por la magnitud del trabajo realizado	Indicadores fisiológicos o bioquímicos para un trabajo estándar	Registro de la FCC para un trabajo estándar 1000 kgm/min
	o b) por la magnitud de los cambios fisiológicos	Indicadores motores para una magnitud estándar de los cambios fisiológicos	Velocidad de la carrera para una FCC de 160 pulsaciones por minuto
Pruebas funcionales	Mostrar el resultado máximo	Indicadores fisiológicos bioquímicos	Determinación de la "deuda" máxima de oxígeno o del consumo máximo de oxígeno

La diferencia principal de la teoría de la confiabilidad de las pruebas en relación con la teoría de los errores de las mediciones, analizada en los epígrafes 2.3 y 3.2.5, consiste en que, en la teoría de los errores la magnitud medida se considera invariable, mientras que en la teoría de la confiabilidad de las pruebas, se estima que ésta varía de medición en medición. Por ejemplo, si medimos el resultado del intento ejecutado en el lanzamiento de la jabalina, éste está totalmente determinado, y no puede variar en el transcurso del tiempo. Evidentemente que, en virtud de causas aleatorias (por ejemplo, por tensión desigual de la lienza de medición) no se puede medir con una exactitud ideal, digamos, con una exactitud de 0,0001 mm, medir el mismo resultado. Sin embargo, al emplear un instrumento de medición más exacto (por ejemplo, un medidor láser de distancia) y ejecutando mediciones reiteradas (ver 3.2.5), es posible incrementar la precisión de las mediciones hasta el nivel necesario. Además, si se nos presenta la tarea de determinar el nivel de preparación del lanzador en determinado período del entrenamiento, la medición más exacta de los resultados

mostrados por él nos ayudará muy poco: estos resultados variarán de un intento al otro.

Para poder analizar la idea de los métodos empleados en la evaluación de la confiabilidad de las pruebas, analicemos un ejemplo simplificado. Supongamos que queremos comparar los resultados de los saltos de longitud desde el lugar de dos deportistas que han ejecutado dos intentos. Las conclusiones deben ser exactas, por eso no podemos limitarnos solamente al registro de los mejores resultados. Supongamos que cada uno de los resultados de ambos deportistas varían dentro de los límites de $\pm 10\text{cm}$ en relación con la magnitud promedio, y son iguales a $220 \pm 10\text{cm}$ (es decir, 210 y 230 cm) y $320 \pm 10\text{cm}$ (es decir, 310 y 330 cm) respectivamente. En este caso la conclusión evidentemente será una sola: el segundo deportista es superior al primero. La diferencia entre sus resultados ($320 - 220 = 100\text{cm}$) es obviamente mayor que las oscilaciones casuales ($\pm 10\text{cm}$). El resultado será mucho menos definido si para esta misma variación intra grupo ($\pm 10\text{ cm}$) la diferencia entre los investigados (variación intergrupo) fuese pequeña. Digamos que los valores promedio fuesen iguales a 220 cm (en un intento 210 cm y en el otro 230 cm) y 222 (212 y 232 cm respectivamente). Entonces, puede suceder que, por ejemplo, en el primer intento, el primer deportista saltase 230 cm; y en el segundo, solamente 212 cm; precisamente se crea la impresión de que el primero es considerablemente más fuerte que el segundo. En el ejemplo vemos que, la principal importancia consiste no en la variación intra grupo por sí misma, sino en la relación que ésta guarda con las diferencias intergrupo. Una misma variación intra grupo presenta diferente confiabilidad cuando las diferencias entre los grupos son variables (en el caso dado, entre los investigados, Fig., 20).

La teoría de la confiabilidad de las pruebas parte de que el resultado de cualquier medición realizada en el hombre (x_t) es la suma de dos valores:

$$x_t = x_\infty - x_e \quad (4.1)$$

donde x_∞ , es el denominado resultado verdadero que se quiere determinar; x_e es el error ocasionado por las variaciones incontroladas en el estado de; investigado y los errores aleatorios de la medición.

En un análisis más profundo estas dos componentes se analizan por separado; en aras de la simplificación nosotros no lo haremos. Este enfoque es semejante a la proposición de que el error aleatorio de la medición es pequeño, en comparación con el grado de oscilación de los resultados ocasionado por las variaciones en el estado de los deportistas.

Por resultado verdadero se entiende el valor promedio de x_t para un número infinitamente grande de observaciones en igualdad de condiciones (por eso a la x se le coloca como subíndice el símbolo de infinito: ∞).

Si los errores son aleatorios (su suma es igual a cero y en los diversos intentos no guardan dependencia alguna entre sí), entonces, de la estadística matemática podemos escribir: -

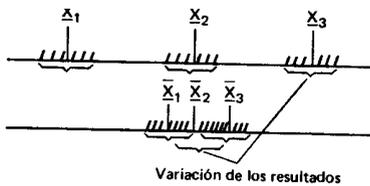


Fig. 20 Correlación entre las variaciones interclase e intraclass para confiabilidades alta (superior) y baja (inferior). Las líneas cortas verticales son los datos de las diferentes series; X_1 , X_2 y X_3 son los resultados promedio de los tres investigados.

. 82

$$s^2 = s_\infty^2 + s_e^2 \quad (4.2)$$

es decir, la dispersión de los resultados registrada durante el experimento (s_t^2) es igual a la suma de las dispersiones de los resultados verdaderos (s_∞^2) y de los errores (s_e^2).

s_∞^2 caracteriza una variación intergrupo idealizada (es decir, libre de errores), s_e^2 es la variación intra grupo. La influencia de s_e^2 varía la distribución de los resultados de la prueba (Fig. 21).

Se denomina coeficiente de confiabilidad (r_{tt}) a la relación entre la dispersión verdadera y la dispersión registrada durante el experimento:

$$r_t = \frac{\text{dispersión.verdadera}}{\text{dispersión.registrada}}$$

$$r_{tt} = \frac{s_{\infty}^2}{s_t^2} \quad (4.3)$$

Con otras palabras, r_{tt} es simplemente la parte de la variación verdadera, de aquella variación que fue registrada durante el experimento.

Además del coeficiente de confiabilidad, se emplea también el índice de confiabilidad:

$$r_{t\infty} = \sqrt{r_{tt}} \quad (4.4)$$

que se analiza como el coeficiente teórico de correlación entre los valores registrados durante la prueba y los verdaderos. También se emplea el concepto de error estándar de confiabilidad. Así se denomina la desviación media cuadrática de los resultados registrados de la prueba (x_t) de la línea de regresión que une el valor x_t con el resultado verdadero x_{∞} . (Fig. 22).

$$s_{t\infty} = s_t \sqrt{1 - r_{tt}} \quad (4.5)$$

El error estándar de confiabilidad caracteriza la desviación media cuadrática de los resultados de los diversos investigados en relación con valores promedio. Por ejemplo, si el error estándar de confiabilidad es igual a $\pm 3 \text{ cm}$, esto significa que en el 68 % de los casos, los resultados de los deportistas, durante las mediciones reiteradas, se encontrarán dentro de los límites de $\pm 3 \text{ cm}$ con respecto al resultado promedio que cada uno de ellos demostró.

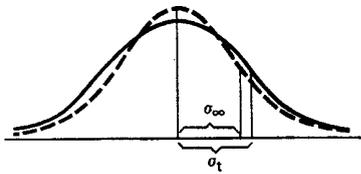


Fig. 21 Distribución de los resultados registrados de la prueba (X_t , línea continua) y de los resultados teóricos verdaderos (X_∞ , línea discontinua). Los valores promedio se presuponen iguales, $\sigma_t > \sigma_\infty$.

4.2.2 La evaluación de la confiabilidad a partir de los datos experimentales

El concepto resultado verdadero de la prueba es una abstracción. Durante el experimento no se puede medir x_∞ (ya que, en la realidad es imposible realizar una cantidad suficientemente grande de observaciones en igualdad de condiciones). Por eso, resulta necesario emplear métodos indirectos.

El método más difundido para la evaluación de la confiabilidad es, el análisis de varianza con el cálculo posterior de los coeficientes de correlación intra grupo (ver 3.5.3. y 3.5.4). Como es conocido, el análisis de varianza permite descomponer la variación de los resultados de la prueba, registrada durante el experimento, en componentes condicionados por la influencia de los distintos factores por separado. Por ejemplo, si para los investigados se registran los resultados de una prueba determinada, repitiendo esta prueba en días diferentes, además, cada día se realizan varias repeticiones, variando periódicamente los experimentadores, tendrán lugar las siguientes variaciones:

- e) de investigado a investigado (variación interindividual);
- f) b) de un día al otro;
- g) c) de un experimentador al otro;
- h) d) de un intento al otro.

El análisis de varianza brinda la posibilidad de destacar y evaluar estas variaciones.

Mostremos un ejemplo sencillo de cómo esto se hace. A un grupo de jóvenes baloncestistas el entrenador propuso ejecutar tres tandas de diez tiros libres cada una. ¿Resulta esto suficiente para evaluar la exactitud de los baloncestistas (o sea, poder decir con convicción cual de ellos es el más certero, quién ocupa el segundo lugar, etc.)? Los resultados de la aplicación de la batería de pruebas se muestran en la tabla 20.

Empleando el algoritmo de análisis de varianzas, descrito en el epígrafe 3.5.3, obtenemos la tabla resumen 21.

Aunque las tablas 20 y 21 son análogas a las tablas 14 y 15 respectivamente, en el caso dado (al evaluar la confiabilidad) se denomina dispersión intergrupo a la dispersión de los resultados entre los investigados, y no entre los intentos, como sucedió en el epígrafe 3.5.3. Esta variación de denominación no influye en la técnica de los cálculos (es necesario no confundir cómo se llama cada dispersión).

Fig. 22 Determinación del error estándar de confiabilidad.

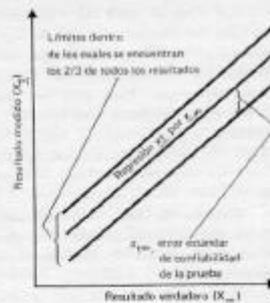


Tabla 20 Resultados de tres series de tiros libres para jóvenes baloncestistas

Deportista	Serie		
	I	II	III
1	5	6	5
2	9	8	7
3	3	4	3
4	7	5	5
5	9	2	6
6	7	3	7

Tabla 21 Resultados del análisis de varianza

Variación	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Dispersión	F	α
Entre deportistas (intergrupo)	$Q_{\text{inter}} = 31,14$	6	8,52	2,48	0,05
Entre series (intragrupo)	$Q_{\text{intra}} = 8,85$	7	4,425	1,29	> 0,05
Residual	$Q_{\text{res}} = 41,15$	12	3,43		
Total	$Q_{\text{t}} = 101,14$	20			

La razón F para no dispersión de los resultados entre los intentos (=1,29) no alcanza el nivel de significación 0,05; por consiguiente, de un intento al otro como promedio los resultados no varían. Por eso, para evaluar la confiabilidad se puede utilizar el coeficiente de correlación intra grupo, Para esto es necesario calcular por la fórmula 3.51 la dispersión conjunta para la variación dentro de los grupos y la variación residual:

$$s_{\text{conj}}^2 = \frac{8,85 - 41,15}{7 + 12} = 2,63 \quad (\text{ver 3.5 1})$$

Después de esto se puede calcular el coeficiente de correlación de grupo por la fórmula 3.52. Por ejemplo, si se quiere evaluar la confiabilidad de la media de las tres series, por los datos del ejemplo citado, entonces:

$$h = \frac{8,52 - 2,63}{2,52 - \left[\frac{3}{3} - 1 \right] \cdot 2,63} = 0,69 \quad (\text{Ver 3,52})$$

Vemos que el coeficiente obtenido no es muy elevado. Realmente los resultados de los distintos deportistas en las diferentes series varían considerablemente. Por ejemplo, el investigado número 5 en la primera serie encestró 9 veces; en la segunda, 2 veces; en la tercera, 9 veces. Los resultados del análisis de varianza también señalan que la prueba en cuestión no puede ser empleada en esta forma para una evaluación confiaste de la exactitud de los deportistas. La razón F para la dispersión intergrupo (=2,48) no alcanza el nivel de consideración 0,05; por consiguiente, los diferentes investigados, por los resultados de la presente prueba, no se diferencian considerablemente entre sí desde el punto de vista estadístico.

Analicemos cómo variará la confiabilidad de la prueba si utilizamos no tres, sino, digamos, seis series. En este caso:

$$h = \frac{8,52 - 2,63}{8,52 - \left[\frac{3}{6} - 1 \right] \cdot 2,63} = 0,813 \quad (\text{Ver 3.52})$$

La confiabilidad de la prueba aumentó considerablemente. Para incrementar más aún la confiabilidad de la prueba dada, es necesario aumentar, como se dice en estos casos, la longitud de la prueba, es decir, a la cantidad de tiros por serie, o la cantidad de series, o ambos a la vez.

De esta manera, para evaluar la confiabilidad es necesario, en primer lugar, efectuar el análisis de varianza y, en segundo lugar, calcular el coeficiente de correlación de grupo (coeficiente de confiabilidad).

Surgen algunas complicaciones cuando tiene lugar el denominado trend, es decir, el aumento o la disminución sistemática de los resultados de un intento al otro (Fig. 23). En

este caso, se emplean métodos más complejos de evaluación de la confiabilidad (no se describen en el presente libro).

En los casos en que se realizan dos intentos y ausencia de trend, las magnitudes del coeficiente de correlación intra grupo en la práctica coinciden con los valores del coeficiente normal de correlación entre los resultados del primero y el segundo intento. Por eso, en estos casos, para evaluar la confiabilidad también se puede emplear el coeficiente habitual de correlación (en este caso él evalúa la confiabilidad de uno, y no de los dos intentos). Sin embargo, si el número de intentos repetidos en la prueba es más de dos y (particularmente) si se emplean esquemas complejos de aplicación de pruebas (por ejemplo, dos intentos al día durante dos días), es necesario el cálculo del coeficiente intra grupo.

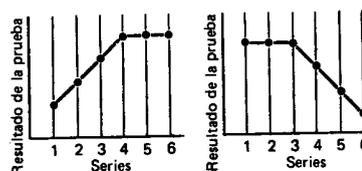
El coeficiente de confiabilidad no es un indicador absoluto en la caracterización de la prueba. Esta coeficiente puede variar en dependencia del grupo de investigados (principiantes y deportistas calificados), de las condiciones de aplicación de las pruebas (si se efectúan intentos reiterados uno tras otro, digamos, con un intervalo de una semana), y de otras causas. Por eso, siempre es necesario describir cómo y con quién se efectuó la prueba.

8.1.3 La confiabilidad en el trabajo práctico con las pruebas

La confiabilidad de los datos experimentales disminuye la magnitud de las evaluaciones de los coeficientes de correlación. Por cuanto ninguna prueba puede correlacionarse con otra prueba más que con si misma, aquí el límite superior de la evaluación del coeficiente de correlación ya no es $\pm 1,00$, sino el índice de confiabilidad $r_{\infty} = \sqrt{r_{tt}}$. Para pasar de la evaluación de los coeficientes de correlación entre los datos empíricos, a las evaluaciones de la correlación entre los valores verdaderos, se puede emplear la expresión:

$$r_{xy} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{r_{xx} \cdot r_{yy}}}, \quad (4.6)$$

Fig. 23 Series de seis intentos, de los cuales los tres primeros (a la izquierda) o los tres últimos (a la derecha) indican trend.



donde: r_{xy} es la correlación entre los valores verdaderos x y y ; r_{xy} es la correlación entre los datos empíricos; r_{xx} y r_{yy} son las evaluaciones de confiabilidad de x y y.

Por ejemplo, si $r_{xy} = 0,60$, $r_{xx} = 0,80$ y $r_{yy} = 0,90$, la correlación entre los valores verdaderos es igual a 0,707.

La fórmula citada (4.6) se denomina corrección de disminución (o fórmula Spearman-Brown). Esta se emplea constantemente en la práctica

No existe un valor concreto de la confiabilidad que permita considerar la prueba contable en un grado determinado. Todo depende de la importancia de las conclusiones hechas sobre la base de la aplicación de la prueba. No obstante, en el deporte, en la mayoría de los casos, se pueden emplear los siguientes valores aproximados: 0,95 - 0,99 confiabilidad excelente; 0,90 - 0,94 buena; 0,80-0,89 aceptable; 0,70-0,79 mala; 0,60-0,69 dudosa para evaluaciones individuales (la prueba es aplicable solo para caracterizar el grupo de investigados). Es posible lograr cierto incremento de la confiabilidad de la prueba, aumentando el número de repeticiones. He aquí, por ejemplo, cómo en un experimento aumentó la confiabilidad de la prueba (lanzamiento de una granada de 350 g con carrera de impulso) a medida que aumentó el número de repeticiones: un intento, 0,53; dos intentos, 0,72; tres intentos, 0,78; cuatro intentos, 0,80; cinco intentos, 0,82; seis intentos, 0,84. En el ejemplo

vemos que, al principio, la contabilidad crece rápidamente, y se hace mucho más lenta después de 3-4 intentos.

En los casos en que se hacen varias repeticiones, los resultados se pueden determinar de varias maneras: a) por el mejor intento, b) por el valor de la media aritmética, e) por la mediana, d) por la media de 2 ó 3 de los mejores intentos, etc. Las investigaciones han demostrado que, en la mayoría de los casos, lo más confiable es la utilización de la media aritmética, resulta algo menos contable la mediana y aún menos contable el mejor intento.

Al hablar de la contabilidad de las pruebas, se distinguen su estabilidad (posibilidad de reproducción), su grado de concordancia y su equivalencia.

4.3 NIVEL DE INFORMACION DE LAS PRUEBAS

4.3.1 Conceptos fundamentales.

El nivel de información de la prueba es el grado de exactitud con la cual ésta mide la propiedad (calidad, capacidad, característica, etc.) para cuya evaluación se aplica. Con frecuencia el nivel de información también se denomina validez (del inglés validity, fundamentación, realidad, legalidad). Supongamos que, para determinar el nivel de la preparación especial de fuerza de los velocistas (corredores y nadadores), se desean emplear los siguientes indicadores: 1) dinamometría de la mano, 2) fuerza de los flexores del pie, 3) fuerza de los extensores del brazo, 4) fuerza de los extensores del ,cuello. Sobre la base de estas pruebas se propone la dirección del proceso de entrenamiento, en particular, encontrar los eslabones débiles del aparato motor Y fortalecerles de manera dirigida. ¿Son buenas o no las pruebas seleccionadas? ¿Son o no informativas? Incluso sin efectuar experimentos especiales podemos darnos cuenta de que la segunda prueba es informativa

para los corredores de velocidad; la tercera, para los nadadores, mientras que la primera y la cuarta posiblemente no mostrarán nada interesante ni para los nadadores, ni para los corredores (aunque pueden resultar muy útiles para los representantes de otros tipos de deporte, por ejemplo, los luchadores). En los distintos casos unas mismas pruebas pueden presentar diferente nivel de información.

El problema del nivel de información de la prueba se descompone en dos problemas particulares:

3) ¿qué mide la prueba dada?

4) ¿con qué exactitud ella mide?

Por ejemplo, ¿es posible por un indicador como es el CMO, evaluar el nivel de la preparación de los corredores de fondo, y, si esto es posible, ¿con qué grado de exactitud? Con otras palabras, ¿cuál es el grado de información del CMO para los corredores de fondo? ¿Es posible utilizar esta prueba durante el control?

Si la prueba se emplea para determinar el estado del deportista en el momento del examen, entonces se trata del nivel de información de diagnóstico de la prueba. Si sobre la base de los resultados de la aplicación de la prueba quieren determinarse los posibles futuros indicadores del deportista, entonces el nivel de información es de pronóstico. La prueba puede ser diagnósticamente informativa, y pronósticamente no, y viceversa.

El nivel de información puede caracterizarse cuantitativamente, sobre la base de los datos experimentales (el denominado nivel de información empírico), y cualitativamente, sobre la base del análisis de contenido de la situación (de contenido o lógica). Aunque en el trabajo práctico el análisis de contenido siempre debe anteceder al matemático; aquí, en aras de la comodidad de descripción, se comienza el análisis por los métodos de cálculo del nivel de información empírico.

4.3.2 El nivel de información empírico (primer caso: existe un criterio medible)

La idea de la determinación del nivel de información empírico (del griego *empeiria*, experimento) consiste en que los resultados de la prueba se comparan con un criterio establecido. Para esto se calcula el coeficiente de correlación entre dicho criterio y la prueba (este coeficiente se denomina coeficiente del nivel de información y se representa por r_{tc} donde t es la primera letra de la palabra "test" (prueba); y c de la palabra "criterio").

Como criterio se toma el indicador que refleja, de manera notoria e indiscutible, aquella propiedad que se pretende medir con la ayuda de la prueba.

Frecuentemente sucede que existe un criterio totalmente determinado con el cual se puede comparar la prueba propuesta. Por ejemplo, al evaluar el nivel de la preparación especial de los deportistas para deportes con resultados objetivamente medibles, por lo general sirve de criterio el propio resultado: es más informativa aquella prueba, cuya correlación con el resultado deportivo es superior. Al determinar el nivel de información de pronóstico, el criterio es el indicador cuyo pronóstico es necesario realizar (por ejemplo, si se pronóstico la talla del niño, el criterio es su estatura en la edad adulta).

En metrología deportiva los criterios más frecuentes son:

- 6) el resultado deportivo;
- 7) cualquier característica cuantitativa de la actividad competitiva (por ejemplo, la longitud del paso durante la carrera, la fuerza del despegue en los saltos, el éxito en la lucha debajo del tablero en el baloncesto, la ejecución del saque en el tenis o en el voleibol, el porcentaje de pases largos exactos en el fútbol);
- 8) los resultados de otra prueba cuyo nivel de información se encuentra demostrado (si la ejecución de la prueba criterio es voluminosa y compleja, y es posible seleccionar otra prueba igualmente informativa, pero más simple. Por

ejemplo, en lugar del metabolismo gaseoso, determinar la FCC). Este caso particular, cuando el criterio es otra prueba, se denomina nivel de información concurrente:

- 9) la pertenencia a un grupo determinado. Por ejemplo, es posible comparar los maestros del deporte con los deportistas de las categorías inferiores; la pertenencia a uno de estos grupos es precisamente el criterio. En el caso dado, se emplean variantes especiales del análisis de correlación;
- 10) el denominado criterio compuesto, por ejemplo, la suma de los puntos en las pruebas múltiples. En este caso, los tipos de pruebas múltiples y las tablas de puntuación pueden ser tanto los empleados comúnmente, o los confeccionados de nuevo por el experimentador (ver el capítulo 5 acerca de cómo se elaboran las tablas). El criterio compuesto se emplea cuando no existe un criterio único (por ejemplo, si la tarea consiste en evaluar el nivel en su preparación física general, la maestría de; jugador en los juegos con pelota, etc, ningún indicador, tomado por sí solo, puede servir de criterio).

Ejemplo de la determinación de; nivel de información de una misma prueba es la velocidad de la carrera volante de 30 m, cuyos valores para los distintos criterios se brindan en la tabla 23 (estos datos se obtuvieron con la participación de 62 deportistas, que mostraron en los saltos de longitud resultados desde 6 m hasta 7,72 m; los resultados en el triatlón se tomaron por encuesta).

La cuestión de la elección de; criterio es, en esencia, la más importante en la determinación de; valor real y de; nivel de información de la prueba. Por ejemplo, si la tarea consiste en determinar el nivel de información de una prueba como es el salto de longitud desde el lugar, en los velocistas, es posible elegir criterios diferentes: el resultado de la carrera de 100 m, la longitud de; paso, la relación entre la longitud del paso y la longitud de las piernas o la talla, etc. En este caso el nivel de

información de la prueba variará (en el ejemplo citado éste aumentó de 0,558 para la velocidad de la carrera, hasta 0,781 para la relación "longitud del paso/longitud de la pierna"; fueron investigados 44 velocistas, que en la carrera de 100 m mostraron resultados desde 11,6 s hasta 10,5 s).

Tabla 23
Nivel de información de la prueba "carrera volante de 30 m" (n=62)

Criterio	Medida del criterio	Coefficiente del nivel de información
Salto de longitud con carrera de impulso	Resultado del salto (cm)	0,658
Carrera de impulso en los saltos de longitud	Velocidad de la carrera en los últimos 10 m (m/s)	0,918
Resultados deportivos en los saltos de longitud	Categoría en atletismo (desde 2da. hasta maestro del deporte)	0,715
Resultado del triatlón: carrera de 100 m, saltos de longitud, carrera de 100 m con vallas	Suma de puntos	0,764

En los deportes donde no se puede medir objetivamente la maestría deportiva, se trata de superar esta dificultad introduciendo criterios artificiales. Por ejemplo, en los juegos con pelota, por equipos, los expertos distribuyen a todos los jugadores según su maestría en determinado orden (es decir, elaboran listas con 20, 50 ó, digamos, 100 de los mejores jugadores). El lugar ocupado por el deportista (su rango) se analiza como criterio con el cual precisamente se comparan los resultados de las pruebas, con el objetivo de determinar su grado de información.

Podría surgir la pregunta siguiente: ¿para qué emplear las pruebas si se conoce el criterio?, ¿no sería más sencillo, por ejemplo, organizar competencias de control y determinar el resultado deportivo, que determinar los resultados en los ejercicios de control? Sin embargo:

- 3) determinar el resultado deportivo no siempre es posible, o conveniente (por ejemplo, no se pueden celebrar con frecuencia competencias de carrera de maratón, en invierno, por lo general no se puede registrar el resultado en el lanzamiento de la jabalina; y en verano, en las carreras en esquíes),
- 4) el resultado deportivo depende de muchas causas (factores) tales como son, por ejemplo, la fuerza del deportista, su resistencia, la técnica, etc. La aplicación de las pruebas brinda la posibilidad de determinar los aspectos fuertes y débiles del deportista, evaluar cada uno de estos factores por separado.

4.3.3 El nivel de información empírico (segundo caso: no existe un criterio único; nivel de información de factor)

Con frecuencia sucede que no existe un criterio único, con el cual sea posible comparar los resultados de las pruebas propuestas. Supongamos que se quieren hallar las pruebas más informativas para la evaluación del nivel de preparación de fuerza en jóvenes. ¿A qué dar preferencia: a las tracciones en la barra fija o a la extensión de brazos con apoyo en las paralelas; las cuclillas con pesas; ejercicios de halón o pasar a posición de sentado desde la posición de acostado? ¿Qué puede servir aquí de criterio para la elección correcta de la prueba?

Es posible aplicar al investigado un complejo o batería de pruebas de fuerza, y después seleccionar entre ellas aquellas que brindan la mejor correlación con los resultados de todo el complejo (en realidad, no se puede aplicar sistemáticamente todo el complejo: ya que es sumamente voluminoso e incómodo). Estas pruebas serán lo más informativas posible: ellas brindan conocimientos sobre los posibles resultados de los investigados según toda la batería inicial de pruebas. Pero los resultados de ella no se expresan por un solo número.

Evidentemente, es posible crear cierto criterio compuesto (por ejemplo, determinar la suma de los puntos acumulados por una escala cualquiera). Sin embargo, es mucho más efectiva la otra vía, basada en el análisis de factor.

El análisis factorial es uno de los métodos de la estadística multidimensional (la palabra "multidimensional" indica que se estudian a la vez muchos indicadores diferentes, por ejemplo, los resultados de los investigados en muchas pruebas). Este es un método bastante complejo, por eso es conveniente limitarse solamente a la exposición fundamental de su idea.

El análisis factorial parte de que el resultado de cualquier prueba es consecuencia de la acción conjunta de una serie de factores no observados directamente (latentes). Por ejemplo, los resultados de las carreras de 100, 800 y 5000 m dependen de las cualidades de velocidad del deportista, de su fuerza, de su resistencia, etc. La importancia de estos factores para cada una de las distancias no es igual. Si se eligen dos pruebas, sobre las cuales influyen aproximadamente en igual grado uno o más factores, los resultados de estas pruebas se correlacionarán fuertemente entre sí (digamos, en las carreras de distancias de 800 y 1000 m). Pero si estas pruebas no presentan factores comunes de ningún tipo, o ellos influyen de diferente forma sobre los resultados, la correlación entre estas pruebas será baja (por ejemplo, entre los resultados de las carreras de 100 y 5000 m). Cuando se emplea un gran número de pruebas diferentes y se calculan los coeficientes de correlación entre ellas, con la ayuda del análisis factorial es posible determinar cuántos factores actúan conjuntamente sobre las pruebas dadas y cuál es su grado de influencia en cada prueba. Posteriormente, ya resulta fácil seleccionar las pruebas (o sus combinaciones) que evalúan los diferentes factores de la manera más exacta.

Citemos un ejemplo. La tarea del experimento consistía en encontrar las pruebas más informativas para la evaluación del nivel de la preparación general de fuerza para los estudiantes deportistas de III a I categoría, que practican diferentes tipos de

deporte. Con este objetivo se analizaron 108 personas en 15 pruebas (N. Averkovich, V. Zatsiorski, 1966). Como resultado del análisis factorial se destacaron tres factores: 1) la fuerza muscular de los miembros superiores, 2) la fuerza muscular de los miembros inferiores, 3) la fuerza muscular de los abdominales y de los flexores del muslo. Entre las pruebas seleccionadas las más informativas fueron: para el primer factor, flexión con apoyo; para el segundo, salto de longitud desde el lugar, para el tercero, en suspensión elevación de las piernas extendidas al frente y pasar a la posición de sentado desde la posición de acostado, durante 1 min. De limitarse a una sola prueba, la más informativa fue giros con apoyo en la barra fija (se evaluaba el número de repeticiones).

4.3.4 El nivel de información empírico en el trabajo práctico

El la utilización práctica de los indicadores del nivel de información empírica es necesario tener en cuenta que éstos son válidos solo en relación con aquellos investigados y condiciones, para los cuales fueron calculados. La prueba que es informativa para un grupo de principiantes, puede resultar totalmente no informativa en el grupo de maestros del deporte.

El nivel de información de la prueba no es igual cuando varía la composición de los grupos. En particular, en los grupos más homogéneos en composición, por lo general la prueba es menos informativa. Si se ha determinado el nivel de información de la prueba para un grupo cualquiera, y después los más fuertes de este grupo se incluyen en el equipo nacional, el nivel de información de esta misma prueba para el equipo nacional será considerablemente menor. Las causas de esto se comprenden al analizar la figura 24; la selección desminuye la dispersión total de los resultados en el grupo y reduce las magnitudes del coeficiente de correlación. Por ejemplo, si se determina el nivel de información de una prueba como el CMO para los nadadores

de 400 m, que presentan resultados considerablemente diferentes (digamos, de 3 min. 55 s hasta 6 min. 30 s), el coeficiente del nivel de información será muy elevado ($r_{tc} > 0,90$); si realizamos estas mismas mediciones en un grupo de nadadores que presentan resultados de 3 min. 55 s hasta 4 min. 30 s, en magnitud absoluta r_{tc} no superará los 0,4-0,6; si determinamos este mismo indicador para los nadadores más fuertes del mundo ($3 \text{ min. } 3.\text{min.}53.\text{s} \leq t_{natac} \leq 4 \text{ min. } 00.\text{s}$, el coeficiente del nivel de información en general puede ser igual a cero; con la ayuda de una prueba como ésta no será posible diferenciar a los deportistas que hayan realizado el recorrido, digamos, en 3 min. 55 s, en 3 min 59 s; ya que, tanto para unos, como para otros, los valores del CMO serán elevados y aproximadamente iguales.

Los coeficientes del nivel de información dependen considerablemente de la confiabilidad de la prueba y del criterio. La prueba con baja confiabilidad siempre es poco informativa, por eso no tiene sentido comprobar el nivel de información de pruebas poco confiables. La confiabilidad insuficiente del criterio también conduce a la reducción de los coeficientes del nivel de información. Sin embargo, en el caso dado sería incorrecto despreciar la prueba como poco informativa, ya que el límite superior de la posible correlación de la prueba no es ± 1 , sino su índice de confiabilidad. Por eso es necesario comparar el coeficiente del nivel de información con este índice. El nivel de información real (con la corrección por la no confiabilidad del criterio) se calcula por la fórmula:

$$r_{ic} = \frac{r_{tc}}{\sqrt{r_{cc}}} \quad (4.7)$$

Así, en una de las investigaciones, el rango de un deportista de polo acuático (el rango se tomó como criterio de maestría) se estableció sobre la base de las evaluaciones de cuatro expertos. La confiabilidad (grado de concordancia) del criterio,

determinada con la ayuda del coeficiente de correlación intra grupo, fue igual a 0,64. El coeficiente del nivel de información fue igual a 0,56. El coeficiente real del nivel de información (con la corrección por la no confiabilidad del criterio) es igual a:

$$r_{ic} = \frac{0,56}{\sqrt{0,64}} = 0,70$$

Se encuentra estrechamente relacionado con el nivel de información y la confiabilidad de la prueba el concepto de su *posibilidad distintiva* o sea, aquella diferencia

mínim
de la
conce
distint

2. n

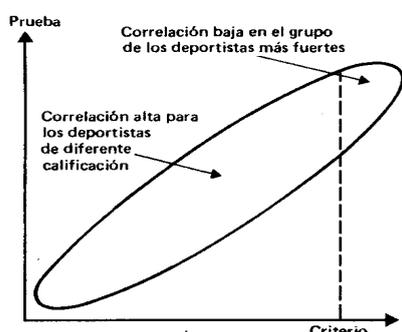


Fig. 24 Influencia de la selección de los investigados en el nivel de información de la prueba.

ayuda
go al
ilidad

1. La variación interindividual de los resultados. Por ejemplo, una prueba como "el número máximo de lanzamientos de una pelota de baloncesto a una pared a una distancia de 4 m durante 30 s", es buena para los principiantes, pero inapropiado para los baloncestistas calificados, ya que todos ellos muestran aproximadamente un mismo resultado, y se hacen indistinguibles, es decir, para ellos la prueba no presenta posibilidad distintiva. En muchos casos la variación de los resultados entre los investigados (variación intergrupo) puede elevarse mediante el incremento del grado de dificultad de la prueba. Por ejemplo, si les aplicamos a deportistas de diferentes calificaciones una prueba sencilla; fácil para ellos (digamos, 20 cuclillas, o pedaleo en el velergómetro con una potencia de 200 kgm/min), la magnitud de los cambios fisiológicos será aproximadamente igual, y resultará imposible evaluar el nivel de preparación. Si les aplicamos una tarea difícil, las diferencias entre ellos se hacen mayores, y será posible evaluar su nivel de preparación por los resultados de la prueba.

De la confiabilidad de la prueba (es decir, de la correlación de las variaciones interindividual e intraindividual) y del criterio. Si los resultados de un mismo investigado, en los saltos de longitud desde el lugar, varían, digamos, dentro de los límites de $\pm 10\text{ cm}$, y aunque la longitud del salto se pueda determinar con una precisión de $\pm 1\text{ cm}$, no es posible distinguir con certeza a los investigados cuyos "verdaderos" resultados han sido igual a 315 y 316 cm.

No hay una cantidad fija de información de la prueba, a partir de la cual se pueda considerar ésta como aceptable. Aquí mucho depende de la situación concreta: de la exactitud deseada del pronóstico, de la necesidad de obtener aunque sea ciertas informaciones complementarias acerca del deportista, etc. En la práctica, para el diagnóstico se emplean pruebas cuyo nivel de información no sea menor de 0,3. Generalmente, para el pronóstico se necesita un nivel de información más elevado: no menos de 0,6.

Evidentemente, el nivel de información de una batería de prueba es superior al nivel de información de una prueba. Con frecuencia sucede que el nivel de información de una prueba tomada por separado, resulta demasiado bajo para emplearla. No obstante, el nivel de información de la batería de pruebas en la cual ésta se encuentra incluida, puede resultar totalmente suficiente.

4.3.5 El nivel de información de contenido (lógico)

No siempre es posible establecer el nivel de información de la prueba con la ayuda del experimento y la elaboración matemática de sus resultados. Por ejemplo, si la tarea consiste en preparar las preguntas para los exámenes o los temas de los trabajos de diploma (esto también es una variedad de la aplicación de pruebas), es necesario seleccionar las preguntas más informativas, por las cuales se pueda evaluar, de la manera más exacta, los conocimientos de los estudiantes y su nivel de

preparación para el trabajo práctico. Por ahora, en casos similares se apoyan solamente en el análisis lógico, de contenido, de la situación.

A veces también sucede que el nivel de información de la prueba es claro, sin ningún tipo de experimentos, particularmente cuando la prueba es simplemente una parte de las acciones que ejecuta el deportista en las competencias. Difícilmente se necesiten experimentos para demostrar el nivel de información de indicadores tales como el tiempo para la ejecución de vueltas en la natación, la velocidad en los últimos pasos de la carrera de impulso en los saltos de longitud, el porcentaje de tiros libres acertados en el baloncesto, la calidad de la ejecución del saque en el tenis o en el voleibol.

Sin embargo, no todas las pruebas semejantes son igualmente informativas. Por ejemplo, los saques desde atrás de la línea lateral en el fútbol, aunque es también un elemento del juego, difícilmente se puede analizar como uno de los más importantes indicadores de la maestría de los futbolistas. Si estas pruebas son muchas, y es necesario seleccionar las más informativas entre ellas, resulta imposible solucionar este problema sin los métodos matemáticos de la teoría de las pruebas. .

El análisis de contenido del nivel de información de la prueba y su fundamentación matemático-experimental deben complementarse entre sí. Ninguno de estos enfoques por separado es suficiente. En particular, si como resultado del experimento se ha determinado un alto coeficiente del nivel de información de la prueba, es necesario comprobar obligatoriamente si esto no es consecuencia de la denominada falsa correlación. Ella resulta posible cuando, sobre los resultados de ambos síntomas correlacionados influye un tercer indicador, que, por sí mismo, no representa interés alguno. Por ejemplo, entre los escolares de los grados superiores es posible encontrar una considerable correlación entre los resultados de la carrera de 100 m y los conocimientos de geometría, por cuanto

estos escolares, en comparación con los alumnos de los grados inferiores, muestran como promedio indicadores más elevados tanto en la carrera, como en el conocimiento de la geometría. El tercer síntoma colateral, que ocasionó la manifestación de la correlación, resultó ser la edad de los investigados. Es evidente que cometerá un error el investigador que no detecte esto y recomiende un examen de geometría como prueba para los corredores de 100 m. Para no cometer semejantes errores es necesario analizar de manera obligatoria las relaciones de causa-efecto, ocasionadas por la manifestación de correlación entre el criterio y la prueba. En particular, resulta útil imaginarse, qué pasaría si los resultados de la prueba mejoraran. ¿Conduciría esto al incremento de los resultados del criterio? En el ejemplo citado esto significa que si el alumno mejora sus conocimientos de geometría, correrá más rápidamente la distancia de 100 m. La evidente respuesta negativa lleva a una conclusión natural: los conocimientos de geometría no pueden servir de prueba para los velocistas. La relación hallada resulta falsa. Se sobreentiende que las situaciones de la vida real son considerablemente más complejas que este pueril ejemplo.

Un caso particular del nivel de información de contenido de las pruebas es el nivel de información por definición. En nuestro caso, simplemente se aplica en el sentido que es necesario dar a una palabra determinada (término). Por ejemplo, se dice "el salto de altura desde el lugar caracteriza la saltabilidad". Sería más exacto decir: "se ha convenido denominar saltabilidad a aquel ejercicio que se mide como resultado del salto de altura desde el lugar". Este convenio es necesario, ya que evita incomprensiones innecesarias (pues cualquiera puede entender por saltabilidad los resultados de una serie de diez saltos sobre una pierna, y el salto de altura desde el lugar considerarlo, digamos, la prueba para la fuerza "explosiva" de las piernas).

5 FUNDAMENTOS DE LA TEORIA DE LAS EVALUACIONES Vladimir Zatsiorski

5.1 EL PROBLEMA DE LAS EVALUACIONES

5.1.1 Conceptos fundamentales

Los resultados mostrados por los deportistas (en particular, los resultados de las pruebas), en primer lugar, se expresan en diferentes unidades de medida (tiempo, distancia, etc.), y por eso no son directamente comparables entre sí; en segundo lugar, por sí mismo no indican cuán satisfactorio es el estado del deportista (por ejemplo, el tiempo de una carrera de 100 m igual a 12 s puede analizarse tanto como muy bueno, como muy malo, en dependencia de quién se trate).

Por eso los resultados se transforman en evaluaciones (goles, puntos, marcas, categorías, etcétera).

Se denomina evaluación (o evaluación pedagógica) a la medida unificada del éxito en una tarea determinada, en el caso particular, en la prueba. El proceso de deducción (de cálculo, de determinación) de las evaluaciones se denomina calificación.

Son ejemplo de evaluación: las tablas de puntuación para los deportes, las evaluaciones de los resultados de las pruebas, las calificaciones de las escuelas y los centros de enseñanza superior en cultura física y educación física, las posiciones en las competencias y la práctica -que se justifica por sí misma- del cálculo no oficial de las puntuaciones en los juegos olímpicos. La evaluación puede ser expresada de diferentes maneras, por ejemplo, en forma de característica cualitativa ("bien-satisfactorio-mal" o "aprobado- desaprobado") en forma de notas, de puntos acumulados.

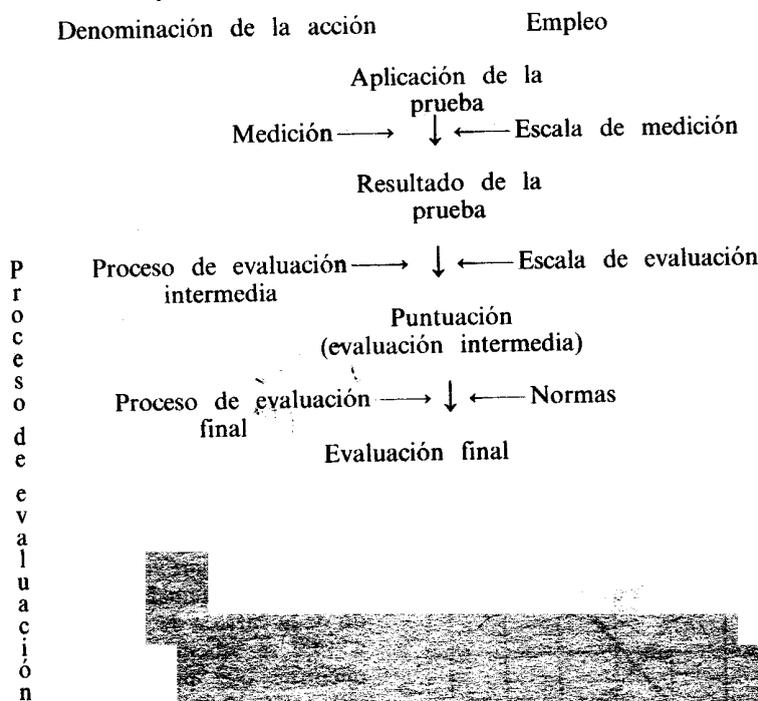
En todos los casos ésta presenta rasgos generales comunes. Se distinguen las evaluaciones docentes que otorga el profesor a los alumnos en el desarrollo del proceso docente, y las evaluaciones de calificación, que abarcan todas las demás evaluaciones (en particular, los resultados de las competencias oficiales, de la aplicación de las pruebas, etc.). No existe una

gran diferencia entre las evaluaciones docentes y las de calificación; sin embargo, por lo general, el procedimiento para la evaluación de calificación, como norma, es más complejo.

En su forma completa y desarrollada, la evaluación de calificación se realiza en dos etapas. En la primera etapa los resultados deportivos mostrados se transforman en puntos, sobre la base de las denominadas escalas de evaluaciones (evaluación intermedia), mientras que en la segunda etapa, después de comparar los puntos acumulados con normas previamente establecidas, se determina la evaluación final. Por ejemplo, en los eventos múltiples, al principio los resultados en los distintos deportes se transforman en puntos y, posteriormente, después de su comparación con las normas de la clasificación deportiva, se determina la evaluación final, o sea, se otorga la categoría deportiva. La secuencia de las acciones en el proceso de evaluación se presenta en el esquema expuesto, en el cual también se han incluido las etapas de aplicación de la prueba y medición de los resultados de la prueba.

No en todos los casos el proceso de evaluación tiene lugar según este esquema desarrollado. A veces los procesos de las evaluaciones intermedia y final se funden.

Esquema del proceso de evaluación de los resultados deportivos y de los resultados de las pruebas

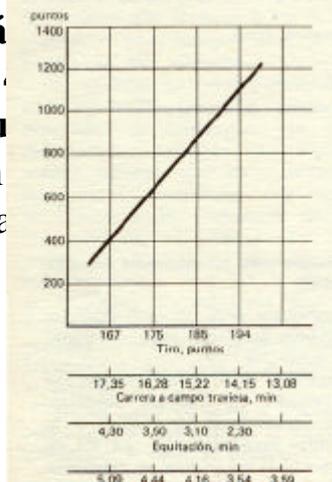


5.1.2 Las tablas de puntuación para los diferentes deportes y las escalas de evaluación.

El análisis de las tablas de puntuación para algunos deportes permite introducir una serie de conceptos necesarios para el estudio posterior de; curso de metrología deportiva.

El objetivo de cualquier tabla semejante es la transformación del resultado deportivo mostrado (expresado en medidas objetivas: kilogramos, segundos, etc., el lugar ocupado o el número y la significación de las victorias) en puntos convencionales. La ley de transformación de los resultados deportivos en puntos se denomina escala de evaluación. La escala puede estar dada en forma de expresión matemática (fórmula), tabla o gráfica.

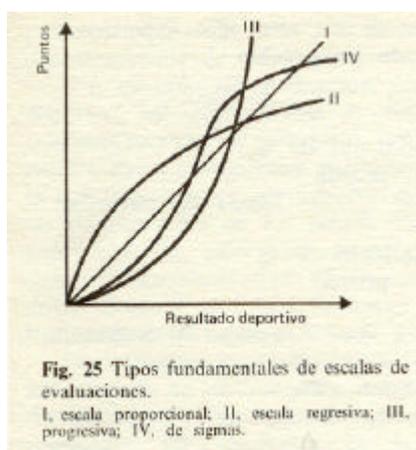
El primer tipo son las escalas proporcionales. Este tipo de escala presupone la existencia de un número de puntos por



un mismo incremento de los resultados (por ejemplo, por cada 0,1 s de mejoría en el resultado de la carrera de 100 m se adjudican 20 puntos). Las escalas proporcionales se encuentran aprobadas en las pruebas múltiples contemporáneas, carreras en patinaje sobre hielo, las carreras en esquíes, el biatlón en esquíes, el biatlón convencional y otros deportes (Fig. 26).

El segundo tipo son las **escalas regresivas**. En este caso por un mismo incremento del resultado, se adjudica un número cada vez menor de puntos a medida que crecen los resultados deportivos (por ejemplo, por un incremento del resultado de la carrera de 100 m de 15,0 a 14,9 se adicionan 20 puntos; mientras que por 0, 1 s, en el rango de 10,0 a 9,9 s, solo 15 puntos). Estas escalas parecen ser injustas, pero en muchos casos su aplicación resulta conveniente (ver 5.1.4). Las escalas de este tipo se encuentran aprobadas actualmente para algunos tipos de saltos y lanzamientos de atletismo (Fig. 27).

El tercer tipo, son las **escalas progresivas**. Aquí, mientras mayor sea el resultado deportivo, mayor será la adición de puntos que se confiere a su mejoramiento (por ejemplo, por mejorar el tiempo de la carrera de



15,0 a 14,9 s se adicionan 10 puntos; y de 10,0 a 9,9 s, 100 puntos). Las escalas progresivas se aplican en la natación, en algunos elementos de atletismo, en el levantamiento de pesas (Fig. 28).

El cuarto tipo son las **escalas en forma de sigma** (o en forma de S). En estas escalas el mejoramiento de los resultados en las zonas de logros muy bajos y logros muy altos se estimula pobremente; la mayor cantidad de puntos corresponden a los resultados en la zona media de los logros. En el deporte estas escalas no se emplean, pero se utilizan

ampliamente en la evaluación del nivel de la preparación física (por ejemplo, así se comporta la escala de patrones del nivel de la preparación física de la población de los EE.UU.).

5.1.3 Las tareas fundamentales del proceso de evaluación

Las tareas fundamentales del proceso de evaluación son las siguientes:

4. Comparar los diferentes logros en una misma tarea (prueba, disciplina deportiva, ejercicio, elemento de los eventos múltiples). Por ejemplo, comparar los resultados deportivos iguales a la norma de maestro del deporte y de la primera categoría. ¿Cuántos resultados de primera categoría corresponden a uno de maestro del deporte?
5. 2. Comparar los logros en las distintas tareas. Aquí lo principal es equiparar las evaluaciones con los logros de igual nivel de complejidad en los diferentes tipos de deportes, o en las diversas disciplinas de las competencias. Estos logros de igual nivel de dificultad se denominan **equivalentes**.

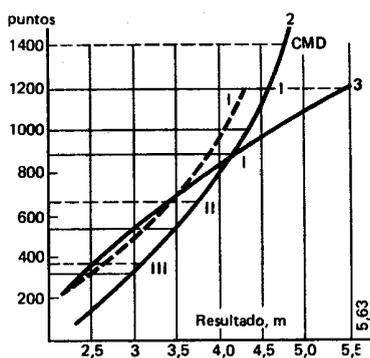


Fig. 27 Escalas de evaluaciones de los resultados en los saltos con garrocha (por las tablas de puntuación de diferentes años: 1, tabla de 1950; 2, de 1962; 3, tabla internacional de 1964); I, II y III categorías, CMD, normas de CDU.

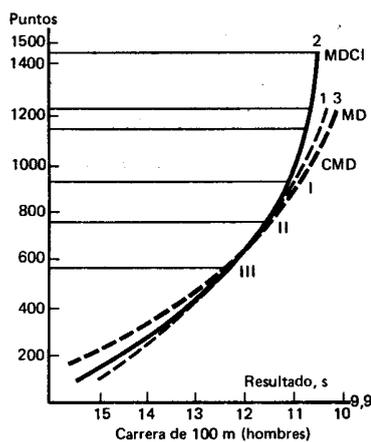


Fig. 28 Escalas de evaluaciones en la carrera de 100 m (1, tabla de 1950; 2, de 1962; 3, tabla internacional de 1964).

.
. .
.

6. Determinar las normas. En los distintos casos (evaluaciones escolares, etc.) las normas coinciden con las gradaciones de la escala.

La solución de estas tareas, íntegramente, determina el sistema de evaluación.

5.1.4 El problema del criterio

La fundamentación de la evaluación se puede basar en dos grupos de criterios. La evaluación debe:

2. Ser justa, es decir, evaluar los resultados:

a) de igual nivel de dificultad (equivalentes) con la misma cantidad de puntos, y

b) de diferente nivel de dificultad, adjudicado a un mayor número de puntos, mientras mayor sea el nivel de dificultad de los logros.

2. Conducir a resultados prácticamente útiles.

Estos criterios no siempre son compatibles. Por ejemplo, en principio, la escala progresiva resulta justa: incluso superar ligeramente una marca mundial es incomparablemente más difícil, que alcanzar el mismo incremento de los resultados a nivel de III categoría. La escala considera este desigual nivel de dificultad: mientras más elevado sea el resultado deportivo,

mayor es la cantidad de puntos que se confieren consecuentemente con el incremento de los logros. En la práctica esto conduce a que a los deportistas participantes en los eventos múltiples les resulte ventajoso entrenarse intensamente, primero, en los deportes más gustados, o sea, en aquellos donde pueden obtener la mayor cantidad de puntos. En las condiciones de la participación por equipos, la escala progresiva eleva el valor de los altos resultados deportivos, pero frena la masividad: un maestro de; deporte brinda al equipo mucho más puntos que varios deportistas de las otras categorías.

Las escalas regresivas difícilmente pueden considerarse justas, pero son útiles. En las pruebas múltiples ellas estimulan la atención a los eventos rezagados; y en las competencias por equipos, a la masividad (en deterioro de la maestría).

La cuestión de cuál sistema de evaluación es mejor no tiene sentido, si no se plantea el objetivo en aras del cual se aplica este sistema. Por ejemplo, si el objetivo es (digamos, en las competencias de preparación física general, PFG) eliminar los eslabones débiles de la preparación, la escala regresiva es la más aceptable, independientemente de su falta de justedad.

Se sobreentiende que en todos los casos, en que esto es realizable, resulta conveniente combinar los criterios de ambos grupos (la justedad y el efecto útil)

• Ya se ha señalado que no se pueden compatibilizar directamente los logros en las diferentes tareas (digamos, no está claro qué es más difícil: la carrera de 1 00 m en 11,0 s, o un salto de altura de 2,00 m). En estos casos se emplean enfoques indirectos. Las más difundidas son las escalas donde se consideran equivalentes los logros accesibles a un mismo número de personas de igual sexo y edad. De acuerdo con este criterio, todas las marcas mundiales existentes son equivalentes y deben evaluarse con una misma cantidad de puntos; son también equivalentes los cientos de resultados que se encuentran en los historiales de los más fuertes deportistas; son equivalentes los resultados accesibles al 50% de las

muchachas de 12 años de edad, etc. En el epígrafe 5.2 se describen las escalas basadas en este criterio.

5.2 LAS ESCALAS DE EVALUACION

5.2.1 Las escalas estándares

Estas escalas se han denominado así, porque la medida en ellas son las desviaciones estándares (medias cuadráticas). La más simple de las escalas estándar es la escala Z. En esta escala los puntos conferidos son iguales a la desviación normada. En ella el resultado promedio se evalúa como cero puntos, los resultados inferiores al valor promedio obtienen puntos negativos, mientras que la mayoría aplastante de los resultados se ubica en un rango que está desde -3 hasta +3. Debido a los valores negativos esta escala resulta incómoda y se emplea muy poco.

La más popular de las escalas estándares es la **escala T**. Aquí el valor promedio se iguala a 50 y el estándar a 10 puntos:

$$T = 50 + 10 \cdot \frac{x - \bar{X}}{s} = 50 + 10 \cdot Z \quad (5.1)$$

donde x es el resultado mostrado; \bar{X} y s , como siempre, son la magnitud promedio y la desviación estándar. Por ejemplo, si el valor promedio en los saltos de longitud desde el lugar resultó igual a 224 cm, y el estándar es 20 cm; por un resultado de 222 cm se confieren 49 puntos, mientras que por 266 cm se dan 71 puntos (compruebe si esto es correcto). Se sobreentiende que el hecho de igualar el valor promedio a 50 puntos y el estándar a 10 es arbitrario. En la práctica mundial también se emplean otras escalas estándares (tabla 24).

Tabla 24

Algunas escalas estándar

Denominación de la escala	Fórmula básica	Dónde y para qué se emplea
Escala C	$C = 5 + 2Z$	En las investigaciones masivas, cuando no se requiere una gran precisión
Escala de las notas escolares	$H = 3 - Z$	En algunos países de Europa
Escala Binet	$B = 100 + 16Z$	En las investigaciones psicológicas del intelecto
Escala de exámenes	$E = 500 + 100Z$	En EE.UU. para el ingreso a los centros de enseñanza superior

Las escalas estándares son proporcionales (ver 5.1.2). Se pueden emplear si la distribución de los resultados de la prueba se encuentra cerca a la normal. Al emplear las tablas de la distribución normal resulta fácil conocer el porcentaje de personas que se encuentran en un rango determinado de la escala estándar. Por ejemplo, en promedio el 34% de todos los deportistas acumularán más de 50 puntos y menos de 60 por la escala T.

5.2.2 La escala de percentiles

Si se realiza, por ejemplo, una carrera masiva con arrancada común, al deportista se le pueden conferir tantos puntos, cuantos participantes (en porcentaje) él sobrepase. Si se adelantó a todos (100%), obtiene 100 puntos; si le ganó al 72%, 72 puntos, etc. El mismo principio también se puede emplear en las demás pruebas: igualar la cantidad de puntos conferidos al porcentaje de personas que sobrepasó el participante en cuestión. La escala estructurado de esta manera se denomina de percentiles; y el intervalo de esta escala, percentil. Un percentil abarca el 1% de todos los investigados. Como es conocido, el percentil 50 se denomina mediana. Por cuanto la mayor parte de las personas muestran resultados cercanos al promedio, y son relativamente pocas las personas con resultados muy altos o muy bajos, los percentiles corresponden a los diferentes incrementos de los resultados de las pruebas: a mitad de la escala se encuentran los resultados bajos y en los extremos, los altos (Fig.29).

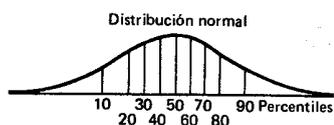


Fig. 29 Correlación entre la distribución normal y la escala de percentiles.

Las escalas de percentiles pertenecen a las escalas en forma de sigma y son, en esencia, funciones (cumulatas) de distribución normal (ver Fig. 6). Las escalas de percentiles son muy demostrativas y por eso se utilizan ampliamente (Fig. 30).

La figura 31 ilustra algunas escalas basadas en las propiedades de la distribución normal.

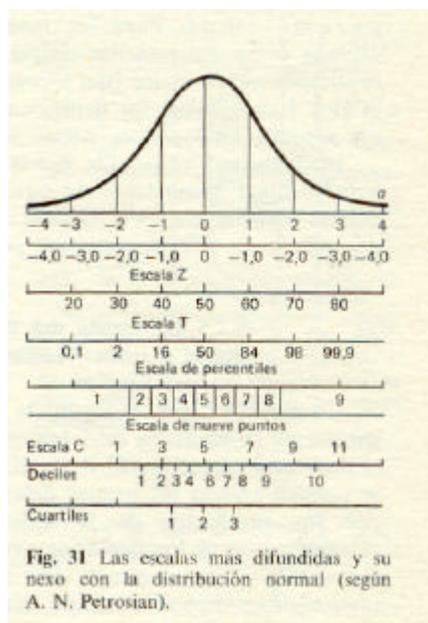
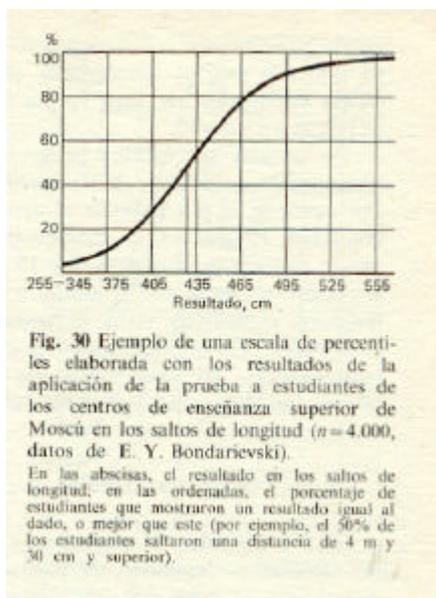
5.2.3 Las escalas de puntos seleccionados.

Las escalas descritas se pueden construir si se conoce la distribución estadística, de los resultados de la prueba: la media, los estándares y demás parámetros de la distribución. Estos datos no siempre se logran obtener. Esto resulta posible, por ejemplo, al elaborar escalas tales como la serie GTO (ver capítulo 9), las normas de educación física en la escuela, etc, y no son realizables al elaborar las tablas para los distintos deportes.

En este último caso generalmente se procede de la siguiente forma: se toma cualquier resultado deportivo elevado (por ejemplo, la marca mundial o el décimo resultado en la historia del deporte dado) y se iguala, digamos, a 1.000 ó a 1.200 puntos. Seguidamente, sobre la base de los resultados de experimentos masivos, se determina el resultado promedio del grupo de personas débilmente preparadas y se le da un valor de, digamos, 100 puntos. Después, si se emplea la escala proporcional, solamente resta ejecutar los cálculos aritméticos, ya que dos puntos determinan, invariablemente, una línea recta. La escala construida de esta forma se denomina **escala de puntos seleccionados**.

Al utilizar las escalas progresivas o regresivas, resulta complejo seleccionar sus grados de desviación respecto a la dependencia lineal. Por ejemplo, si por mejorar el tiempo de la carrera de 15,0 a

14,9 s se confieren 10 puntos, la diferencia entre los resultados 10,0 y 9,9 s puede evaluarse, digamos, en 15 ó 150 puntos. Por lo general esta selección se basa en la opinión personal de los especialistas. Los métodos científicos para la solución de este problema no se han elaborado. Es precisamente por esto que muchos deportistas y entrenadores, en casi todos los deportes donde se emplean estas tablas, no las consideran totalmente justas.



5.2.4 Las escalas paramétricas

En los deportes de carácter cíclico y en el levantamiento de pesas los resultados dependen de parámetros tales como la longitud de la distancia y el peso del deportista. Estas dependencias se denominan *paramétricas*. Para las marcas mundiales éstas presentan un aspecto comparativamente simple (figuras 32 y 33). Para los demás resultados equivalentes (por ejemplo, iguales en grado de dificultad a la II y I categorías) las dependencias de los parámetros deben tener un aspecto análogo, es decir, longitudes similares.

En principio es posible encontrar dependencias paramétricas que sean el lugar geométrico de puntos de resultados equivalentes. Las escalas construidas sobre la base de estas dependencias se denominan paramétricas, y pertenecen al grupo de las más exactas.

5.2.5 La escala del Instituto Estatal Central de Cultura Física (Orden "Lenin")

En muchos casos, al repetir la aplicación de la prueba, no se logra garantizar condiciones estrictamente constantes. Varían, por ejemplo, el deslizamiento, el perfil de la distancia, etc. En estas situaciones no se pueden aplicar las escalas descritas. Evidentemente que es posible, por los resultados de la aplicación de la prueba, realizar la categorización de los deportistas (es decir, emplear la escala de orden, ver 2.1.2) y, comparando los resultados de varios experimentos realizados en diferente tiempo, analizar el rango del deportista como su evaluación. Por ejemplo, si al aplicar la prueba al equipo de jockey sobre hielo, un deportista ocupó el décimo lugar por los resultados de las pruebas sobre hielo, tanto en noviembre, como en febrero, se puede considerar que su nivel de preparación no ha variado, en comparación con el nivel de preparación de los demás miembros del equipo. Sin embargo, en las investigaciones periódicas, la composición la cantidad total de miembros del equipo sometido a la prueba, por diferentes causas, no permanece constante: alguien se enfermó, otro fue retirado para la participación en las demás competencias, etc. Supongamos que en noviembre la prueba se aplicó a 10 deportistas; y en febrero, a 20. Resulta evidente que ocupar el décimo lugar entre 10 ó entre 20 participantes no es lo mismo (en el segundo caso, el deportista superó a diez, y en el primero a ninguno). Además, como ya se ha señalado, la escala de rangos (la escala de orden) no resulta cómoda porque no determina los intervalos entre los investigados.

Para los casos en que las condiciones de aplicación de la prueba no permanecen constantes, en la cátedra de biomecánica del IECCF

(Orden "Lenin") fue propuesta una escala cuya base es la siguiente expresión matemática:

$$Puntos = 100 \times \left(1 - \frac{\text{mejor.resultado} - \text{resultado.evaluado}}{\text{mejor.resultado} - \text{peor.resultado}} \right) \quad (5.2)$$

Por ejemplo, el mejor resultado en el lanzamiento de la pelota medicinal fue de 20 m; el peor, de 10 m. Los puntos conferidos por un resultado de 15 m son:

$$Puntos = 100 \times \left(1 - \frac{20 - 15}{20 - 10} \right) = 50 \text{ puntos}$$

Por la escala del IECCF, el deportista que mostró el mejor resultado siempre obtiene 100 puntos; el que ocupó el último lugar no obtiene puntos.

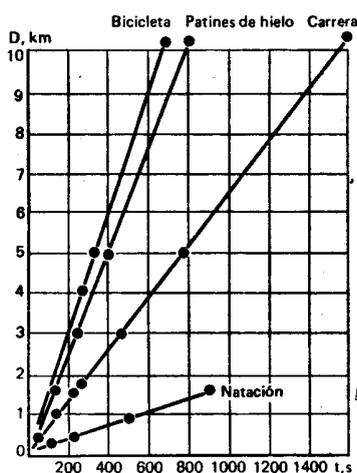


Fig. 32 Dependencia paramétrica entre la longitud de la distancia y el tiempo (por los datos de las marcas mundiales en los deportes de carácter cíclico).

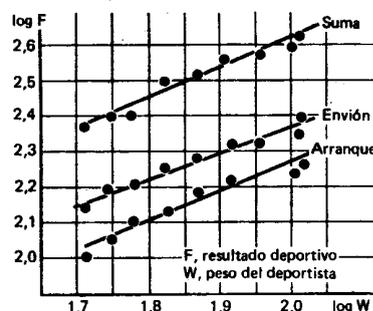


Fig. 33 Dependencia paramétrica entre el resultado deportivo y el peso individual de cada pesista (por los datos de las marcas mundiales).

5.2.6 La evaluación de la batería de pruebas

Si los deportistas pasan los experimentos en complejo de pruebas, el proceso de evaluación se puede realizar mediante dos procedimientos fundamentales. En el primer caso, no se calcula la

evaluación general para toda la batería de pruebas, sino que, mediante un análisis posterior, se utilizan las evaluaciones obtenidas por separado para cada prueba. En estos casos se emplean con mucha frecuencia, las expresiones gráficas de los resultados de la aplicación de la batería de pruebas, o sea, los denominados perfiles. En la figura 34 se da un ejemplo de estos perfiles. También son posibles otras formas de representación de los perfiles. Los resultados mostrados por el deportista, o por el grupo, se comparan con los resultados promedio y las desviaciones estándares de los resultados mostrados hasta el momento por un grupo grande de deportistas.

En el segundo procedimiento se calcula la evaluación final para toda la batería de pruebas. Aquí son posibles dos variantes: 1) se suman las evaluaciones obtenidas para las distintas pruebas que forman parte de la batería, al igual que se realizan las evaluaciones finales en las competencias de eventos múltiples; 2) las evaluaciones obtenidas en las distintas pruebas, primeramente se multiplican por coeficientes ("pesos") diferentes para cada prueba, y después se suman. Esta evaluación final para la batería de pruebas se denomina evaluación de ponderación. Se emplea cuando es necesario incrementar la importancia de los distintos elementos. Para las pruebas más importantes se toman "pesos" elevados.

5.3 LAS NORMAS

5.3.1. Las variedades de las normas

En la metrología deportiva se denomina norma a la magnitud límite de; resultado que sirve de base para incluir al deportista en uno de los grupos de clasificación. Los deportistas pueden incluirse en estos grupos de acuerdo con las categorías deportivas (ver capítulo 9), las normas de la serie GTO, el grado de entrenamiento, etcétera.

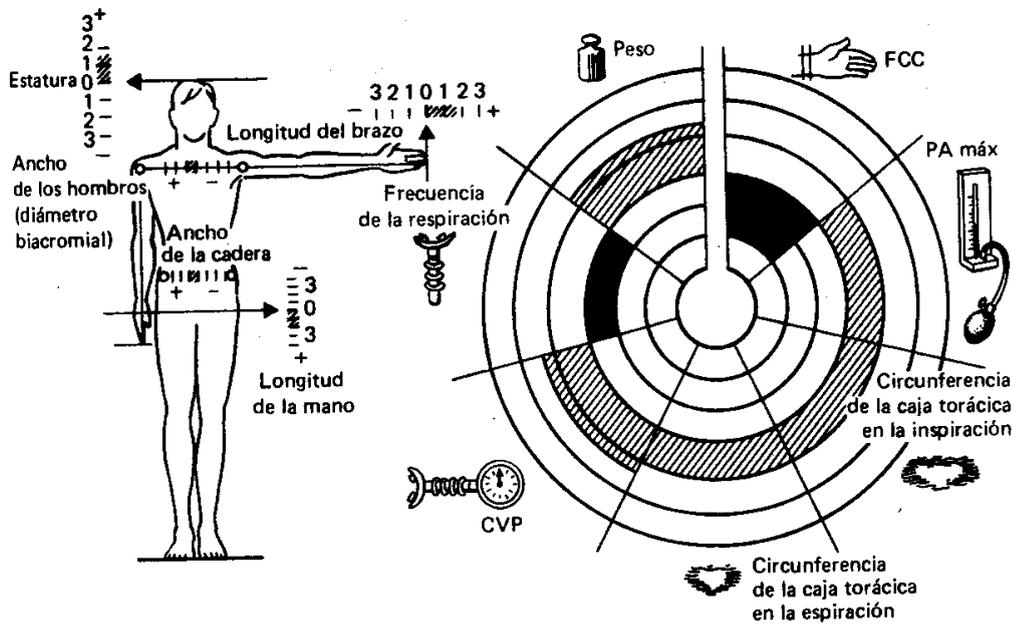


Fig. 34 Perfil del desarrollo físico de los representantes del remo académico, participantes en los Juegos Olímpicos de 1960 (por los datos de L. Gedda y coautores).

Antes de iniciarse los Juegos Olímpicos fueron analizados 5923 deportistas participantes. Sobre esta base se calcularon las magnitudes promedio y las desviaciones estándar de los resultados (las magnitudes promedio corresponden a los valores nulos en el gráfico; los números 1, 2 y 3 a los valores estándar de las desviaciones). Vemos que los remeros superaron a los restantes participantes de los Juegos Olímpicos en indicadores tales como la estatura, el peso, la longitud de los brazos, el ancho de los hombros y la cadera, etc., en una o dos desviaciones estándar. La FCC de los remeros fue menor en 2σ .

Tabla 25 Posibles gradaciones de las normas y las evaluaciones

Evaluación		Límites	porcentaje investigado	Normas en las escalas		
En palabras	en puntos			Z	T	de percentiles
Muy baja	1	Inferior a $\bar{X}-2\sigma$	2,27	—	—	—
Baja	2	De $\bar{X}-2\sigma$ hasta $\bar{X}-1\sigma$	13,59	-2,0	30	2,5
Inferior a la media	3	De $\bar{X}-1\sigma$ hasta $\bar{X}-0,5\sigma$	14,99	-1,0	40	16
Media	4	De $\bar{X}-0,5\sigma$ hasta $\bar{X}+0,5\sigma$	38,29	-0,5	45	31
Superior a la media	5	De $\bar{X}+0,5\sigma$ hasta $\bar{X}+1\sigma$	14,99	+0,5	55	69
Alta	6	De $\bar{X}+1\sigma$ hasta $\bar{X}+2\sigma$	13,59	+1,0	60	84
Muy alta	7	Superior a $\bar{X}+2\sigma$	2,27	+2,0	70	97,5

Existen tres tipos de normas: a) comparativas, b) individuales y e) necesarias.

Las normas comparativas tienen como base la comparación de las personas que pertenecen a un mismo universo. Generalmente estas normas se establecen con la ayuda de las escalas descritas en el epígrafe 2, pero pueden elaborarse indirectamente con los datos de las medias y los estándares. Por ejemplo, si se crean siete grupos de clasificación, esto se puede hacer como se muestra en la tabla 25. Las normas en la escala de percentiles se obtienen redondeando el por ciento de investigados incapaces de cumplirlas.

El establecimiento de normas de este tipo es fácil porque inmediatamente resulta claro a qué porcentaje de personas se puede aplicar. Estas normas resultan convenientes cuando se pueden registrar de manera experimental los valores promedio y las desviaciones estándar de los resultados en el universo para el cual se aplican.

En las normas comparativas a veces se emplea otro criterio (además del porcentaje de personas para las cuales la norma es factible). Se trata del tiempo necesario para alcanzar determinado nivel de los resultados. Por ejemplo, al determinar las normas de las categorías en la Clasificación deportiva única de la URSS CDU (ver capítulo 9) se supone que los plazos para la preparación de los deportistas en una misma categoría en todos los deportes, sean aproximadamente iguales.

Las normas comparativas caracterizan solamente los éxitos de los investigados en dicho universo comparativamente, pero nada dicen acerca de; universo en general. Puede resultar que en determinada región, y en determinadas condiciones históricas, el nivel de la preparación física de los niños sea insuficiente. Si en este caso se construye una escala de evaluaciones de cualquier tipo (por ejemplo, una de las escalas estándares) y después, sobre la base de esta, se aplican las normas (como se ha hecho, por ejemplo, en la tabla 25) entonces, un nivel que es notoriamente inaceptable será tomado como "promedio" y se creará una apariencia de prosperidad. Por eso,

las normas comparativas deben confrontarse con los datos obtenidos en los demás universos investigados, y emplearlas en combinación con las normas individuales y necesarias.

Las normas individuales están basadas en la comparación de los indicadores de un mismo deportista en diferentes estados, por ejemplo, en muchos deportes no existe dependencia entre el peso del deportista y el resultado deportivo (deportistas de cualquier peso pueden alcanzar éxitos aproximadamente iguales). Aplicar en estos casos una norma comparativa no tiene sentido. Sin embargo, para cada deportista existe un peso individual óptimo, que corresponde a su estado en forma deportiva. Esta norma individual se puede determinar de manera sistemática, registrando el peso del deportista dado durante un tiempo lo suficientemente prolongado. Las normas individuales corrientemente se utilizan de una forma particularmente amplia.

Las normas necesarias están basadas en el análisis de lo que debe ser capaz de hacer el hombre, para ejecutar con éxito las tareas que la vida le plantea: el trabajo, la actividad de la defensa, la vida cotidiana, el deporte, etc. Por ejemplo, sería incorrecto aplicar las normas de natación en la serie GTO sobre la base del nivel promedio de la capacidad de nadar de personas de determinada edad. Puede suceder que, como promedio, ellas no naden lo suficientemente bien. Estas normas se deben aplicar teniendo en cuenta, cómo debe ser capaz de nadar el hombre para sostenerse confiadamente en el agua y vencer los obstáculos acuáticos. Resulta evidente que aquí es conveniente aplicar la norma necesaria.

De esta manera, las normas comparativas, individuales y necesarias tienen como base la comparación de los resultados de un deportista con los resultados de los demás deportistas, los indicadores de un mismo deportista en los diferentes períodos y estados y los datos existentes con los valores establecidos.

5.3.2 Las normas por edades

Estas normas pertenecen al grupo de las comparativas. Están basadas en el hecho evidente de que, con la edad, varían las posibilidades funcionales de las personas. Existen dos variantes para determinar las normas por edades. En la primera variante, se elabora para las personas de cada edad, de la manera convencional, una escala de evaluaciones (por ejemplo, la escala de percentiles o la escala T) y después, con su ayuda, se aplican las normas (digamos, iguales a 50 o 75 puntos por la escala de percentiles). En la segunda variante se determina la denominada edad **biológica** (en este caso particular, la motora). Ella corresponde a la edad promedio calendario de las personas que han tenido un resultado dado. Por ejemplo, un niño (no importa de qué edad) realizó un salto de longitud desde el lugar de 144 cm. El resultado promedio de los niños de 8 años es de 140 cm (tabla 26); y el de los niños de 8 años y 5 meses, 145 cm. De aquí que resulta fácil calcular que 144 cm corresponde a una edad motora de 8 años y 4 meses (8-4).

Tabla 26
Edad motora de los niños por los
datos de los saltos de longitud desde el
lugar

Resultado (cm)	Edad motora (años, meses)
130	7-1
135	7-6
140	8-0
145	8-5
150	9-1
155	9-9
160	10-8
165	11-8

Si la edad motora supera la edad calendario, estos niños se denominan **acelerados** o motores; si se rezaga se llaman **retardados** motores. Por ejemplo, si tres niños, uno de los cuales tiene 7 años, el otro 8 y el tercero, 9 (estas son sus edades calendario), ejecutaron un salto de longitud desde el lugar, de 140 cm el primero de ellos, por lo tanto, es acelerado; el tercero, resultó retardado, y la edad motora de; segundo (por los datos de la prueba) correspondió a la edad calendario. Puede suceder que en unos indicadores el niño pertenezca al grupo de los acelerados, mientras que por los otros, a

los retardados. Acelerados y retardados completos se presentan muy raramente.

Al determinar las normas por edades las personas se agrupan consecuentemente Para los niños y adolescentes las gradaciones por edades son más frecuentes que para los adultos. Esto se debe a la rápida variación de las posibilidades motoras de los niños. En las investigaciones científicas se han aprobado gradaciones de no más de medio año; y en casos particularmente precisos, hasta dos meses. Determinar la edad en meses y días no resulta fácil. Los patrones internacionales requieren que se calcule por el sistema decimal (tabla 27). En este caso, la edad se determina por la diferencia entre la fecha de aplicación de la prueba y la fecha de nacimiento (en el sistema decimal).

Por ejemplo, la fecha de aplicación de la prueba fue: 17 de octubre de 1977=77,792

la fecha de nacimiento: 20 de julio de 1961=61,548

la edad el día de aplicación de la prueba será: $77,792 - 61,548 = 16,244$ años.

Tabla 27

Días del año en el sistema decimal

Día	1 Ene	2 Feb	3 Mar	4 Abr	5 May	6 Jun	7 Jul	8 Ago	9 Sep	10 Oct	11 Nov	12 Dic
1	000	085	162	247	329	414	496	581	666	748	833	915
2	003	088	164	249	332	416	499	584	668	751	836	918
3	005	090	167	252	334	419	501	586	671	753	838	921
4	008	093	170	255	337	422	504	589	674	756	841	923
5	011	096	173	258	340	425	507	592	677	759	844	926
6	014	099	175	260	342	427	510	595	679	762	847	929
7	016	101	178	263	345	430	512	597	682	764	849	932
8	019	104	181	266	348	433	515	600	685	767	852	934
9	022	107	184	268	351	436	518	603	688	770	855	937
10	025	110	186	271	353	438	521	605	690	773	858	940
11	027	112	189	274	356	441	523	608	693	775	860	942
12	030	115	192	277	359	444	526	611	696	778	863	945
13	033	118	195	279	362	447	529	614	699	781	866	948
14	036	121	197	282	364	449	532	616	701	784	868	951
15	038	123	200	285	367	452	534	619	704	786	871	953
16	041	126	203	288	370	455	537	622	707	789	874	956
17	044	129	205	290	373	458	540	625	710	792	877	959
18	047	132	208	293	375	460	542	627	712	795	879	962
19	049	134	211	296	378	463	545	630	715	797	882	964
20	052	137	214	299	381	466	548	633	718	800	885	967
21	055	140	216	301	384	468	551	636	721	803	888	970
22	058	142	219	304	386	471	553	638	723	805	890	973
23	060	145	222	307	389	474	556	641	726	808	893	975
24	063	148	225	310	392	477	559	644	729	811	896	978
25	066	151	227	312	395	479	562	647	731	814	899	981
26	068	153	230	315	397	482	564	649	734	816	901	984
27	071	156	233	318	400	485	567	652	737	819	904	986
28	074	159	236	321	403	488	570	655	740	822	907	989
29	077		238	323	405	490	573	658	742	825	910	992
30	079		241	326	408	493	575	660	745	827	912	995
31	082		244		411		578	663		830		997

5.3.3 Importancia de las particularidades de la complexión

Las dimensiones del cuerpo (la estatura, el peso, etc.) influyen en las posibilidades motoras de las personas. Así, las personas de estatura elevada tienen ventaja en los saltos de altura. Evidentemente se desea determinar normas que sean lo más justas posible, para que las diferencias en complexión no influyan sobre ellas. La vía más simple para esto es la elección de pruebas en las que no influyan las particularidades de la complexión. Por ejemplo, para las niñas la velocidad máxima de la carrera no depende de la estatura (Fig. 35), mientras que para los niños esta dependencia existe solamente en el período de la madurez sexual. Si no se pueden seleccionar pruebas similares, se hace necesario aplicar normas que tengan en consideración no solo la edad, sino también la talla y el peso.

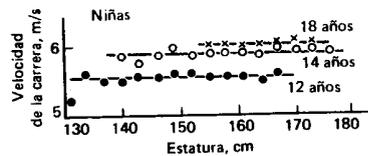


Fig. 35 Velocidad máxima de la carrera para los niños de diferente edad y con diferente estatura (datos de más de cien mil observaciones, según F. Bach).

. En la figura 36 se da un ejemplo de nomograma para la determinación del resultado promedio en los saltos de longitud desde el lugar, para los niños y niñas de quince años de edad. Para determinar el resultado promedio es necesario unir en el nomograma los valores de talla y peso con una línea recta. El punto donde esta línea intercepta la escala de los resultados en los saltos de longitud desde el lugar, indicará el valor promedio de esta prueba. A estos mismos objetivos sirven los denominados índices de clasificación (IC). Cada uno de estos índices, empleados para la evaluación del nivel de la preparación física de los escolares en los EE.UU. y Canadá, presenta el siguiente aspecto: $IC = 20 \text{ edad (en el sistema decimal)} + 2,5 \text{ talla (cm)} + 2,0 \text{ peso (Kg.)} - 12$.

Para cada valor del IC se ha elaborado una escala de percentiles. Al determinar el valor del IC para un investigado por separado, se puede evaluar su nivel de preparación física, considerando la edad, la talla y el peso.

5.3.4 La aplicabilidad de las normas

Las normas se elaboran para un grupo (universo) determinado de personas y son aplicables solamente a este grupo. Por ejemplo, las normas elaboradas sobre la base de la investigación de los niños de Moscú, no se pueden extrapolar mecánicamente a los niños de las regiones sureñas del país. La aplicación de las normas solamente a aquel universo, para el cual fueron elaboradas, se denomina relevancia de las normas.

Las normas son aplicables si han sido establecidas sobre la base de la investigación de una muestra típica de analizados dentro de todo el grupo (del universo) al cual se aplican. Como es conocido de

la estadística matemática, la muestra que refleja fielmente el universo se denomina representativa. Por ejemplo, si para determinarlas normas se seleccionan escuelas que presentan las mejores condiciones para las clases de cultura física, esta muestra puede ser no representativa en relación con todas las escuelas.

Finalmente, considerando que las posibilidades motoras de las personas de diferentes generaciones no son iguales, las normas se deben revisar periódicamente. La norma debe ser moderna.

La relevancia, la representatividad y la modernidad de las normas son condiciones obligatorias para su aplicación.

EQUILIBRIO- DIRECCIÓN; PRIMERA DE LAS HABILIDADES CONSTANTE DEL PITCHEO, DESDE UNA PERSPECTIVA BIOMECÁNICA. (1ra. Parte).

**Eugenio Víctor Doria de la Terga. Profesor de Biomecánica
Deportiva de la Facultad de Cultura Física de la Universidad
Agraria de La Habana, "Fructuoso Rodríguez Pérez".**

Palabras claves:
Pitcheo, equilibrio, dirección,
Biomecánica, centro de
gravedad del cuerpo, postura,
situación, wind up.

Summary:

The present work is the beginning of a series of three, that you they are part of a general investigation about the biomechanics of the pitching. In the modern means of sport training the analysis of the different movements, the study of the technique and the reasoning of execution of the same ones, they contribute to deduce the work of the mechanics of the pitching and to provide the methods and alternatives to correct the flaws in the launchings of the pitchers. The analysis of the different phases of the pitching, beginning with the: **balance-address, the transfer of weight, adjournment-launching energy and acceleration-deceleration**, observed in slow camera of videotape, with digitalization of on line images and tried in 3ra. Dimension, they reveal many of the queries that pitching trainers face al the present time.

Resumen:

El presente trabajo es el primero de una serie de tres que forman parte de una investigación general acerca de la biomecánica del pitcheo. En los medios modernos de entrenamiento deportivo, el análisis de los diferentes movimientos, el estudio de la técnica y razonamiento de ejecución de los mismos, contribuyen a deducir el trabajo de la mecánica del pitcheo y a proveer los métodos y alternativas para corregir las fallas en los lanzamientos de los pitchers. El análisis de las distintas fases del pitcheo, comenzando por el **equilibrio-dirección** (1), **transferencia de peso-energía de traslación** (2), y **lanzamiento-aceleración/desaceleración** (3), observados en cámara lenta de vídeo, con digitalización de imágenes computarizadas y tratadas en 3ra. Dimensión, revelan muchas de las interrogantes a que se enfrentan los entrenadores de pitcheo en la actualidad.

Introducción.

Durante la conservación y variación de la posición del cuerpo, la tarea motora consiste en garantizar el equilibrio sin que varíe el apoyo, tanto cuando la postura es constante, como cuando esta varía (movimientos en el lugar). (Donskoi, 1988). En los ejercicios físicos, con frecuencia, el hombre está obligado a conservar una posición inmóvil del cuerpo; posiciones iniciales (de arrancada, etc.), posiciones intermedias, posiciones finales, etc. En todos los casos citados, el cuerpo humano como sistema biomecánico, se encuentra en equilibrio. El béisbol es un deporte variable en cuanto al uso de los sistemas energéticos, ya que por su duración es básicamente aeróbico, todas las acciones ofensivas y defensivas son anaerobias alactácidas pues ninguna, aún las más largas, sobrepasan los 10 segundos de ejecución. (Saavedra Chavéz, et al. 2002).

El lanzador es el jugador de béisbol que más exigencias físicas requiere, su trabajo y gasto energético no tiene comparación con ninguno del resto de los jugadores; ni aún con el receptor. Si a esto sumamos las condiciones en las que desempeña sus movimientos; tamaño de la goma de lanzar, inclinación de su área con respecto a la horizontal, distancia relativamente muy cerca de la zona de contacto bateador-pelota, etc., comprenderemos con mayor facilidad, lo difícil que le es, cumplir con efectividad su tarea motora.

El presente trabajo tiene como objetivo *analizar las habilidades más imperantes* del pitcheo, desde las perspectivas de la Biomecánica, comenzando por la primera de ellas; ***equilibrio-dirección***.

Desarrollo:

- **Condiciones de equilibrio del cuerpo y del sistema de cuerpos;** la posición del cuerpo humano se determina por:
 - a) La postura; (disposición recíproca de los miembros del cuerpo).
 - b) La situación.
 - c) La orientación respecto al sistema de referencia, y;
 - d) La relación con el apoyo.

Para conservar la posición del cuerpo hay que fijar los miembros en las articulaciones y no permitir que fuerzas externas varíen su situación, su orientación en el espacio (excluyendo los desplazamientos y los giros) y el vínculo con el apoyo. Las tareas citadas se solucionan ***equilibrando las fuerzas y los momentos de fuerzas*** que actúan sobre el hombre. El equilibrio de las fuerzas constituyen el fundamento de la conservación de la posición del cuerpo. (Donskoi, 1988).

□ **Fuerzas equilibrables durante la conservación de la posición.**

Al sistema biomecánico pueden estar aplicadas; fuerzas de gravedad, fuerzas de reacción, de apoyo, del peso, tracciones, musculares, etc. Todas las fuerzas pueden actuar como interferentes (que alteran las posición), o como equilibrantes (que conservan la posición), en dependencia de la posición de los miembros del cuerpo respecto a su apoyo. (Ibídem, 1988).

Las fuerzas de gravedad (fuerzas a distancia) están aplicadas a los **centros de masas** de los miembros y al **centro de masa** del cuerpo. En dependencia de las particularidades concretas de la posición, pueden estar dirigidos o bien a la variación de la posición o bien al equilibrio de otras fuerzas interferentes. Las reacciones de apoyo, como reacción de apoyo a la acción del cuerpo que se encuentra sobre él, por lo general conjuntamente con otras fuerzas equilibran los miembros de apoyo, los fijan de manera inmóvil. El peso de los miembros del cuerpo (fuerzas en contacto) están aplicado, dentro del cuerpo humano, a los miembros vecinos, como consecuencia de la atracción terrestre, de la acción de la fuerza de gravedad. (Ver figura 1).

□ **Equilibrio en las distintas fases del pitcheo.**

*El equilibrio es esencial en cualquiera de los movimientos humanos, pero es **un imperativo biomecánico para un pitcheo eficiente en el béisbol.** Entendemos por poner en equilibrio: **controlar el centro de gravedad del lanzador desde el primero hasta el último de los movimientos en el wind up.***

□ **Equilibrio-dirección: en el enroscamiento y estiramiento.**

El enroscamiento y estiramiento son similares movimientos físicos una vez que la bola y el pie de pivot son colocados en frente de la goma de lanzar. La elevación del pie será absorbida por la parte superior del cuerpo, con la cabeza sobre el ombligo (centro de gravedad) y el pie de pivot como eje. [Alineación: cabeza-centro de gravedad-pie de pivot. Ver figura 2]. (House, 2000), (Doria, 2001).

Las manos deben estar en el área del torso medio en línea recta con el mentón y el ombligo (centro de gravedad), en el interior de la rodilla del pie levantado. El ángulo y rotación de caderas y hombros son propios de cada pitcher, así como la altura de la pierna levantada. El pie, sin embargo debe ir por debajo de la rodilla de la pierna levantada, nunca por fuera. *Un óptimo equilibrio se alcanza si el centro de gravedad es estabilizado sobre la bola y el pie de pivot (eje), cuando la rodilla de la pierna levantada alcanza su máxima altura en el enroscamiento.* (House, 2000). (Doria, 2001). (Ver figura 3).

La única razón para que un pitcher retroceda es la de librar el pie de pivot y colocarlo enfrente de la goma. Cualquier movimiento excesivo detrás de la goma puede traer dificultades en el momento de alcanzar el equilibrio. Todo los movimientos se definen brevemente en la cúspide de la pierna levantada, es el punto en el cual el pitcher ha alcanzado su máxima **Energía Potencial**

interna y está listo para transformarla en **Energía Cinética** al realizar la zancada o paso hacia el home plate. (Doria, 2001).

□ **Postura sobre la goma de lanzar.**

Recordemos que el pitcher se para sobre un área (goma de lanzar) de 24 x 6 cms, que en este momento todo su cuerpo descansa vertical y equilibradamente sobre sus dos pies, por lo que es recomendable mantener el peso del cuerpo hacia atrás o inclinar un poco los hombros hacia delante, para obtener (dentro de la postura correcta) algún descanso. Debe mantenerse esbelto en la preparación para lanzar la bola hacia el home plate, esto significa; *mantener una postura firme, con una ligera flexibilidad en la pierna posterior. La cabeza, ombligo y pie de pivot están alineados, con el peso del pie de pivot sobre la goma de lanzar antes de levantar la pierna.* (Ibídem, 2001). (Ver figura 3).

La goma de lanzar y la altura del montículo son ventajas que tiene y debe saber aprovechar el lanzador, fundamentalmente desde la posición de frente, y por tanto, debe aprovecharlas al máximo; el montículo por su altura respecto a la horizontal con el home plate favorece el ángulo de lanzamiento; la goma, para obtener impulso empujándose en dirección al home, de manera que el primer propósito al adoptar esta posición *es trasladar el peso del cuerpo hacia atrás, concentrándolo después sobre el pie de contacto para obtener mayor potencia al realizar el lanzamiento.* Los brazos y las piernas retienen **Energía** alrededor del *Centro de Gravedad* en acción y reacción. Con un movimiento ineficiente del *Centro de Gravedad* no deben disipar **Energía**. (ver figura 4; equilibrio y figura adecuada para el lanzamiento).

El pitcher debe balancearse a fin de elevar la rodilla y alcanzar su altura máxima, los brazos deben estar al frente y cerca del cuerpo, la rodilla posterior firme con ligera flexibilidad. (House, 2000). El pie de pivot se mantiene sobre la parte superior del borde delantero de la goma, a continuación; con un movimiento lento y rítmico de ambos brazos, se lleva la pelota dentro del guante a una posición sobre la parte delantera de la cabeza, se transfiere el peso del cuerpo hacia atrás y se ladea el pie de contacto doblando la rodilla para situarlo paralelo o casi paralelo a la goma de lanzar, se realiza un giro de caderas para permitir el movimiento del cuerpo en dirección a 3ra. Base (en los lanzadores derechos), y hacia 1ra. Base (en los lanzadores zurdos), se eleva la pierna flexionada a la altura de la cintura y se traen al mismo tiempo las manos a una posición detrás de la pierna levantada. (Ibídem, 2000).

□ **El levantamiento de la pierna.**

Como ya mencionamos, la altura del levantamiento de la pierna es propio de cada lanzador, claro está, que existe una correspondencia entre esa altura y la velocidad de envío de los lanzamientos. Para establecer esta hipótesis nos preguntamos:

- ¿Qué por ciento del peso total del cuerpo del lanzador representa la pierna levantada?.

- ¿En cuánto incrementa la velocidad de sus lanzamientos al levantarla a una altura mayor?
- ¿Afecta esta mayor altura del levantamiento de la pierna, su equilibrio?.

Al experimentar con determinado número de lanzadores (categorías escolares; 13-14, 15-16 y juvenil de la provincia de La Habana, 32 atletas en total), pudimos comprobar, que tanto en lanzadores derechos como zurdos; *al representar la pierna que se levanta entre un 15% y un 19% del peso total del cuerpo, y elevar a una mayor altura la misma, incrementa en un por ciento mayor la transformación de Energía Potencial (en función esta, de la altura, **h**) a Energía Cinética (en función esta, de la velocidad, **V**), y por ende en **una mayor velocidad del lanzamiento**. ¿En cuánto se incrementa la velocidad?. En alrededor de 2 m/h en una bola rápida. (House, 2000).*

Es necesario tener en cuenta que no todos los lanzadores pueden incrementar su velocidad a base del levantamiento más alto de su pierna de péndulo, por cuanto, esto puede afectarles considerablemente **su equilibrio** en la secuencia de los movimientos, al no tener la flexibilidad ni la fortaleza requerida en los músculos de la pierna (*eje*). El levantamiento más alto de la pierna en función del incremento de la velocidad, beneficiará a los lanzadores que mantengan **su equilibrio**; la primera y más importante constante mecánica del pitcheo. (Doria, 2001).

□ Conclusiones.

Cuando ocurren ineficiencias biomecánicas en el **equilibrio – dirección** usualmente se debe a que el lanzador está realizando un mal alineamiento del cuerpo, (**cabeza, centro de gravedad y pie de pivot**) y existe; desviación del cuerpo durante el levantamiento de la pierna, e inclinación o desplome de la pierna posterior. La **cabeza** del lanzador, su **Centro de Gravedad** y el **pie de pivot** deben **alinearse verticalmente en equilibrio** apropiado. La cabeza siempre debe permanecer arriba o ligeramente enfrente del Centro de Gravedad, nunca detrás de este. Las manos, bola y guante deben estar cerca del torso en una línea imaginaria ubicada en algún lugar entre la barbilla y el ombligo. El equilibrio del pitcher, dada sus características y los movimientos que realiza podemos ubicarlo dentro del equilibrio limitadamente estable. En la mecánica de los movimientos del lanzador, no partir de una buena posición de equilibrio, conlleva el riesgo de crear malos hábitos motores, los cuales a la corta y a la larga traerán consigo lesiones en los mecanismos del cuerpo humano que intervienen y que en el mayor por ciento de los casos, terminan con la carrera deportiva del lanzador.

□ **Bibliografía.**

– **Referenciada.**

Donskoi, D. D./Zarsiorki V. 1989. Biomecánica de los ejercicios físicos. Manual. Ciudad de La Habana. Editorial Pueblo y Educación. Página 37 a 39.

Ibídem, página 42.

Ibídem, página 81.

Saavedra Chávez Jesús. et al. 2001. El entrenamiento personalizado de los jugadores de béisbol. En efdeportes revista digital. Páginas 6 a la 8.

House Tom. 1995. The pitching edge. (1^{ra}. Edition). Human Kinetics. The premier publisher for sports & Fitness. California. EE.UU. Páginas 14 a la 22.

Ibídem. Página 36 y 37.

Ibídem. Páginas 41 a la 43.

Doria de la Terga, Eugenio. 2001. Estudio biodinámico del lanzamiento como apoyo a la técnica motriz del pitcheo. (Investigación y Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias). Páginas 19 a la 23.

Ibídem. Páginas 28 a la 33.

Ibídem. Páginas 37 a la 46.

Ibídem. Páginas 53 a la 57.

Ibídem. Páginas 61 a la 71.

Ibídem. Páginas 74 a la 76.

Ibídem. Páginas 80 a la 82.

Hernández, M. J. 1990. La actividad física y el deporte en el ámbito de la ciencia. Barcelona. España. (En revista Apunts no. 22/diciembre 1990, pp: 58-67)

Hochmuth G 1985. Introducción a la biomecánica del movimiento. deportivo. España. Editorial Madrid. Páginas 31 a la 41.

Hoffmann, H. 1993. Las tareas de la disciplina científica biomecánica en el desarrollo posterior de la técnica deportiva. Leipzig. 1993. 25 pp.

– **Consultada.**

Atwater, A. E. 1987. "Biomechanical Analysis of Different Pitches Delivered from stretch positions" (paper presented at the 24th annual meeting of the American Sport Medicine, Chicago, Maq. USA. 52 páginas.

Balsevich, V. K. 1996. Biomecánica evolutiva. Teoría y aplicaciones prácticas. Moscú. Academia de Cultura Física de Rusia. (En DICT del ISCF "Manuel Fajardo". TR; 97-55). 19 páginas.

Donskoi, D. D./Zarsiorki V. 1989. Biomecánica de los ejercicios físicos. Manual. Ciudad de La Habana. Editorial Pueblo y Educación. 318 páginas.

Saavedra Chávez Jesús. et al. 2001. El entrenamiento personalizado de los jugadores de béisbol. En efdeportes revista digital. 11 páginas.

House Tom. 1995. The pitching edge. (1^{ra}. Edition). Human Kinetics. The premier publisher for sports & Fitness. California. EE.UU. 214 páginas.

Doria de la Terga, Eugenio. 2001. Estudio biodinámico del lanzamiento como apoyo a la técnica motriz del pitcheo. (Investigación y Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias). 120 páginas.

Fleisig, G. S. et. al. 1994. "Biomechanics of the shoulder during throwing". In Andreacos JR, wilk KE, ed. The Athlete's shoulder. New York; Churchill Livingstone. 355 páginas.

----- 1994. Kinetics comparisons of the upper extremity when throwing different types of baseball pitches. (In Medicine Sei. Sports Medicine. (1). Birmingham University. 151 páginas.

----- 1992. The biomechanics of baseball pitching. University of Alabama at Birmingham. Dissertation. 11 páginas.

----- 1993. Biomechanics of the elbow during baseball pitching. In Journal Orthop Sports Phys. Ther 1993; 17 (6); 274 páginas.

----- 1995. "Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanism". (Am Journal Sports Medicine; página 23 a la 33). 311 páginas.

Hernández, M. J. 1990. La actividad física y el deporte en el ámbito de la ciencia. Barcelona. España. (En revista Apunts no. 22/diciembre 1990, pp: 58-67)

Hochmuth G. 1985. Introducción a la biomecánica del movimiento. deportivo. España. Editorial Madrid. Páginas 31 a la 41.

Hoffmann, H. 1993. Las tareas de la disciplina científica biomecánica en el desarrollo ulterior de la técnica deportiva. Leipzig. 1993. 25 pp.

Holdebrand, F. 1984.

"Zielstellung, Standpunkte und Erfahrungen bei der Modellierung sportlicher Bewegungen"

(Finalidad, aspectos y experiencias en la modelación de los movimientos deportivos)
in:"Theorie und Praxis. Leistungssport", 22(1984)12, Seite 122-130

NOMENCLATURA	
SIMBOLO	SIGNIFICADO
n	# postura
t (s)	tiempo en seg
x(mm)	coordenada en el eje x
D'X	1ra diferencia en X
D''X	2da diferencia en X
(D'X) ²	1ra diferencia en X al cuadrado
(D''X) ²	2da diferencia en X al cuadrado
y(mm)	coordenada en el eje x
D'Y	1ra diferencia en Y
D''Y	2da diferencia en Y
(D'Y) ²	1ra diferencia en Y al cuadrado
(D''Y) ²	2da diferencia en Y al cuadrado
(D'X) ² +(D'Y) ²	suma de los cuadrados de las 1ras diferencias en X e Y
(D''X) ² + (D''Y) ²	suma de los cuadrados de las 2ras diferencias en X e Y
Kv	constante de velocidad
Ka	constante de aceleracion
e	factor de escala
f	frecuencia de filmacion
DC	cambios de cuadros

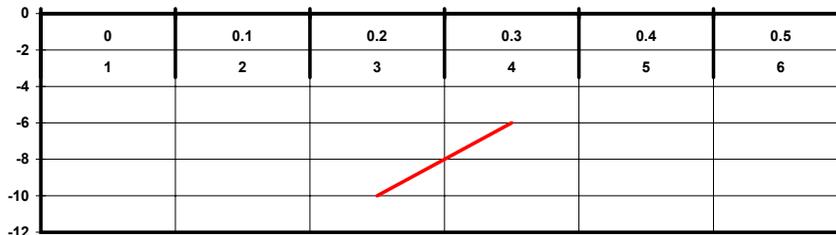
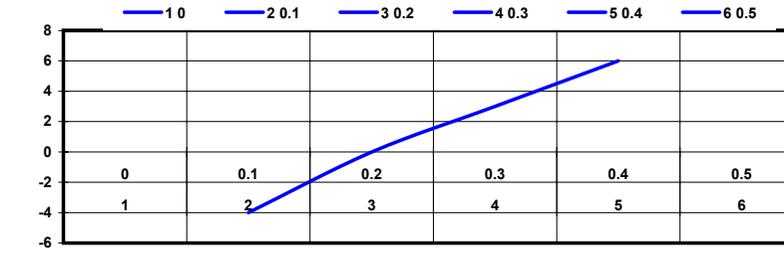
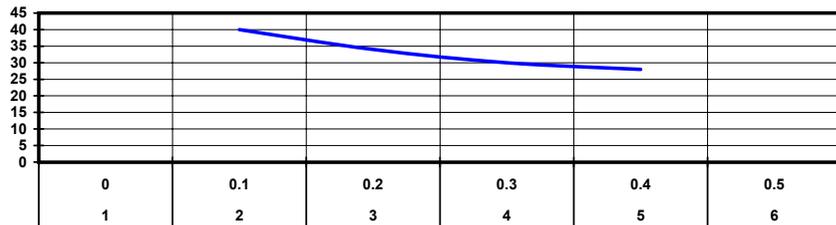
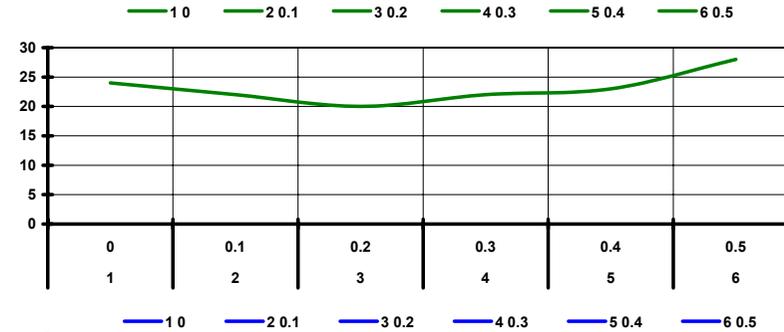
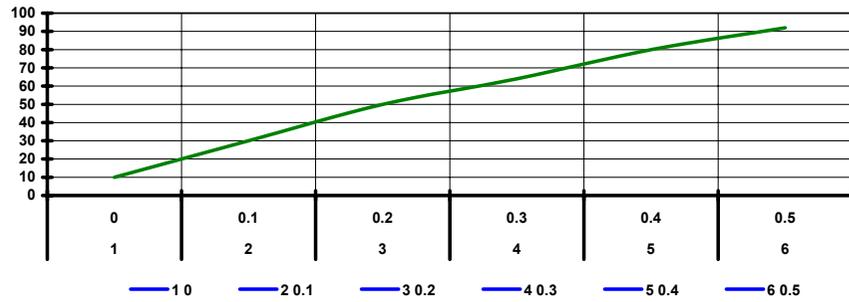
MOVIMIENTO: PATEO AL BALON
PUNTO: RODILLA

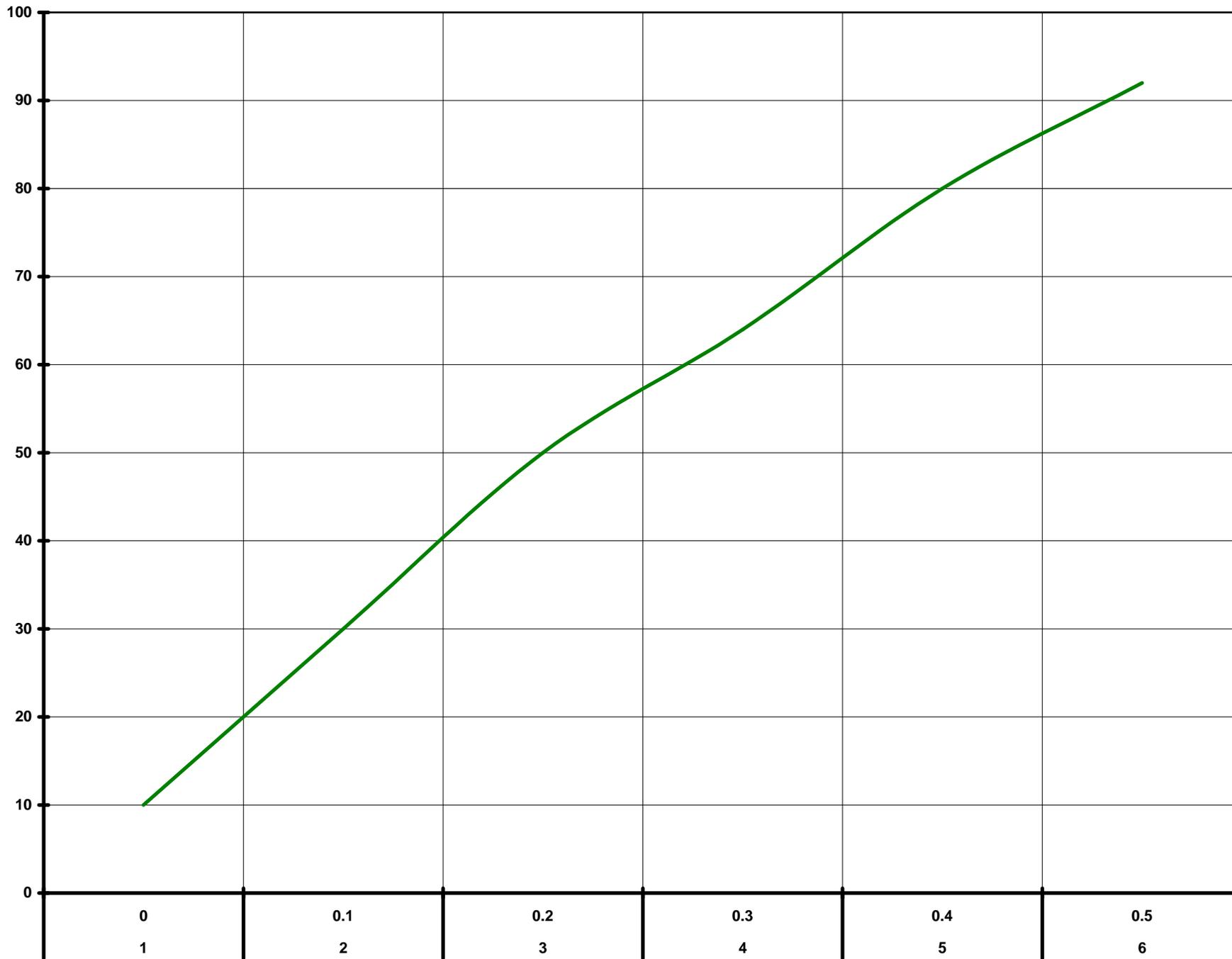
f (c/s)	ΔC (c)	e
30	2	10

$Kv = ef / 2\Delta C * 1000$
 $Ka = e f^2 / 4\Delta C^2 * 1000$

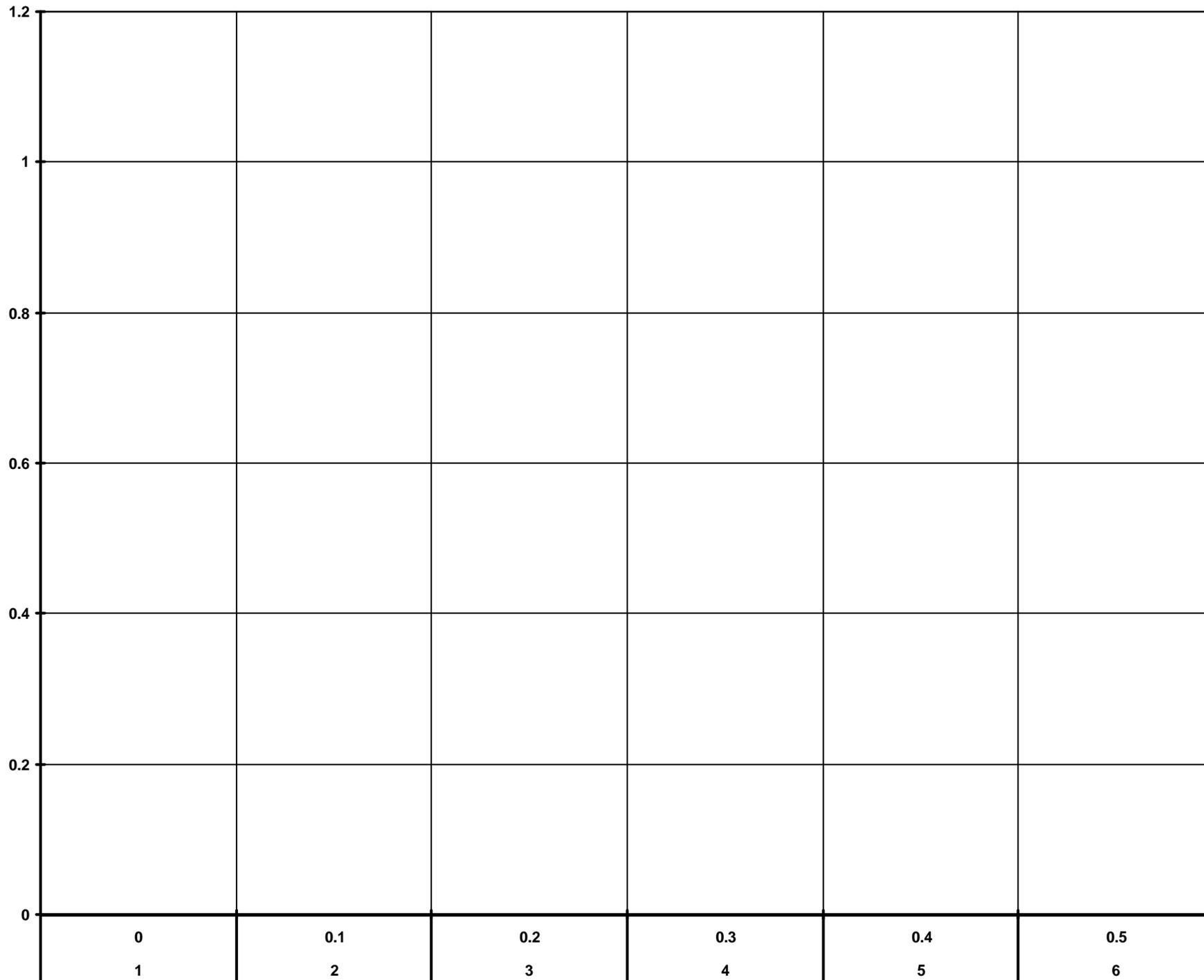
$Kv = 0.075$
 $Ka = 0.563$

n	t (s)	x(mm)	ΔX	$\Delta^2 X$	$(\Delta X)^2$	$(\Delta^2 X)^2$	y(mm)	ΔY	$\Delta^2 Y$	$(\Delta Y)^2$	$(\Delta^2 Y)^2$	$(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2$	raiz cuad $(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2$	$(\Delta^2 X)^2 + (\Delta^2 Y)^2$	raiz cuad $(\Delta^2 X)^2 + (\Delta^2 Y)^2$	Kv	v (m/s)	Ka	a (m/s ²)
1	0	10					24												
2	0.1	30	40		1600		22	-4		16		1616	40.2			0.075	3.0		
3	0.2	50	34	-10	1156	100	20	0	7	0	49	1156	34.0	149	12.2	0.075	2.6	0.563	6.9
4	0.3	64	30	-6	900	36	22	3	6	9	36	909	30.1	72	8.5	0.075	2.3	0.563	4.8
5	0.4	80	28		784		23	6		36		820	28.6			0.075	2.1		
6	0.5	92					28												





— 1 0 — 2 0.1 — 3 0.2 — 4 0.3 — 5 0.4 — 6 0.5



MOVIMIENTO: Pitcheo
 PUNTO: TALON

f (c/s)	DC (c)	e
30	2	10

$K_v = ef / 2DC * 1000$
 $K_a = e f^2 / 4DC^2 * 1000$

$K_v = 0.075$
 $K_a = 0.563$

n	t (s)	x(mm)	D'X	D''X	(D'X) ²	(D''X) ²	y(mm)	D'Y	D''Y	(D'Y) ²	(D''Y) ²	(D'X) ² + (D'Y) ²	raiz cuad (D'X) ² + (D'Y) ²	(D''X) ² + (D''Y) ²	raiz cuad (D''X) ² + (D''Y) ²	Kv	v (m/s)	Ka	a (m/s ²)
1	0	14					54												
2	0.1	30	48		2304		40	-22		484		2788	52.8			0.075	4.0		
3	0.2	62	86	34	7396	1156	32	-22	16	484	256	7880	88.8	1412	37.6	0.075	6.7	0.563	21.1
4	0.3	116	82	-28	6724	784	18	-6	32	36	1024	6760	82.2	1808	42.5	0.075	6.2	0.563	23.9
5	0.4	144	58		3364		26	10		100		3464	58.9			0.075	4.4		
6	0.5	174					28												

