

Mayo de 2005

Biomecánica deportiva

Matilde Espinosa Sánchez

Por siglos, el hombre ha mostrado fascinación por la “arquitectura”, el estilo, la forma y composición de su cuerpo. La búsqueda por entender la anatomía del cuerpo humano, ha creado disciplinas muy especializadas y, con ello, la producción y desarrollo de herramientas científicas, cuya función principal es y ha sido, ayudar a descifrar el enigma que constituye el funcionamiento del mismo.

Es por ello que, en la actualidad, el ser humano adecua programas y software de cómputo para diseñar sistemas informáticos que produzcan modelos “virtuales” del movimiento corporal de los individuos, con los cuales sea posible explicar y entender el cuerpo humano.

El concepto de biomecánica (combinación de las palabras biología y mecánica) tiene que ver con los principios y métodos de la mecánica aplicados al estudio de la estructura y función de sistemas biológicos. Este término así como el de kinesiología, se han utilizado para darle nombre a los estudios del movimiento del cuerpo humano. Las investigaciones en este ámbito, se realizan en movimientos que el individuo desempeña durante la vida diaria, en los lugares de trabajo y en la actividad física como la marcha, la danza y las diferentes especialidades deportivas.

Los especialistas de esta interdisciplina, tienen conocimientos de anatomía y fisiología del cuerpo humano, de entrenamiento a ingenieros mecánicos, médicos ortopedistas, antropólogos físicos, entrenadores deportivos, rehabilitadores físicos, ergónomos y computólogos. Dependiendo de la orientación y de los objetivos, los proyectos de investigación toman en consideración aspectos fundamentales de las distintas áreas de conocimiento.

En el inicio de la vida, el desarrollo motor del individuo es muy limitado, y está asociado al desarrollo del sistema nervioso. Las formas de locomoción que aprenderá, implican una secuencia determinada que va desde el arrastrarse y gateo, hasta la marcha en posición erguida. Para el ser humano, el desarrollo motor es el proceso por medio del cual adquiere los patrones de movimiento básicos o formas elementales de movimiento como saltar, lanzar o caminar.

Entre los individuos de los diferentes grupos humanos, las partes del esqueleto presentan variaciones, de las cuales también hay tipos anatómico-individuales. Así, la estructura corporal de los distintos individuos varía considerablemente; en los tratados sobre anatomía, se describe la estructura del cuerpo que se observa en la mayoría de los individuos que va de un 60-79% de un rango normal de variación. Entonces, la variabilidad anatómica contribuye a la variabilidad de movimiento; por ejemplo: cada quien camina de una manera, pero también, cada paso del andar de cada quien es diferente.

Los cambios de posición de los segmentos corporales son un proceso complejo que demanda un elaborado control del sistema músculo-esquelético por parte del sistema nervioso. Cada músculo tiene su propia longitud de brazo de palanca (o de momento). El centro de una articulación, eje de giro o punto de giro o eje de rotación de los segmentos corporales, generalmente, varía conforme crece o disminuye la amplitud del ángulo que forman dos segmentos, y el punto de giro se desplaza a diferentes puntos anatómicos dentro de la articulación.

La contracción del músculo esquelético depende de las características químicas de los tejidos y fisiológicas del tipo de fibras que lo componen: rápidas o lentas. La velocidad a la que se puede contraer el músculo para desarrollar fuerza, depende del número de unidades de contracción; y unidades motoras que constan de la neurona motora y de las fibras musculares que controla.

Las articulaciones sinoviales son las más frecuentes e importantes desde el punto de vista funcional, poseen una rica inervación, y el tipo fundamental de sensación que transmiten es la propiocepción, que ofrece información sobre el movimiento y la posición en el espacio de las distintas partes del cuerpo. La localización de los puntos anatómicos que representan los ejes de rotación en las articulaciones, es uno de los temas actuales de discusión e investigación debido a la incertidumbre que se tiene en su definición.

Las partes del cuerpo humano se consideran estructuras o cuerpos rígidos para facilitar el estudio del movimiento. Los movimientos se miden en tres dimensiones con relación a los planos anatómicos estándar: sagital, frontal y transversal. Anidados a esta referencia, se usan sistemas de ejes cartesianos (x, y, z).

La variación en los movimientos (lineales y angulares) se describe por medio de los parámetros cinemáticos y cinéticos, y son los valores de estos parámetros los que caracterizan a los movimientos. En general, se pueden tener dos posibles descripciones: una cualitativa, que informa sobre los elementos que componen el desplazamiento del cuerpo, o sea el cómo nos movemos. La otra descripción es la cuantitativa, que es una descripción numérica de las características del desplazamiento, basada en las mediciones experimentales, es el significado funcional: el cuánto nos movemos.

La postura es la actitud, es la distribución de las partes del cuerpo en el espacio durante el movimiento. Conforme el individuo crece, varía su postura; estas variaciones son parte de los recursos que el individuo tiene como respuesta a las demandas de la gravedad. Los patrones de postura varían con la edad, el sexo, el nivel de desarrollo y el somatotipo del cuerpo.

Coordinar se relaciona conceptualmente con las fases de movimiento o conductas parciales, partes que pueden ser conectadas ordenadamente dentro de la ejecución motriz. El ordenamiento está relacionado con el trabajo muscular, mediante reglas determinadas de la actividad sinergista y antagonista de los músculos y procesos parciales del sistema nervioso, esto se conoce como coordinación motriz. Se debe tener claro que hay gran cantidad de factores y procesos individuales que actúan conjuntamente. En un acto motor, se deben dominar una gran cantidad de ejes de movimiento. El factor referente a la elasticidad de los músculos, los tendones y los ligamentos, elimina la localización fija de los ejes de movimiento. Es necesario también considerar cualidades como el ritmo del movimiento, que abarca el orden temporal del acto motor, y la fluidez, que es la ejecución del acto motor con más o menos grado de continuidad. Las investigaciones en el área permiten concluir que el nivel de estas cualidades sólo se eleva a través de la actividad física, y que se mejora considerablemente, si las cualidades se ejercitan dirigidas a mejorar la condición física. Entonces, el mejor método para adquirir coordinación, ritmo y fluidez en los movimientos, es la ejercitación variada.

Para la estimación de los parámetros de los segmentos, han surgido modelos matemáticos, así como métodos que proveen procedimientos para la localización de centros de masa, y el cálculo de velocidades angulares y de momentos de inercia de los segmentos.

Para permitir el cálculo de parámetros cinemáticos y cinéticos en el movimiento del cuerpo humano, se hacen suposiciones como las siguientes: cada segmento tiene una masa fija concentrada en el centro de masa, la localización del centro de masa permanece fija durante el movimiento, las articulaciones se suponen son del tipo bisagra, y la longitud del segmento permanece constante durante el movimiento.

Un sistema de movimiento acíclico, como por ejemplo un salto de longitud, se puede considerar compuesto por las siguientes fases: la carrera, el impulso, el vuelo y la caída. Un ejemplo de un proceso cíclico es la marcha (el andar), en este sistema las fases se repiten constantemente: contacto en el piso con el talón, soporte de los dos pies en el piso, soporte de un pie en el piso y desplazamiento del otro pie en el aire, contacto del otro pie en el piso con el talón, soporte de los dos pies en el piso, etc.

Gracias al desarrollo de la tecnología, en la actualidad se cuenta con métodos para la

descripción e instrumentos de medición del movimiento del cuerpo humano; el uso de éstos depende de qué y cómo se quiera medir:

- | El goniómetro sirve para medir la amplitud de los segmentos corporales que conforman una articulación.
- | El acelerómetro emite señales usualmente analógicas y fácilmente digitalizables.
- | El electromiógrafo detecta, mediante electrodos (cutáneos o intramusculares), la actividad muscular de determinados músculos.
- | Las plataformas de fuerza dividen las fuerzas que actúan sobre ellas en tres direcciones espaciales.
- | Los dinamómetros registran el valor de las torcas en la rotación de segmentos en las diferentes articulaciones.
- | La videografía provee los cuadros de video digitalizados con información de la proyección de secuencias de movimientos ejecutados.
- | Para reconstruir la información tridimensional de imágenes planas de dos dimensiones captadas con cámaras de video, se utilizan varias cámaras viendo al mismo objetivo, y un algoritmo para una reconstrucción fotogramétrica.
- | El análisis científico del desplazamiento tridimensional se realiza con sistemas optoeléctricos.
- | Actualmente la exactitud y la velocidad de los sistemas modernos de computadora-televisión son las herramientas estándar de medición en la mayoría de los lugares donde se hace análisis de desplazamiento o Gait Laboratories.

Las aplicaciones de las investigaciones del movimiento del cuerpo humano son dirigidas, entre otras, a la comprensión y depuración de las técnicas deportivas, al diseño (conjuntamente con la ergonomía) de equipos, espacios e instrumentos de uso humano, y al estudio de la marcha normal y patológica con fines diagnósticos y de rehabilitación.

Como en todas las áreas del conocimiento, simultáneamente a la necesidad de medir con mayor precisión, confiabilidad y rapidez, los diferentes grupos de científicos han promovido el desarrollo tecnológico de equipos de medición y, también, de la automatización de la captura, registro y manejo de los datos. De allí la necesidad de implantar sistemas de programas de computadora que faciliten esta tarea. Estos sistemas de programas, o software, han surgido principalmente en las universidades y en los centros de investigación. En la actualidad, un grupo de investigación puede optar por comprar, si se tienen los recursos, uno de los tantos sistemas computarizados que hay en el mercado, o puede optar por desarrollar un software para aplicaciones propias.

En el Área de Biomecánica Deportiva de la Unidad de Investigación en Cómputo Aplicado de la DGSCA, utilizamos métodos videográficos, así como el sistema computarizado ANABIO, desarrollado en dicha dependencia, para calcular las variables cinemáticas de los movimientos; con el cual se ha trabajado en varios proyectos como son: la cinemática de la marcha en adolescentes, la simetría de palada en el canotaje de velocidad, la técnica individual en el fútbol soccer, el golpeo de la pelota en el ulama de cadera (Fig. 1), el desplazamiento angular de segmentos en la danza azteca (Fig. 2), la evaluación de la coordinación y el desplazamiento del centro de masa en el salto vertical (Fig. 3).



Fig. 1 Secuencia de imágenes del golpeo a la pelota en el ulama de cadera.

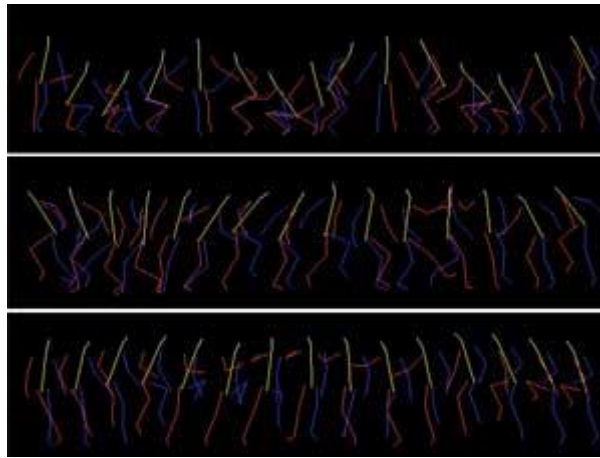


Fig. 2 Secuencias de movimiento en la danza azteca.

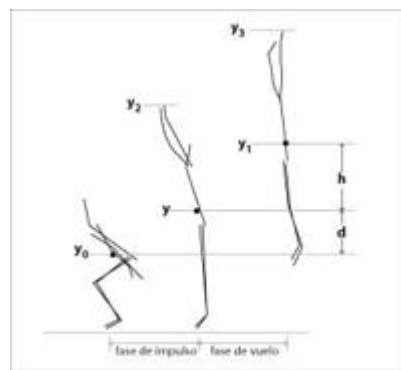


Fig. 3 Fases de movimiento en el salto vertical y desplazamiento del centro de masa.

La primera versión del sistema computarizado ANABIO© se desarrolló en 1993, teniendo por objetivo proporcionar al entrenador deportivo una herramienta útil en la depuración de la técnica de sus atletas. El uso de este sistema en la investigación, sin embargo, se ha dado también dentro del ámbito de la antropología física, para obtener algún tipo de patrón de movimiento que caracterice a un grupo o población; asimismo, es una herramienta en la ergonomía y en el conocimiento de las características de las diferentes posturas que adopta una persona en un determinado puesto de trabajo.

Los métodos implantados en el sistema, permiten evaluar los movimientos y desplazamientos del cuerpo humano utilizando los principios de la biomecánica deportiva. En este sistema, el cuerpo humano es representado en 14 segmentos corporales lineales: cabeza, tronco, brazos, antebrazos, manos, muslos, piernas y pies, considerados como cuerpos rígidos.

La primera versión formal de este sistema se ejecuta en plataforma PC, consta de un sistema de menús que ofrece la posibilidad de hacer un análisis cinemático bidimensional, desde la captura de datos para crear archivos de movimiento, la depuración e interpolación de la información, la representación gráfica del desplazamiento de determinados puntos anatómicos y del centro de masa de todo el cuerpo, así como conocer la variación de la amplitud de las uniones articulares o de los segmentos corporales en el desplazamiento angular, entre otras. En años recientes al sistema, se le han añadido módulos para el cálculo de los parámetros cinemáticos en 3D.

Para mayor información: Unidad de Cómputo Aplicado con Matilde Espinosa Sánchez:
matilde@servidor.unam.mx. <http://biomecanica.dgsca2.unam.mx/>