CAPÍTULO 9

Biomecánica: Conceptos Elementales para el Movimiento Corporal Humano

Biomechanics: Basic Concepts for Human Body Movement

Álvaro Santiago Solarte Rosero
Universidad Santiago de Cali
https://orcid.org/0000-0001-9822-0455
ssantyago06@hotmail.com

Lina Alejandra Sandoval
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0009-0006-6832-4898
lina.sandovalji@gmail.com

Paula Milena Hernández
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-8410-4987
paulamilenahm@gmail.com

Resumen

En el capítulo "Biomecánica: Conceptos Elementales Para El Movimiento Corporal Humano" se introducen los conceptos fundamentales de la biomecánica y su aplicación al movimiento humano, estudiando cómo los principios de la física, la mecánica, la cinemática y la cinética, se articulan para analizar y comprender los diferentes movimientos que es capaz de realizar el cuerpo humano. El objetivo es proporcionar al lector una base sólida en cuanto a los conceptos biomecánicos fundamentales y como estos se relacionan en el análisis del movimiento corporal humano. La metodología empleada para el desarrollo del capítulo incluyó una revisión y selección de estudios y

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Solarte Rosero AS, Sandoval LA, Hernández PM. Biomecánica: Conceptos Elementales para el Movimiento Corporal Humano. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 355-386. https://doi.org/10.35985/9786287914155.9

libros que hacen un enfoque en el movimiento corporal humano y su análisis biomecánico. En conclusión, al finalizar el capítulo los lectores tendrán la capacidad de comprender estos conceptos básicos para ponerlos en práctica al hacer un proceso evaluativo de alguna patología o lesión, diseñar programas de ejercicio personalizados y tomar decisiones para optimizar la función y prevenir la aparición de lesiones desde la comprensión del movimiento corporal humano y lo que lo produce.

Palabras clave: Biomecánica, Movimiento, Aceleración.

Abstract

In the chapter "Biomechanics: Basic Concepts for Human Body Movement" the fundamental concepts of biomechanics and their application to human movement are introduced, studying how the principles of physics, mechanics, kinematics and kinetics are articulated to analyze and understand the different movements that the human body is capable of performing. The objective is to provide the reader with a solid foundation regarding the fundamental biomechanical concepts and how these are related in the analysis of human body movement. The methodology used for the development of the chapter included a review and selection of studies and books that focus on human body movement and its biomechanical analysis. In conclusion, at the end of the chapter readers will have the ability to understand these basic concepts to put them into practice when carrying out an evaluation process of a pathology or injury, designing personalized exercise programs and making decisions to optimize function and prevent the appearance of injuries from the understanding of human body movement and what causes it.

Keywords: *Biomechanic, Movement, Acceleration.*

Introducción

"Movimiento, sensación, emoción y sentimiento
son aspectos de una misma constelación.
Cuando uno de ellos se mueve,
se mueven también los demás."

—Moshe Feldenkrais

En un constante movimiento, el cuerpo humano produce una sinfonía de movimientos rítmicos; pero para eso requiere la acción coordinada de estructuras corporales como lo son los huesos y los músculos, que, a su vez unidos por ligamentos, tendones, cápsulas articulares y tejido fascial generan

un sistema de palancas las cuales permitirán vencer diferentes fuerzas externas y así producir un movimiento, que puede ir desde el mover una falange del dedo hasta la complejidad de un gesto de gimnasia artística.

Para comprender a profundidad el movimiento corporal humano es necesario entrar en varios aspectos como lo es la biomecánica que es aquella rama de la mecánica que se encarga de analizar las fuerzas tanto internas como externas que intervienen en el movimiento corporal humano (1). En este capítulo, explicaremos los conceptos básicos de la biomecánica que son indispensables para el fisioterapeuta, ya que al analizar las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, se brinda una base sólida para evaluar, diagnosticar y tratar una amplia gama de condiciones músculo esqueléticas.

Comenzaremos mirando la relación de la biomecánica con el movimiento corporal humano, profundizando en los conceptos biomecánicos que constituyen la base de la práctica de la fisioterapia. Se explora cómo las leyes de la física interactúan con la anatomía humana, determinando la forma en que los huesos, articulaciones y músculos se adaptan a las demandas funcionales y cómo las fuerzas y momentos intervienen para generar patrones de movimiento.

Una vez finalizado este capítulo, el profesional de fisioterapia habrá adquirido un conjunto de herramientas conceptuales para analizar el movimiento humano desde la perspectiva biomecánica.

Biomecánica y la Relación con el Movimiento Corporal Humano

Para conocer la biomecánica se debe partir desde el movimiento corporal humano como objeto de estudio, donde el movimiento se define desde la física como el cambio de posición de un cuerpo en un espacio y tiempo determinado. La Confederación Mundial de la Fisioterapia (WCPT) articula la profesión de la Fisioterapia con desarrollar, mantener y restaurar el movimiento corporal humano. (2)

El movimiento corporal humano como objeto de estudio ha sido explicado desde diferentes teorías.

- Teoría del movimiento continuo: incorpora aspectos físicos y patológicos del movimiento, con consideraciones sociales y psicológicas. Establece las siguientes premisas: 1) el movimiento es esencial para la vida humana, 2) el movimiento ocurre de niveles microscópicos a macroscópicos, 3) el movimiento está influenciado por factores físicos, psicológicos, sociales

y ambientales, 4) los niveles del movimiento son interdependientes, 5) cada nivel del continuo de movimiento tiene un máximo potencial de movimiento alcanzable, que es influenciado por los otros niveles, 6) cada individuo tiene una capacidad de movimiento actual y una capacidad de movimiento preferido, 7) los factores patológicos tienen el potencial de crear grandes diferencias entre la capacidad máxima, actual y preferida de movimiento del individuo, 8) el objeto de la fisioterapia es minimizar las diferencias potenciales entre las 3 capacidades de movimiento.(3)

- La teoría del movimiento como sistema complejo: planteado por la Universidad Autónoma de Manizales en 1997 permite la interacción de múltiples subsistemas con diferentes niveles de complejidad los cuales son: control motor, aprendizaje motor y comportamiento motor dentro del contexto. (4)

- El modelo cinesiológico descrito por Shirley Sahrmann en el 2006, considera el movimiento como sistema compuesto por varios elementos como: el elemento base, como estado funcional de los sistemas tegumentario, musculoesquelético y nervioso; el elemento modulador, como estado fisiológico del control motor; el elemento biomecánico conformado por estructuras estáticas y dinámicas del movimiento, implicados en el alineamiento corporal, la artrocinemática y osteocinemática; el elemento de sostén, como el sistema cardiovascular, pulmonar y metabólico que contribuyen al funcionamiento del movimiento a través de la provisión de nutrientes; y el elemento cognitivo como estado funcional del sistema psicológico. (5)(6)

- El modelo de sistema de movimiento: descrito por la Asociación Americana de Terapia Física (APTA), identifica el movimiento como producto de la interacción de varios sistemas orgánicos fisiológicos como el sistema cardiovascular, pulmonar, endocrino, tegumentario, nervioso y musculoesquelético. (7)

- El modelo de función-disfunción: desarrollado por el departamento de Kinesiología en la Universidad Católica del Maule de Chile, propone una interpretación integral del movimiento humano a través de tres dicotomías conceptuales: función-disfunción, movimiento-inmovilidad y salud-enfermedad. Esta perspectiva permite un análisis sistemático de los patrones de movimiento y su relación con el estado de salud del individuo. (8)

Por lo tanto, desde las diferentes teorías, se busca explicar el movimiento corporal humano, desde lo micro con aspectos relacionados hacia la biomecánica y la fisiología para entender cómo funciona el cuerpo, hasta lo

macro que es considerar el contexto social, cultural y ambiental en el que se realiza el movimiento y donde se encuentra el cuerpo. Esta interacción nos permite explicar la producción del movimiento, su significado y el impacto que genera en la vida, con una visión de cómo se relaciona el cuerpo con el entorno que le rodea.

La biomecánica se posiciona como un elemento esencial en la comprensión del movimiento corporal humano, ya que brinda la posibilidad de hacer un análisis exhaustivo del acto motor, desde la anatomía hasta los patrones de movimiento, incluyendo la evaluación de gestos y técnicas deportivas.

Leyes de Movimiento

Isaac Newton estableció los tres principios fundamentales que sustentan el análisis biomecánico, explicando de manera precisa cómo una fuerza induce al movimiento:

- **Primera ley o ley de la inercia:** menciona que todo cuerpo, continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme hasta que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas aplicadas en él. A mayor masa, mayor será la inercia del cuerpo, lo cual genera dificultad para mover dicho cuerpo y cambiar su velocidad o posición, es decir para poder mover un cuerpo se debe vencer su inercia. (9) Supongamos que te encuentras dentro de un carro el cual está en movimiento, pero bruscamente frena e inmediatamente tu cuerpo se mueve hacia adelante debido a la inercia, ya que tu cuerpo tiende a moverse a la misma dirección y velocidad que tenía el carro antes de frenar. Cuando corres y quieres detenerte, sientes una fuerza que te empuja hacia adelante. Esto es porque tus piernas se detienen, pero tu cuerpo, por inercia, quiere seguir corriendo.
- **Segunda ley o ley de la aceleración:** menciona que el cambio en el movimiento es proporcional a la fuerza aplicada, y se realiza en la dirección de la línea recta en la que se aplicó la fuerza. (9) Un ejemplo de esta ley es cuando en el lanzamiento de jabalina, la fuerza que aplica el atleta en la jabalina determina la dirección. Si el atleta aplica más fuerza en el lanzamiento, la jabalina tendrá una mayor aceleración y por ende llegará a una distancia más larga. Por ende, esta ley genera la fórmula de $F = m. a$, donde F corresponde a la fuerza, m corresponde a la masa y, a corresponde a la aceleración.

- **Tercera ley o ley de acción - reacción:** menciona que para toda acción siempre hay una reacción opuesta a la magnitud. (9) Un ejemplo de esta ley se relaciona cuando un basquetbolista realiza la acción de saltar para encestar, por ende, utiliza sus piernas para empujar el suelo, generando una fuerza hacia abajo, el suelo reacciona con una fuerza igual y opuesta hacia arriba permitiendo que el atleta se eleve del suelo y salte. De forma similar, se puede observar en un atleta de natación cuando con sus brazos y piernas ejerce una fuerza de empuje en el agua (acción), y el agua ejerce una fuerza igual y opuesta hacia adelante (reacción).

Al comprender la biomecánica, se encuentra que esta se divide en dos ramas principales tal como sucede en la mecánica, estas ramas son la biocinética y la biocinemática (10).

- **Biocinemática:** se encarga del estudio del movimiento corporal humano sin tener en cuenta las causas que lo producen (11).
- **Biocinética:** por el contrario de la cinemática, se encarga del estudio del movimiento corporal humano teniendo en cuenta las causas que lo ocasionan (11).

Un ejemplo para diferenciar estos dos conceptos usaremos la actividad de subir escaleras. La biocinética analiza la fuerza que se aplica en los músculos de las piernas para levantar el cuerpo y vencer la fuerza de la gravedad, así como también la eficiencia del movimiento, es decir, cómo se utiliza la energía para subir las escaleras con el menor esfuerzo posible. Mientras que la biocinemática describe la trayectoria del cuerpo al subir las escaleras, la velocidad con la que se sube, la altura de los escalones y los ángulos articulares de las piernas y los brazos durante el movimiento. Se buscaría comprender cómo se mueven las diferentes partes del cuerpo y cómo interactúan entre sí para lograr subir las escaleras de manera coordinada y eficiente.

Ahora pasando el ejemplo a una disciplina deportiva, tenemos un ciclista pedaleando en una montaña. La biocinética se enfocará en analizar las fuerzas que actúan sobre el ciclista, como la fuerza muscular que aplica en los pedales, la resistencia del viento y la gravedad. La biocinemática se concentrará en describir el movimiento del ciclista en sí. Se analizará la velocidad, la aceleración, la trayectoria y los ángulos articulares del cuerpo del ciclista durante el pedaleo. Igualmente buscando comprender como se mueven las partes del cuerpo para lograr un pedaleo fluido y eficiente.

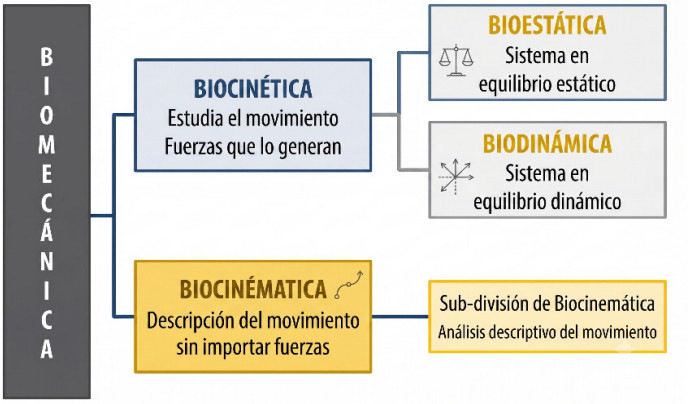
La biocinética a su vez presenta una subdivisión; la primera, analiza como las fuerzas se contrarrestan entre sí para mantener un cuerpo inmóvil. Esta rama de la mecánica es fundamental para comprender la estabilidad postural, la distribución de fuerzas en las articulaciones y la eficiencia del movimiento. A esto se le conoce como **Bioestática.** La segunda, estudia las fuerzas que provocan que un cuerpo se mueva, nos permite comprender cómo los músculos generan fuerza, como la transmiten a través del cuerpo y cómo producen el cambio de posición de un segmento. A esto se le conoce como **Biodinámica** (12).

Por lo tanto, la bioestática examina los sistemas que no se encuentran en movimiento y permanecen en equilibrio, es decir permanecen en un estado de balance debido a la falta de aceleración. Este fenómeno se considera de esta forma debido a que el cuerpo que se encuentra en movimiento adquiere una velocidad y cambios de posición que influyen posteriormente por otro tipo de fuerza opuesta, la cual modifica el transcurso o la velocidad del cuerpo.

El conocimiento de la bioestática permite identificar qué estructuras del cuerpo se encuentran en estrés durante una postura, cuestionando cómo lograr adaptaciones que conlleven a más o a menos estrés.

Para aclarar estos conceptos imagina un basquetbolista listo para cobrar una falta, el jugador está de pie con los pies separados a la altura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas, los músculos del tronco están comprometidos para mantener una buena postura, el balón está sostenido en ambas manos frente al pecho del jugador, el centro de gravedad del jugador está sobre la base de apoyo de los pies; esta es una postura donde actúa la bioestática, ya que el jugador no está en movimiento. Ahora, el jugador flexiona las piernas y salta, extiende los brazos y lanza el balón hacia la canasta, los músculos de las piernas, los glúteos, el tronco y los brazos trabajan juntos para generar movimiento. El centro de gravedad del jugador a medida que salta se desplaza hacia adelante y hacia arriba; esto es biodinámica, ya que se puede analizar cómo las fuerzas y segmentos corporales actúan para generar el movimiento.

Figura 35. *División de la biomecánica*



Fuente: Tomado de Riveros (12)

La biocinemática, a su vez, al tratarse de una rama que describe el movimiento corporal humano, toma en consideración el planteamiento realizado por Kalterborn (1998) donde describe la relación entre el movimiento óseo en el espacio (osteocinemática), el movimiento resultante entre las superficies articulares (artrocinemática) y el movimiento resultante de las actividades musculares (miocinemática)

Osteocinemática

Se enfoca en estudiar la trayectoria que describe cada hueso en el espacio sin importar los tejidos blandos que lo rodean y participan en su movimiento. La morfología articular es un factor determinante para evaluar la eficacia, la eficiencia y la potencia del movimiento humano (13). Para detallar a fondo la osteocinemática debemos conocer los movimientos que se producen, y a nivel articular su clasificación, los planos y ejes de movimiento

Movimiento

Siguiendo la línea de que la osteocinemática describe el movimiento de cada hueso, desde la biomecánica los movimientos que realizan los huesos están basados en el Giro y Balanceo (14)

- **Giro:** consiste en la rotación del hueso sobre sí mismo, es decir gira como una rueda sobre su propio eje.
- **Balanceo:** hace referencia a cualquier movimiento que consiste en un movimiento pendular del hueso.

Articulaciones

Clasificación Funcional y Estructural de las Articulaciones

Hace referencia al grado de movimiento que tiene y al tejido que conecta los huesos respectivamente (15).

- **Sinartrosis o fibrosas:** articulaciones inmóviles que juegan un papel fundamental en la estabilización del sistema esquelético, ya que mantiene unido los huesos firmemente mediante tejido conectivo fibroso. (16)
- **Anfiartrosis o cartilaginosas:** articulaciones semimóviles que mantienen unido a los huesos mediante cartílago hialino o fibrocartílago. (16)
- **Diartrosis o sinoviales:** articulaciones móviles, que generan un amplio rango de movimiento.

A su vez las articulaciones diartrosis o sinoviales presentan una subdivisión como se presenta a continuación:

- **Planas:** superficies de los huesos planas, es decir que se desliza una sobre la otra. por ejemplo, articulación intercarpiana
- **Gínglimo o en bisagra:** permite el movimiento en un solo plano como la flexión y extensión. Por ejemplo, articulación interfalángica
- **Trocoide o pivote:** permite un movimiento de rotación alrededor de un eje central. Por ejemplo, articulación radiocubital superior e inferior
- **Condilar:** permite un movimiento amplio en una dirección, pero también ofrece cierta flexibilidad en otra, siendo esto lo que la diferencia de bisagra y pivote. Por ejemplo, articulación femorotibial
- **En silla de montar:** permite un amplio rango de movimiento en dos ejes, pero con una limitación en la rotación. Por ejemplo, la articulación carpometacarpiana del pulgar
- **Esférica:** permite el movimiento en 3 planos, es la más móvil de las sinoviales, por ejemplo, articulación glenohumeral y femoroacetabular

Plano y Ejes de Movimiento

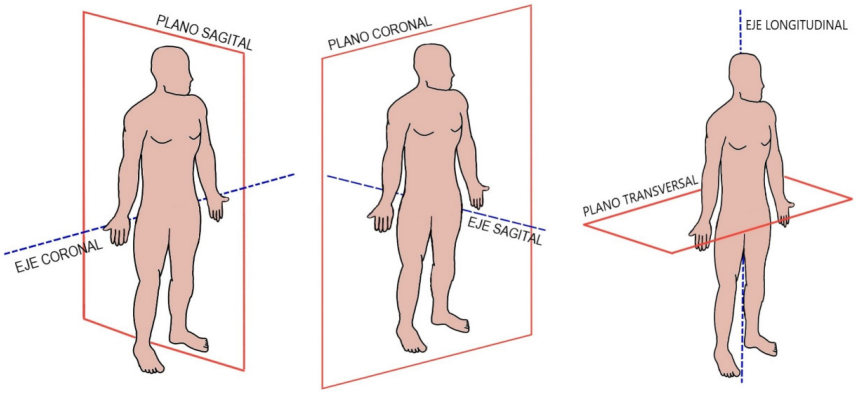
Plano de movimiento: es una superficie imaginaria que divide el cuerpo en dos partes iguales. Partiendo de esta premisa el movimiento corporal humano presenta 3 planos de movimiento.

- **Plano sagital:** divide al cuerpo en 2 mitades, derecha e izquierda.
- **Plano frontal o coronal:** divide al cuerpo en anterior o delantera y posterior o trasera.
- **Plano transversal:** divide al cuerpo en superior o inferior.

Ejes de movimiento: representa una línea imaginaria, que pasa a través de la articulación y, alrededor de la cual se realiza el movimiento. Al igual que los planos, también hay 3 ejes de movimiento.

- **Eje sagital o anteroposterior:** tiene una dirección de atrás hacia delante
- **Eje coronal o transversal:** tiene una dirección de lado a lado
- **Eje longitudinal o vertical:** tiene una dirección de arriba hacia abajo.

Imagen 69. *Planos y Ejes*



Para comprender los movimientos del cuerpo humano, es fundamental entender que estos ocurren en espacios tridimensionales definidos. Existen tres planos principales en los que se producen los movimientos, y cada uno de estos planos tiene un eje central alrededor del cual giran las articulaciones. En cada plano se realizan dos movimientos básicos.

Tabla 36. *Plano y eje para los movimientos principales*

Movimiento	Plano	Eje
Flexión – Extensión	Sagital	Transversal
Abducción – Aducción	Frontal	Sagital
Rotaciones	Transversal	Longitudinal

Artrocinemática

Por su parte la artrocinemática es la rama de la biomecánica que se encarga del estudio del movimiento interno de las articulaciones, los cuales son denominados micro movimientos y están determinados por la relación de las caras articulares, en otras palabras, se describen por la manera en que los puntos de una superficie articular, se mueven con relación a los puntos de una superficie articular opuesta (14). Los movimientos artrocinemáticos son:

- **Deslizamiento:** ocurre cuando una superficie móvil se mueve sobre otra que está quieta, un punto de la superficie móvil toca distintos puntos de la superficie fija.
- **Rodamiento:** ocurre cuando una superficie móvil se desplaza sobre otra, cambiando constantemente los puntos de contacto entre ambas, es decir hace que distintos puntos de la primera toquen diferentes partes de la segunda.
- **Rotación:** ocurre cuando una superficie móvil gira alrededor de un punto fijo de otra superficie, estableciendo un contacto continuo un punto de la superficie móvil y un punto de la superficie móvil.

Imagen 70. *Deslizamiento, Rodamiento y Giro*

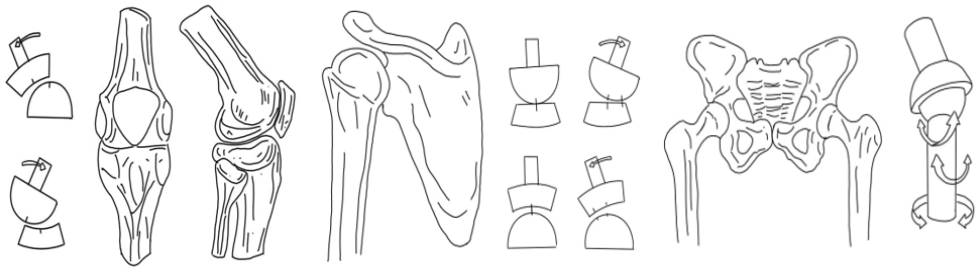
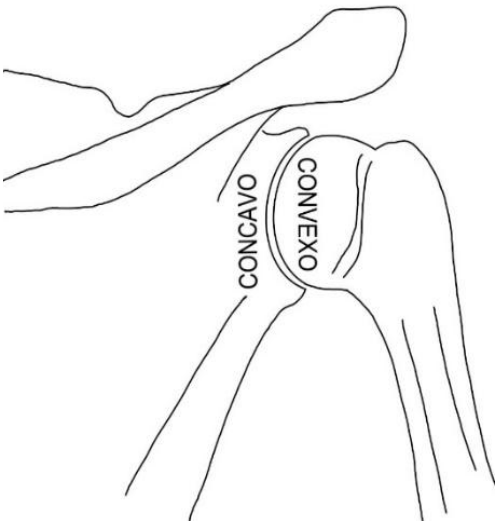


Tabla 37. *Movimientos Artrocinemáticos*

Movimiento	Superficie Movil	Superficie Estática
Deslizamiento	1 punto de contacto	Muchos puntos de contacto
Rodamiento	Muchos puntos de contacto	Muchos puntos de contacto
Rotación	1 punto de contacto	1 punto de contacto

Otra parte fundamental de la artrocinemática es comprender el sentido del movimiento, lo cual se explica mediante el principio de Kalterborn o más conocida como la **Ley Cóncavo – Convexo** que es aquella que explica la dirección del rodamiento y el deslizamiento de acuerdo a como se muevan las superficies articulares. Se le conoce como **Cóncavo** a aquella superficie que se curva hacia adentro, como por ejemplo la cavidad glenoidea y **Convexo** a aquella superficie que se curva hacia afuera, como lo es la cabeza del humero.

Imagen 71. *Superficie cóncava y convexa*



De esta forma cuando una superficie convexa se mueve sobre una cóncava, el movimiento ocurre en sentido contrario al movimiento del hueso, pero si la superficie cóncava se mueve sobre una convexa, el movimiento ocurre en el mismo sentido que el movimiento del hueso. Cuando se quiere hacer una flexión de hombro la cabeza del húmero (convexa) se mueve hacia arriba y hacia adelante sobre la cavidad glenoidea (cóncava). Como la cabeza del húmero es convexa, el deslizamiento ocurrirá en sentido contrario al movimiento del hueso. Es decir, mientras la cabeza del húmero se mueve hacia arriba y adelante, el deslizamiento ocurrirá hacia abajo y hacia atrás. Caso contrario a la flexión de codo, durante la flexión del codo, la incisura troclear de la ulna (cóncava) se mueve sobre la tróclea del húmero (convexa), la ulna se mueve hacia arriba y la incisura troclear se desliza hacia arriba sobre la tróclea. Como la incisura troclear es cóncava, el deslizamiento ocurre en el mismo sentido que el movimiento del hueso.

Miocinemática

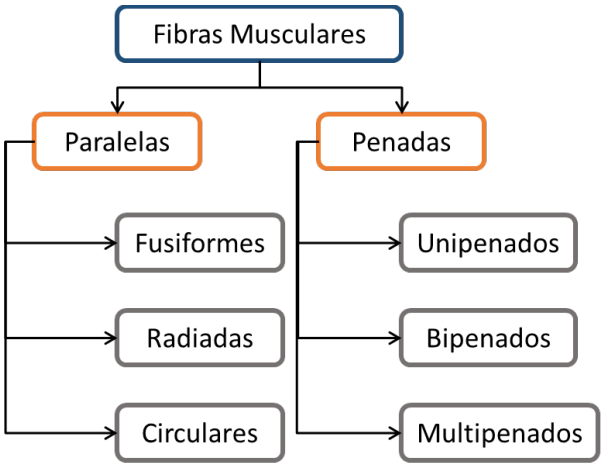
Partiendo de la base de la palabra miocinemática, el prefijo "MIO" hace referencia al músculo, por lo tanto, la miocinemática es el estudio de los movimientos que hace el musculo sin tener en cuenta huesos ni articulaciones.

Para comprender la miocinemática se debe considerar como punto de partida la arquitectura muscular, las funciones del musculo y las contracciones musculares.

Arquitectura Muscular

La denominación de los grupos musculares está relacionada directamente con la dirección de sus fibras; las dos principales divisiones con respecto a la disposición de las fibras son, paralelas y penadas. (17).

Figura 36. *Fibras musculares*

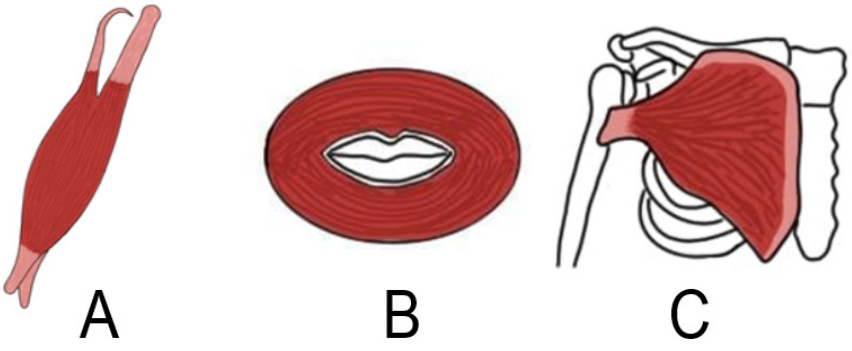


- **Disposiciones paralelas:** son aquellas que sus fascículos son paralelos al eje longitudinal del músculo, es decir que sus fibras que no se cruzan entre sí. A su vez, las fibras paralelas presentan diferentes disposiciones como lo son.
    - **Fusiformes:** tipo de fibra muscular que se caracteriza por su forma alargada y estrecha en los extremos, asemejándose a un huso. Esta disposición de las fibras permite centrar la producción de fuerza en referencias óseas específicas.

- **Circulares:** tipo de fibra muscular que se caracteriza por su organización en círculos concéntricos alrededor de un orificio o conducto, su principal función es controlar la apertura y cierre de orificios.
- **Triangulares:** se caracteriza por las fibras musculares convergen desde un área amplia hacia un tendón central, dando lugar a diversidad de acciones para múltiples movimientos.

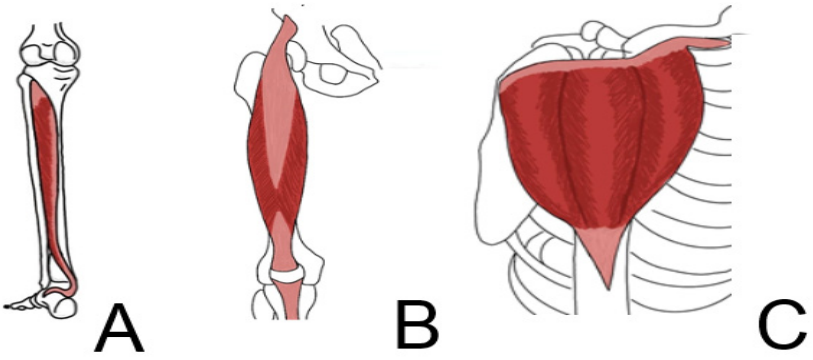
- **Disposiciones penadas** son un tipo de disposición muscular en el que las fibras musculares se insertan diagonalmente en un tendón central. De igual manera, las fibras penadas presentan una subdivisión, las cuales son.
  - **Unipenado:** fibras que se caracterizan por dirigirse en diagonal hacia un lado del tendón.
  - **Bipenado:** son fibras que se caracterizan por dirigirse en diagonal desde ambos lados hacia el tendón.
  - **Multipenado:** Las fibras musculares se dividen en varios grupos, cada uno con una dirección ligeramente diferente, y se insertan en múltiples tendones que convergen en un tendón central.

Imagen 72. *Disposiciones paralelas*



Nota. A: *Bíceps braquial, fibras fusiformes* – B: *Orbicular de la boca, fibras circulares* – C: *Pectoral mayor, fibras triangulares.*

Imagen 73. *Disposiciones penadas*

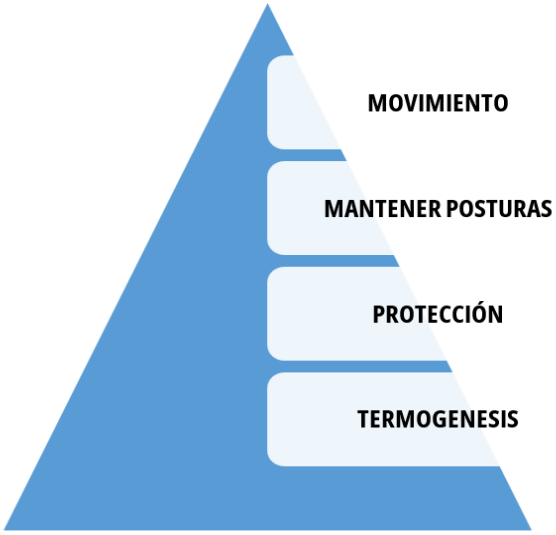


Nota. A: Tibial posterior, Unipenado – B: Recto femoral, Bipenado – C: Deltoides, multipenado.

Funciones del Músculo

Los músculos realizan una amplia variedad de funciones que van más allá del movimiento, siendo esta la principal función del musculo, seguido de mantener la postura, proteger nuestros órganos internos y proporcionar un equilibrio de temperatura corporal. (17)

Figura 37. *Funciones del musculo*



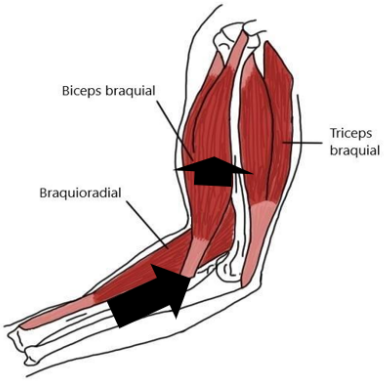
Funciones Musculares en el Movimiento

Durante el movimiento corporal humano, los músculos trabajan en conjunto para así permitirnos realizar un amplio catálogo de movimientos. Dependiendo de su función en un movimiento específico, los músculos toman diferentes nombres como lo son:

- **Agonistas:** músculos que, al contraerse, generan la tensión requerida para realizar un movimiento específico, es decir, son los músculos encargados principalmente de realizar la acción.
- **Antagonistas:** músculos que realizan el movimiento opuesto al agonista, permitiendo que la relación con el agonista se traduzca en generar un equilibrio y así controlar el movimiento.
- **Sinergistas:** músculos que actúan en menor medida que los agonistas para producir el movimiento, es decir ayudan al agonista a dar dirección y contribuir en tensión para generar el movimiento.
- **Estabilizadores:** músculos que tienen como función estabilizar el cuerpo, manteniendo la postura, protegiendo las articulaciones de manera isométrica y así permitir que los otros músculos generen el movimiento. (18)

Por ejemplo, en la flexión de codo.

Imagen 74. *Funciones musculares en el movimiento*



Agonista: bíceps braquial.

Antagonista: tríceps braquial.

Sinergistas: braquial y braquiorradial

Estabilizadores: deltoides, supraespinoso

Contracción Muscular

Partiendo de que la contracción muscular es el proceso fisiológico por medio del cual los músculos generan fuerza, esta se basa en dos variables, longitud y tensión.

Longitud: hace referencia a la distancia entre el punto de origen e inserción del músculo. Es decir, es la medida de lo expandido o contraído que está un músculo en un momento dado.

- **Tensión:** hace referencia a la fuerza que ejerce el músculo al contraerse.

La denominación de los tipos de contracción está dada por la relación a las dos variables mencionadas. La contracción muscular puede clasificarse principalmente en 2 tipos:

- **Contracción isométrica:** se caracteriza por aumentar la tensión muscular, sin embargo, el músculo mantiene una longitud constante. Por ejemplo, Al realizar una plancha, los músculos del Core, brazos y piernas se contraen isométricamente para mantener el cuerpo en una posición horizontal.
- **Contracción isotónica:** se caracteriza por que la tensión ejercida por el músculo permanece constante a medida que cambia su longitud. A su vez esta contracción isotónica se basa en la tensión suficiente que el músculo genera para superar una exigencia mientras acorta su longitud y se conoce como contracción Concéntrica. Cuando el músculo alarga su longitud generando tensión con el objetivo de controlar un movimiento por medio de la desaceleración, a esta se le conoce como activación excéntrica. (19)

Para aclarar estos conceptos, imaginemos cuando bajamos las escaleras, en el momento que una de las extremidades se encuentra en el escalón superior, realiza la contracción muscular concéntrica de isquiotibiales que actúa en la flexión de rodilla, mientras, simultáneamente el cuádriceps que se encuentra elongado, permanece en una activación excéntrica, generando una desaceleración del movimiento y amortiguando el traslado de peso de la extremidad contraria al escalón inferior, permitiendo bajar las escaleras sin perder el equilibrio y caernos.

En la biomecánica se requiere entender conceptos básicos en física y por supuesto en mecánica. Estos conceptos permiten conocer la interacción de las diferentes fuerzas con los tejidos y las estructuras del sistema musculoesquelético, además de entender y analizar el movimiento corporal humano.

Palancas de Movimiento

Para generar movimiento, los músculos, huesos y articulaciones trabajan juntos como un sistema de palancas; que, en términos sencillos, es una barra rígida que gira alrededor de un punto fijo. En ese orden de ideas, en nuestro cuerpo los huesos actúan como barras, las articulaciones como eje o apoyo y los

músculos agonistas generan la potencia para mover las palancas que vencerán una resistencia. La coordinación entre músculos y huesos es esencial para realizar movimientos precisos y potentes. (20)

La **fuerza** en términos sencillos es la capacidad para vencer una carga o resistencia, la cual está relacionada a los brazos de palanca, el **Brazo de Potencia (BP)**, representa la distancia que hay entre el apoyo y el punto de potencia; por otro lado, el **Brazo de Resistencia (BR),** representa la distancia que hay entre el apoyo y el punto donde se encuentra la carga o resistencia.

La relación entre el BP y el BR determina si tenemos una **Ventaja Mecánica (VM)** o una **Desventaja Mecánica (DM),** al hablar de VM se traduce en que se puede vencer cargas con menos esfuerzo, por el contrario de lo que pasa con DM**,** donde se aplica mayor esfuerzo para vencer la resistencia.

BP > BR = VM

BR > BP = DM

Las palancas que se presentan en el cuerpo humano son de tres géneros dependiendo de donde se ubique el punto de apoyo **(A)** y los puntos de aplicación de potencia **(P)** y resistencia **(R).**

A: Articulación.

R: Resistencia.

P: Inserción del músculo.

- **Primer género:** Las palancas de primer género, sitúan el punto de apoyo entre la potencia y la resistencia. Dentro de este género de palanca se tiene 3 circunstancias en donde cambia la ventaja mecánica.
- **Segundo género:** Las palancas de segundo género, sitúan el punto de resistencia entre el apoyo y la potencia. Dentro de este género de palanca se tiene 3 circunstancias en donde se obtiene ventaja mecánica en cada una.
- **Tercer género:** Las palancas de tercer género, sitúan el punto de potencia entre el apoyo y la resistencia. Dentro de este género de palanca se tiene 3 circunstancias en donde no se obtiene ventaja mecánica en ninguna.

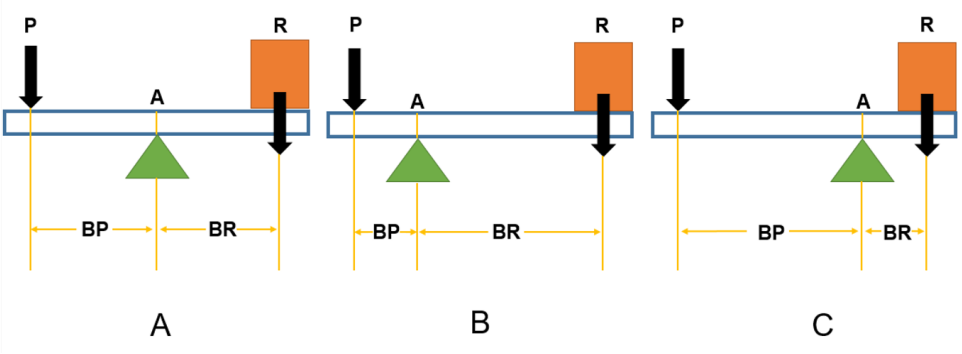
Una nemotecnia para facilitar el aprendizaje de los géneros de palanca se relaciona con el orden dado anteriormente:

A – donde A está en la mitad, es decir de primer género

R – donde R está en la mitad, es decir segundo género

P – donde P está en la mitad, es decir tercer género.

Figura 38. *Variantes de palanca de primer género*



Nota. 12A: A se ubica en el centro de P y R, por lo tanto, BP y BR tienen la misma longitud y no se obtiene ventaja mecánica. 12B: A se ubica entre P y R, pero A está más cerca de P que de R, por lo tanto, BP es menor que BR y no se obtiene ventaja mecánica. 12C: A se ubica entre P y R, pero A está más cerca de R que de P, por lo tanto, BP es mayor que BR y se obtiene ventaja mecánica.

Imagen 75. *Palanca de primer género*

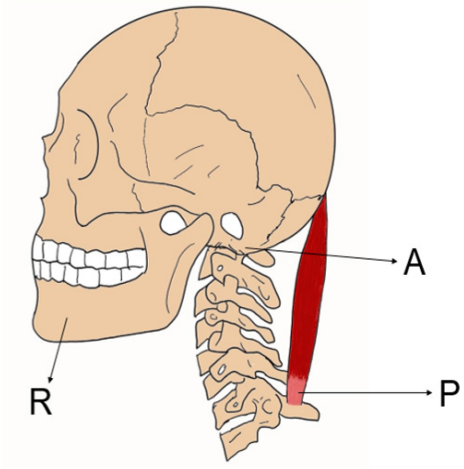
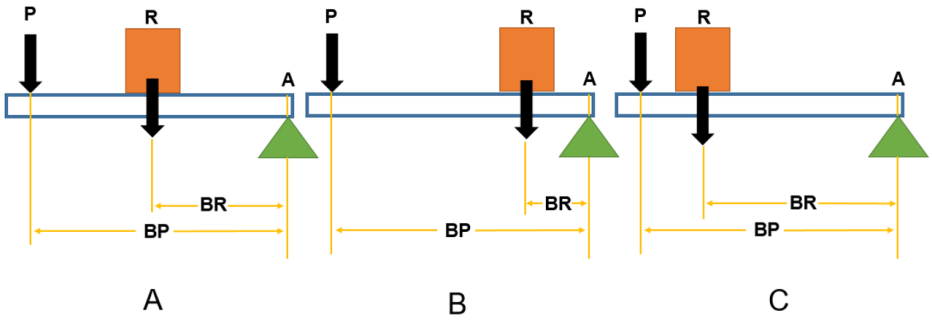


Figura 39. *Variantes de palanca de segundo género*



En todas las variantes BP es mayor que BR, por lo tanto, se obtiene ventaja mecánica:

Imagen 76. *Palanca de segundo género*

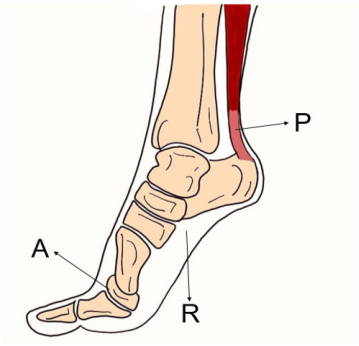
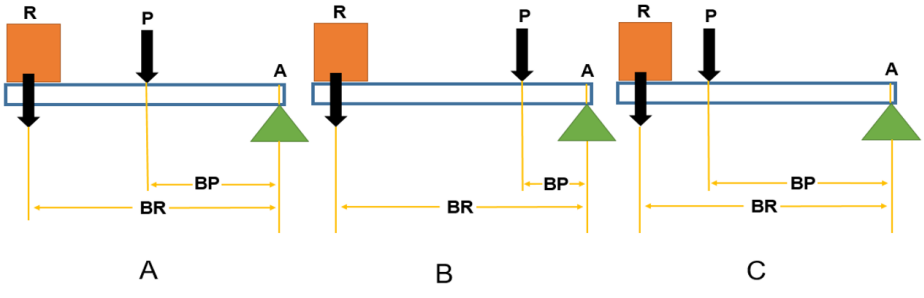
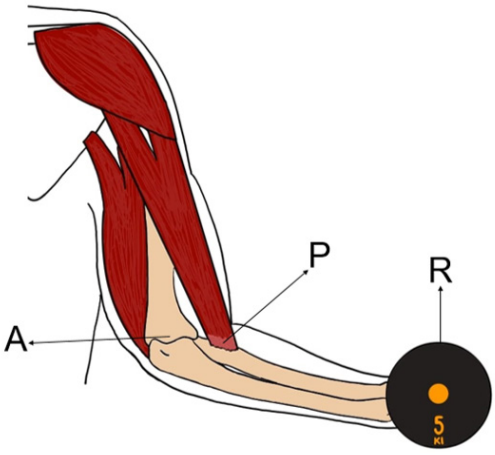


Figura 40. *Variantes de palanca de tercer género*



En todas las variantes BP es menor que BR, por lo tanto, no se obtiene ventaja mecánica:

Imagen 77. *Palanca de tercer género*

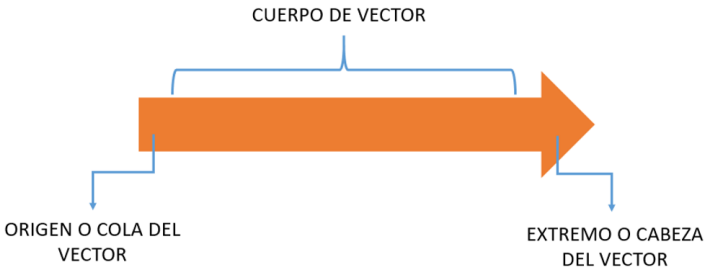


Magnitudes

En mecánica la mayoría de los conceptos son magnitudes escalares o vectoriales.

- **Magnitud escalar:** es aquella que permite ser descrita por su cantidad y magnitud, algunas de ellas como la distancia, la temperatura, el volumen o la masa (21). Por ejemplo, un maratonista que realiza 5 km se representa con una magnitud escalar de distancia
- **Magnitud vectorial:** es la representación de la magnitud. Son simbolizados en forma de flecha, donde la longitud de la línea indica dicha magnitud, y la punta de la flecha denota el sentido y la dirección en la que va el vector.
    - **Vector:** puede ser conceptualizado de dos maneras: como un segmento orientado en un sistema de coordenadas específico, o como la representación gráfica de una magnitud física vectorial. Independientemente de la definición utilizada, un vector se representa gráficamente como una flecha, caracterizada por un punto de origen, un punto final y un cuerpo determinado por la línea que une ambos puntos. (23).

Figura 41. *Partes del Vector*



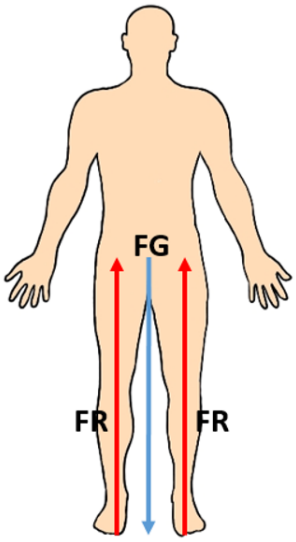
La fuerza, el momento, la velocidad y la aceleración son ejemplos de cantidades vectoriales. (21)

Una aclaración de los conceptos vectoriales es la descripción de una fuerza, indicando cuánta fuerza se aplica y en qué dirección. (22) Por ejemplo, en los laboratorios de biomecánica, la cinética da información relacionada con los vectores de fuerza a través de una plataforma. En el caso de un cuerpo que permanece en posición bípeda sobre la plataforma, la fuerza de la gravedad actúa sobre el cuerpo, generando su peso, el cual es representado en un vector con dirección hacia abajo. La plataforma, a su vez, ejerce una fuerza de reacción, representada en un vector con dirección hacia arriba, tal y como se observa en la. La combinación de estos vectores de fuerza permite analizar cómo se distribuyen las cargas en el cuerpo, donde se realiza mayor traslado de peso e inclusive determinar la fuerza de los músculos o grupos musculares durante la acción de un movimiento.

Figura 42. *Vector*



Figura 43. *Vector de gravedad y reacción*



Nota. FG: *Fuerza de gravedad.* FR: *Fuerza de reacción*

Fuerza

La fuerza se puede describir como una perturbación o carga mecánica que actúa sobre un objeto para cambiar su forma o estructura, así como cambiar la dirección de movimiento, aumentar su aceleración o detenerlo. (12) (23). Cuando se ejerce una acción de empujar, halar, patear o lanzar un objeto, se está aplicando una fuerza sobre él.

La fuerza, es la magnitud vectorial que se caracteriza por poseer cuatro características, la magnitud, la dirección, el punto de aplicación y la línea de acción. (21)

- **Magnitud,** representa la cantidad de fuerza que se está aplicando independientemente de la dirección en la que se aplique.
- **Dirección,** determina el tipo de efecto que tendrá sobre un objeto. Por ejemplo, una fuerza aplicada horizontalmente a un objeto lo moverá en dirección horizontal, mientras que una fuerza aplicada verticalmente lo levantará o lo hará caer.
- **Punto de aplicación** indica el lugar específico donde se aplica la fuerza a un objeto. El punto de aplicación puede ser uno o varios y se representa en

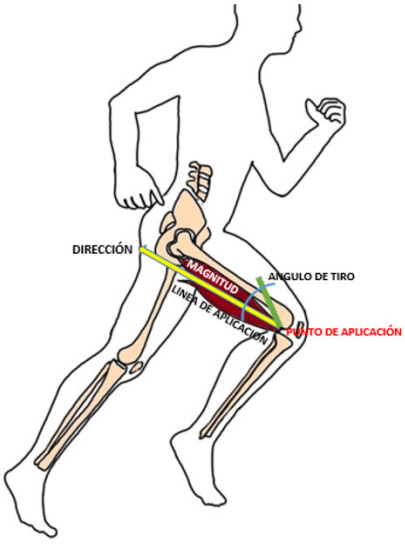
el cuerpo a través de la inserción muscular, es decir en los tendones, donde se da la unión del músculo con el hueso.

- **Línea de acción**, es una línea recta que indica la dirección en la cual está actuando la fuerza. La orientación de la línea de acción se representa como una posición angular, y se conoce como el ángulo de aplicación. Este tipo de ilustraciones nos ayuda a entender cómo es el comportamiento de la fuerza en los músculos, articulaciones y huesos, por lo tanto, se emplean diagramas de cuerpo libre.

La contracción de los músculos isquiotibiales permite generar la representación de un vector de fuerza con sus correspondientes características: magnitud, dirección, punto de aplicación y la línea de acción. El ángulo de tiro se forma entre la inserción del músculo y su unión con el hueso.

Según el efecto o la orientación de la fuerza, pueden clasificarse en varios tipos de fuerza, iniciando por dos grandes grupos fuerzas de no contacto y fuerzas de contacto estas destacan que cualquier objeto suelto desde una altura determinada caerá libremente hacia la superficie de la tierra impulsado por la gravedad, por tal motivo la dirección del vector de fuerza gravitacional tiende a ser hacia abajo. El peso, que también es una fuerza, cumple un papel importante en la gravedad, ya que, el origen del vector de peso se denomina centro de gravedad y es donde converge en un equilibrio con el centro de masa, un punto en torno al cual la masa de un cuerpo es uniforme.

Figura 44. *Vector Fuerza*



Las Fuerzas de Contacto

Es la interacción entre dos objetos y se consideran fundamentales en el movimiento humano. Estas fuerzas son:

- **Fuerza de reacción del suelo (frs):** Es la fuerza que se ejerce sobre una superficie en la cual hay una acción, por ejemplo, caminar en el césped, arena o baldosa, todas estas texturas ofrecen una fuerza de reacción, por lo tanto, esta fuerza cumple con la tercera ley de newton. Suelen ser iguales en magnitud, pero opuestas en dirección.

- **Fuerza de reacción articular:** Es la fuerza de la superficie ósea distal de un segmento actuando sobre la superficie ósea proximal del segmento contiguo, es decir de hueso sobre hueso, por ende, se basa en el análisis de un segmento, específicamente de las fuerzas que intervienen en una articulación. La suma de las fuerzas de hueso a hueso es la suma total de la fuerza de los músculos que se contraen de manera activa actuando sobre la articulación. Un ejemplo es la fuerza del cuádriceps y del tendón patelar lo que permite que la fuerza de reacción articular patelofemoral permanezca en cualquier momento de la flexión en rodilla. La comunicación articular femorotibial, permite que la fuerza de reacción articular genere cargas de compresión y cizalla, dadas por el mecanismo de movilidad articular y muscular adyacente.

- **Fuerza de fricción:** Se opone al movimiento entre dos superficies en contacto, su vector de dirección siempre actúa en sentido contrario al movimiento que se intenta producir. La fuerza necesaria para mover un objeto depende tanto de su peso como de la fricción entre las superficies en contacto. Por ejemplo, la fuerza aplicada sobre una caja de madera que se encuentra en la superficie de la tierra generará mayor fuerza de fricción y por ende menor deslizamiento, por lo tanto, la fuerza de aplicación deberá ser mayor o igual a la fuerza friccional. Esto a diferencia, de una caja que se encuentra sobre una baldosa, la cual generará menor fuerza de fricción y por ende mayor deslizamiento, por lo tanto, la fuerza de aplicación deberá ser menor a la fuerza friccional. Es importante porque puede determinar en el comportamiento del movimiento corporal humano mecanismos de prevención. En el área deportiva se vigila la fuerza friccional del terreno de juego con el calzado, por ejemplo, en el fútbol, los “taches” de los guayos ofrecen mayor reacción friccional evitando deslizamientos que provocan esguinces. También se vigila la fuerza friccional en deportes donde se utilicen elementos deportivos, con los agarres que se deben de realizar,

por ejemplo, un golfista utiliza un guante para incrementar el coeficiente de fricción y tener un mejor agarre sobre el palo.

- **Resistencia de los fluidos:** Es la transferencia de energía del objeto en movimiento al fluido. El aire (gas) y agua (líquido) son fluidos con los que el cuerpo humano interactúa en muchas actividades, por ejemplo, en la natación, el cuerpo interactúa con el agua, lo cual ofrece una resistencia para el deportista quien debe generar una máxima fuerza frente al fluido para avanzar. Esto es debido a que los fluidos poseen dos propiedades, la densidad y la viscosidad. La densidad es la masa por unidad de volumen, y la viscosidad es una medida de la resistencia del fluido al flujo. Entre más denso y viscoso sea el fluido, mayor será la energía que deberá tener el cuerpo para vencer la resistencia del fluido.

- **Fuerza de inercia:** Ligado al movimiento corporal humano, es la fuerza que ejerce un segmento articular proximal sobre otro segmento articular distal, causando su movimiento, pero sin una fuerte acción muscular. Una forma sencilla de entender este concepto es a través del análisis de la fase de balanceo al momento de correr, el tobillo realiza una plantiflexión en el despegue, posteriormente la extremidad inicia fase de balanceo y ejerce una inercia sobre el segmento del pie, haciendo que se mueva ligeramente hacia una dorsiflexión en el apoyo inicial.

- **Fuerza muscular:** Es la fuerza producida por el mecanismo de contracción muscular, de uno o varios músculos, permitiendo el movimiento o la estabilización dinámica de un segmento articular. Puede generar una fuerza de tiro o ténsil dada por dos pares oponentes de músculos en dicho segmento articular, por ejemplo, la contracción del bíceps braquial, en su inserción hala al radio, movilizando el antebrazo a un rango de movimiento de flexión de codo, por el contrario, la contracción del tríceps, en su inserción, hala a la ulna, movilizando el antebrazo a un rango de movimiento de extensión de codo. La fuerza varía en el tamaño de los músculos y si cruza más de una articulación, genera múltiples movimientos con potencia en más de un segmento, por ejemplo, el tríceps realiza extensión de codo, pero al ser un músculo biarticular, es sinergista de la extensión del húmero. La información se ampliará en el capítulo de músculo.

- **Fuerza elástica:** Cuando se aplica una fuerza sobre un material, éste sufre un cambio en su longitud. El cambio en la longitud está determinado por mecanismos de estrés-deformación, un comportamiento biomecánico

asociado a los tejidos viscoelásticos. Los tejidos blandos como músculos, ligamentos y tendones son tejidos viscoelásticos que poseen la capacidad de elongación sin exceder el límite elástico, como lo hace una banda de goma. Cuando se aplica una carga constante en el tejido, éste se deforma, elongandose hasta su límite elástico. En este caso particular, cuando se retira la carga, el tejido se acorta y aparece la fuerza elástica, como fuerza almacenada por la elongación, y junto a la fuerza muscular, contribuye a la fuerza total de la acción.

Este concepto se basa en la Ley de Hooke a través de la teoría de los resortes, la cual establece que "la fuerza aplicada a un resorte es directamente proporcional a la deformación que se produce en él y de sentido contrario". Por ejemplo, utilizar un preestiramiento antes de un movimiento incrementa la fuerza de salida induciendo el potencial de fuerza elástica en los tejidos circundantes.

Torque y Momento

Torque, mide la capacidad de una fuerza para causar rotación sobre un eje, básicamente dependiendo de la dirección y el punto de aplicación de la fuerza, el torque puede ser en sentido horario o antihorario. De acuerdo a la biomecánica, el torque es la magnitud de la rotación que se genera por la aplicación de una fuerza sobre un sistema de palancas biológicas, como los huesos y las articulaciones, lo que es crucial para comprender cómo los músculos producen movimiento a través de las articulaciones del cuerpo. (22)

Se calcula como el producto de la fuerza aplicada y la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de rotación (también conocida como el brazo de palanca).

$$T = F \times D \times \sin(\theta)$$

Donde:

- T = Torque
- F = Fuerza aplicada
- D = Brazo de palanca
- θ = Ángulo entre la fuerza y el brazo de palanca

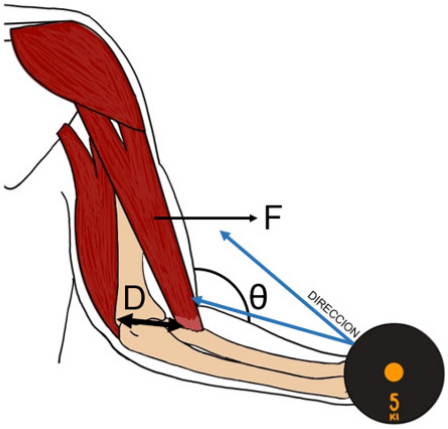
Un ejemplo sencillo para analizar el torque es hacer un curl de bíceps con mancuerna. Donde:

F= Fuerza dada por la contracción del musculo bíceps

- D= Distancia entre el codo (punto de rotación) y la inserción del bíceps en el antebrazo es el brazo de palanca.
- θ = Ángulo de flexión del codo (cambiará constantemente a medida que se va dando la flexión)

La dirección de la fuerza del bíceps actúa en dirección hacia arriba y hacia el codo, generando un movimiento de flexión. Si la fuerza del bíceps es muy grande o si el brazo de palanca es largo, el torque generado será mayor, facilitando el movimiento.

Imagen 78. *Torque*



Momento, es un término usado en física y biomecánica para describir la capacidad de una fuerza para producir rotación alrededor de un eje, sin embargo, el término "momento" a veces se usa de manera intercambiable con torque, en biomecánica a menudo se refiere al efecto de la fuerza aplicada sobre una articulación o parte del cuerpo para generar movimiento rotacional.

La diferencia clave es que el momento se puede analizar en términos de los efectos que la fuerza tendrá sobre una rotación general, no necesariamente en términos de la dirección del torque.

Se podría analizar, por ejemplo, al momento que se realiza una extensión de rodilla, el músculo cuádriceps genera un momento de fuerza que provoca la extensión de la pierna. El momento de fuerza depende de dos factores:

- La fuerza ejercida por el cuádriceps.
- La distancia entre el eje de la rodilla y el punto de inserción del cuádriceps.

El momento de fuerza en la rodilla cambiará si alteramos alguna de estas variables, se podría analizar si al inclinar el tronco hacia delante, con una extensión de rodilla, el momento será más grande porque el brazo de palanca (distancia entre la rodilla y el cuádriceps) se alarga.

Podemos ampliarlo a un ejercicio de puenteo: Si intentas realizar un puenteo, apoyado en la mano, el momento de fuerza generado por la gravedad y tu propio peso provoca que las muñecas y los hombros experimenten una carga que debe ser contrarrestada por los músculos de esas articulaciones.

Los músculos de los hombros y las muñecas deben generar un momento de fuerza suficiente para mantener el cuerpo elevado y equilibrado.

En ese orden de ideas la diferencia clave entre torque y momento es que biomecánicamente, el término "momento" se usa de manera más general para describir la rotación de fuerzas, mientras que "torque" se refiere específicamente al producto de la fuerza y el brazo de palanca alrededor de un eje. (22)

Diagrama de Cuerpo Libre

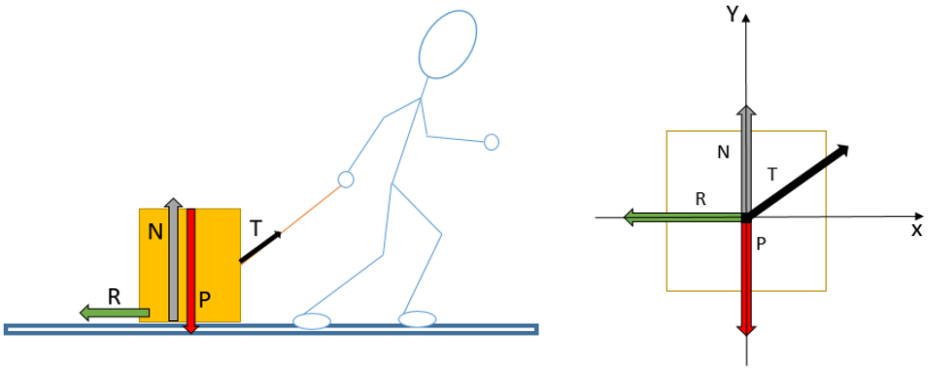
Los diagramas de cuerpo libre son herramientas esenciales en la biomecánica ya que estos diagramas permiten aislar una parte del cuerpo (como un brazo o una pierna) y visualizar todas las fuerzas que actúan sobre ella. Esto es fundamental para entender cómo se mueven nuestras articulaciones y cómo las fuerzas externas, como la gravedad o una carga, afectan nuestro cuerpo. (22)

Para la elaboración del diagrama de cuerpo libre

Por ejemplo, al arrastrar una caja se observa varias fuerzas que actúan sobre la caja donde

- T: es fuerza tensión con la que se arrastra la caja
- P: es peso de la caja que ejerce sobre el suelo
- N: es fuerza que hace el suelo sobre la caja
- R: es fuerza de roce entre cajón y suelo

Figura 45. *Diagrama cuerpo libre*



Conclusión

La biomecánica busca entender cómo funciona el movimiento corporal humano, desde su nivel macroscópico que se refiere a huesos y las articulaciones, hasta su nivel microscópico en las fibras musculares, analiza cómo estas partes se conectan y trabajan juntas para generar fuerza y movimiento. Junto a esto se suma la comprensión de conceptos claves como biocinética que estudia las fuerzas que producen el movimiento y biocinemática refiriéndose a la descripción del movimiento, de igual manera, las leyes de newton que son las que rigen el movimiento, los planos y ejes que son las herramientas para describir en qué sentido se dan los movimientos. Las palancas que son el principio que utiliza el cuerpo humano para generar fuerza y moverse. Fuerza, torque y momento que hacen referencia a la magnitud y dirección de las fuerzas que son aplicadas en el movimiento. Y finalmente los diagramas de cuerpo libre que son una herramienta visual que se utiliza para analizar las fuerzas que actúan sobre un objeto. Cada concepto abordado en este capítulo contribuye a una comprensión más profunda de cómo se produce el movimiento a través de una descripción cualitativa y cuantitativa y así poder realizar un análisis desde el movimiento más pequeño y sencillo hasta el análisis de un gesto deportivo de alta complejidad, así como también diseñar y evaluar programas de rehabilitación o entrenamiento específico y efectivo que se ajuste a las necesidades de cada paciente o deportista.

Referencias

1. Izquierdo M. Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. Ed. Médica Panamericana; 2008.
2. Policy statement: Description of physiotherapy | World Physiotherapy [Internet]. Disponible en: https://world.physio/policy/ps-descriptionPT
3. Resendiz H, Serrano M. Implicaciones en el movimiento humano de las adaptaciones del esquema e imagen corporal secundarias a una amputación. ARS MEDICA Revista de Ciencias Médicas.2020;45(3):63-71. Disponible en: http://dx.doi.org/10.11565/arsmed.v45i3.1636
4. Triana J. Cuerpo movimiento: perspectiva funcional y fenomenología. Universidad Autonoma de Manizales; 2002].
5. Sahrmann S. Diagnóstico y tratamiento de alteraciones del movimiento. 1. ed. Badalona, Barcelona: Editorial Paidotribo; 2006. 479 p.
6. Sahrmann SA. The Human Movement System: Our Professional Identity. Physical Therapy. 2014 ;94(7):1034-42. Disponible en: https://doi.org/10.2522/ptj.20130319
7. APTA. Physical Therapist Practice and the Movement System. 2015 Disponible en: https://www.apta.org/patient-care/interventions/movement-system-management/movement-system-white-paper
8. Pareja, Hernán. Síntesis de los principales elementos del Modelo Función–Disfunción del Movimiento Humano. REEM Revista de educación y movimiento. 2017. 4(1): 7-24. Disponible en: https://www.reem.cl/descargas/reem_v4n1.pdf
9. Guzmán Muñoz E. Análisis del movimiento humano: principios básicos biomecánicos y neurofisiológicos. RIL editores; 2023.
10. Taiar R. Introductory Chapter: Biomechanics, Concepts and Knowledge. Recent Advances in Biomechanics. Intech Open; 2020. Disponible en: https://www.intechopen.com/books/recent-advances-in-biomechanics/introductory-chapter-biomechanics-concepts-and-knowledge
11. Balthazard P, Currat D, Degache F. Fundamentos de biomecánica. EMC - Kinesiterapia - Medicina Física. 2015; 36(4):1-8. Disponible en: https://doi.org/10.1016/S1293-2965(15)74142-3
12. Riveros MA. Biomecánica: experiencias para la actividad física y el deporte. Primera edición. Armenia Kinesis; 2017

13. López G, Valencia S. Estudio cinemático de rodilla para la creación de un movilizador pasivo continuo. Revista de Fisioterapia y Tecnología Médica. 2019. 3-7: 12-16 Disponible en: https://www.ecorfan.org/taiwan/rj_fisioterapia_vii.php

14. Freitas N. Cinemática Articular. Joints kinematics. Revista de la Sociedad Venezolana de Ciencias Morfológicas. 2012; 18(1): 15-20 Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_svcm/article/view/3841

15. Hamill J. Biomechanical basis of human movement. 5th edition, International edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2022.

16. Sazo, A. La biomecánica de las articulaciones. 2023. Disponible en : https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.31354.67520

17. Cael C. Functional anatomy: musculoskeletal anatomy, kinesiology, and palpation for manual therapists. Second edition. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2023.

18. Ibáñez M. Biomecánica del músculo y el tendón. Análisis crítico de modelos teórico-numéricos. [masters]. E.T.S.I. Industriales (UPM); 2022]. Disponible en: https://oa.upm.es/70188/

19. Gash M, Physiology, Muscle Contraction. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Disponible en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537140/

20. Arango J. El sistema de palancas base para el analisis mecanico del movimiento corporal humano y sus alteraciones. Actividad física y desarrollo humano. 2017;8(1). Disponible en: https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/afdh/article/view/670

21. Pérez O. Fundamentos de biomecánica deportiva. La Habana: Editorial Universitaria, 2021.

22. Nordin M. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2012.

23. Estrada Y. Biomecánica: De la física mecánica al análisis de gestos deportivos. Universidad Santo Tomas; 2018. Disponible en: https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12464