
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA BIOMECAÁNICA Y ANATOMÍA FUNCIONAL.

INTRODUCCIÓN

Si por cualquier causa las leyes fundamentales de la ciencia del ejercicio son ignoradas, no importa mucho el equipo que estemos utilizando para entrenar. Porque obtendremos un resultado muy pobre como respuesta a nuestros esfuerzos en el gimnasio. Pero si comprendemos y aplicamos correctamente en la práctica, los principios referentes a la intensidad, volumen y frecuencia de los entrenamientos, dando así un gran paso en la dirección correcta, el punto siguiente de la discusión es la elección del equipo y los ejercicios adecuada.

La fuerza de los músculos no es igual en todas las posiciones, los músculos son extremadamente débiles en la posición de máxima extensión, y extremadamente fuertes en la posición de máxima contracción. Hay algunos entrenadores y/o científicos especializados en ejercicio que pretenden ignorar los principios fundamentales del entrenamiento. Otros, en cambio, pretenden ignorar o restarle importancia a la fuerza de la gravedad, o a la fisiología humana. Por el contrario, debemos hacer un esfuerzo por comprenderlas.

En la ciencia del ejercicio podemos ignorar todo, excepto lo concerniente a la intensidad, volumen y frecuencia de los entrenamientos. Y en lo concerniente a la física de los ejercicios, podemos ignorar todo, absolutamente todo, excepto el sentido vertical de la resistencia y el movimiento rotacional de las partes corporales humanas.

El cuerpo humano es una máquina altamente sofisticada compuesta de una variedad de máquinas. Tanto el cuerpo como los objetos (los implementos deportivos que emplea) deben seguir las leyes convencionales de la física. El estudio detallado de estas leyes y su aplicación a los seres vivientes (particularmente al humano) se conoce como biomecánica o cinesiología biomecánica. El campo de la mecánica puede subdividirse en la estática, la cual considera las estructuras y cuerpos rígidos en un estado inmóvil, y la dinámica, que estudia el cuerpo (o sus segmentos) y los implementos en un estado móvil. La dinámica se subdivide en cinemática y cinética. La cinemática se refiere a la descripción de los movimientos, tales como el desplazamiento, velocidad y

aceleración, independientemente de las fuerzas que actúan sobre el organismo humano o de los implementos que se emplean para los deportes. Por otro lado, la cinética estudia las causas que provocan el movimiento del cuerpo/objetos, incluyendo los conceptos de masa, fuerza y energía.

DEFINICIÓN DE BIOMECAÁNICA.

"La biomecánica es el conjunto de conocimientos interdisciplinarios generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los aportes de la mecánica y distintas tecnologías en, primero, el estudio del comportamiento de los sistemas biológicos, en particular del cuerpo humano, y segundo, en resolver los problemas que le provocan las distintas condiciones a las que puede verse sometido"

La biomecánica nos ayuda analizar efectivamente las destrezas motoras, de manera que se evalúe eficientemente e inteligentemente una técnica y que se corrija si existe alguna falla. El análisis mecánico implica el proceso de separar el sistema estudiado en sus partes y determinar las variables involucradas en el movimiento. Un sistema representa un cuerpo o grupo de cuerpos u objetos cuyos movimientos han de ser examinados. Por ejemplo, el sistema puede ser el cuerpo entero así como algún segmentos de éste (ejemplo una pierna, una mano), un implemento deportivo (ejemplo un bate de béisbol, las zapatillas de correr de un fondista, una bola, entre otros). Inclusive, es posible que un sistema incluya dos o más ejecutantes. El estudio biomecánico puede concentrarse en analizar las variables que causan y modifican el movimiento (el análisis cinético) o simplemente dedicarse a la observación y descripción de las características biomecánicas en la destreza (el análisis cinemático).

ESTÁTICA, DINÁMICA, CINÉTICA Y CINEMÁTICA.

1. LA **ESTÁTICA**, la cual considera las estructuras y cuerpos rígidos en un estado inmóvil.
2. LA **DINÁMICA**, que estudia el cuerpo (o sus segmentos) y los implementos en un estado móvil. La dinámica se subdivide en cinemática y cinética.
 - a. **CINEMÁTICA**: El esqueleto del organismo humano es un sistema compuesto de palancas. Puesto que una palanca puede tener cualquier forma, cada hueso largo en el cuerpo puede ser visualizado como una barra rígida que transmite y modifica la fuerza y el movimiento. La descripción del movimiento humano (incluyendo su sistema de palancas y articulaciones) o de los implementos deportivos en relación al tiempo y espacio, excluyendo las fuerzas que inducen al movimiento, se conoce como cinemática. Por

- ejemplo, al estudiar el movimiento de un corredor pedestre, el estudio cinemática solo estará interesado en observar los cambios de su centro de gravedad a través de una distancia y tiempo dado. Un análisis cinemática incluye el tipo de movimiento, la dirección del movimiento y la cantidad de movimiento que ocurre.
- b. **CINÉTICA:** Como fue previamente mencionado, la cinética estudia las fuerzas que inducen la variedad de movimientos que puede ejecutar el cuerpo humano o sus implementos deportivos. La cinética estudia el movimiento humano y las fuerzas que lo provocan.
3. **ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO** La biomecánica analiza en forma cualitativa y cuantitativa el movimiento humano. Se emplean las leyes de la física y mecánica para dichos propósitos.
- a. **EL ANÁLISIS CUANTITATIVO** del movimiento involucra la descripción de un movimiento o de sus partes en términos numéricos. Se emplean equipos/instrumentos especializado para poder medir y cuantificar (contar) las variables cinemáticas del movimiento. Cuantificar implica determinar de forma precisa la cantidad o porcentaje de las variables estudiadas en el sistema. Este tipo de análisis ayuda a evitar la influencia subjetiva, lo cual lo hace un medio más preciso y confiable
 - b. **EL ANÁLISIS CUALITATIVO** describe la calidad del movimiento sin el empleo de mediciones ni cálculos aritméticos. Este tipo de análisis identifica los componentes involucrados en el movimiento (le da nombre) y luego evalúa estos constituyentes mediante la comparación y la formulación de juicios.

Una **calidad** consiste en determinar el grado de excelencia o de éxito que posea el sistema estudiando. Esta forma de evaluación se fundamenta sobre principios o leyes biomecánicas que gobiernan la ejecutoria del movimiento o destreza estudiada. Muchos de estos tipos de análisis se confirman o se apoyan sobre los estudios cuantitativos de la destreza motora. Este método de análisis resulta el más viable para los entrenadores deportivos, dirigentes, maestros de educación física, líderes recreativos y maestros de baile, entre otros. Del análisis cualitativo se pueden derivar hipótesis o preguntas de naturaleza subjetiva que pueden ser estudiadas por medio de evaluaciones cuantitativas.

En ambos métodos, el fin es el mismo, determinar la afectividad de la destreza dentro de un contexto particular (ejemplo el análisis de lanzar y su grado de efectividad en un juego de béisbol). En la actualidad, existen una diversidad de formas para el análisis y evaluación de las destrezas motoras. Por ejemplo, se puede grabar la destreza en video y luego digitalizarla en la computadora. Existen programas ("softwares") relativamente poco costosos que permiten realizar el

análisis biomecánico del movimiento. Además, existen simulaciones en la computadora sobre la forma correcta que se debe realizar la destreza.

LEYES DE NEWTON.

Primera Ley de Newton (Ley e Inercia): Esta ley postula que un cuerpo u objeto permanece en estado de reposo o de movimiento uniforme salvo que actúe sobre él algún otro cuerpo. Cuando el total de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo u objeto equivale a cero, entonces se dice que éste se halla en un estado de equilibrio. Dicho estado puede variar en aquellas circunstancias donde interviene la acción de una fuerza desequilibrada. Por ejemplo, un proyectil (ejemplo una bola) viajará indefinidamente a través del espacio en línea recta, siempre y cuando las fuerzas de gravedad, fricción y resistencia del aire no alteren/desvíen su curso o provoquen que se detenga.

Segunda Ley de Newton (Ley de Aceleración): La aceleración resulta cuando se aplican fuerzas externas desbalanceadas sobre un objeto. Esta ley describe la relación existente entre la fuerza aplicada, masa y aceleración. La ley de Newton postula que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a las fuerzas desbalanceadas que actúan sobre éste e inversamente proporcional a la masa de dicho objeto. Esto implica que entre mayor sea la aplicación de la fuerza sobre un objeto que posee una masa constante, mayor será la aceleración de dicho objeto. Lo contrario ocurre (menor aceleración) si la fuerza aplicada al objeto es menor. Una fuerza aplicada a un objeto con mayor cantidad de masa habrá de resultar en una menor aceleración en comparación con la fuerza aplicada a unos objetos de menor masa. Esto se puede expresar matemáticamente como sigue:

$F = ma$	ó $a = F/m$
donde:	
$F =$ Fuerza	
$m =$ masa	
$a =$ aceleración	

La aceleración puede expresarse como el cambio de velocidad por unidad de tiempo. Sustituyendo por la ecuación anterior, tenemos:

$F =$	$\frac{mv - mv_0}{t}$
-------	-----------------------

Se define entonces una fuerza como la modificación sufrida por el momentum de un objeto móvil en una unidad de tiempo dada. Si se multiplica la fuerza (F) por el tiempo (t) durante la cual se aplica, entonces el resultado sería la ecuación fuerza-impulso, $Ft = mv - mv_0$. Esta representa una cantidad vectorial que sirve para medir la fuerza actuante sobre un objeto durante la unidad de tiempo.

Comúnmente, dicha relación se emplea para resolver problemas donde se aplica una fuerza sobre un cuerpo u objeto durante la unidad de tiempo. Por ejemplo, el impulso de pelotas con diversos accesorios deportivos, tales como el golpe de la bola con un bate de beisbol, con un palo de "golf", una raqueta de tenis, entre otras).

De la ley de aceleración se observa que la inercia (la resistencia de un cuerpo a un cambio) de un cuerpo es proporcional a la masa del cuerpo. Esto quiere decir que entre mayor sea la masa de un cuerpo, más grande será la magnitud de la fuerza neta requerida para mover el objeto o de cambiar su patrón de movimiento.

Tercera ley de Newton (Ley de Acción-Reacción): Las fuerzas siempre trabajan en parejas. Esta ley de Newton refleja este principio. La tercera ley establece que siempre que un cuerpo u objeto actúa sobre otro, el segundo ejerce una acción igual y opuesta al primero. Estas dos fuerzas constituyen fuerzas de reacción o fuerzas de interacción en pares. Por lo tanto, estas son un par de fuerzas que existen en dos objetos por virtud del contacto de los objetos y la reacción entre éstos. Un ejemplo de esta ley es la salida de los bloques en atletismo. La fuerza que aplicada el velocista contra los bloques produce una reacción igual y opuesta, la cual impulsa hacia adelante a este atleta.

En cualquier interacción de pares de fuerza, los puntos de aplicación se encuentran localizados sobre diferentes objetos. La gravedad o la fuerza que ejerce la tierra sobre un objeto también es un par de fuerzas de interacción. Por ejemplo, mientras la tierra ejerce una atracción para todos aquellos objetos que poseen masa, similarmente estos objetos ejercen una atracción hacia la tierra con una igual y opuesta magnitud.

En resumen, tenemos que: 1) las fuerzas trabajan en parejas; 2) dado dos objetos sólidos en contacto, éstos ejercen una fuerza uno al otro; 3) las fuerzas sobre un objeto son ejercidas por otros objetos que están en contacto (lo tocan); y 4) la gravedad ejerce una fuerza sobre todos los objetos.

Conservación del Momentum: Esta postula que en ausencia de cualquier fuerza externa, permanecerá constante la suma de los momentos de dos cuerpos. Su expresión matemática es la siguiente:

$$mv_a + mv_b = mv_a + mv_b$$

donde:

- v_a = velocidad del primer cuerpo u objeto en el tiempo 1,
- v_b = velocidad del segundo cuerpo u objeto en el tiempo 1,
- $v_{a,}$ = velocidad del primer cuerpo u objeto en el tiempo 2,
- $v_{b,}$ = velocidad del segundo cuerpo u objeto en el tiempo 2

Cuando un cuerpo u objeto en movimiento choca con otro, se dice que está conservando el momentum involucrado, i. e., que el total de la masa por velocidad (mv) después de la colisión de estos cuerpos es exactamente igual al total de los dos momentums antes del impacto.

Equilibrio: Comúnmente durante el análisis cinético de un movimiento, se dará énfasis en determinar el efecto que producen aquellas fuerzas que poseen sobre un cuerpo u objeto. Todos los tipos de momentos (rectilíneo, curvilíneo, angular o complejo) dependerán de las fuerzas que actúan sobre el objeto o cuerpo que se mueve. En ocasiones, las fuerzas que actúan sobre los cuerpos provocan la inmovilidad de éstos. La **estática** representa aquellas condiciones bajo las cuales los objetos se mantienen en **equilibrio** (o en reposo), como resultado de las fuerzas que actúan sobre éstos.

Inercia: De acuerdo con la primera ley de Newton, un cuerpo en reposo tiende a permanecer en reposo, y un cuerpo siguiendo un movimiento lineal mantiene su misma dirección y velocidad, salvo que fuerzas externas modifique su estado. Esto se conoce como **inercia**. Esto implica que una vez en deportista ha iniciado sus movimientos, será muy difícil cambiar su dirección.

La ley de inercia puede ser modificada como sigue: para que un objeto se mantenga en equilibrio, la suma de las fuerzas aplicadas a ese objeto debe ser igual a cero. En otras palabras, solo se podrá alcanzar equilibrio cuando no existe alguna fuerza que actúe sobre el cuerpo. **Inercia** representa aquella propiedad de un objeto que lo hace resistente a la iniciación del movimiento y el cambio de movimiento.

Estableciendo Equilibrio en un Objeto: Para establecer equilibrio de un objeto, todas las fuerzas que actúan sobre este deben ser consideradas y la suma de todas las fuerzas equivale a cero. La gravedad actúa sobre todos los objetos. Cualquier objeto en contacto con otro objeto ejerce una fuerza sobre el objeto que está en contacto. Se dice que existe un **sistema lineal de fuerzas** cuando dos o más fuerzas actúan sobre el mismo objeto simultáneamente. Todas las fuerzas

que actúan en una dirección son positivas, mientras que todas las fuerzas que actúan en dirección opuesta son negativas. En biomecánica, se denomina como fuerzas positivas aquellas que actúan hacia arriba o hacia la derecha. Por otro lado, las fuerzas que actúen hacia abajo o hacia la izquierda se conocen como negativas. El efecto neto (resultante) de todas las fuerzas que actúa en un sistema de fuerzas lineales es igual a la suma de las magnitudes de cada fuerza, tomando en consideración su valor positivo o negativo. Cuando se determinan las fuerzas que resultan del contacto de objetos, tales fuerzas siempre provienen en pares y siempre se aplican a diferentes objetos.

HUESOS. PROPIEDADES FÍSICAS, MORFOLOGÍA INTERNA Y EXTERNA, ARQUITECTURA INTERNA, CADENAS ÓSEAS, EJE DIAFISIARIO, EJE MECÁNICO, BIOLOGÍA ÓSEA, LEYES DEL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LOS HUESOS.

El sistema esquelético consiste de una armazón sólido que incluye todos los huesos del cuerpo. El cuerpo humano se compone de 206 huesos. Los huesos son formados por tejido conectivo cuya substancia intercelular es endurecida por las sales minerales, principalmente el fósforo y el calcio, los que se obtienen de los alimentos. Los huesos están cubiertos (excepto en la parte cartilaginosa) por una capa o membrana que se llama **periosteo**. El endurecimiento de los huesos es un proceso gradual que toma alrededor de 20 años. Las células óseas se multiplican rápidamente durante los años de crecimiento. Más tarde las células nuevas reemplazan únicamente las células muertas o lesionadas y el proceso de reparación es más lento. A medida que se envejece los huesos se ponen más duros y frágiles y se rompen con facilidad.

FUNCIONES

1. **Sostén de los Tejidos Circundantes:** Sirve de soporte a los tejidos blandos del cuerpo, de suerte que pueda mantener su forma y postura erecta.
2. **Protege Órganos Vitales y Otros Tejidos Blandos del Cuerpo:** Estos incluyen el cerebro, la médula espinal, los pulmones, los principales vasos sanguíneos en la cavidad torácica, entre otros.
3. **Ayuda al Movimiento Corporal:** Los huesos constituyen palancas en las que se insertan los músculos. Cuando los músculos se contraen, los huesos actuando como palancas producen el movimiento.
4. **Función Hematopoyética:** En la médula (o tuetano) osea roja de los huesos largos se fabrican globulos (o células) rojas (hematíes o eritrocitos). Además, produce gran mayoría de las células blancas.

5. **Proporciona un área de Almacenamiento de Nutrientes a fin de Satisfacer las Necesidades Corporales:** Los nutrientes almacenados son sales minerales (sobre todo fósforo y calcio) y lípidos (grasa).

Eje Mecánico de un Hueso o Segmento: Representa una línea recta que conecta el punto medio de un extremo de la articulación con el punto medio del otro extremo de la articulación, o si en el caso de un segmento terminal, con el punto medio de su extremo distal. Su función es servir como palanca. El eje no necesariamente atraviesa longitudinalmente el diáfisis de la de la palanca ósea. Si el diáfisis es encorvado o si el apófisis articular se proyecta a un ángulo desde el diáfisis, la mayor porción del eje puede orientarse fuera del diáfisis. Por el ejemplo, el eje mecánico del fémur.

Definiciones:

- **Diáfisis:** Cuerpo o porción principal del hueso, la cual es hueca, cilíndrica y compuesta de hueso compacto.
- **Epífisis:** Constituyen los extremos de los huesos largos.
- **Osificación:** Depósito de sales óseas en una matriz orgánica.

Placa o Lámina Epifisaria: La placa epifisaria consiste de una lámina de cartílago localizada entre la epífisis y la diáfisis de los huesos largos, donde ocurre el alargamiento/crecimiento subsecuente de dichos huesos. En los huesos largos el diáfisis es separado de los extremos y de las protuberancia articulares por los cartilagos epifisarios. En las placas epifisarias ocurre el alargamiento subsecuente del hueso largo. Cuando el crecimiento cesa, los cartilagos gradualmente se osifican, un fenómeno llamado cierre de la epífisis, lo cual resulta en el cese del crecimiento. Varias placas epifisarias no se osifican completamente hasta los veinte, o aún hasta los veinte y cinco años. Esto implica que la mayoría de los jóvenes y muchos varones universitarios participan en deportes vigorosos antes que sus huesos maduren por completo.

DIVISIONES DEL ESQUELETO

Esqueleto Axial

- **Cráneo:** Incluye los huesos craneales, huesos de la cara, orbitales y agujeros del cráneo.
- Huesos hioides.
- **Torso o tronco:** Se compone de las vértebras, sacro, columna vertebral como un todo y el tórax (esternón y costillas).

Esqueleto Apendicular

- **Cintura torácica o escapular:** Constituida de la clavicular y la escapula (omoplato).
- **Extremidad superior:** Los huesos que componen la extremidad superior son el húmero, ulna (cúbito), radio, huesos del carpo, metacarpianos y las falanges.
- **Cintura pelviana:** Incluye los huesos coxales o iliacos.
- **Extremidad inferior:** Sus huesos son el fémur, la fíbula o peroné, la tibia, la rótula (patela), los huesos tarsianos (o tarsos), los metatarsianos y las falanges.

CLASIFICACION DE LOS HUESOS

- **Huesos Largos:** Constan de una zona cilíndrica (la diáfisis) y dos extremos, llamados cada uno epífisis. Ejemplos de huesos largos son el humero, radio, tibia y peroné.
- **Huesos Cortos:** Estos tipos de hueso se caracterizan por tener una forma algo irregular y no son simplemente una versión más corta de un tipo de hueso largo. Los huesos del carpo y del tronco son ejemplo de esta categoría.
- **Huesos Planos:** Se encuentran dondequiera que se necesite protección de partes blandas del cuerpo o un lugar para inserción muscular extensa. Ejemplo incluyen las costillas, escápula (u omóplatos), partes de la cintura pélvica, y los huesos del cráneo.
- **Huesos Irregulares:** Comprende huesos de forma característica y diferente. Las vértebras y los huesillos del oído representan ejemplos clásicos de huesos irregulares
- **Huesos Sesamoideos:** Huesos pequeños y redondeados que se encuentran junto a las articulaciones, y tienen la función de incrementar la función de palanca de los músculos. Un ejemplo de huesos sesamoideos es la rótula (o patela).

SISTEMAS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO ANATÓMICO Y CINESIOLÓGICO

Posiciones Iniciales del Cuerpo

- **Posición fundamental de pie.** En esta posición el cuerpo se encuentra de pie y erecto con los pies ligeramente separados y paralelos, los brazos colgando cómodamente a los lados con las palmas en dirección al cuerpo. La posición fundamental de pie se utiliza comúnmente como el punto de referencia para analizar todos los movimiento de los segmento del cuerpo, con excepción de aquellos en el antebrazo.

- **Posición anatómica de pie.** Para estudiar las estructuras del cuerpo, sus movimientos o la relación de una región corporal con otra requiere que el cuerpo se encuentre en una postura fija muy particular. Esto se conoce como la *posición anatómica*. La posición anatómica es la postura convencional y universalmente aceptada para estudiar la anatomía. Por consiguiente, representa una posición de referencia para el estudio de la anatomía y fisiología. En esta posición, el cuerpo se encuentra de pie y erecto (erguido), mirando hacia adelante (la cabeza y pies se orientan hacia adelante), con los brazos a los lados y las palmas hacia al frente. Esta posición representa el punto de referencia para los movimientos del antebrazo, mano y dedos.

Dirección: Se han desarrollado una serie de términos específicos que ayudan a estudiar más efectivamente las estructuras del organismo. Se parte desde la posición anatómica. Estos términos son:

- **Superior o cefálico o craneal:** Se refiere hacia el extremo donde se encuentra la cabeza del cuerpo. También, hacia la cabeza o hacia la parte superior de una estructura. Implica, más alto (hacia arriba) o encima. Por ejemplo: la cabeza es superior con respecto al cuello; la cavidad torácica está en posición cefálica con respecto a la cavidad abdominal; el codo es superior en relación a la muñeca.
- **Inferior o caudal:** Este término direccional indica que un componente anatómico se encuentra lejos de la cabeza o hacia la parte inferior de una estructura, se aleja (fuera) de la cabeza. Además, se refiere hacia abajo, más abajo o por debajo. Ejemplos: el pie es inferior respecto al tobillo; el estómago se encuentra en sentido caudal a los pulmones; el corazón es superior en relación al diafragma.
- **Anterior o ventral:** Hace referencia de alguna estructura que se encuentre al frente. También indica una estructura corporal se encuentra más cercano a la parte frontal del cuerpo, hacia adelante. Ejemplos: las manos se encuentran en la pared torácica anterior; el esternón está en sentido ventral con respecto al corazón; el esternón se encuentran anterior al corazón.
- **Posterior o dorsal:** Se refiere cuando una parte del cuerpo se encuentra hacia atrás. El término implica algo situado detrás, más cerca de la espalda, o en ella. Ejemplos: La columna vertebral se halla en posición posterior en relación al cuerpo; la columna vertebral es posterior al aparato digestivo; el esófago se encuentra en sentido dorsal con respecto a la tráquea.
- **Línea media:** Una línea imaginaria que divide el cuerpo en mitades izquierda derecha.
- **Medial mesial o interna:** Algo que se dirige hacia la línea media del cuerpo. También, situado cerca del plano o de la línea media del cuerpo o de una estructura, más cerca de la línea media del cuerpo. Ejemplos: el cúbito está en el lado medial del antebrazo; el dedo grueso se encuentra

situado en el lado interno del pie; los músculos aductores se encuentra en la parte medial del muslo.

- **Lateral o externa:** Se aleja (fuera) de la línea media del cuerpo, fuera o lejos de la línea media del cuerpo o de una estructura. También, hacia un lado. Ejemplos: el radio es lateral con respecto al cúbito; el quinto dedo está situado en el lado lateral del pie. Podemos decir que las orejas se hallan en la porción lateral de la cabeza.
- **Proximal:** Se refiere cuando el punto de conexión de una extremidad corporal se encuentra más cerca (o dirigida hacia) el tronco o del punto de origen de una parte del cuerpo, en otras palabras, en dirección o más cercano a la unión de una extremidad con el tronco o con una sección o miembro del cuerpo. También se usa para indicar que una estructura se encuentra más cerca del punto de inserción u origen, cerca al tronco o al sitio de origen de una parte. Ejemplos: el codo es proximal con respecto a la muñeca; el húmero está situado de modo proximal con relación al radio; el codo está situado en el extremo proximal del antebrazo; la rodilla es proximal en relación al tobillo.
- **Distal:** El punto de unión de una extremidad del cuerpo se encuentra más lejos (o dirigida fuera) del tronco o del punto de origen de una parte del cuerpo. Fraseado de otra forma, indica algo situado más lejos de la unión de una extremidad con el tronco o con una estructura, lejos del punto de inserción u origen o más alejado del tronco o del sitio de origen de una parte. Ejemplos: la muñeca es distal con respecto al codo; las falanges están situadas de modo distal con relación a los huesos del carpo; la mano está situada en el extremo distal del codo; la rodilla se encuentra en una posición distal en relación a la cadera.
- **Superficial o periférica:** Más cerca de la superficie de alguna estructura en el organismo. Por ejemplo, las uñas son superficiales al tejido epitelial debajo de ellas.
- **Profundo o central:** Más lejos de la superficie del cuerpo. Por ejemplo, las costillas son profundas a los músculos pectorales.
- **Parietal:** Se refiere a las paredes de una cavidad.
- **Visceral:** Se refiere a los órganos que se encuentran dentro de la cavidad.

Planos de Orientación en el Cuerpo Humano: Existen tres planos tradicionales que corresponden a las tres dimensiones de espacio, cada plano es perpendicular a cada uno de los otros dos. Desde la posición anatómica, podemos trazar estos tres cortes o planos anatómicos, a saber: el plano sagital (o antero-posterior), coronal (o frontal) y transversal (u horizontal). Estos planos nos permitirán comprender mejor la situación o la dirección que tienen las estructuras de nuestro cuerpo.

- El **plano sagital, antero posterior o medial** pasa desde la parte anterior del cuerpo (o segmento de éste) hasta la posterior, dividiendo a éste en dos

mitades, izquierda y derecha. Se dice que es un plano **medio sagital** cuando atraviesa la misma mitad del cuerpo, es un corte simétrico. En síntesis, es un plano vertical que pasa a través del cuerpo en dirección desde al frente hasta atrás, dividiendo a éste en mitades derecha e izquierda.

- El **plano coronal, lateral o frontal** pasa desde un extremo lateral del cuerpo (o segmento de éste) hasta el otro, dividiendo a este en dos mitades, anterior y posterior. En otras palabras, este tipo de plano atraviesa el cuerpo de lado a lado. En resumen, representa un plano vertical que pasa a través del cuerpo de lado a lado, dividiendo a éste en porciones anterior y posterior y formando un ángulo recto (perpendicular) con el plano sagital.
- El **plano transversal** pasa horizontalmente el cuerpo (o un segmento de éste), dividiéndolo en mitades superior e inferior. Por consiguiente, es un plano horizontal que pasa a través del cuerpo, dividiendo a éste en mitades superior e inferior.

Implicaciones. Como resultado de estos planos anatómicos, se derivan ciertos principios básicos. Al describir los movimientos en términos de un plano, tenemos que *el movimiento ocurre siempre paralelo al plano persé*. Por ejemplo, durante el movimiento del antebrazo en el plano sagital, este segmento corporal se mueve en un plano paralelo al plano sagital.

Cuando hablamos del **plano cardinal** no referimos a un término de orientación utilizado cuando *el movimiento ocurre en un plano que pasa a través del centro de gravedad*. Por ejemplo, inclinando la cabeza hacia adelante es un movimiento que ocurre en el plano sagital cardinal.

Ejes de Movimiento: Los ejes de movimiento representan aquella línea imaginaria alrededor de la cual se realiza el movimiento articular de un segmento corporal. Similar a los planos previamente descritos, existen tres ejes de movimiento, a saber: el eje frontal-horizontal (o lateral), el eje sagital-horizontal (anterior posterior) y el eje vertical (o longitudinal)

- El **eje frontal-horizontal (lateral)** pasa horizontalmente de lado a lado. Se halla situado paralelamente a la sutura coronal del cráneo. Se encuentra dispuesto en ángulo recto (perpendicular) con el eje sagital-horizontal. El movimiento de este eje se realiza en un plano sagital.
- El **eje sagital-horizontal (anterior posterior)** se dirige horizontalmente desde al frente hasta atrás. Se halla situado paralelamente a la sutura sagital del cráneo. Se encuentra dispuesto en ángulo recto (perpendicular) con el eje frontal-horizontal. El movimiento en este eje se halla en un plano Frontal.

- Finalmente, el **eje vertical (longitudinal)** se ubica perpendicular al suelo. Se encuentra situado paralelamente a la línea de gravedad. El movimiento se realiza en un plano transversal.

Implicaciones: Podemos mencionar varios principios que se derivan al describir el movimiento a base del plano de ejes correspondiente:

- **Un movimiento rotatorio (axial o angular) de un segmento del cuerpo se lleva a cabo en un plano y alrededor de un eje.** Los movimientos del cuerpo se producen en las articulaciones. Los ejes pasan, por tanto, a través de las articulaciones y el miembro o segmento correspondiente se mueve alrededor del eje (de forma axial o angular).
- **Cada eje es perpendicular al plano en el cual ocurre el movimiento.** Esto implica que el eje alrededor del cual toma lugar el movimiento es siempre en ángulo recto al plano en el cual ocurre.

Ejemplos Levantando la pierna o brazo hacia adelante (flexión): Se lleva a cabo en un plano sagital alrededor de un eje frontal-horizontal; Levantando lateralmente la pierna o el brazo (abducción): Se realiza en un plano frontal alrededor de un eje sagital-horizontal; Girando la cabeza, brazo (desde el hombro) o pierna (desde la cadera) - Rotación Lateral o transversal. Es un movimiento que se ejecuta en un plano transversal alrededor de un eje vertical.

El Centro de Gravedad Concepto: El centro de gravedad se puede definir de diversas maneras. Podemos decir que es el punto imaginario que representa el centro de peso de un objeto. También se puede describir como aquel punto en el cuerpo alrededor del cual todas las partes se equilibran de forma precisa unas a otras. Además, se puede definir como el punto en el cual todo el peso corporal se concentra. Finalmente, el centro de gravedad se conoce como aquel punto en el cual todos los planos del cuerpo se interceptan unos a otros.

Localización en el cuerpo humano: Desde la posición anatómica de pie, el centro de gravedad se encuentra en la pelvis, enfrente de la porción superior del sacro (segunda vértebra sacra, S-2). En las mujeres, se encuentra más abajo que en los hombres, debido a que las mujeres poseen una pelvis y muslos más pesados y piernas más cortas.

Factores que determinan la posición del centro de gravedad en el cuerpo: La posición del centro de gravedad depende de varios factores, tales como la estructura anatómica individual, las posturas habituales de pie, las posiciones actuales, el hecho de sostener pesos externos y el edad, género (femenino o masculino).

La Línea de Gravedad: La línea de gravedad representa una línea vertical imaginaria que atraviesa el centro de gravedad. Por consiguiente, esta línea se localiza a través del centro de gravedad. La línea de gravedad depende de la posición del centro de gravedad. En términos generales, se admite que cuando la postura es correcta, la línea pasa a través de las vértebras cervicales medias y lumbares medias y por delante de las vértebras dorsales.

Capítulo II: BIOMECÁNICA Y ANATOMIA FUNCIONAL DE LAS ARTICULACIONES SINOVIALES.

ESTRUCTURA DE LA ARTICULACIÓN SINOVIAL. ARTROCINEMÁTICA. TIPOS DE MOVIMIENTOS. FISIOLÓGÍA ARTICULAR. TIPOS DE ARTICULACIONES. CALIDAD DEL MOVIMIENTO ARTICULAR. CADENAS CINEMÁTICAS.

Las articulaciones representan conexiones que existen entre los diversos puntos y áreas de superficies de los huesos que componen el esqueleto humano. Aunque el movimiento de los huesos depende de la actividad del músculo esquelético insertado, el tipo de movimiento o grado de libertad de éste, está determinado por la articulación o naturaleza de la unión o conexión entre los huesos y la forma de las superficies articulares.

Definiciones: Previo al comienzo de la discusión y análisis de las articulaciones del cuerpo y los movimientos que permite, es de vital importancia aclarar primero algunos términos vinculados con este tópico.

- **Articulación (coyuntura):** El lugar de unión/contacto entre dos o más huesos, tejido cartilaginoso, o cartílago y hueso.
- **Movimiento articular:** Recorrido de un segmento corporal o palanca ósea desde una articulación específica, normalmente axial o angular (alrededor de un eje particular) y paralelo a un plano, o alrededor de un eje y plano oblicuo.
- **Arco de movimiento:** La amplitud de movimiento (grado de recorrido) o desplazamiento angular/axial total permitido por cualquier par de segmentos corporales (o palancas óseas) adyacentes.
- **Arco de movimiento normal:** La cantidad o excursión total a través del cual porciones/segmentos corporales pueden moverse dentro de sus límites anatómicos de la estructura articular, antes de ser detenidos por estructuras óseas ligamentosas o musculares.
- **Flexibilidad:** El alcance total (dentro de los límites de dolor) de una parte del cuerpo a través de su arco de movimiento potencial. La habilidad de un músculo para relajarse y producir una fuerza de estiramiento. La extensibilidad de tejido peri articular (estructuras que circundan y cruzan las articulaciones) para permitir un movimiento normal o fisiológico de una articulación o extremidad corporal.
- **Flexibilidad adecuada:** El estado ideal de longitud y elasticidad de las estructuras cruzando las articulaciones y afectando un movimiento articular sencillo o doble (tal como los músculos posterior al muslo cruzando la cadera y las articulaciones de la rodilla).
- **Estiramiento:** Descripción de una actividad que aplica una fuerza deformadora a lo largo del plano de un movimiento.

- **Ejercicios de Flexibilidad:** Término general utilizado para describir ejercicios ejecutados por una persona para elongar los tejidos blandos (músculos, aponeurosis, tejido conectivo, tendones, ligamentos, cápsulas articulares y la piel) de forma pasiva (aplicación manual o mecánica de una fuerza externa para estirar los tejidos blandos) o activamente (el estiramiento de los tejidos blandos se lleva a cabo por el mismo individuo).
- **Movilización:** Describe la aplicación de una fuerza a través de planos rotatorios o translatorios de un movimiento articular.
- **Movilización articular:** Tracción pasiva y/o movimientos de deslizamientos aplicados en las superficies articulares que mantienen o restauran el juego normal articular permitido por la cápsula, de manera que puede llevarse a cabo el mecanismo de rodar-deslizar mientras se mueva el individuo.
- **Estabilidad:** La habilidad de una articulación/armazón óseo para amortiguar y resistir/aguantar movimientos sin ocasionar lesiones en las articulaciones y a sus tejidos circundantes, tales como lesiones de dislocación articular, esguinces (desgarres) de los ligamentos, o desgarres del tejido muscular. La resistencia o cohesión a desplazamientos de potencial dislocante.
- **Laxitud (o flojedad):** Describe el grado de estabilidad de una articulación, la cual depende de sus estructuras de soporte (ligamentos, cápsula articular y continuidad ósea). El grado de movimiento anormal de una articulación.

Propósito de las Articulaciones: Sin las articulaciones no hubiera movimiento ni estabilidad. Estas uniones permiten los movimientos angulares de los segmentos del cuerpo. Las articulaciones proveen estabilidad o soporte/apoyo estático. Además, como una unidad total del cuerpo humano, las articulaciones proveen la capacidad para trasladarse de un punto a otro (movimientos translatorios).

Importancia y Valor de las Articulaciones: Como fue mencionado previamente, las articulaciones hacen posible los movimientos de las partes del cuerpo. Los movimientos que permiten las articulaciones contribuyen en gran medida a la conservación de la homeostasia (equilibrio fisiológico del cuerpo) y, por tanto, a la supervivencia. Los movimientos nos permiten disfrutar de manera amplia la vida. Sin articulaciones entre los huesos, no podríamos movernos puesto que nuestros cuerpos serían rígidos e inmóviles.

Movilidad de una Articulación: La movilidad de una articulación se refiere a la magnitud del arco de movimiento. El grado de libertad o nivel de extensión/recorrido de una articulación depende de diversos factores, los cuales se describe a continuación:

1. **Factores estructurales o estáticos:** Puede ser que la **interposición de los topes óseos (hueso a hueso)** obstaculiza el arco de movimiento. Esto

se refiere a a la forma/configuración de las partes óseas articuladas y/o el grado de intimidad/contacto entre dichas superficies articulares.

Por otro lado, **interposición de estructuras blandas** también influyen en el recorrido de las articulaciones. Describe la posición, engrosamiento/compresión y/o grado de rigidez/ flexibilidad de los tejidos blandos que circundan o cruzan la articulaciones. Dichas estructuras blandas incluyen los músculos y su aponeurosis (fascia o epimisio) o tejido conectivo que cubre todo el tronco (o vientre) del músculo, las estructuras de la articulación/cápsula articular (tejido conectivo, ligamentos, tendones, y la cápsula articular), la piel y el tejido adiposo (grasa).

2. **Factores fisiológicos o dinámicos:** Este determinante incluye el reflejo de estiramiento autógeno regulado por el mecanismo de los husos musculares. Además, la fase transitoria de contracción muscular puede ser otra causa que influye en la movilidad de una articulación.

Flexibilidad de las Articulaciones

Falta/mala flexibilidad. Causas: Esta condición puede ser ocasionado por varios factores. Una posible causa puede ser la postura defectuosa, aquellas posturas inapropiadas habituales y en el trabajo fatigoso. La inactividad física/inmovilización afecta la flexibilidad. Definitivamente la edad es un determinante no controlable. En términos generales, la flexibilidad disminuye gradualmente desde el nacimiento hasta la senectud. Por otro lado, los ejercicios de estiramiento ayudan a retrasar la pérdida gradual de flexibilidad que ocurre al individuo avanzar en edad. Sin embargo, programas de entrenamiento con resistencias (pesas) para el desarrollo de volumen muscular (principalmente mediante alta resistencia y baja repetición) que no incorpora una sesión de estiramiento después del ejercicio pueden ser perjudiciales para el nivel de flexibilidad. El género o las diferencias entre sexos influyen en el grado de flexibilidad del individuo. Hacia una misma edad, las niñas y las mujeres son, por término medio/promedio, más flexible que los varones, ya que las mujeres no desarrollan la cantidad de volumen muscular que se observa en los hombres (principalmente por razones hormonales). La compresión de los nervios periféricos puede también inducir un problema de flexibilidad. Otro factor es la dismenorrea o dolor menstrual. El sistema articular cuenta con diversas clases de articulaciones. Cada tipo de articulación se caracteriza por un nivel de movilidad particular. Por consiguiente el tipo de articulación afecta la flexibilidad de diferentes partes en nuestro cuerpo.

Efectos: La pobre flexibilidad tiene consecuencias adversas para el rendimiento deportivo. Limita evidentemente la el entrenamiento y la práctica de deportes competitivos y recreativos. En términos clínicos, una mala flexibilidad limita la corrección voluntaria de los defectos posturales. Un problema de flexibilidad crónico (a largo plazo) puede resultar (o agravar) ciertas condiciones óseo-

articulares. Durante cierto número de años, la falta de flexibilidad tiende a convertirse en permanente o irreversible, especialmente a medida que el desarrollo de la artrosis provoca la calcificación de los tejidos cercanos de las articulaciones.

Flexibilidad excesiva: Como todos sabemos, los extremos son dañinos para la salud. Mucha va en detrimento de la estabilidad y sostén deseado. Puede predisponer a lesiones articulares.

Buena flexibilidad: La apropiada flexibilidad permite a la articulación moverse en forma segura en diferentes posiciones. Esto previene lesiones (musculares y ligamentosas) cuando la articulación se lleva forzadamente hasta el extremo de su amplitud de movimiento. Además, un buen nivel de flexibilidad ayuda a la eficiencia en la ejecutoria de las destrezas. Para poder alcanzar esta condición se debe poseer también estabilidad muscular y ligamentosa de las articulaciones envueltas.

Importancia terapéutica de la flexibilidad: Como un ejercicio terapéutico, los ejercicios de flexibilidad ayudan a la rehabilitación de la movilidad articular y de sus tejidos blandos envueltos luego de cirugías o traumas deportivas.

Mediciones de la flexibilidad/arco de movimiento: Existen una variedad de métodos para evaluar el grado de flexibilidad en el cuerpo. Un procedimiento evaluativo muy común son las mediciones lineales de la flexibilidad. Por ejemplo, la prueba de flexión troncal o sentado y estirar ("sit & reach") representa una prueba de campo para determinar la flexibilidad lineal. Esta prueba es fácil de administrar y no requiere un equipo muy sofisticado.

Otra manera para evaluar la flexibilidad es mediante la medición del arco de movimiento. Su procedimiento es sencillo. Simplemente se determina el número de grados que recorre un segmento corporal desde su posición inicial hasta el final de su movimiento máximo. Este método requiere del uso de instrumento especializado, tales como un goniómetro de doble brazo o electro goniómetro (goniómetro electrónico, tal como el "elgon") y el flexómetro de Leighton. Otros métodos incluyen el uso de películas.

Ejercicios para aumentar/desarrollar la flexibilidad: Si el objetivo es un aumento en la flexibilidad más allá de los límites normales, se deben de seguir los siguientes delineamientos/recomendaciones:

- Los movimientos se deben de realizar a través de la máxima amplitud de la movilidad.
- Los ejercicios seleccionados deben incluir los grupos de músculos antagonistas.

La flexibilidad puede ser desarrollada mediante ciertos ejercicios de estiramiento particulares. Las técnicas/tipos de ejercicios incluyen los siguientes:

- **Estiramiento pasivo:** Ocurre cuando la fuerza para el estiramiento es aplicada externamente. Puede ser manual, mecánica o estiramiento posicional de los tejidos blandos.
- **Estiramiento activo:** Ocurre cuando es auto-administrado.
- **Estiramiento estático:** Se lleva a cabo cuando los tejidos blandos corporales estirados se sostienen sin movimiento (posición alargada/estirada de dichos tejidos) durante un tiempo determinada (10 segundos).
- **Fascilitación neuromuscular propioceptiva:** Método que consiste en ciclos repetidos de contraer el músculo que desea ser estirado seguido inmediatamente de su estiramiento estático. Se trate de poder inducir un reflejo de relajación en el sistema neuromuscular como resultado de la contracción de los músculos, de los propio receptores localizados en el músculo esquelético. Podemos decir que estamos "engañando" a los propio receptores musculares con el fin de inducir un estado de relajación muscular, el cual aprovechamos para poder estirar dicho músculo.
- **Estiramiento balístico:** Se realiza cuando movimientos rítmicos repetidos o segmentos corporales producen un estiramiento rebotante de los tejidos blandos envueltos. Este es el método menos recomendado, puesto que puede producir lesiones.

Estabilidad de las Articulaciones

Fuentes de estabilidad para una articulación: La estabilidad de las articulaciones depende de arreglo fuerte de los huesos en la articulación, por medio del cual un hueso se ajusta dentro o alrededor del otro. Por ejemplo, el codo o el hombro.

Otra fuente de estabilidad proviene de una disposición ligamentosa fuerte, por el cual los ligamentos rodeando la articulación son suficientes en número y calidad para poder ser capaces de resistir fuerzas dislocantes. Por ejemplo, los ligamentos de la articulación del codo.

Finalmente, los músculos esqueléticos que rodean la articulación representa un determinante sumamente importante para la estabilidad de su articulación. Esto es evidente en aquellas articulaciones donde se presentan uniones ósea débiles. Un ejemplo de esta situación es la articulación glenohumeral (el hombro). En adición, la manera de rehabilitar una lesión ligamentosa (e.g., un esquince) es fortaleciendo los músculos que la apoyan. Por consiguiente un arreglo muscular fuerte, en donde los músculos rodeando la coyuntura y las líneas de fuerza

muscular durante su tensión tienden a halar los dos huesos uno al otro (juntos) es de suma importancia para articulaciones estables.

Determinantes de la estabilidad: La estabilidad de una articulación depende directamente de dos factores, a saber, su integridad de las estructuras que asisten en la estabilidad articular y la presión atmosférica.

De mayor importancia es el grado/nivel de fuerza e integridad de las estructuras responsables para la estabilidad. Estas son, a saber: los ligamentos, la tensión/fuerza muscular, el tejido conectivo fibroso (fascia/aponeurosis) que cubre a los músculos, la piel y la forma/configuración de la estructura ósea (tipo de articulación).

Mantenimiento/mejoramiento de la estabilidad articular: A nivel óseo no mucho se puede hacer. A nivel ligamentosa se puede mejorar la estabilidad al aumentar la fuerza de los ligamentos mediante ejercicios, para ayudar a resistir cualquier fuerza dislocante. El desarrollo y mantenimiento de una adecuada flexibilidad proviene principalmente mediante el acondicionamiento de los músculos que rodean la articulación. Comúnmente, esto puede alcanzarse a través de un programa de ejercicios con resistencias. El objetivo es desarrollar la fortaleza muscular, de manera que los músculos puedan mas efectivamente mantener la integridad de una articulación. Por ejemplo desarrollando la fuerza de los músculos que rodean las articulaciones del hombro y rodilla (en donde el arreglo óseo provee una mínima estabilidad) se mejora la estabilidad de dichas articulaciones contra fuerzas dislocantes y ayuda a mantener los dos huesos articulares juntos.

CLASIFICACIÓN DE LAS ARTICULACIONES

Existen básicamente dos formas para categorizar las articulaciones. Una manera de clasificar las articulaciones es a base de su función o cantidad de ejes que posee y la otra es a base de sus estructuras.

Funcional (Según los Movimientos que realizan o Ejes que poseen)

3. **Uniaxiales:** Representan aquellas articulaciones donde el movimiento angular se realiza en un solo eje. Un ejemplo es la articulación del codo (humeroulnar), la cual permite flexión y extensión alrededor de un eje frontal-horizontal.
4. **Biaxiales:** Permiten movimientos en dos ejes diferentes. Por ejemplo, la articulación a nivel de la muñeca (radiocarpiana) permiten movimientos de extensión y flexión alrededor de un eje frontal-horizontal, y abducción y aducción alrededor de un eje sagital-frontal.

5. **Triaxiales:** En estos tipos de articulaciones, los movimientos se producen en tres ejes. El ejemplo clásico es la articulación del hombro y cadera permiten flexión y extensión alrededor de un eje frontal-horizontal, abducción y aducción alrededor de un eje sagital-frontal y rotación alrededor de un eje vertical.
6. **Noaxial:** Éstas solo permiten pequeños movimientos de deslizamiento (movimiento no axial). Por ejemplo, la articulación formada entre los huesos carpianos y tarsianos de la muñeca y tobillo respectivamente.

Estructural

Diartrosis (articulaciones sinoviales): Características generales morfológicas

- Articulaciones con amplia libertad de movimiento: Las articulaciones sinoviales o diartrosas permiten una o más de las siguientes clases de movimiento: flexión y extensión, abducción y aducción, rotación y circunducción. Algunas de ellas permiten movimientos especiales como supinación, pronación, inversión, eversión, protracción y retracción y deslizamiento.
- Presencia de una cavidad articular (cavidad sinovial): Es un espacio entre las superficies articulares de los dos huesos de la articulación, lo cual permite la gran movilidad de estas articulaciones.
- La articulación se encuentra rodeada de una cápsula articular de cartílago fibroso (ligamentos que refuerzan la cápsula y a los cartílagos que cubren los extremos articulares de los huesos).
- La cápsula articular se encuentra revestida con la membrana sinovial, la cual produce el líquido sinovial que lubrica las superficies articulares internas y contribuye a la nutrición del cartílago.
- Las superficies de carga o caras articulares de los huesos que participan en la articulación son lisas.
- Las superficies articulares están recubiertas con un cartílago articular, normalmente hialino, pero ocasionalmente fibrocartílago.

Subclasificación:

- *Artrodial (irregular/planas, deslizables):* Las caras articulares de los huesos participantes son, por lo general, planas o ligeramente curvas. Permite los movimientos de deslizamiento o la torsión. No posee planos ni ejes. Ejemplo incluyen las articulaciones intercarpianas e intertarsianas, las articulaciones esternoclavicular, acromioclavicular y las articulaciones de los arcos vertebrales.
- *Gínglimo (trocleartrosis o troclear, bisagra):* En este tipo de articulación diartrodial uno de los huesos posee una superficie/cara articular

convexa (superficie más prominente en el medio que en los extremos). El otro hueso tiene una superficie articular cóncava (la superficie es más deprimida en el centro que por las orillas). La superficie convexa se acomoda en la cavidad cóncava. El resultado es un movimiento angular realizado por la superficie cóncava al deslizarse alrededor de la superficie convexa, similar al movimiento de una bisagra. Solo permite flexión y extensión en un solo plano (sagital) y alrededor de un eje frontal-horizontal (uniaxial). Entre los ejemplos en el cuerpo humano se encuentran la articulación del humeroulnar o codo, la articulación tibiofemoral (rodilla), talocrural (tobillo) y las interfalángicas .

- *Trocoide (pivote, rotatoria)*: Se encuentra constituida de una superficie cónica, puntiaguda o cilíndrica de un hueso (una apófisis que sirve de eje) se articula con un anillo formado por hueso y ligamento (fosa ósea). Una escotadura cóncava de un hueso se ajusta alrededor del borde de la superficie redondeada (en forma de disco) del otro hueso (entre la cabeza del radio y la escotadura radial de la ulna). Solo permite rotación en plano transversal (u solo plano) y alrededor de un eje vertical (uniaxial). Ejemplos incluyen la articulación atlantoaxial (entre el atlas y el axis) y la articulación radioulnar proximal o superior.
- *Condilar/condiloidea (elipsoidales, ovoide)*: En este tipo de articulación el cóndilo ovalado (convexo) de un hueso se acomoda en la cavidad elíptica (cóncava del otro). Contrario a las clasificaciones arriba mencionadas, esta categoría permite mayor variedad de movimientos articulares. Incluye flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción. Posee dos planos y es biaxial. Se mueven paralelo al plano sagital y coronal. Sus ejes son el frontal-horizontal y sagital-horizontal. Los ejemplos en el cuerpo son la articulación radiocarpiana o de la muñeca, entre radio y carpianos
- *En silla de montar (por encaje recíproco)*: Las superficies articulares de ambos huesos presentan facetas (superficies de carga o caras) articulares cóncavas en una dirección y convexas en la otra (ambos huesos articulares tienen una superficie en silla de montar), de manera que ambos se adaptan recíprocamente (en unas superficies articulares convexa-cóncava). Similar a la condilar, permite los movimientos articulares de flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción. Sus segmentos se mueven en los planos sagital o coronal. Emplea dos ejes (biaxial), a saber: el frontal-horizontal y el sagital-horizontal). El único ejemplo en el cuerpo es la articulación carpometacarpiana del pulgar (entre el primer metacarpiano y el trapecio)
- *Enartrosis (bola y guante, esférica)*: La cabeza de una superficie articular esférica de un hueso encaja dentro de la cavidad cóncava del otro hueso. Representa el tipo de articulación diartrodia que permite la mayor variedad de movimientos articulares. Estos son, flexión y extensión, abducción y aducción, rotación, circunducción y flexión y

extensión horizontal. Todas las articulaciones bajo esta clasificación se mueven en tres planos y alrededor de tres ejes (triaxial). Sus planos son sagital, coronal y transversal. Los ejes incluidos son el frontal-horizontal, sagital-horizontal, y el vertical). Algunos ejemplo incluyen la articulación glenohumeral (hombro) y la coxofemoral (cadera)

Sinartrosis. Características generales morfológicas:

- No permiten movimiento (inmóviles).
- Los huesos se encuentran unidos por una sustancia interpuesta, tal como cartílago o tejido fibroso, el cual se extiende a lo largo de las superficies articulares.
- No existe ninguna cavidad articular: Esto significa que no hay cápsula, membrana sinovial, ni líquido sinovial.

Subclasificación:

- *Sutura (Fibrosa)*: Los bordes/superficies articulares de los huesos envueltos se encuentran unidos por una capa delgada de tejido fibroso (extensión del periostio). No permite movimientos articulares. El ejemplo clásico son las suturas entre los huesos del cráneo.
- *Sincondrosis (cartilaginosa)*: Dos superficies óseas están unidos por cartílago hialino. Son articulaciones temporales. Esto se debe a que el cartílago hialino es substituido por tejido óseo más tarde en la vida (cuando cesa el crecimiento). Permite leve compresión. Un ejemplo en el cuerpo es la articulación entre la epífisis y la diáfisis de todos los huesos largos en crecimiento.

Anfiartrosis. Características morfológicas generales:

- Permiten movimientos limitados (ligeramente móviles):
- No posee cavidad articular.

Subclasificación:

- *Sindesmosis (ligamentosas)*: Los huesos se encuentran unidos por ligamentos entre los mismos. Permite alguna movilidad (limitado) y de un tipo no específico. Los ejemplos son la unión coracoacromial, radio ulnal (articulación entre los diáfisis del radio y ulna) y la membrana tibio fibular.
- *Sínfisis*: Las superficies articulares de los huesos están conectadas por fibrocartílago, cápsula articular y a veces cavidad articular. A nivel de la sínfisis del pubis, permite ligeros movimientos, particularmente durante el embarazo y el parto. Entre los cuerpos vertebrales, es posible realizar

movimientos moderados de flexión, extensión, flexión lateral, circunducción y rotación. una vez más, a nivel de los cuerpos vertebrales, posee tres planos (sagital, coronal y transversal) y tres ejes (sagital-horizontal, frontal-horizontal, y vertical). Un ejemplo es la articulación sínfisis púbica y la articulación formada entre los discos intervertebrales.

MOVIMIENTOS ARTICULARES

1. Movimientos Paralelos al Plano Sagital y Alrededor de un Eje Frontal-Horizontal

- **Flexión:** Disminución en el ángulo de la articulación.
- **Extensión:** Aumento en el ángulo de la articulación.
- **Hiperflexión:** Flexión del brazo superior (articulación del hombro) más allá de una línea recta vertical.
- **Hiperextensión:** La continuación de la extensión más allá de de la posición fundamental de pie o de la anatómica (o la continuación de la extensión más allá de una línea recta vertical).
- **Dorsiflexión:** Movimiento del dorso del pie (empeine o parte superior del pie) hacia la cara anterior de la tibia.
- **Flexión plantar:** Extensión de la planta del pie hacia abajo (suelo).

2. Movimientos Paralelos al Plano Frontal (Coronal) y Alrededor de un Eje Sagital-Horizontal

- **Adducción:** Movimiento lateral fuera de la línea media del cuerpo.
- **Aducción:** Movimiento lateral hacia la línea media del cuerpo.
- **Flexión lateral:** Acción de doblar lateralmente la cabeza o el tronco (en las articulaciones intervertebrales de la columna vertebral).
- **Hiperabducción:** Abducción del brazo superior (en la articulación del hombro) más allá de la línea recta vertical.
- **Hiperaducción:** Movimiento combinado con ligera flexión por virtud del cual las extremidades superiores pueden cruzar el frente del cuerpo, o una extremidad inferior cruzar el frente de la extremidad que apoya el peso del cuerpo.
- **Reducción de la hiperaducción:** El retorno del movimiento de la hiperaducción.
- **Reducción de la flexión lateral:** El movimiento de retorno de la flexión lateral.
- **Inversión y aducción (supinación):** Movimiento de la planta del pie hacia la línea media (adentro), en el nivel de la articulación del tobillo.

- **Eversión y abducción (pronación):** Movimiento de la planta del pie hacia afuera de la línea media, en el nivel de la articulación del tobillo.
3. **Movimientos Paralelos al Plano Transversal (Horizontal) y Alrededor de un Eje Vertical**
- **Rotación de izquierda a derecha:** Rotación de la cabeza o cuello, de tal forma que el aspecto anterior gire hacia la izquierda o a la derecha respectivamente.
 - **Rotación lateral o externa:** El aspecto anterior de un hueso o segmento (muslo, brazo superior, extremidad superior o inferior como una unidad entera) gira fuera de la línea media del cuerpo.
 - **Rotación medial o interna:** El aspecto anterior de un hueso o segmento gira hacia la línea media del cuerpo.
 - **Supinación:** Movimiento de rotación lateral sobre el eje del hueso del antebrazo, por virtud del cual se vuelve hacia adelante la palma de la mano.
 - **Pronación:** Movimiento de rotación medial sobre el eje del hueso del antebrazo, de manera que la palma de la mano es volteada de una posición anterior a una posición posterior.
 - **Reducción de la rotación lateral, rotación medial, supinación, o pronación:** Rotación del segmento hacia su posición medial original.

Movimientos en un Plano Oblicuo y Alrededor de un Eje Oblicuo. Concepto: Representan movimientos en planos intermedios oblicuos o diagonales. Por ejemplos, entre los planos sagital y frontal, entre los planos sagital y transversal, y entre los planos frontal (coronal) y transversal. Los ejes son oblicuos o diagonales y perpendiculares al plano inter medio oblicuo o diagonal (mencionados en los ejemplos arriba) a través del cual se lleva a cabo el movimiento.

Ejemplos.

- El servicio (saque) de tenis.
- La patada en el estilo de pecho en natación.
- Encucillarse por completo ("quats"), llevando los talones juntos y las rodillas separadas.
- Circunducción: Una secuencia ordenada de movimientos del hueso o segmento (que ocurre en el plano intermedio oblicuo o diagonal, i.e., entre los planos sagital y frontal), de manera que el extremo distal (mas lejos de la articulación) de dicho hueso o segmento describa un círculo y sus lados un cono.

Otros Movimientos Articulares Especiales:

- **Protracción:** Movimiento de una parte del cuerpo hacia adelante, en un plano transversal y alrededor de un eje sagital-horizontal.
- **Retracción:** Movimiento de una parte del cuerpo hacia atrás, en un plano transversal y alrededor de un eje sagital-horizontal.
- **Deslizamiento:** Movimiento que resulta cuando una superficie resbala sobre otra, sin que posea un plano o eje particular.

CAPÍTULO III: BIOMECAÁNICA Y ANATOMIA FUNCIONAL DEL SISTEMA MUSCULAR.

ESTRUCTURA DE LOS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS. ARQUITECTURA DE LOS MÚSCULOS. NUTRICIÓN Y VASCULARIZACIÓN. CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS. INERVACIÓN MUSCULAR. ACCIÓN MUSCULAR. CONTRACTILIDAD Y TONO. CLASIFICACIÓN DE LAS FUERZAS.

CONSIDERACIONES GENERALES

El cuerpo tiene alrededor de 600 músculos. Las **células musculares** están dispuestas en hilos elásticos agrupados en paquetes, varios de los cuales juntos constituyen un músculo. Estas células comparan con el motor de un automóvil dándole movimiento al cuerpo. Los músculos esqueléticos, conjuntamente con los huesos y el tejido conectivo, dan forma al cuerpo y unidos a los tendones dan movimiento a los huesos. Todos los músculos están cubiertos por una **capa de tejido conectivo** que se llama **aponeurosis**. Los terminales de estos tejidos forman un cordón grueso al cual se le da el nombre de **tendón**. Los tendones están adheridos a los huesos. Éstos poseen una capa revestida de membrana sinovial que permite un movimiento giratorio suave.

Sobre las partes movibles donde se ejerce presión en el cuerpo hay una estructura en forma de saco, cubierta también por una membrana sinovial y la cual se llama **bursa**. La inflamación de la bursa se conoce como **bursitis**.

Los músculos son elásticos, esto quiere decir que tienen la propiedad de expandirse y contraerse. Funcionan en pares (agonistas y antagonistas), de manera que en cada movimiento que realizamos usamos un par de músculos. Los músculos se mueven a nivel de las articulaciones por la contracción y relajación de los músculos que se insertan en ellas. Los huesos largos, en particular, forman un neto armazón de palancas. Los músculos esqueléticos insertos en ellos se contraen para accionar estas palancas. Cuando un músculo se contrae, se acorta.

Esto conduce a la aproximación de los dos cabos. Como los dos cabos se insertan, por medio de tendones, en huesos diferentes, deben moverse uno u otro de los huesos. Los nervios localizados en los músculos dirigen los movimientos y los vasos sanguíneos proveen la alimentación local.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÚSCULOS: El cuerpo se compone de tres tipos de músculos, a saber, esqueléticos o voluntarios, lisos o involuntarios y cardíaco .

- **Voluntarios (esqueléticos o estriados).** Formados por células largas estriadas adheridas al esqueleto óseo que mueve sus partes. Estos músculos están controlados por nuestra voluntad.
- **Involuntarios (lisos).** Compuestos por células en forma de huso (agujetas o bastonsillo). Se encuentran en los órganos internos, principalmente en el estómago, intestinos y paredes de los vasos sanguíneos. Estos músculos trabajan automáticamente y no son controlados por la voluntad del individuo.
- **Músculo cardíaco.** Su estructura especial estriada se encuentra solamente en el corazón. No está controlado por voluntad y es automático.

FUNCIONES GENERALES. Importantes Funciones de los Músculos Esqueléticos: Básicamente, los músculos esqueléticos de nuestro organismo sirven tres funciones, a saber movilidad, capacidad energética y mantenimiento de la postura.

- **Movimientos.** Las contracciones de los músculos esqueléticos producen movimientos del cuerpo como una unidad global (locomoción), así como de sus partes.
- **Producción de calor.** La actividad muscular constituye una de las partes más importantes del mecanismo para conservar la homeostasia de la temperatura.
- **Postura.** La contracción parcial continua de diversos músculos esqueléticos hace posible levantarse, sentarse y adoptar otras posiciones sostenidas del cuerpo.

CARACTERÍSTICAS DEL TEJIDO MUSCULAR: El tejido muscular posee las propiedades fundamentales de excitación, contractilidad, extensibilidad y elasticidad

- La **excitación** se refiere a la capacidad de un tejido muscular para recibir estímulos (cambios externos o internos de intensidad suficiente para originar un impulso nervioso) y responder a ellos.
- La propiedad de **contractilidad** que poseen los músculos esqueléticos se refiere a la capacidad del músculo para acortarse y engrosarse cuando recibe un estímulo de intensidad adecuada. Esta es la propiedad única que posee solamente el tejido muscular. La fibra muscular promedio puede acortarse hasta aproximadamente la mitad de su longitud en reposo.
- El músculo esquelético tiene la capacidad para distenderse, puede estirarse como una banda elástica. Esto se conoce como la propiedad de **extensibilidad**. El músculo puede ser estirado hasta que adquiera una longitud que represente la mitad de su largo normal en reposo.

- La **elasticidad** representa aquella habilidad del músculo para regresar a su longitud/forma original (normal) en reposo después de experimentar contracción o extensión. Los tendones (extensiones del tejido conectivo del músculo) poseen también esta propiedad.

UNIONES MUSCULARES. Consideraciones Preliminares: Los músculos esqueléticos se encuentran adheridos a los huesos por medio de su **tejido conectivo**. El tejido conectivo se extiende más allá del vientre muscular en la forma de un tendón (un cordón fibroso redondeado o una banda plana) o una aponeurosis (una lámina delgada, aplanada y fibrosa). Los músculos esqueléticos producen movimiento al halar/tirar hacia ellos de los tendones y huesos. La mayoría de los músculos esqueléticos se disponen sobre una articulación, y se fijan a los dos huesos que participan. Al contraerse, en consecuencia, el acortamiento hace tracción de ambos huesos, y esta tracción mueve uno de los huesos de la articulación (lo acerca al otro hueso).

Los músculos se fijan a los huesos en aquellos puntos en que pueden dar mayor movimiento, quedando un extremo adherido a un hueso de mayor movimiento y el otro a uno de menor movimiento. El extremo de menor movimiento durante la contracción se conoce como **origen** y el de mayor movimiento como **inserción**. También se fijan a cartílagos, ligamentos, tendones, la piel y a veces a otros músculos. Cuando el músculo se contrae ejerce la misma fuerza sobre las dos uniones y trata de halarlas una hacia la otra. El factor determinante para establecer la inserción y el origen es el propósito del movimiento.

Los dos o más huesos que participan en una articulación no se mueven por igual como respuesta a la contracción muscular, sino que uno de ellos permanece prácticamente en su posición original porque otros músculos se contraen y tiran de él en la dirección contraria, o porque su estructura hace que sea menos móvil.

Origen: El origen representa aquella unión muscular que trabaja como un punto de apoyo inmóvil. Básicamente el origen se caracteriza por la estabilidad o poca movilidad. La unión más fija del músculo (el punto de adherencia íntima de un tendón al hueso que permanece más estático al tirar) que sirve como base de acción. En otras palabras, es el extremo de adherencia a un hueso del músculo que presenta menor o ninguna movilidad al contraerse y halar/tirar.

El origen también se caracteriza por la proximidad de las fibras musculares al hueso. Esta unión es normalmente el punto de adherencia/unión más íntima de un tendón muscular al hueso (se observa particularmente en las extremidades inferiores y superiores).

Inserción: La inserción representa la unión distal, especialmente en las extremidades inferiores y superiores. Además, comúnmente es el extremo opuesto, donde el hueso en el cual el músculo se inserta generalmente es aquel que produce los efectos del movimiento.

CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS

Los músculos pueden clasificarse a base de su tamaño, forma y disposición de las fibras musculares. Bajo estas categorías, encontramos músculos longitudinales, cuadrados, triangulares, fusiformes, unipeniformes, bipeniformes y multipeniformes.

1. **Longitudinal (o Paralelo):** Los músculos longitudinales se caracterizan por ser largos y en forma de tira. Las fibras musculares de estos tipos de músculos se orientan paralelas a su eje longitudinal y terminan en cada extremo de los tendones planos. Ejemplos en el cuerpo encontramos el **recto mayor del abdomen** (frente al abdomen) y el **sartorio**, el cual cruza diagonalmente el frente del muslo.
2. **Cuadrado (o Cuadrilátero):** Estos tipos de músculos esqueléticos poseen cuatro lados, son normalmente planos y consisten de fibras paralelas. El **pronador cuadrado** (frente a la muñeca) y el **músculo romboide** (entre la espina dorsal y la escápula) son ejemplos de músculos cuadrados.
3. **Triangular (en Abanico o Convergente):** Los músculos bajo esta clasificación son comúnmente planos. Sus fibras musculares irradian desde una unión (inserción) estrecha en un extremo hasta otra unión (origen) más ancha. Algunos ejemplos son el **pectoral mayor** (frente al pecho) y el **delfoide posterior** (en el hombro).
4. **Fusiforme (en Forma de Huso o Bastoncillo):** Estos músculos esqueléticos poseen una forma redondeada, estrechándose en sus extremos. El **braquial anterior** y el **supinador largo** son ejemplos de este tipo de clasificación.
5. **Unipeniforme (o monopeniforme):** Todos los músculos unipeniformes tiene una serie de fibras cortas, paralelas y en forma de pluma se extienden diagonalmente desde un solo lado de un tendón largo central. Estos músculos poseen un aspecto similar a la mitad de una pluma de ave. Algunos ejemplos que se incluyen bajo la clasificación de los músculos unipeniformes son el **extensor común de los dedos del pie** y el **tibial posterior**.
6. **Bipeniforme:** Las fibras de estos tipos de músculos nacen y se extienden diagonalmente en pares desde ambos lados de un tendón localizado en el centro. El músculo tiene la apariencia de una cola de pluma simétrica

(músculo unipeniforme doble). El **flexor largo del hallux** (dedo gordo del pie) y el **recto anterior del muslo** son ejemplo de esta categoría muscular.

7. **Multipeniforme:** Los músculos esqueléticos multipeniformes se caracterizan por la presencia de varios tendones. Sus fibras musculares corren diagonalmente y convergen (en una forma compleja) entre los muchos tendones presentes. Uno de los mejores ejemplos es la porción media del músculo deltoide (localizado en el hombro y brazo superior).

EFFECTO DE LA ESTRUCTURA MUSCULAR SOBRE LA FUERZA Y LA AMPLITUD DE LA ACCIÓN MUSCULAR

1. **Fuerza Muscular:** a fuerza muscular se encuentra determinada por la sección transversal fisiológica y la disposición de las fibras musculares
2. **Sección transversal fisiológica de un músculo.** Representa una medida que toma en cuenta el diámetro de cada fibra muscular y cuyo tamaño depende del número y espesor de las fibras musculares. La sección transversal fisiológica de un músculo debe cortar a través de cada fibra de éste. En un músculo fusiforme con una disposición paralela de sus fibras musculares, la sección transversal fisiológica corresponde a un corte transversal del tronco/cuerpo muscular. En un músculo unipeniforme con una disposición diagonal de sus fibras musculares, la sección transversal fisiológica se determina mediante cortes múltiples en ángulos rectos (perpendiculares) a las fibras hasta que todas estén incluidas.
3. **La disposición de las fibras musculares.** Un músculo peniforme del mismo grosor que un músculo longitudinal tiene la capacidad de ejercer una mayor fuerza que éste último. Esto se debe a que el arreglo oblicuo de las fibras en las diversas clasificaciones del músculo peniforme permite que se acomoden un mayor número de fibras y, por lo tanto, éstos poseen una mayor sección transversal fisiológica que un músculo de tamaño comparable en otra clasificación. Los músculos peniformes son el tipo de músculos esqueléticos más comunes y predominantes cuando se requieren movimientos fuertes.
4. **Amplitud de la Acción de la Fibra Muscular** Esto se refiere al grado de recorrido entre las longitudes máximas y mínimas de una fibra muscular. La elongación varía proporcionalmente con el largo de las fibras e inversamente con su sección transversal fisiológica. Los factores que afectan el grado de amplitud a través del cual un músculo puede acortarse en largo y de la disposición de sus fibras musculares.
5. **El largo/longitud de las fibras musculares.** Por ejemplo, aquellos músculos largos que poseen fibras orientadas longitudinalmente a través del eje muscular (el sartorio) pueden ejercer una fuerza a través de una mayor distancia en comparación con los músculos que poseen fibras más cortas (músculos peniformes).

6. **La disposición de las fibras musculares.** Los músculos peniformes poseen fibras oblicuas cortas, lo cual solo permite ejercer una fuerza a través de un recorrido/distancia reducido, una menor amplitud del acortamiento muscular en comparación con los músculos longitudinales.

FUNCIÓN DE LOS MÚSCULOS ESQUELÉTICOS

1. **Línea de Tracción del Músculo:** La línea de tracción de un músculo representa la dirección (en conformidad con la estructura y eje articular) a través del cual el músculo hala/tira la palanca ósea (o extremidad corporal), resultando en algún tipo de movimiento articular.
2. **Factores que Determinan el Tipo de Movimiento Articular Que los Músculos Producen al Contraerse** Básicamente, se refiere al tipo de articulación por la cual pasa la línea de acción del músculo (o la relación de la línea de acción de un músculo al eje de movimiento de la articulación).

Algunos ejemplos de esto son los siguientes:

- La contracción de un músculo cuya línea de tracción es directamente anterior a la articulación de la rodilla puede causar que dicha articulación se extienda.
- La contracción de un músculo cuya línea de tracción es anterior a la articulación del codo puede causar que dicha articulación flexione.
- Un músculo cuya línea de acción es lateral a la articulación de la cadera es un abductor potencial del muslo.
- Los músculos cuyas líneas de tracción son laterales a la articulación del humero ulnar (codo) no puede causar abducción del antebrazo debido a que este tipo de articulación esta clasificado bajo gínglimo, cuyo único eje de movimiento es el frontal-horizontal, y los únicos movimientos posibles son flexión y extensión.

Importancia de la Relación entre la Línea de Acción de un Músculo y el Eje de Movimiento Permitido por la Articulación. Esto se observa particularmente en aquellos músculos que actúan sobre articulaciones triaxiales. En otros casos particulares, la línea de tracción de un músculo para uno de sus movimientos secundarios se traslada desde un lado del centro de movimiento articular hasta el otro durante el recorrido del movimiento. Un ejemplo es la porción clavicular del pectoral mayor. Comúnmente, este tipo de músculo actúa principalmente como un flexor. También aducta el húmero (brazo superior). Estas funciones pueden invertirse bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo, cuando el brazo se eleva lateralmente hasta una posición levemente sobre el nivel del hombro, la línea de tracción de algunas de las fibras de la porción clavicular se traslada desde su posición inferior a otra ubicada sobre el eje sagital-horizontal de la articulación del

hombro. La contracción de estas fibras en dicha posición (sobre el centro de la articulación del hombro) contribuye a la abducción del húmero, en vez de su aducción.

Clasificación de los Músculos a Base de la Estructura Articular.

Los músculos se pueden agrupar conforme a la relación existente entre la línea de tracción/acción muscular y la estructura/tipo de articulación. En otras palabras, los músculos pueden clasificarse de acuerdo al tipo de movimiento articular que permite la articulación. A continuación se describen diversos tipos de acortamientos musculares cuya línea de tracción/acción producen el siguiente movimiento articular:

<ul style="list-style-type: none"> • Flexión: Se llaman flexores. • Extensión: Se llaman extensores. • Abducción: Se llaman abductores. • Aducción: Se llaman aductores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación: Se llaman rotadores. • Supinación: Se llaman supinadores. • Pronación: Se llaman pronadores.
--	---

Determinantes. Existen ciertos factores o condiciones/circunstancias que alteran el involucramiento del músculo en la acción articular (afectando también la clasificación nominal muscular en base a dicha acción de las articulaciones). Estos son, a saber:

- No siempre la línea de tracción del músculo es responsable de los movimientos permitidos por la articulación relacionada. Por ejemplo, el bíceps braquial se clasifica usualmente como un flexor y supinador del antebrazo. La realidad es que estudios electromiográficos muestran que el bíceps posee poca, si alguna, función en la flexión del antebrazo desde la posición de pronación, o supinación del antebrazo extendido a menos que los movimientos sean resistidos.
- La posición inicial de la articulación.
- La dirección del movimiento.
- La velocidad del movimiento.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÚSCULOS A BASE DE LA ESTRUCTURA ARTICULAR

Ejes Articulares Diartrodiales	Músculos
<ul style="list-style-type: none"> • Uniaxial: <ul style="list-style-type: none"> ○ Gínglimo 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación correspondiente: <ul style="list-style-type: none"> ○ Flexores y Extensores

<ul style="list-style-type: none"> ○ Trocoide 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rotadores
<ul style="list-style-type: none"> • Biaxial: <ul style="list-style-type: none"> ○ Condilar ○ Ensilla de Montar 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación correspondiente: <ul style="list-style-type: none"> ○ Flexores; Extensores; Abductores; Aductores. ○ Flexores; Extensores; Abductores; Aductores
<ul style="list-style-type: none"> • Triaxial: <ul style="list-style-type: none"> ○ Enartrosis 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación correspondiente: <ul style="list-style-type: none"> ○ Flexores; Extensores; Abductores; Aductores; Rotadores

Tipos de Contracciones Musculares El músculo esquelético posee la capacidad de generar tensión por medio de una acción muscular particular, una forma o tipo de contracción. Las diversas maneras en que el músculo lleva a cabo una contracción puede o no resultar en un movimiento articular; esto dependerá del tipo de contracción.

Concéntrica (acortamiento). Descripción/Concepto: Literalmente significa "hacia el medio". En este tipo de contracción, el músculo desarrolla una tensión suficiente para superar una resistencia o para mover un segmento corporal al acortarse. En una contracción muscular concéntrica, cuando un músculo desarrolla tensión ejerce una tracción (hala) en ambas uniones óseas.

Ejemplos

- **Abducción del brazo.** Mientras se levanta el brazo lateralmente, el abductor del músculo del hombro se acorta con el fin de vencer la resistencia (fuerza de gravedad) del brazo; como resultado, ocurre acortamiento del músculo lo que provoca que hale/tire el extremo de la palanca ósea donde está la inserción de dicho músculo, mientras que el otro extremo de la unión muscular (origen) se estabiliza.
- **Llevando a la boca un vaso de agua desde la mesa.** En este movimiento el biceps braquial se contrae concéntricamente, donde la resistencia es el peso del brazo y del vaso de agua, y la fuente de resistencia es la fuerza de gravedad.

Excéntrica (alargamiento): Descripción/Concepto: Literalmente significa "fuera del medio". El músculo lentamente se alarga mientras cede a una

resistencia/fuerza externa mayor que la tensión/fuerza de contracción ejercida por el músculo. En la contracción excéntrica, el músculo se alarga mientras mantiene una tensión activa. Es importante aclarar que en la mayoría de los casos el músculo no se alarga. En realidad, el músculo retorna a su longitud normal en reposo luego de haberse acortado (contraído). En la mayoría de las contracciones excéntricas, los músculos actúan como un "freno" o fuerza resistiva contra el movimiento de la fuerza de gravedad u otras fuerzas externas. Esto se conoce como **trabajo negativo** de los músculos.

Ejemplo

- **Aducción del brazo.** El músculo abductor del hombro se contrae excéntricamente al descender lentamente el brazo desde una posición inicial de abducción.

Isométrica (estática, tónica). Descripción/Concepto: En términos literales quiere decir "igual medida". Una contracción isométrica es aquella cuyo músculo experimenta una tensión muscular durante una contracción parcial o completa sin cambio perceptible en su longitud. En este tipo de acción muscular, tanto las palancas óseas distales como proximales se encuentran fijas y no acontece ningún movimiento visible del músculo cuando desarrolla tensión activa.

Ejemplos Las condiciones bajo las cuales ocurre la contracción isométrica se describen a continuación:

- Contracción simultánea de los músculos antagonistas (músculos que pueden causar el movimiento articular opuesto al movimiento ejecutándose por el agonista): Los músculos que son antagonistas uno al otro se contraen con la misma fuerza, lo cual resulta en un equilibrio o neutralización entre ambos. La parte afectada se tensa, pero no produce movimiento. Por ejemplo, tensando el bíceps para mostrar su "mollero". La contracción del tríceps evita la flexión del codo.
- Contracción parcial o máxima del músculo contra otra fuerza/resistencia (como podría ser la fuerza de gravedad, un mecanismo externo o una fuerza muscular): Por ejemplo, 1) sostener un brazo con el brazo estirado; 2) el juego de tirar la soga entre dos adversarios en cada extremo de la soga, teniendo ambos oponentes la misma fuerza y 3) tratando de mover un objeto muy pesado para poder ser movido.

Isotónica. Descripción/Concepto: Literalmente significa "igual tensión". Teóricamente, en una contracción isotónica el músculo desarrolla y mantiene una tensión constante mientras se acorta o alarga. En la vida diaria o práctica deportiva, ningún músculo es capaz de generar una misma tensión muscular a través de su arco de movimiento, a menos que se empleen equipos especiales.

Debido a esto, el término isotónico ha sido sustituido por el de **dinámico**. Este concepto se describe como aquel tipo de contracción muscular que genera movimiento, el cual incluye una combinación de las contracciones concéntricas y excéntricas.

LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD Y OTRAS FUERZAS EXTERNAS SOBRE LA ACCIÓN MUSCULAR

Dirección de los Movimientos del Cuerpo o sus Segmentos con Respecto a las Fuerzas Gravitacionales: El movimiento de un segmento corporal (o del cuerpo) puede ejecutarse en las siguientes tres direcciones:

- **Hacia abajo:** En dirección a las fuerzas gravitacionales.
- **Hacia arriba:** En dirección opuesta a las fuerzas gravitacionales.
- **Horizontal:** Perpendicular a la fuerza de gravedad.

Identificando la Naturaleza de la Función Muscular para Cualquier Movimiento Corporal/Articular: A continuación se enumeran los factores que afectan/influyen en el tipo de músculo utilizado en el movimiento articular particular:

- Dirección del movimiento.
- Velocidad del movimiento.
- Si el movimiento se lleva a cabo con alguna resistencia externa.

Propósito de los Músculos al Contraerse: Los músculos esqueléticos producen una contracción para poder cumplir con la demanda impuesta, generar la tensión y fuerza necesaria para mover un segmento corporal (o el cuerpo en su totalidad) en una dirección dada (hacia arriba, abajo u horizontal). Específicamente, la acción muscular será necesaria para:

- **Proveer la fuerza que se requiere para llevar a cabo un movimiento:** Por ejemplo, en una contracción concéntrica sería levantar un maletín del suelo.
- **Resistir y controlar un movimiento:** Comúnmente esto ocurre durante una contracción excéntrica. Por ejemplo, lentamente bajar un maletín al piso.

Los Músculos pueden estar completamente Relajados: Si en vez de bajar lentamente el brazo, se deja caer, entonces no habrá una acción muscular. En otras palabras, si se ejecuta una acción de trabajo negativo (a favor de la fuerza de gravedad), donde el segmento corporal se deja caer, no será necesario que el músculo ejerza una tensión de naturaleza excéntrica puesto que este movimiento

negativo no es resistido ni controlado. Por ejemplo, En un movimiento lento y resistido, durante la aducción del húmero (trabajo negativo) los músculos motores primarios (aductores) se contraen excéntricamente al descender lentamente el brazo. Sin embargo, existe una ausencia de acción muscular (no se activan los músculos aductores) cuando el brazo se deja caer hacia el lado (movimiento de aducción).

Movimientos Donde se Utilizan los Mismos Músculos: Se utilizan los mismos músculos esqueléticos motores tanto durante un movimiento lento y controlado a favor de la fuerza de gravedad (hacia abajo, trabajo negativo) como en una contracción concéntrica que ejecuta el movimiento opuesto hacia arriba (en contra de la fuerza de gravedad). Por ejemplo, el movimiento de bajar lentamente el antebrazo desde una posición flexionada a una de extensión es controlado por la contracción excéntrica de los flexores de la articulación humero ulnar (codo). Bajo esta circunstancia, los mismos músculos (flexores del codo) son utilizados en la contracción concéntrica para flexionar el codo. En otro ejemplo, durante un movimiento violento hacia abajo (golpear la mesa) se utilizan los extensores del codo en contracción concéntrica en el mismo movimiento de la extensión del codo.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÚSCULOS SEGUN SU FUNCIÓN

Los músculos esqueléticos también se pueden clasificar según su función. Bajo esta agrupación, tenemos músculos que son agonistas, antagonistas, estabilizadores y neutralizadores.

Agonistas o Motores. Descripción/Concepto: Representa aquellos músculos esqueléticos responsables directamente en producir el movimiento articular. En otras palabras, la función de los músculos agonistas es la de mover el segmento corporal específico. Esto se puede llevar a cabo mediante una contracción concéntrica, excéntrica o dinámica. Si un músculo se contrae concéntricamente, se dice que es agonista de las acciones articulares que resultan de dicha contracción. Por ejemplo, el tríceps braquial es un agonista de la extensión del codo.

Tipos de músculos motores o agonistas

- **Motores primarios:** Son los músculos motores más efectivos e importantes para realizar el movimiento articular observado.
- **Motores accesorios (o auxiliares):** Representa aquellos músculos motores que ayudan a ejecutar un movimiento, pero que son menos efectivos o importantes, o se contraen solamente bajo ciertas circunstancias.

- **Músculos de emergencia:** Son músculos motores accesorios que solo entran en acción cuando se necesita una fuerza total de magnitud excepcional (una fuerza adicional). Por ejemplo, cuando un movimiento se ejecuta contra una resistencia.

Músculos Fijadores, Estabilizadores o Sostenedores. Descripción/Concepto: Son aquellos músculos que se contraen estáticamente para fijar/afirmar, estabilizar o sostener un hueso o parte del cuerpo contra la tracción de los músculos que se contraen, contra la tracción de la fuerza de gravedad, o contra cualquier otra fuerza que interfiere con el movimiento deseado, de manera que otro músculo activo tenga una base firme sobre la que puede ejercer tracción y efectuar dicho movimiento deseado.

Función primordial: Estos tipos de músculos tienen la principal función de estabilizar o fijar uno de los dos extremos en el cual se inserta/adhiere al hueso el (los) músculo(s) que contrae (n) (agonistas), de manera que solo se ejecute el movimiento deseado en otro extremo del hueso donde se inserta músculo. Solamente estabilizando una de las uniones del músculo al hueso es que éstos podrán producir un movimiento efectivo/deseado sobre la otra unión del músculo al hueso. El término sostenedor es el utilizado cuando la extremidad o el tronco deben ser sostenidos contra la tracción de gravedad mientras un segmento distal como la mano, pie o cabeza, se encuentra empleada en el movimiento principal.

Ejemplos

El músculo se contrae para estabilizar o fijar la unión del músculo al hueso (sosteniéndola en acción), de modo que se produzca más eficazmente el movimiento principal en el hueso que tiene su otra unión. En un ejemplo específico, si queremos que el húmero lleve a cabo un movimiento de aducción eficiente y sin problemas, debe de estabilizarse la escápula.

La razón de esto es que uno de los motores primarios encargados para la aducción del humero es el redondo mayor, pero éste también se emplea para rotar la escápula hacia arriba (rotación ascendente) desde su unión/inserción en el extremo adyacente proximal (posteriormente sobre el tercio inferior del borde lateral de la escápula y justo en una posición superior al ángulo inferior). En otras palabras, el redondo mayor posee una doble acción, una sobre el humero (aducción) y otra sobre la escápula (rotación hacia arriba o ascendente). Si el objetivo es simplemente la aducción del húmero, entonces debe de entrar en acción un estabilizador que evite la rotación de la escápula. Para esto, la escápula debe ejecutar un movimiento de aducción (retracción) y rotación hacia abajo o descendente (depresión). Esta sería la función de los aductores (romboides y las porciones/fibras mediales/intermedias e inferior del trapecio) y rotadores hacia

abajo (romboides y la porción/fibras inferior/descendente del trapecio) de la escápula.

En términos prácticos, si una persona extiende el brazo hacia delante, para abrir por tracción una puerta que se resiste, debe estabilizar sus partes corporales para vencer la resistencia. En este caso, la escápula debe ser estabilizada para poder utilizar los músculos que flexionan el codo.

Neutralizadores. *Descripción/Concepto* Los neutralizadores son aquellos músculos que se contraen para contrarrestar, prevenir, "descartar" o neutralizar una acción no deseable de uno de los músculos motores que se contraen.

Ejemplo Si un músculo flexiona y abducta, pero solo flexión es el movimiento deseado, un aductor se contrae para neutralizar la acción abductora del músculo motor.

Neutralizadores mutuos o sinergistas concurrentes Los músculos sinergistas son aquellos que actúan con algún otro músculo o músculos como parte de un equipo. Un músculo sinérgista concurrente son dos músculos motores que pueden ejercer una acción muscular común. Por separado, dichos músculos realizan una función secundaria antagonista entre ambos. Estos dos músculos se contraen simultáneamente (actúan al unísono) para producir la acción común deseada, ya que contrarrestan o neutralizan sus respectivas acciones secundarias o indeseables.

Por ejemplo, un músculo puede rotar hacia arriba y adductar mientras que el otro puede rotar hacia abajo y adductar. Cuando estos dos músculos se contraen al mismo tiempo con el fin de provocar la aducción, sus funciones rotatorias se contrarrestan o neutralizan una a la otra. Como resultado, el movimiento indeseado se "descarta" (sus funciones rotatorias) y la acción común deseada (aducción) se ejecuta.

Utilizando otro ejemplo a nivel de los músculos en la cintura escapular, tenemos que si deseamos que la escápula ejecute solamente un movimiento de aducción (retracción), entonces habrá que neutralizar los efectos de rotación escapular (ascendente y descendente) que ejecutan tanto los músculos trapecio como el romboides, respectivamente. Ambos músculos son motores mutuos y neutralizadores. Como músculo aislado, las acciones del trapecio (sus fibras intermedias y descendentes) es la aducción (retracción) y rotación hacia arriba (rotación ascendente) de la escápula, mientras que el romboides adducta la escápula y la rota hacia abajo (rotación descendente o depresión). Si ambos músculos se contraen simultáneamente, entonces se neutraliza o cancela la acción de rotación escapular, de manera que solo se pueda ejecutar la aducción de la escápula.

Músculos Antagonistas (o Contralaterales) Descripción/Concepto Estos son músculos cuya contracción tiende a producir una acción articular exactamente opuesta (y sitio opuesto) a alguna acción articular determinada de los músculos motores o agonistas.

Ejemplos Durante la flexión a nivel de la articulación humero ulnar (codo), el agonista o motor primario es el bíceps braquial, puesto es el que se contrae y ejerce el movimiento. Por el otro lado, el antagonista/contralateral es el tríceps braquial, ya que es el que se relaja (acción opuesta al agonista). Por el contrario, cuando se extiende el codo, el agonista es tríceps braquial porque es el que se contrae y efectúa el movimiento articular de extender el codo. Entonces, el antagonista sería el bíceps braquial debido a que es el que se relaja en dicho movimiento (acción opuesta al tríceps). Cuando un segmento del cuerpo se mueve mediante un esfuerzo muscular, los músculos que se contraen son los agonistas/motores en contracción concéntrica. Cuando el movimiento de un segmento corporal se afecta por la fuerza de gravedad y resistido por la fuerza muscular, los músculos que se contraen son antagonistas en contracción excéntrica.

Cocontracción: Representa aquella contracción que ocurre cuando se contraen simultáneamente los músculos agonistas/motores y antagonistas/contralaterales. Consecuentemente, no habrá un movimiento articular. Comúnmente esto ocurre durante una contracción isométrica (estática) en espasmos musculares.

CAPÍTULO IV: TRABAJO, POTENCIA Y ENERGIA.

DEFINICIONES. TIPOS. ESTÁTICA. DEFORMIDADES. VISCO ELASTICIDAD.

Trabajo. Concepto: Trabajo es el producto de la cantidad de fuerza aplicada y la distancia a través de la cual la fuerza actúa para contrarrestar su resistencia.

Ecuación/Fórmula: Trabajo realizado por un cuerpo desplazándose en un movimiento lineal:

$$T = F \times d$$

donde:

T = Trabajo realizado
 F = Fuerza aplicada por el objeto o cuerpo
 d = Distancia que recorre la aplicación de la fuerza

Unidades de Medida/Expresión: La unidad de medida empleada para expresar cálculos de **Trabajo** incluyen la combinación de una unidad de fuerza con una unidad de distancia. En el sistema Inglés se conocen los: *Pies-Libras (pies-lbs)*. Por el otro lado, en el sistema métrico son comunes los *Julios (J)*. 1 julio equivale a $10^2 \times 1$ gramo de fuerza ejercido a través de 1 centímetro.

Ejemplos: A continuación se presentan dos ejemplos que ilustran la estimación de **Trabajo** mediante la exposición de dos problemas.

PROBLEMA # 1: Problema: Determinar el trabajo requerido para levantar un maletín del piso que pesa 20 libras para colocarlo en una mesa ubicada a 5 pies del suelo.

Dado:

$$F = 20 \text{ lbs}$$

$$d = 5 \text{ pies}$$

$$T = F \times d$$

Conocido:

Solución

$$T = F \times d$$

$$T = d \times F$$

$$T = 5 \text{ pies} \times 100 \text{ lbs}$$

$$T = 100 \text{ pies-lbs}$$

PROBLEMA # 2:

Determinar el trabajo realizado cuando se aplica una fuerza de 20 libras a lo largo de un plano inclinado que mide 10 pies con una distancia vertical de 5 pies.

Dado:

$$F = \text{Fuerza requerida para contrarrestar la resistencia} = 20 \text{ lbs}$$

$$p = \text{Plano de inclinación} = 10 \text{ pies}$$

$$d = \text{Distancia vertical} = 20 \text{ lbs}$$

Conocido:

$$T = F \times d$$

Solución:

$$T = F \times d$$

$$T = 20 \text{ lbs} \times 5 \text{ pies}$$

$$T = 100 \text{ pies-lbs}$$

Tipos de Trabajo: Dependiendo de la dirección (a favor o en contra de la fuerza de gravedad) en que se lleva a cabo el trabajo, éste puede ser positivo o negativo.

Trabajo positivo. Es aquel trabajo efectuado en la misma dirección en que el cuerpo se mueve. Por ejemplo, durante la acción muscular concéntrica de los

músculos extensores de las piernas para colocarse de pie desde una posición en cuclillas (rodillas flexionadas). En esta situación, los músculos extensores de la pierna se contraen concéntricamente, a favor de la fuerza de gravedad. El cuerpo se mueve en la misma dirección que los músculos extensores contrayéndose concéntricamente.

Trabajo negativo. Representa aquel trabajo realizado en dirección opuesta al movimiento del cuerpo. Esto se puede observar durante la acción muscular excéntrica involucrada por parte de los extensores de las piernas al flexionar las rodillas (encuclillarse). En este caso, los músculos extensores de la pierna se contraen excéntricamente para resistir el efecto de la fuerza de gravedad sobre el cuerpo. El cuerpo se mueve en una dirección opuesta a la fuerza de contracción excéntrica hacia arriba que ejercen los músculos de las piernas.

Trabajo Mecánico Realizado por un Músculo Individual La mejor manera para explicar el trabajo que puede ejecutar un músculo individual del cuerpo humano es a través de varios ejemplos. Primeramente, haremos un problema donde se conoce la fuerza aplicada por el músculo y luego en un caso donde no se conoce la fuerza.

CASO # 1: CUANDO SE CONOCE LA FUERZA EJERCIDA POR UN MÚSCULO. Problema: Determinar el trabajo (en pies-libras) efectuado por un músculo rectangular, 4 pulgadas de largo y 1 pulgada de ancho ejerciendo una fuerza de 66 libras mientras mueve angularmente una palanca ósea.

Dado:

$$F = 66 \text{ lbs}$$

Longitud de las Fibras Musculares en Reposo = 4 pulg.

d = Cantidad del acortamiento
 = Mitad de su longitud en reposo
 = 2 pulg.

Conocido:

$$T = F \times d$$

Acortamiento de la Fibra Muscular Promedio = de su Longitud en

Reposo

Fibras de un Músculo Rectangular Pequeño: Corren Todo el Largo del Músculo

12 pulg. = 1 pie

Solución:

$$T = F \times d$$

$$T = (66 \text{ lbs}) / (2 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}})$$

$$T = (66 \text{ lbs}) (6 \text{ pies})$$

$$T = 11 \text{ pies-lbs}$$

CASO # 2: CUANDO NO SE CONOCE LA FUERZA EJERCIDA POR UN MÚSCULO. **Problema:** Determinar el trabajo (en pies-libras) efectuado por un músculo rectangular, 4 pulgadas de largo y 1 pulgada de ancho ejerciendo una fuerza de 66 libras mientras mueve angularmente una palanca ósea.

Dado:

$$F = 90 \text{ lbs/pulg}^2$$

Grosor del Músculo = 0.5 pulg.

Ancho del Músculo = 1.5 pulg.

d = Mitad de su longitud del acortamiento en reposo = 2 pulg.

Conocido:

$$T = F \times d$$

$$F = \text{Sección Transversal Fisiológica (STF)} \\ = \text{Sección Transversal (ST) del Músculo}$$

$$\text{STF} = \text{Grosor del Músculo} \times \\ \text{Longitud} \# \text{ Líneas Cortan cada Fibra}$$

$$\text{ST} = \text{Ancho del músculo} \times \text{grosor del músculo.}$$

$$12 \text{ pulg.} = 1 \text{ pie}$$

Solución:

1. Buscar la sección transversal (ST) del músculo:

$$\text{ST} = 1.5 \text{ pulg} \times 0.5 \text{ pulg} \\ = 0.75 \text{ pulg}^2$$

2. Buscar la cantidad de fuerza ejercida por el músculo:

DADO:

$$\text{Fuerza (F) Promedio} = 90 \text{ lb/pulg}^2 \\ \text{Sección Transversal (ST)} = 0.75 \text{ pulg}^2$$

SOLUCIÓN:

$$F = 90 \text{ lb/pulg}^2 \times 0.75 \text{ pulg}^2 \\ = 67.5 \text{ lb}$$

3. Buscar la cantidad de trabajo efectuado por este músculo, primero en pulgadas-libras y luego en pies-libras:

TRABAJO EN: pulg-lb:

$$T = (67.5 \text{ lbs}) (2 \text{ pulg}) \\ = 135 \text{ pulg-lbs}$$

TRABAJO EN: pies-lb:

$$T = \frac{135 \text{ pulg-lbs}}{1} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}}$$

$$= 11.25 \text{ pies-lbs}$$

A continuación se discutirá el trabajo realizado por un músculo cuya longitud promedio de su fibra muscular se conoce y su sección transversal fisiológica (STF) se ha determinado:

ECUACIÓN/FÓRMULA:

En pulgadas-libras (pulg-lbs) es la siguiente:

$$T = 90 \times \text{STF (en pulg}^2) \times \text{Longitud de sus Fibras (en pulg)}$$

En pies-libras (pies-lbs) es la siguiente:

$$T = \frac{[90 \times \text{STF (en pulg}^2) \times \text{Longitud de sus Fibras (en pulg)]}{12 \text{ pulg}} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}}$$

Potencia. Concepto: Potencia representa la cantidad de trabajo realizado por una unidad de tiempo.

Ecuación/Fórmula La ecuación convencional de potencia es la siguiente:

$$P = \frac{F \times d}{t} \quad \text{ó} \quad P = \frac{T}{t}$$

donde:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{\text{Trabajo mecánico}}{\text{Tiempo}} = \text{Potencia realizada}$$

Tomando en consideración $\frac{d}{t}$ es una unidad de velocidad que v :

$$P = F \times v$$

Unidades de Medida/Expresión

Las unidades de medida de **Potencia** son una combinación de una unidad de trabajo con una unidad de tiempo:

Sistema Inglés. Las unidades de medida en el sistema inglés para Potencia incluyen las siguientes:

- **Pies-Libras por minuto (pies-lbs/min):** Es potencia (P) producida cuando la fuerza (F) constante de una (1) libra actúa sobre un cuerpo un objeto que se mueve verticalmente a lo largo de una distancia (d) de un (1) pie en un (1) minuto (min).
- **Caballo de fuerza (CF), caballo de vapor (CV) ó "horse power" (hp):** Representa aquel trabajo capaz de levantar/desplazar verticalmente un peso o masa de 75 kilogramos a la altura/distancia de un (1) metro (m) en el tiempo de un (1) segundo (seg). Es utilizado como una unidad de potencia mecánica.

Sistema métrico. Potencia se expresa en el sistema métrico con las siguientes unidades:

- **Vatio o Watt (W):** Es la potencia (P) producida por el paso de un (1) amperio de corriente que circula con una fuerza o presión electromotriz de un (1) voltio. Representa el trabajo realizado durante un (1) segundo capaz de producir/emitir la energía de un (1) Julio (J). Es la medida que describe la potencia eléctrica producida en un cicloergómetro electromecánico.

- **Kilopondio-metro por minuto (kpm/min):** Representa aquella fuerza (F) requerida para mover un resistencia, peso o masa de un (1) kilogramo a través de una distancia (d) de un (1) metro en un (1) minuto (min). Se utiliza para describir la cadencia de trabajo (potencia producida) en un cicloergómetro mecánico.

Las equivalencias métricas e inglesas son las siguientes:

$$1 \text{ kpm/min} = 7.23 \text{ pies-lb/min} = 0.16345 \text{ W} = 0.000219 \text{ hp}$$

$$1 \text{ kpm//seg} = 9.81 \text{ W}$$

$$1 \text{ pie-lb/min} = 0.1383 \text{ kpm/min} = 0.0226 \text{ W} = 0.00003 \text{ hp}$$

$$1 \text{ pie-lb/min} = 1.3559 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 6.118 \text{ kgm/min} = 44.236 \text{ pies-lb/min} = 0.001341 \text{ hp} = 1 \text{ J/seg}$$

$$1 \text{ hp} = 4,564.0 \text{ kgm/min} = 33,000.0 \text{ pies-lb} = 746.0 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 75 \text{ kpm/seg} = 550 \text{ pies-lbs/seg}$$

Energía. Concepto Podemos definir energía como la capacidad para hacer trabajo.

Características: Se dice que un cuerpo posee energía cuando éste pueda efectuar trabajo. Existen diferentes formas de energía, tales como calor, sonido, luz, eléctrica, química, atómica y mecánica. Una forma de energía puede ser convertida en otra forma. Por ejemplo, cuando una bola es golpeada por un bate, parte de la energía mecánica se convierte en energía de sonido y calor, pero nunca la energía se pierde. La energía no puede ser creada ni destruida (Ley de Conservación de la Energía). Esto implica que la cantidad total de energía que posee un cuerpo o un sistema aislado permanece constante.

Clasificación Existen fundamentalmente dos tipos de energía, a saber, la energía potencial y la energía cinética.

Energía potencial. Representa la capacidad que posee un cuerpo para realizar trabajo debido a su posición o configuración. Algunos ejemplos de energía potencial incluyen aquellas posiciones donde una masa o peso se encuentra levantada o en posición erecta, tal como un clavadista de pie en la plataforma, un arco y flecha listo para soltarse y un resorte/muelle comprimido. En todos estos casos, el cuerpo u objeto posee la capacidad para realizar trabajo.

Matemáticamente, la energía potencias es producto de la fuerza de un objeto posee y la distancia sobre la cual puede actuar. Su ecuación es la siguiente:

$$EP = m \times g \times h$$

donde:

EP	=	Energía	potencial
m	=	La masa	del cuerpo
g	=	Fuerza	de gravedad
h	=	La altura entre el centro de gravedad y la superficie sobre la cual caerá el objeto	

A continuación se presenta un ejemplo para la estimación de la energía potencial:

Problema: Determinar la Energía Potencial de un clavadista de pie en una plataforma de clavados.

Dado:

$$m = 150 \text{ lbs}$$

$$g = 150 \text{ lbs}$$

$$m \times g = 150 \text{ lbs (masa corporal del clavadista)}$$

Centro de Gravedad (CG): 20 pies sobre la superficie del agua

$$h = 20 \text{ pies}$$

Conocido:

$$EP = m \times g \times h$$

Solución:

$$EP = m \times g \times h$$

$$= 150 \text{ lbs} \times 20 \text{ pies}$$

$$= 3,000 \text{ pies-lb}$$

Energía cinética. Es aquella energía que resulta del movimiento. Esto implica que entre más rápido se mueva un cuerpo, mayor energía cinética posee. Además, cuando un cuerpo deja de moverse, su energía cinética se pierde. Su ecuación/fórmula matemática es la siguiente:

$$EC = \frac{1}{2} m \times v^2$$

donde:

EC = Energía cinética

m = La masa del cuerpo u objeto

v = Velocidad del cuerpo u objeto

CAPÍTULO V: BIOMECÁNICA Y ANATOMIA FUNCIONAL DE LA COLUMNA VERTEBRAL.

GENERALIDADES OSTEARTICULARES. PAPEL MECÁNICO DE LA COLUMNA. CURVATURAS FISIOLÓGICAS DEL RAQUIS. DISCOS INTERVERTEBRALES. AMPLITUD ARTICULAR DE LOS MOVIMIENTOS DE LA COLUMNA. MOVIMIENTOS DE LA COLUMNA. MÚSCULOS MOTORES

La columna vertebral es un tallo longitudinal óseo resistente y flexible, situado en la parte media y posterior del tronco desde la cabeza, a la cual sostiene hasta la pelvis, que la soporta, envuelve y protege la medula espinal, que está contenida en el conducto raquídeo.

La columna vertebral tiene como funciones primordiales:

- Servir de pilar central del tronco.
- Protector del eje nervioso.
- Puntos de unión para los músculos de la espalda y las costillas.

Tiene discos intervertebrales que soportan los impactos al realizar actividades como caminar, correr, saltar, movimientos de flexión y extensión.

La columna vertebral está dividida en cuatro porciones que son de arriba abajo:

- Columna cervical.
- Columna dorsal o torácico.
- Columna lumbar.
- Columna pélvica: Sacro y cóccix.

El número de vértebras está considerado como casi constante: 33 a 35, se encuentra 7 cervicales, el número de vértebras dorsales oscila entre 11 y 13, las lumbares entre 4 y 6 y las coccígeas entre 3 y 5.

Dimensiones: La columna vertebral mide por término medio 75/cm. de longitud, los diámetros antero posterior y transversal alcanzan sus mayores dimensiones a nivel de la base del sacro y disminuyen desde este punto hacia las dos extremidades.

Curvaturas: La columna vertebral no es rectilínea: La curvatura cervical es convexa hacia adelante, la dorsal es cóncava hacia adelante, la curvatura lumbar es convexa hacia adelante, la curvatura sacro coccígea tiene concavidad dirigida hacia adelante.

VERTEBRAS CERVICALES

1. El cuerpo, alargado transversalmente, mas grueso por delante que por detrás, presenta en su cara superior dos eminencias laterales, los ganchos o apófisis semilunares.
2. Los pedículos nacen de la parte posterior de las caras laterales del cuerpo vertebral, su borde superior es tan profundamente escotado como el inferior.
3. La láminas, cuadriláteras, son más anchas que altas.
4. La apófisis espinosa presenta un vértice bi-tuberoso y una cara o borde inferior excavado por un canal antero posterior.
5. La apófisis transversas se implantan por medio de dos raíces quien circunscriben con el pedículo el agujero transversa; su cara superior esta excavada en canal y su vértice es bifurcado.
6. Las apófisis articulares terminan por carillas articulares, planas cortadas a bisel, las carillas superiores miran hacia arriba y hacia atrás, las carillas inferiores hacia abajo y hacia delante.
7. El agujero vertebral es triangular y su lado anterior o base es mayor que los otros dos.

PRIMERA VERTEBRA CERVICAL: ATLAS.

El atlas, anillo fibroso más ancho transverso que sagitalmente, contiene dos masas laterales ovaladas, de eje mayor oblicuo hacia delante y hacia dentro, con una carilla articular superior orientada hacia arriba y hacia dentro, cóncava en los dos sentidos y articulada con los cóndilos del occipital, y una carilla articular inferior que se dirige hacia abajo y hacia dentro, convexa de delante atrás y articulada con la carilla superior del axis. El arco anterior del atlas tiene por cara posterior una carilla cartilaginosa ovalada que se articula con la apófisis odontoides del axis. El arco posterior en principio plano de arriba abajo, se ensancha por detrás en la línea media, en la que no existe apófisis espinosa, sino una simple cresta vertebral. Las apófisis transversas esta agujeradas para dar pasó a la arteria vertebral, que excava una profunda corredera por detrás de las masas laterales.

SEGUNDA VERTEBRA CERVICAL. AXIS.

El axis presenta un cuerpo vertebral cuya cara superior recibe en su centro la apófisis odontoides, también denominada diente del axis, y que sirve de pivote a la articulación atloidoaxoidea; esta cara superior también da soporte a dos carillas articulares a modo de hombreras, que sobresales lateralmente por fuera del cuerpo vertebral y están orientadas hacia arriba y hacia fuera; son convexas de delante atrás y planas transversalmente. El arco posterior esta constituido por dos estrechas láminas, oblicua hacia atrás y hacia dentro, la apófisis espinosa

comporta dos tubérculos, como el resto de las espinas cervicales. Por debajo del pedículo se fijan las apófisis articulares inferiores con unas carillas cartilaginosas orientadas hacia abajo y hacia delante y que se articulan con las carillas superiores de la tercera cervical. Las apófisis transversas presentan un orificio vertical por el que asciende la arteria vertebral.

VERTEBRAS DORSALES

CUERPO VERTEBRAL: Es más grueso que el de las vértebras cervicales y su diámetro transversal casi igual a su diámetro anteroposterior; en la parte posterior de las caras laterales, cerca del pedículo, se observa dos carillas articulares costales, una superior y una inferior, destinadas a articularse con la cabeza de las costillas.

Estas superficies articulares están talladas a bisel a expensas de la cara vecina. Cada costilla se articula con las semicarillas superior e inferior de las vértebras vecinas. La cara posterior del cuerpo vertebral, en relación con el agujero vertebral, es muy cóncava hacia atrás.

- **PEDICULOS:** Se implantan en la mitad superior de la porción lateral de la cara posterior del cuerpo vertebral. Su borde inferior es mucho más escotado que su borde superior.
- **LAMINA:** Son iguales de alto que de ancho.
- **APOFISIS ESPINOSA:** La apófisis espinosa es voluminosa y larga muy inclinada hacia abajo y hacia atrás su vértice es uní tuberoso.
- **APOFISIS TRANSVERSA:** Estas apófisis se desprenden a cada lado de la columna ósea formada por las apófisis articulares, por detrás del pedículo. Están dirigidas hacia fuera y un poco hacia atrás. Su extremidad libre, ensanchada, presenta en su cara anterior una superficie articular, la carilla costal, en relación con la tuberosidad de las costillas
- **APOFISIS ARTICULARES:** Las apófisis articulares constituyen salientes por arriba y por debajo de la base de las apófisis transversas. La carilla articular de las apófisis superior mira hacia atrás, hacia fuera y un poco hacia arriba. La carilla de la apófisis inferior presenta una orientación inversa.
- **AGUJERO VERTEBRAL:** Es casi circular.

DUODECIMA VERTEBRA DORSAL.

La última vértebra dorsal, llamada vértebra de transición con el raquis lumbar presenta algunas particularidades: En primer lugar, su cuerpo vertebral solo posee dos carillas costales situadas en la parte posterolateral de la meseta superior para la cabeza de la duodécima costilla.

En segundo lugar, si las apófisis articulares superiores están orientadas como las de todas las vértebras dorsales, hacia atrás y ligeramente hacia arriba y hacia fuera. Las carillas articulares deben corresponder a las carillas superiores de la primera vértebra lumbar. Por lo tanto, la dirección es la misma que la de las carillas inferiores de todas la vértebras lumbares: es decir, orientadas hacia fuera y hacia delante y con una curva transversal ligeramente convexa que se inscribe en una misma superficie cilíndrica, cuyo eje se sitúa aproximadamente en el origen de la espinosa.

VERTEBRAS LUMBARES

- CUERPO VERTEBRAL: El cuerpo de las vértebras lumbares es voluminoso, reliforme, con eje mayor transversal.
- PEDÍCULOS: Son muy gruesos y sin planta en los tres quintos superiores, es decir en la mitad superior del ángulo formado por la unión de la cara posterior, con la cara lateral del cuerpo vertebral. El borde inferior es mucho más escotado que el inferior.
- LAMINAS: Las láminas son más altas que anchas.
- APOFISIS ESPINOSA: Esta apófisis es una lámina vertical rectangular, gruesa, dirigida horizontalmente hacia atrás y que termina en un borde posterior libre y abultado.
- APOFISIS TRANSVERSA O APOFISIS COSTIFORMES. Las apófisis transversas se implantan en la unión del pedículo y de la apófisis articular superior. Son largas, como estrechas y terminan en una extremidad afilada, estas apófisis representan las costillas lumbares.

En la parte posterior de su base de implantación presenta un tubérculo llamado tubérculo accesorio. Este tubérculo es, según algunas opiniones homologa a las apófisis transversas de las vértebras dorsales, en tanto que para Vallois los tubérculos accesorios así como los tubérculos mamilares son simples eminencias de inserción de ciertos tendones de los músculos espinales.

- APOFISIS ARTICULARES: Las apófisis articulares superiores están aplanadas transversalmente. Su cara interna está ocupada por una superficie articular en forma de canal vertical cuya concavidad mira hacia dentro y un poco hacia atrás. Su cara externa presenta, a lo largo del borde posterior de la apófisis, una eminencia llamada tubérculo mamilar.

Las apófisis articulares inferiores muestran una superficie articular convexa en forma de segmento de cilindro.

Esa superficie mira hacia fuera, y ligeramente hacia delante y se desliza en la concavidad de la apófisis articular superior de la vértebra situada por debajo.

- AGUJERO VERTEBRAL: Es triangular y sus tres lados son casi iguales

VERTEBRAS COCCIGEAS

Las vértebras sacras y coccígeas están soldadas y forman dos huesos distintos, el sacro y el cóccix.

SACRO: El sacro es resultado de la unión de las cinco vértebras sacras. Está situada en la parte posterior de la pelvis, por debajo de la columna lumbar y entre los dos huesos iliacos. Forman con la columna lumbar un ángulo obtuso, saliente hacia delante llamado ángulo sacro vertebral anterior o promontorio. Este ángulo mide 118° en la mujer y 126° en el hombre.

El sacro esta escavado, su concavidad es más acentuada en la mujer que en el hombre y mira hacia delante. Su forma es de una pirámide cuadrangular, aplanada de adelante hacia atrás, de base superior y de vértice inferior. Se describen en cuatro caras, con una base y un vértice.

- **CARA ANTERIOR:** Esta cara es cóncava de arriba hacia abajo y transversalmente. Su parte media está constituida por los cuerpos de las cinco vértebras sacras, separadas entre sí por 4 crestas transversales. La altura de los cuerpos vertebrales disminuye de arriba hacia abajo, de modo que la cresta transversal comprendida entre la segunda y la tercera sacra se sitúa a la mitad de la altura del hueso.

En las extremidades transversales de estas crestas se observan a cada lado cuatro orificios, los agujeros sacros anteriores. Estos orificios ovales, con su extremidad interna más amplia, dan paso a las ramas anteriores de los nervios sacros y se prolongan hacia fuera por unos canales cuya anchura y profundidad disminuyen de adentro hacia fuera. La primera es ligeramente descendente y la segunda horizontal y tanto que las dos últimas, sobre todo la última son ligeramente ascendente. La distancia que separa cada agujero sacro anterior de la línea media disminuye de arriba hacia abajo.

- **CARA POSTERIOR:** Esta cara es convexa y muy irregular. Presenta en la línea media una cresta, la cresta sacra, constituida por tres o cuatro tubérculos que alternan con depresiones. Los tubérculos son resultado de la fusión de las apófisis espinosas. La cresta sacra se bifurca hacia abajo, a la altura del agujero sacro posterior tercero o cuarto, en dos columnitas óseas, las astas del sacro. Las astas del sacro divergen de arriba hacia abajo y limitan la escotadura sacra o hiatus sacrales en cuyo vértice termina el agujero sacro.

A cada la cresta se encuentran dos puntos el canal sacro, formado por la unión de las laminas vertebrales, los tubérculos sacros postero internos, en número de tres

o cuatro, dispuestos en serie lineal o vertical resultante de la fusión de las apófisis articulares. Los agujeros sacros posteriores, en número de cuatro de cada lado, más pequeños que los anteriores y atravesados por la rama posterior de los huesos sacros de la rama posterior de los nervios sacros. Los tubérculos sacros posteroexternos o conjugados, son más voluminosos que los tubérculos sacros posterointernos, están situados por fuera de los agujeros sacros posteriores y resultan de las soldaduras de las apófisis transversas de las vértebras sacras.

En el intervalo comprendido entre dos tubérculos conjugados vecinos y por fuera de ellos se observa una depresión rugosa, perforado por agujeros vasculares y llamada fosa cribosa.

- **CARAS LATERALES:** Las caras laterales son triangulares, de base superior, se aprecian en ellas segmentos, uno superior y otro inferior.

El segmento superior, ancho, corresponde a las dos primeras vértebras sacras. Su porción anteroinferior está ocupada por una superficie articular llamada superficie auricular, porque el contorno de esta superficie se asemeja al del pabellón de la oreja. Se articula a una carilla similar al del hueso coxal.

Por detrás de la superficie articular se encuentra un área irregular rugosa en la cual se distingue la primera fosa cribosa, el segmento inferior de las caras laterales corresponde a las tres últimas vértebras sacras.

- **BASE:** la base del sacro mira hacia delante y hacia arriba su parte media presenta de adelante hacia atrás, primero la cara superior reniforme del cuerpo de la primera vértebra sacra y después del orificio superior, triangular de base anterior del conducto sacro. Los bordes laterales de este orificio son oblicuos hacia abajo, hacia adentro y hacia atrás. Y limitan una escotadura cuyo vértice inferior corresponde a la extremidad superior de la cresta sacra.

Sus partes laterales están ocupadas por delante por una superficie lisa, triangular, de base externa, cóncava transversalmente, convexa de adelante hacia atrás; la aleta del sacro, la cual está limitada hacia delante y hacia abajo por un borde romo que entra en la constitución del estrecho superior.

Se observa a veces sobre la superficie de la aleta un canal oblicuo hacia adelante y hacia fuera determinado por el tronco lumbosacro, por detrás de las aletas se elevan las apófisis articulares superiores de la primera sacra.

Su superficie articular, ligeramente cóncava, mira hacia adentro y hacia atrás. Las apófisis articulares están separadas de las aletas por dos canales que contribuyen a formar los agujeros de conjunción intermedios entre la quinta lumbar y el sacro.

- VERTICE: El vértice está ocupado por una superficie convexa, elíptica cuyo eje mayor es transversal y que se articula con la base del cóccix. La superficie articular inferior del sacro, la superficie superior del cóccix y las superficies articulares de las vértebras coccígeas, que están incompletamente soldadas, presentan en su parte central una pequeña fosita de origen notó cordal.
- CONDUCTO SACRO: Forman la parte inferior del conducto raquídeo. Prismático triangular hacia arriba, se estrecha y se aplanan poco a poco hacia abajo. En su extremidad inferior, el conducto sacro está representado por un canal abierto hacia atrás y limitado lateralmente por las astas del sacro.

El conducto sacro origina a cada lado cuatro conductos, verdaderos agujeros o conductos de conjunción que se bifurcan muy pronto para abrirse hacia adelante y hacia atrás de la superficie del hueso en los agujeros sacros anteriores y posteriores.

COXIS.

Es una pieza ósea, aplanada de adelante hacia atrás, triangular, cuya base está orientada hacia arriba y vértice hacia abajo. Está constituido por la unión de cuatro a seis vértebras atrofiadas. Se distingue en cóccix dos caras, dos bordes, una base y un vértice. La cara anterior es ligeramente cóncava, la cara posterior es convexa. Ambas presentan surcos transversales, indicios de la separación primitiva de las vértebras coccígeas.

ANATOMIA FUNCIONAL DEL RAQUIS CERVICAL CINÉTICO.

Se pueden apreciar en el raquis cervical varios niveles. Un nivel o segmento superior cervicocefálico, minuto de sostén y de movimientos de la cabeza, el cual está compuesto por el atlas y axis, vértebras desprovistas de discos intervertebrales y que son el pivote cefálico; un segmento medio formado por las vértebras de C3 a C5 y un segmento inferior cervicodorsal constituido por las dos últimas cervicales C6 y C8.

En reposo en el curso de los movimientos, las vértebras cervicales constituyen un trípode para las vértebras suprayacentes, que así dispuestas pueden desplazarse y asegurar la estabilidad de la cabeza. La parte fundamental del trípode está formada por la columna anterior de los cuerpos vertebrales, reforzada por las dos columnitas de apófisis articulares.

Hay que destacar, que los cuerpos vertebrales están inclinados hacia adelante y las interlineas articulares hacia atrás; el conjunto compone un sistema de distribución de las presiones verticales y un sistema de engranaje cualquiera que sea la posición de la cabeza y el cuello.

En la flexión, el movimiento es detenido por la compresión del disco hacia delante y la extensión de los ligamentos amarillos e interespinales hacia atrás. En la extensión el movimiento está limitado por la tensión del ligamento vertebral común anterior y por el contacto de las apófisis espinosas.

Las superficies de deslizamiento de las apófisis articulares superiores están en su mayoría orientadas de tal forma que C3 y C4 se inscriben en un círculo cuyo centro está situado por detrás del conducto vertebral; el centro del círculo está por delante del conducto vertebral para C6 y C7. Las superficies de C5 intermedias, son planas y no se escriben en un círculo.

Las caras articulares de una misma vértebra están aparejadas y los movimientos de rotación e inclinación se efectúan en sentido inverso para cada uno de ellas. La inclinación lateral y la rotación que están asociadas, se acompañan necesariamente de la elevación de un lado y descenso del otro.

Para las vértebras C3 y C4, la inclinación y la rotación son iguales, para C6 y C7, la rotación es casi pura y se efectúa alrededor del eje vertical intermedio. En el curso de los movimientos de flexión, extensión, inclinación lateral o rotación, el cuerpo de la vértebra superior se desplaza ligeramente en la corredera cóncava formada lateralmente por las articulaciones unco vertebrales y constituye así con la cara superior del cuerpo vertebral un tipo de articulación en silla de montar.

El movimiento de flexión-extensión alcanzan 100° entre C2 y C7 si la cabeza se moviliza sobre las dos primeras cervicales, la amplitud del movimiento llega hasta 150° . La inclinación lateral es de 45° a cada lado y el movimiento asociado de rotación-inclinación o torsión de la cabeza aumenta 80° y aun a 90° de cada lado.

ANATOMIA FUNCIONAL DEL RAQUIS DORSAL CINÉTICO

La anatomía funcional de las vértebras dorsales es muy diferente a la de las vértebras cervicales, la columna transmisora está constituida por los cuerpos vertebrales y por los discos, sin la constitución de un trípode de sustentación. Las apófisis articulares poseen una función de topes en los movimientos de flexión-extensión. Las apófisis espinosas, muy oblicuas, casi verticales, fijan el raquis en la posición correspondiente a la morfología del sujeto, sin grandes desplazamientos antero posteriores; consecuentemente, la región dorsal es relativamente rígida. Las apófisis transversas, palancas laterales, están muy inclinadas hacia fuera y hacia atrás y están prolongadas por las costillas, las que, aunque tienen movimientos propios, aumentan la longitud y el modo de acción de las apófisis transversas.

El sistema vertebrocostal se caracteriza por la relativa rigidez del conjunto vertebral y su solidariedad con la caja torácica, que es relativamente independiente debido a su función en el mecanismo respiratorio. El movimiento de flexión-

extensión y la rotación están determinados por la orientación de las apófisis articulares, las cuales son sensiblemente verticales y se escriben en un círculo cuyo centro coincide con el centro del cuerpo de la vértebra.

Las apófisis articulares superiores constituyen segmentos de cilindro hueco en los que se deslizan como pistones los segmentos de cilindro macizo que son las apófisis articulares inferiores de las vértebras suprayacentes, en la extensión, se produce un movimiento de descenso que tiende a borrar la curvatura dorsal, y en la flexión hay un movimiento de ascenso del arco posterior que tiende a acentuar esta curvatura. La flexión alcanza 40° y la extensión 55° en una columna aislada; en vivo, donde la columna es solidaria con la caja torácica, la amplitud total de la flexión no supera los 40° .

En el curso de este movimiento, las dos primeras y las dos últimas vértebras torácicas son las móviles. Se puede considerar que las vértebras de T5 a T9 son muy poco móviles; se dice que son vértebras cardíacas debido a su relación con el corazón. Representan la región del raquis alrededor de la cual se producen los movimientos de flexión-extensión.

La inclinación lateral se acompaña del ascenso de la apófisis articular de un lado del descenso de la del lado opuesto. Ese movimiento está limitado por el contacto de las superficies y por la tensión de los ligamentos amarillos y alcanza los 30° de cada lado.

La rotación que se efectúa a nivel del raquis torácico es tanto más fácil cuanto más coincida el centro de rotación de la vértebra con el centro del disco; ahora bien, las costillas, solidarias a la vez de otras costillas, de las vértebras y del esternón, limitando este movimiento, cuya amplitud por esta razón no rebasa los 20° .

ANATOMIA FUNCIONAL DEL RAQUIS LUMBAR CINÉTICO.

Las vértebras lumbares se caracterizan por el prominente desarrollo de sus apófisis transversas y espinosas, que son palancas de sus movimientos, y por la orientación sagital de sus apófisis articulares.

Las apófisis articulares constituyen un tope completamente limitante de los movimientos de inclinación a la derecha o izquierda, las apófisis articulares inferiores de la vértebra suprayacente se encajan entre las apófisis articulares superiores de la vértebra lumbar situada por debajo. Así se asegura la solidez de la columna vertebral por encima del sacro. La inclinación lateral no pasa de 20° , de cada lado.

Las apófisis articulares se inscriben, como las de las cervicales y dorsales, en un círculo, de radio pequeño, cuyo centro se sitúa en el origen de la apófisis

espinosa. La situación de este centro permitiría la rotación de la vértebra si no fuese impedida por la resistencia que opone hacia delante el disco intervertebral correspondiente, sometido en el curso de este movimiento a esfuerzos considerables de estiramiento. La rotación, por consiguiente, está limitada a 5° de cada lado.

Debido a que están, inscritas en un círculo las apófisis articulares superiores constituyen un cilindro hueco en el cual se deslizan los segmentos de cilindro macizo de las apófisis articulares de la vértebra suprayacente.

Esto produce un desplazamiento vertical en el cilindro hueco en el curso de la flexión y extensión. En la flexión la apófisis articulares de las vértebra superior ascienden y el raquis lumbar rectifica su curvatura. Este movimiento alcanza una amplitud de 40° en la extensión, se producen movimiento inverso: la columna de los arcos se acorta ligeramente y se acentúa su curvatura, es decir la ensilladura lumbar, mientras que la columna del cuerpo se alarga. Este movimiento alcanza una amplitud de 30°.

ANATOMIA DEL RAQUIS SACRO Y COCCIX

El sacro transmite el peso del cuerpo a los miembros inferiores por intermedio de la cintura pélvica. Forma con los dos huesos iliacos un anillo sólido. Las diferentes partes del sacro no poseen la misma función. Solamente las dos primeras piezas sacras aseguran esta transmisión por intermedio de las articulaciones sacro iliacas. Las tres últimas piezas sacras están unidas al hueso iliaco por los ligamentos sacrociaticos, que contribuyen a limitar el desplazamiento del sacro.

La porción vertical de la superficie auricular se mantiene fija por dos grupos de ligamentos; los ligamentos superiores o craneales y los inferiores o caudales, que son perpendiculares al segmento vertical de la superficie auricular y se oponen a los movimientos de báscula del sacro bajo el peso de la columna vertebral y el peso del cuerpo.

Fijo hacia atrás por los ligamentos ínter óseos, que le impiden bascular en el área del estrecho superior, igualmente se mantiene en su sitio por los ligamentos anteriores: así mismo, el sacro esta fijo a la cavidad pélvica por los ligamentos sacroacticos mayores y menores, que se insertan en la porción libre no auricular del sacro y contribuyen a determinar la concavidad del hueso. La importancia de estos ligamentos en la postura vertical se traduce a nivel del hueso iliaco por el gran desarrollo de la espina ciática en el hombre. Cuando el sacro es poco móvil, con sus superficies auriculares lisas, está orientada oblicuamente: cuando el sacro es más móvil, con sus superficies auriculares en forma de riel hueco, la tracción que ejercen sobre sus bordes los ligamentos sacroacticos aumentan la concavidad del sacro.

El sacro esta encajado a manera de clave de la bóveda que forman los huesos iliacos en la posición vertical, pero esta disposición general del sacro es un poco diferente si observamos este hueso en planos horizontal sucesivos. La cara anterior de la primera vértebra sacra es más desarrollada que su cara posterior, de tal manera que toda presión de atrás hacia delante tiende a proyectar la porción alta del sacro hacia la cavidad pélvica, lo cual facilita su basculación hacia delante.

La segunda sacra es al contrario, ligeramente más alta por detrás que por delante y por lo tanto menos cuneiforme en el sentido vertical. Se desplaza en sentido inverso que la primera sacra, es decir de adelante hacia atrás. Esta configuración opuesta de las dos primeras vértebras sacras limita su desplazamiento reciproco y la basculación hacia delante de la primera sacra en el área del estrecho superior se detiene.

ESTRUCTURA DEL DISCO INTERVERTEBRAL

La articulación entre dos cuerpos vertebrales adyacentes es una anfiartrosis. Está constituida por las dos mesetas de las vértebras adyacentes unidas entre si por el disco intervertebral. La estructura de este disco es muy característica, consta de dos partes.

Una parte central, el núcleo pulposo, sustancia gelatinosa que deriva embriológicamente de la cuerda dorsal del embrión. Se trata de una gelatina transparente, compuesta por un 88% de agua y por tanto muy hidrófila, y esta químicamente formada por una sustancia fundamentalmente a base de mucopolisacaridos. Se ha identificado en ella sulfato de condrotina mezclado con proteínas, cierto tipo de ácido hialuronico y keratosulfato. Desde el punto de vista histológico, el núcleo contiene fibras colágenas y células de aspecto condrocitario, células conjuntivas y raras aglomeraciones de células cartilaginosas. No hay vasos ni nervios en el interior del núcleo, sin embargo el núcleo esta tabicado por tractos fibrosos que parten de la periferia.

Una parte periférica, el annulus fibrosus o anillo fibroso, conformado por una sucesión de capas fibrosas concéntricas, cuya oblicuidad esta cruzada cuando se pasa de una capa a la contigua, estas fibras son verticales en la periferia y que, cuanto más se aproximan al centro, mas oblicuas son. El centro, en contacto con el núcleo, las fibras es casi horizontal y describen un largo trayecto helicoidal de una meseta a otra. De este modo el núcleo se halla encerrado un compartimento inestable entre las mesetas vertebrales por arriba y por abajo, y el anillo fibroso. Este anillo constituye un verdadero tejido de fibras, que el individuo joven impide cualquier esteorización de la sustancia del núcleo. Este está comprimido en su pequeño compartimento, de tal modo que cuando se secciona el disco horizontalmente se puede apreciar como brota la sustancia gelatinosa del núcleo por encima del plano de la sección. La altura de los discos intervertebrales varía

según los niveles: tres milímetros para el nivel cervical, 5 mm en el nivel dorsal, nueve milímetros en la región lumbar, que tiene que soportar la carga pesada. El disco por su sola elasticidad determina una corrección de las curvaturas del raquis modificadas por los cambios posturales.

VARIACIONES DEL DISCO SEGÚN SU NIVEL

El espesor del disco no es lo mismo en todos los niveles raquídeos. En el raquis lumbar donde el disco es más grueso puesto que mide 9 mm de altura. En el raquis dorsal mide 5 mm de espesor y en el raquis cervical si grosor es de 3 mm. Pero mucho más importante que su altura absoluta es la noción de la proporción del disco en relación de la altura del cuerpo vertebral. De hecho, esta proporción da perfecta idea de movilidad del segmento raquídeo, ya que constata que cuanto más grande sea más importante será su movilidad.

LIGAMENTOS DE LA COLUMNA VERTEBRAL.

Ligamento vertebral común anterior: este ligamento desciende en la cara anterior de la columna vertebral desde la apófisis basilar del occipital hasta la cara anterior de la segunda vértebra sacra. La forma y las dimensiones del ligamento tienen características diferentes en los diversos niveles de la columna vertebral. Entre el occipital y el atlas, el ligamento es una cinta estrecha y delgada unida hacia atrás al ligamento occipitoatloideo anterior, extendido desde la apófisis basilar al tubérculo anterior del atlas. Por debajo del atlas, el ligamento se ensancha gradualmente de arriba hacia abajo y ocupa hasta la tercera vértebra dorsal el intervalo comprendido entre los músculos largos del cuello. Más abajo y en toda la altura de la columna dorsal, el ligamento se extiende en las caras laterales de los cuerpos vertebrales hasta la vecindad de las articulaciones costovertebrales. Un límite bastante neto permite distinguir en el ligamento en conjunto de tres porciones o cintillas, una media y dos laterales. La porción media es más gruesa que las otras dos, de las cuales están separados por intersticios vasculares, en la región lumbar, las cintillas laterales desaparecen y el ligamento vertebral anterior desciende solamente sobre la cara anterior de los cuerpos vertebrales entre los músculos psoas. En el sacro, el ligamento cubre la primera vértebra sacra y termina en la segunda.

El ligamento vertebral común anterior se adhiere a los discos intervertebrales y en las vértebras, sobre todo en las partes salientes de los cuerpos vertebrales, próximos a los discos. Este compuesto por fibras largas, superficiales, que se extienden sobre tres o cuatro vértebras, y por fibras cortas profundas que unen dos vértebras continuas.

Ligamento vertebral común posterior: está situado sobre la cara posterior de los cuerpos vertebrales y del disco intervertebral. Se inserta hacia arriba en el canal

basilar del occipital, hacia delante y por encima del ligamento occipitoaxoideo y termina por debajo en la primera vértebra coccígea.

El ligamento esta unido por su cara anterior a los discos intervertebrales y a la parte contigua de los cuerpos vertebrales. Las venas que salen de la vértebra y los plexos venosos anteriores del raquis lo separan de la porción media del cuerpo vertebral. En la extremidad superior de la columna, el ligamento vertebral común posterior se adhiere por su cara anterior al ligamento occipitoaxoideo posterior y por su cara posterior a la duramadre.

En la región sacra, el ligamento esta reducido a una estrecha cintilla que desciende hasta la base del cóccix, donde se inserta. El ligamento vertebral común posterior está constituido, como el anterior, por fibras largas, que son superficiales o posteriores, y por fibras cortas, que son profundas o anteriores.

Ligamentos amarillos: Existe en cada espacio interlaminar dos ligamentos amarillos, uno derecho y otro izquierdo, unidos entre sí en la línea media, su forma es rectangular y su anchura disminuye progresivamente desde la extremidad superior a la extremidad inferior de la columna vertebral, en tanto que su altura y espesor aumentan gradualmente en el mismo sentido.

Los ligamentos amarillos presentan dos bordes, dos caras y dos extremidades. El borde superior, curvo y cóncavo hacia arriba, se inserta en la cara anterior de la lámina situada por arriba, en una impresión rugosa, alargada transversalmente. Esta impresión de inserción está situada en la parte media de la lámina vertebral en la región cervical. En las regiones dorsal y lumbar, esta tanto más próxima al borde inferior de la lamina cuanto más próxima al sacro esta la vértebra. El borde inferior se inserta en el borde superior de la lámina subyacente. La cara anterior está separada de la duramadre por grasa y venas. La cara posterior corresponde hacia arriba a las láminas y el intervalo de las láminas a los músculos espinales. La extremidad interna se une en la línea media con la del ligamento amarillo del lado opuesto; el ángulo de unión de los ligamentos es saliente hacia atrás y se confunde con el borde anterior del ligamento interespinoso. La extremidad externa se extiende hasta las articulaciones de las apófisis articulares y refuerza la parte interna de la cápsula de estas articulaciones.

Ligamento interespinoso: los ligamentos interespinoso son membranas fibrosas que ocupan el espacio comprendido entre dos apófisis espinosas vecinas. Se insertan por su borde superior y por su borde inferior en las apófisis espinosas correspondientes. Sus caras laterales se relacionan con los músculos espinales. Su extremidad anterior se continúa con el ángulo de unión de los ligamentos amarillos. Su extremidad posterior se confunde con el ligamento supraespinoso.

Ligamento supraespinoso: Es un cordón fibroso que se extiende en toda la longitud de la columna vértebra, por detrás de las apófisis espinosas y de los

ligamentos interespinosos. Se adhiere al vértice de las apófisis espinosas y se une, en el espacio comprendido entre las apófisis, con el borde posterior de los ligamentos interespinosos.

En la región lumbar, el ligamento se confunde con el rafe producido por el entrecruzamiento de las fibras tendinosas de los músculos del dorso. En la región dorsal, el ligamento es más aparente, pero más delgado que en la región lumbar. En el cuello, el ligamento supraespinoso se denomina ligamento cervical posterior. Forma por detrás de las vértebras un tabique intermuscular medio, que se extiende hasta la aponeurosis superficial.

CAPÍTULO VI: MODELOS BIOMÉCANICOS

Laboratorio de Biomecánica realiza tareas de Docencia y de Investigación dentro de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Tiene dos objetivos principales:

- La realización de **Prácticas de Biomecánica** para estudiantes de grado

LAS TÉCNICAS EXPERIMENTALES DISPONIBLES SON:

Sistema de Captura Automática del Movimiento en 3D VICON:

Este sistema determina la posición de marcadores reflectantes adheridos al cuerpo del sujeto. Los Marcadores son de pequeñas dimensiones (máximo: 2 cm de diámetro y 1 gramo de peso). Se compone de 6 Cámaras de luz Infrarroja que registran el espacio de movimiento a frecuencias entre 60 y 1000 Hz. Este sistema multicámara es de última generación permite capturar el movimiento de un sujeto a tiempo real sin apenas interferir en su ejecución. Posteriormente a la captura Software permite la simulación en 3D y la obtención de un amplio conjunto de variables mecánicas.

Los Elementos del Sistema son:

- 6 Cámaras de vides de Infrarrojo de alta Velocidad.
- Kit de marcadores y varillas de calibración
- Data Station. Captura del movimiento en 3D
- Software Polygon de Análisis Biomecánico



Sistema de Fotogrametría Vídeo 2D-3D:

Es un sistema que permite la obtención de las coordenadas 2D y 3D de puntos del cuerpo a partir de imágenes de vídeo. Al contrario que el sistema anterior, éste no necesita de la colocación de marcadores en el cuerpo del sujeto siendo, por tanto,

es ideal para estudios de campo (en competición y entrenamiento deportivos). Se destaca su utilización con cámaras de vídeo de alta velocidad lo que permite el análisis in situ de gestos como lanzamientos (jabalina, disco, martillo) y golpes (tenis, golf).

Los elementos del Sistema son:

- 3 cámaras de Video Mini DV.
- 2 Cámaras de Vídeo Alta Velocidad (60-500 Hz).
- Sistema de Calibración: Cubo desmontable de 2 x 2 x 2 m.
- Sistema de Captura y Digitalización de Imágenes compuesto por 1 Magnescopio, 1 Tarjeta capturadora de Vídeo, Software.
- Software de Análisis Biomecánico.



Plataformas Dinamométricas Dinascam:

Se dispone de dos plataformas de tipo extensométrico que permiten la medida de las fuerzas de reacción en el apoyo en las tres direcciones del espacio a frecuencias de hasta 1000 Hz. Las plataformas se encuentran encastradas en el suelo lo que permite su uso para el estudio de la marcha, la carrera, los saltos etc.

Los elementos del Sistema son:

Dos plataformas Dinamométricas.
Software.

Pasillo de Registro de Datos: Postizo de madera encastrado en un foso para fijación de las plataformas.

Sistemas de Electromiografía Delsys:

Sistema para el registro de la actividad muscular consistente en 8 electrodos de superficie y una tarjeta de adquisición de datos con el software de tratamiento correspondiente.

Sistema de Electromiografía Delsys:

Sistema similar al anterior pero permitiendo el registro de datos fuera del laboratorio. Los 4 electrodos van conectados a un miniordenador de menos de 1 Kg que el propio sujeto transporta en una pequeña bolsa sujeto a través de un cinturón. Los datos de la actividad muscular se almacenan en la memoria del ordenador para su posterior tratamiento.

Sistema de Goniometría Biometrics:

Sistema para el registro de los ángulos articulares consistente en 4 goniómetros biaxiales (miden en dos planos) y una tarjeta de adquisición de datos con el software de tratamiento correspondiente.

Sistema de Acelerometría Biometrics:

Sistema para el registro de la aceleración en un punto del cuerpo. Se compone de un acelerómetro triaxial de reducidas dimensiones y peso, y una tarjeta de adquisición de datos con el software de tratamiento correspondiente.