

Biomecánica

Clínica

Temas 1, 2 y 3: Concepto de biomecánica. Principios básicos de la mecánica clásica aplicados al estudio del aparato locomotor (I y II): concepto de estática y dinámica. Movimiento lineal y angular. Concepto de equilibrio. Concepto de palancas y poleas. Leyes de Newton.

· Biomecánica: Ciencia que investiga las fuerzas internas y externas que actúan sobre los cuerpos vivos, considerando las propiedades y supuestos mecánicos del aparato locomotor, que a su vez depende funcionalmente de las condiciones biológicas de los mismos. (Engels, Miller y Nelson).

· Mecánica: se divide en,

- cinemática: estudio del movimiento lineal y angular sin tener en cuenta el origen de las fuerzas.
- cinética: estudio de las fuerzas que generan el movimiento o postura. Se subdivide en estática (estudio de la fuerza en una posición determinada) y dinámica (estudio de la fuerza que produce el movimiento).

· Movimiento: cambio de posición. Hay 2 tipos,

- lineal (traslación): movimiento a lo largo de un trazado recto o curvo en el cual todos los puntos de un cuerpo recorren la misma distancia en el mismo tiempo.
- angular: movimiento alrededor de un punto (eje de rotación) de manera que distintos puntos del mismo segmento del objeto no recorren la misma distancia en un tiempo determinado. Típico de las articulaciones. Se mide en radianes (rad).

[En biomecánica lo más frecuente es que se realice un análisis del movimiento lineal característico de una actividad, para luego hacer un estudio angular]

· Planos y ejes:

– plano frontal: definido por los ejes X–Y. Se realiza la abducción y adducción. Divide el cuerpo en ventral y dorsal. El movimiento se produce perpendicular al plano anteroposterior.

– plano sagital: definido por los ejes X–Z. Se realiza la flexión y extensión. Divide el cuerpo en izquierdo y derecho. El movimiento se produce sobre el eje laterolateral.

– plano horizontal o transversal: definido por los ejes Y–Z. Se realizan rotaciones. Divide el cuerpo en craneal y caudal.

· Velocidad (valorada en el movimiento lineal):

– espacio recorrido en un tiempo determinado:

$V = \text{metros/seg}$ (velocidad lineal)

$= \text{radianes/seg}$ (velocidad angular)

– aceleración:

$a = \text{metros/seg}^2$ (aceleración lineal)

$= \text{radianes/seg}^2$ (aceleración angular)

– momento cinético: resistencia a los cambios de una situación determinada de movimiento. Momento = masa x velocidad.

· Fuerza: vector con una determinada magnitud, dirección y sentido que presenta un punto de origen y aplicación. Se llama origen a la inserción muscular y el punto de aplicación es el origen del músculo. El sentido va de origen a punto de aplicación.

Fuerza = masa x aceleración. [Se mide en Newtons (N); $1\text{N} = 1\text{Kg} \times (\text{m/seg}^2)$].

2 tipos de fuerzas en biomecánica:

- Se consideran a los músculos las fuerzas internas del cuerpo.
- Fuerzas externas:

– simples: verticales: compresión [por acción de G; aplasta y ensancha] y tracción [estira y estrecha] y horizontales: cizallamiento o corte [tiende a fracturar, el cuerpo no está preparado para resistirla].

– compuestas o combinadas: flexión [combina compresión y tracción] y torsión [combina cizallamiento y tracción].

2 fuerzas coplanares y concurrentes (actúan sobre el mismo punto) pueden ser sustituidas por una fuerza simple denominada resultante (composición de fuerzas): Ley del paralelogramo [ejemplos en el cuerpo humano: gemelo interno y externo, deltoides y cuádriceps]. La resultante de la acción conjunta de gemelos e isquiotibiales es la extensión pese a que son flexores de rodilla.

Teorema de Pitágoras:

$c^2 = F^2 + K^2$

$a^2 + b^2 = c^2$

$\cos \theta = \frac{\text{lado adyacente}}{c}$

$\cos \theta = \frac{\text{lado adyacente}}{c}$

$\sin \theta = \frac{\text{lado opuesto}}{c}$

$\tan \theta = \frac{\text{lado opuesto}}{\text{lado adyacente}}$

lado adyacente

· Equilibrio: situación que se produce cuando los momentos de fuerza y las fuerzas están balanceadas ($=0$).

El equilibrio depende de:

– centro de gravedad: en el hombre se sitúa por delante de S2. Más estabilidad si está más cerca de la base de sustentación. Para la estabilidad también tiene que ver la posición del cuerpo (cuanto más nos alejemos de la

bipedestación habrá más inestabilidad) y la aproximación al plano de soporte (sobre un pie o monopodal el centro de gravedad se aleja).

– base de sustentación: espacio que estamos ocupando en la posición que adoptemos. A más base de sustentación hay más estabilidad. También influye la línea de equilibrio: línea perpendicular al plano de sustentación y que tiene que pasar por el centro de gravedad y si además pasa por el centro de la base de sustentación habrá más estabilidad. Dentro de la amplitud las posiciones de decúbito son más estables porque la amplitud es mayor y el centro de gravedad está más cerca del suelo (más estable supino que prono excepto en sujetos con hiperlordosis y delgadez). Con muletas y bastones aumentamos la amplitud y, por tanto, la estabilidad aunque no mejoran la marcha (mayor gasto energético).

3 tipos de equilibrio:

– estable: aquel que en situación de equilibrio actúa una fuerza, lo modifica y que al ceder ésta el cuerpo vuelve a su posición inicial.

– inestable: aquella situación en la que actúa una fuerza que modifica al cuerpo y que al ceder el cuerpo no vuelve a su posición inicial.

– indiferente (no se da en el cuerpo humano): situación en la que cuando actúa una fuerza lo cambia de posición. En esta nueva posición la distancia entre el centro de gravedad y la base de sustentación es la misma que anteriormente.

• Momento de fuerzas: representa el producto de una fuerza por la distancia sobre la que actúa [$M = F \times d$], siendo d la distancia perpendicular desde la línea de acción de la fuerza hasta el centro de giro articular.

- palancas: barra rígida que es aplicada o rotada alrededor de un punto fijo (fulcro) para vencer una resistencia (R) mediante una fuerza llamada potencia (P).

Ley de equilibrio de las palancas: $P \times bP = R \times bR$

3 tipos:

– 1er género: fulcro entre R y P . Las articulaciones de estabilidad y resistencia son de este tipo (cadera en apoyo monopodal, columna en las articulaciones interapofisarias y occipito-atloidea). Para compensar la capacidad de movimiento, es más rápida en el extremo de resistencia (cadera y glúteo medio).

– 2º género: R entre P y fulcro. Poseen ventaja mecánica porque el esfuerzo de potencia es menor que la resistencia a vencer ($bP > bR$). Sólo la tenemos en la posición de puntillas del pie.

– 3er género: P entre R y fulcro. Las articulaciones de movimiento son de este tipo (extremidades). Pueden variar por la función. Poseen desventaja mecánica porque el esfuerzo de potencia siempre es mayor que la resistencia a vencer ($bP < bR$) pero dinámicamente lo que se pierde en esfuerzo se gana en distancia recorrida y velocidad de movimiento. El diseño específico en forma de cono de las extremidades disminuye el momento de inercia y facilita la aceleración en el extremo. El precio a pagar por este tipo de palancas es la existencia de fuerzas de gran magnitud en las articulaciones que predisponen a posibles artritis degenerativas.

- poleas: 3 tipos;

– fijas: cambian la dirección de una fuerza (ejemplo: el olécranon es polea fija del tríceps braquial). Mejoran la acción del músculo con el cambio de dirección.

– móviles: tienen la ventaja mecánica de que la fuerza utilizada en ella puede doblar la magnitud final.

– semimóviles: es el caso de la rótula.

· Leyes de Newton:

- Ley de la inercia: un cuerpo en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme (mru) mantiene su posición mientras no actúe sobre él ninguna fuerza.
- Ley de la aceleración: la aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa de dicho cuerpo. [$F = m \cdot a$; $a = F/m$].
- Ley de acción–reacción: por cada acción existe una fuerza de reacción de igual magnitud y dirección pero de sentido opuesto (ejemplo: marcha, carrera y salto).
- Ley de la Gravitación Universal: fuerza con la que es atraído un objeto hacia el centro de la Tierra. [$G = 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ kg}$].

Tema 4: Conceptos básicos del análisis de la resistencia de materiales aplicados al estudio de los tejidos del aparato locomotor.

· Concepto: la resistencia de un material depende de,

- dureza: resistencia que opone un material a ser penetrado por otro.
- tenacidad: resistencia que ofrece un material a la disgregación de sus moléculas.
- flexibilidad: capacidad de deformarse.
- elasticidad: capacidad para volver a su forma inicial después de que la fuerza que lo ha modificado desaparezca.

· Resistencia:

– rotura: punto en el cual se produce el fallo del material.

– resistencia máxima o UTS: tensión necesaria para romper un material sometido a fuerzas simples (tracción, compresión y cizallamiento). La fractura por fatiga de un material es el resultado de sollicitaciones repetidas o cíclicas que producen estrés a niveles más bajos.

– tensión o estrés: la fuerza aplicada para deformar una estructura o material. Hay 3 tipos de estrés: compresión, tracción y cizallamiento. Es el esfuerzo mecánico y se define como la fuerza (F) por unidad de área (A) en un objeto o material: $\sigma = F/A$, la unidad es el Pascal (Pa) [$\text{Pa} = 1 \text{ N/cm}^2$].

– deformación (strain): como resultado de dicha aplicación se origina una modificación en su forma inicial denominada deformación. Relación entre el incremento o pérdida de la longitud inicial del objeto: $\epsilon = (L - L_0)/L_0$. Depende del tipo de fuerza: en compresión $L < L_0$ y en tracción $L > L_0$.

– curva tensión–deformación: es la gráfica que relaciona estos 2 parámetros. Se denomina como módulo de elasticidad (E) a la pendiente que resulta de la relación entre el estrés mecánico (compresión) y la deformación. La unidad es el Pascal.

E1 [E1 es más rígido (cuanto más módulo de elasticidad

Hay más rigidez, por lo que se rompe más fácil].

[Rigidez: el material es más duro pero se rompe

E2 antes].

Si la fuerza utilizada es la tracción se llama módulo de Young (Y), si es cizallamiento se conoce por módulo de rigidez (R).

Esta curva consta de :

- región elástica: parte inicial, rectilínea.
- límite elástico: inicio de la curva.
- región plástico: el resto de la curva.
- punto de ruptura (UTS).

El área que se proyecta en la curva define la energía originada durante la deformación (N/m). La energía producida en la región plástica es recuperable, mientras que la producida en la región plástica es absorbida y disipada en la ruptura y , por ello, es no recuperable. Se conoce como histeresis a la pérdida de energía debida a que al cesar la fuerza deformante, la pendiente de regreso a la posición inicial no coincide con la primera, esto es típico en el aparato locomotor.

histeresis

Entre 2 materiales con igual UTS será más frágil el que se haya deformado menos antes de romperse y, por lo tanto, el que menos energía haya absorbido antes de la ruptura [el frágil no avisa al romperse: no produce grietas, el dúctil avisa. El objeto frágil tiene menos región plástica que el material dúctil].

· Reología: estudio del comportamiento de los materiales bajo carga. Las propiedades reológicas son 4:

- elasticidad: representada por un muelle o resorte. El tejido se comporta como tal, con las propiedades de : deformación inmediata, recuperación de la forma inicial y relación lineal entre carga y deformación.
- viscosidad: representada por un émbolo o jeringa. Posee las características de : cuando la fuerza es constante la deformación también lo es, la velocidad de deformación varía directamente con la magnitud de carga (a más carga la velocidad se reduce) y a mayor velocidad de la carga existe mayor rigidez del material (menor deformación y mayor tensión).
- plasticidad: representada por un cuerpo sólido más un muelle. Se caracteriza porque no existe recuperación total de la forma inicial.
- resistencia.

Según el estudio reológico hay 2 tipos de materiales:

– material isotrópico: las propiedades reológicas son las mismas en cualquier orientación del material cuando es sometido a un test.

– material anisotrópico: es el caso de todos nuestros tejidos. La orientación interna de la estructura del material varía las propiedades reológicas según la orientación en la que realice el test.

Tema 5: Concepto de cinesología. Concepto y clasificación de las cadenas cinéticas. Circuitos de acción muscular.

· Concepto: cada movimiento se realiza a expensas del engranaje perfecto entre articulaciones sucesivas. Conjunto de articulaciones y músculos que realizan una acción. La gran riqueza de movimientos se debe a la suma de los grados cinéticos de cada una de las articulaciones que conforman dicha cadena cinética. Permite una mayor calidad de movimiento en cuanto a coordinación, destreza, correlación y captación.

· Tipos:

– cerradas: no se observa movimiento (ejemplo: mantener una postura).

– abiertas: aquellas que generan movimiento como resultado de la acción de la cadena cinética. Se compone de 2 subtipos dependiendo de los objetivos:

- Cadena cinética secuencial: se busca proyectar un objeto o segmento más distal a gran velocidad en el espacio. Para ello se produce un estiramiento previo a la actividad concéntrica de los grupos musculares. Se precisa un perfecto control del estiramiento de los músculos agonistas previo a la contracción concéntrica, manteniendo un tiempo mínimo de acoplamiento entre estiramiento y acortamiento. Los músculos agonistas tienen acción excéntrica en retroceso y concéntrica en aceleración. Los músculos antagonistas tienen actividad excéntrica para disminuir la velocidad angular, una vez que se ha conseguido la máxima aceleración. Esto facilita la transferencia de momentos al segmento contiguo.
- Cadena cinética de empuje: se busca proyectar un objeto o segmento distal con gran precisión o contra menos resistencia. Todos los segmentos de la cadena se desplazan simultáneamente y el extremo proximal es estabilizador. El estrés que se genera es menor que en cadena secuencial. El exceso de cargas durante el entrenamiento y su función fijadora conducen al cansancio localizado que puede suponer igual riesgo que la secuencial.

· Otros tipos según su acción motora y sus características:

- sin resistencia externa: aumenta la aceleración y velocidad angular de proximal a distal.
- sin resistencia externa pero con precisión (cadena cinética de empuje): disminuye la aceleración en articulaciones distales.
- con resistencia externa vencible (ejemplo: golpeo de balón): disminuye la aceleración según la masa a mover o la carga a vencer. También disminuye la velocidad del movimiento.
- con resistencia externa insalvable pero con movimiento en sentido opuesto al esquema motor inicial (cadena abierta invertida: salto o carrera) [Características iguales al tipo 3].
- con resistencia externa insalvable y sin movimiento observable (cadena cinética cerrada): energía consumida por la contracción isométrica. Se puede producir fatiga por isquemia.

· Circuitos musculares: algunas de las cadenas cinéticas están constituidas por musculatura biarticular. Existe un efecto rotatorio de las fibras musculares y se imparte por igual a sus 2 extremos de inserción a pesar de la diferencia de masas. Dado que los movimientos articulares son movimientos angulares para el estudio puede tenerse en cuenta la aceleración rotatoria (aceleración producida por la parte de la fuerza derivada de la contracción muscular capaz de traducirse en movimiento y no sólo en estabilización).

Movimiento rotatorio: R ; aceleración rotatoria: $a(r)$; momento de inercia: I . [$R = a(r) \times I$].

Tipos:

- circuito muscular en paralelo: la acción de los componentes musculares siguen siempre la misma dirección. No existe movimiento. No son contracciones isométricas, son secuenciales (primero a nivel proximal y

luego en la parte distal). Así se evita fatiga al mantener una postura. Es el ejemplo del recto femoral e isquiotibiales producirían extensión de rodilla y cadera.

- Circuito muscular de contracorriente: los extremos del músculo (origen e inserción) se contraen a la vez. Producen movimiento por contracciones isotónicas. En el ejemplo anterior habría flexión de rodilla y extensión de cadera.

Tema 6: Consideraciones mecánicas generales de las estructuras óseas. Leyes mecánicas del crecimiento óseo.

· Funciones del tejido óseo:

- mecánica: soporte, movimiento y protección.
- fisiológica: metabolismo del calcio, fósforo y magnesio.

· Composición del tejido óseo:

- células: osteocitos, osteoblastos y osteoclastos. Tienen 2 funciones: fisiológica (relacionada con el calcio) y biomecánica (regeneración).
- sustancia intercelular: con función mecánica (resistencia). Compuesta por: agua (25–30% del peso) [el hueso húmedo es mas resistente y dúctil], materia inorgánica (calcio cristalizado como hidroxapatita y que permite la absorción de la compresión y fosfatos) y materia orgánica (colágena que permite absorber las fuerzas de tracción).

· Características del tejido óseo: autorreparación y remodelación (la estructura interna y externa es idéntica a la anterior).

· Modelo mecánico: viscoelástico con componente plástico. La elasticidad es mayor durante la juventud y la plasticidad aumenta con la edad. Este modelo supone que ante una carga rápida sobre el hueso (A) se produzca mayor rigidez y absorción de energía antes de la fractura dando una fractura en estallido o conminuta, pero ante una carga lenta (B) la fractura será rectilínea y se producirá antes.

carga

B (línea de fractura)

A (fractura conminuta)

t

· Comportamiento mecánico: es anisotrópico (la arquitectura ósea interna es muy específica: el hueso debe estar compuesto por la menor cantidad de material posible pero que de la máxima resistencia. Los sistemas reticulares refuerzan puntos críticos. El tejido esponjoso está presente en los huesos cortos y planos es menos resistente que el compacto).

· Fuerzas simples: el tejido óseo se muestra muy resistente a la compresión y la gravedad, moderadamente resistente a la tracción y muy frágil al cizallamiento.

· Fracturas:

Se producen por:

- fuerza simple: de gran magnitud o a gran velocidad en una ocasión o pocas repeticiones.
- microtraumatismos: supone una fatiga del material. Son cargas pequeñas repetidas que primero fatigan el tejido muscular con lo que se desprotege al hueso y se redistribuyen de forma anormal sobre el hueso hasta que se sobrepasa el límite de resistencia del hueso y llega la fractura.

Tipos:

- por compresión: típica del tejido óseo esponjoso.
- por tracción: se extiende de forma transversal al eje el hueso y afecta al hueso cortical.
- por cizallamiento: inicialmente afecta al tejido esponjoso y se localiza próxima a las articulaciones.
- por torsión: fractura en espiral por estrés acumulado en 2 direcciones: transversal y horizontal al eje diafisario.
- por flexión: inicio en la cortical que sufre la fuerza de tracción y se propaga en oblicuo. Conocidas como fracturas en tallo verde.

[La distribución del estrés es una estructura aumenta en las zonas de discontinuidad (agujeros, angulaciones o cortes), alrededor de esa discontinuidad el estrés aumenta 2–4%. Bajo sollicitación de flexión la presencia de un agujero hace disminuir la resistencia del hueso un 50% si el tamaño del agujero es superior al 20% del diámetro del hueso, en la cara que sufre la tracción. Cuando el agujero está en una zona frágil del hueso, además de disminuir la resistencia, se pierde un 75% de la capacidad de absorber energía durante la deformación. Si se retira parte de la cortical la resistencia disminuye al 30% y la capacidad de absorción de energía en un 10%].

· Leyes mecánicas del crecimiento óseo:

- Ley de Bassen–Hagen (potencial de crecimiento): la genética marca la longitud y anchura de los huesos.
- Ley de Delpech–Hueter–Volkman (metáfisis): para el periodo de existencia de diáfisis. Cuando una metáfisis esta sometida a estrés excesivo está bloquea el crecimiento (ocurre lo mismo si la carga no es suficiente). Cuando la orientación del miembro inferior está alterada se produce un bloqueo de la metáfisis en uno de sus lados: genu varo (crece la parte externa de la metáfisis mientras la queda bloqueada) y genu valgo (el eje de la carga es exterior, se bloquea la parte externa de la metáfisis pero la interna sigue creciendo).
- Ley de Wolf (periostio): funciona durante toda la vida del individuo. Cuando el periostio tiene elevadas cargas (de compresión y tracción principalmente), éste genera tejido óseo y se producen deformaciones u osteofitos. La excesiva tracción produce la enfermedad de Osgood–Slater en niños que dan el estirón: la tuberosidad anterior tibial está continuamente influenciada por el cuádriceps. La excesiva compresión supone exostosis en el Hallux Valgus y se produce la enfermedad de Hadlung que forma hueso en el 1er dedo y en el calcáneo.
- Ley de Wolf (arquitectura ósea): cada cambio en la función del hueso es seguida de ciertas modificaciones en su arquitectura interna de acuerdo con las leyes matemáticas. Dependiendo del estrés aumenta o disminuye el grosor del hueso (ejemplo: descalcificación e los astronautas). Es reversible.
- Ley de Roux (fracturas): si es por cizallamiento el callo de fractura será de tejido cartilaginosos (ocurrirán refracturas), si es por tracción el callo será de tejido fibroso (ocurrirán refracturas) y si es por compresión el callo de fractura será óseo. [con compresión intermitente disminuye el tiempo de osificación].
- Ley de Godin (pubertad): se compone de 4 leyes,
 - crecimiento del tejido óseo: antes de la pubertad el 1er tejido óseo en crecer es el óseo, principalmente en

las extremidades. Después de la pubertad crece la columna.

- crecimiento de los tejidos del aparato locomotor: estos tejidos óseos crecen tras el óseo, por esto se recomienda no hacer musculación antes de la pubertad.
- ley de la alternancia: el hueso primero crece en longitud hasta que compromete su existencia, entonces crece en anchura para iniciar de nuevo el ciclo.
- ley de la asimetría: la extremidad más usada está más desarrollada (mayor densidad ósea y muscular) que la contralateral. Además la velocidad de crecimiento también es mayor.

• Osteoporosis: pérdida del tejido óseo. Empieza a partir de los 40 años, afecta más a las mujeres y se acelera con la menopausia (llega a ser hasta el 50% mayor que en los varones de la misma edad). Los sedentarios tienen más osteoporosis (47%) que las personas activas (23%). También suele aparecer en mujeres deportistas anoréxicas o amenorreicas.

Tema 7: Características biomecánicas de la estructura articular (I): mecánica articular. Biomecánica del cartílago hialino. Lubricación articular.

• Organogénesis articular:

– interzonas (en el feto):

- evolución a tejido fibrosos: sinartrosis (cráneo) [inmóviles].
- evolución a cartílago: anfiartrosis (esternón–costillas) [semimóviles].
- evolución a cavidad: hidartrosis (codo, rodilla, etc) [móviles].

– las articulaciones tienen una forma en función de su actividad (tipos de hidartrosis):

- enartrosis: hemiesfera hueca–esfera maciza (hombro, cadera): 3 grados de movimiento.
- condiloartrosis: superficie ovoidea–superficie ovoidea cóncava: 2 grados de movimiento (no rotaciones).
- silla de montar o encaje recíproco: superficies cóncava y convexa: 2 grados de movimiento (no rotaciones).
- trocleoartrosis: diseño de polea. 2 superficies convexas con canal y 2 superficies cóncavas con cresta (rodilla): sólo flexo–extensión.
- trocus: cilindro hueco–cilindro macizo (atlas–axis): sólo rotaciones.
- artrodia: el más móvil mecánicamente (columna). Las únicas con carillas planas para repartir uniformemente las cargas.

• Función de las articulaciones:

En condiciones fisiológicas las articulaciones son incongruentes: en el miembro superior porque dan más movilidad y en el miembro inferior porque se reparten mejor las cargas. [En el apoyo bipodal la cadera se sujeta sólo en el rodete de fibrocartílago. Si es monopodal también contacta más con el interior de la cavidad acetabular. Se introducirá más y la cabeza femoral contactará totalmente con la el interior de la cavidad sólo en la carrera].

Aguantan y reparten las distintas fuerzas al tejido adecuado. Las articulaciones transforman el cizallamiento que llega a la articulación en: fuerza de compresión (resistida por hueso y cartílago) y fuerza de tracción (resistida por ligamentos y tendones: tejidos blandos). La flexión la dividen en tracción y compresión y la torsión en cizallamiento y tracción.

• Componentes de las diartrosis:

- cápsula articular: es de tejido fibroso. Aguanta bien la tracción.
- membrana sinovial: durante el movimiento articular se produce fricción (resistencia generada entre 2

cuerpos cuando uno se mueve sobre el otro), ésta es absorbida por el líquido sinovial. La fricción depende de: la adherencia entre las superficies articulares (incongruencias) y la abrasión de la superficie dura sobre otra más blanda durante el movimiento.

El líquido sinovial evita la fricción articular (lubricante), absorbe la temperatura consecuente con la fricción y nutre al cartílago. Si se lesiona hay degeneración del cartílago. Es un fluido newtoniano en el que disminuye su densidad o viscosidad cuando aumenta el gradiente de velocidad (velocidad de la articulación) para mejorar el movimiento y evitar el contacto directo entre las superficies articulares en el mantenimiento de la postura.

Hay 2 tipos de lubricación:

– lubricación límite (ácido hialurónico): se coloca en el borde del segmento articular (similar al barniz). Con la edad sólo queda esta, las demás se pierden.

– lubricación por película de fluido: hay una capa de líquido que separa (no tapiza) las superficies articulares. Varios subtipos: expresión (al exprimir una superficie sobre la otra), hidrodinámica (al movimiento) e hidrostática (por una bomba de agua).

- cartílago hialino: formado con condrocitos y condroblastos. Se compone en una 60–80% de agua (parte fija–parte móvil, muy importante para la mecánica), proteoglicanos (fijan en agua) y colágena (absorbe la tracción). Su comportamiento mecánico es de material anisotrópico; su arquitectura interna sólo está preparada para recibir fuerzas en una sola dirección. El modelo mecánico es viscoelástico con componente plástico. Con la edad disminuye la función celular (al disminuir la colágena), resistencia a la tracción y a la fatiga (disminuye el nivel de ruptura). Las roturas del cartílago son por pequeñas cargas repetidas o altas repetidas, producen pequeños agujeros que formarán fisuras que pueden llegar hasta el hueso subcondral.
- ligamentos.
- dispositivos especiales: rodete, meniscos, discos y otras estructuras que mejoran la congruencia. No están siempre presentes pero sí son frecuentes. Resisten bien la tracción y compresión. También reparten las cargas pues con ellos aumenta la superficies de contactos.

Tema 8: Características biomecánicas de la estructura articular (II). Dinámica y cinemática articular.

· Cinemática articular: características,

– son desplazamientos angulares de los segmentos articulares.

– no existen ejes fijos de movimiento (trayectorias de ejes).

– existen rotaciones sobre los 3 ejes del espacio y traslaciones sobre los mismos (6 grados cinéticos).

· Mecánica articular: los movimientos articulares pueden ser,

– sin componente rotatorio (traslación) [ejemplo: patinar].

– con componente rotatorio (rodamiento y deslizamiento): se conoce como centro de rotación al punto en el que la velocidad relativa de los segmentos del cuerpo que se mueven alrededor de él es 0. Rodamiento es el movimiento en el que el centro de rotación con respecto al plano de referencia se sitúa siempre entre las 2 superficies articulares. En el deslizamiento el centro de rotación permanece siempre a la misma distancia de la superficie por la que se desliza (es el giro modificado); es el movimiento predominante en las articulaciones.

· Sistema propioceptivo articular:

- corpúsculos de Ruffini: detecta los cambios estáticos y dinámicos, sensibles a estímulos bajos, son de adaptación lenta (informan de posturas). Informan del equilibrio, las variaciones de estrés de los tejidos, la posición articular, velocidad del movimiento, ángulo articular y estrés.
- corpúsculos de Paccini: no se estimulan en los estados de equilibrio (posición mantenida), son de adaptación rápida. Señalan el inicio y final del movimiento, así como los cambios dinámicos de la deformación de los tejidos. Producen descargas sólo durante la aplicación o retirada de cargas y la aceleración y desaceleración del movimiento articular. Mientras no ocurran estas situaciones desaparecen y se activan los corpúsculos de Ruffini.
- terminaciones libres: sólo actúan cuando los estímulos sobrepasan lo habitual. Responden a la deformación de los tejidos por compresión, tracción y flexión.
- corpúsculos de Golgi: responden a la tracción pero tienen un umbral muy alto. Se localizan en la articulación (ligamentos, cápsula y meniscos) para dar reflejo polisináptico médula–corteza sensitiva y en los tendones para dar el reflejo monosináptico médula–cerebelo.

Tema 9 y 10: Características biomecánicas de los ligamentos y los tendones.

- Concepto: son estructuras blandas de tejido conjuntivo y cuyas propiedades mecánicas dependen de,
 - tipos de fibras: elásticas (elásticas y frágiles. Son amarillas), colágenas (tenaces y dúctiles) y reticulina (sólo dan volumen, no tienen propiedades mecánicas).
 - proporción entre las fibras: en los ligamentos las fibras elásticas están en mayor proporción (son así tejidos conectivos elásticos, poco deformables y frágiles) mientras en los tendones las fibras colágenas están en más proporción (son así tejidos conectivos flexibles, tenaces y dúctiles).
 - disposición de las fibras: en los ligamentos se orientan en distintas direcciones dependiendo de las sollicitaciones específicas de cada articulación pero con una orientación común ya que se distribuyen en paralelo y espiral. En los tendones la disposición es longitudinal y paralela al eje longitudinal del tendón.
- Ligamentos:
 - funciones: guiar el movimiento normal (por eso son elásticos), prevenir movimientos anormales, mantener la presión fisiológica intraarticular que permite que el cartílago se nutra y la propiocepción. Se discute que tengan que ver en el desarrollo y crecimiento articular.
 - composición: 2/3 de agua y 1/3 de colágeno, elastina y glicosaminoglicanos (GAG) [mantienen el agua en el ligamento].
 - comportamiento mecánico: anisotrópico.
 - modelo mecánico: viscoelástico sin componente plástico. La disposición del elemento viscoso y elástico es en paralelo (soportan así la compresión y la tracción).
 - curva de estrés–deformación de la elastina:

estrés

3

[ejemplo: ligamento amarillo]

2 El comportamiento depende de la composición.

1

deformación

- reclutamiento de las fibras de elastina (no simultáneamente para evitar una tensión exagerada).
- tensión creciente de las fibras una vez reclutadas (aumento del estrés para poca deformación).
- ruptura sin gran absorción de energía.

· Tendones:

- función mecánica principal: transmisión de fuerzas (del músculo al hueso y viceversa: tracción).
- composición: 90% de fibras colágenas (flexibilidad, gran resistencia a tracción [tenaces] y dúctiles [absorben mucha energía]), 0.5% de fibras elásticas, 0.5% de glicosaminoglicanos y 9% de agua.
- comportamiento mecánico: anisotrópico.
- modelo mecánico: viscoelástico sin componente plástico. Disposición de los elementos elástico y viscoso en paralelo y otro elemento elástico en serie con ambos.
- curva estrés–deformación:

estrés

3

2 4

1

deformación

- bajo módulo o rectificación de la ondulación de las fibras colágenas. [Parte elástica].
- comportamiento lineal o telescopaje de la cadena (las fibras se abren o cierran en grupos) o flujo de cadenas. [Parte elástica].
- perfil no lineal por compresión de las células del tejido. Indica el inicio de la ruptura.
- ruptura.

· Comportamiento viscoso (en tendón y ligamento): dependen del tipo de fuerza que se aplica,

- tracción lenta o cíclica: rotura a nivel de la unión hueso–tendón.
- tracción rápida: lesión en el interior del tendón.

· Unión hueso–tendón: no es directa sino por capas de tejidos. El tendón contacta con el hueso con una inclinación de 30° para aumentar la superficie de contacto,

- tendón: dúctil, flexible y resistente a la tracción.
- fibrocartílagos: tendón y cartílago. Amortiguador y lugar del crecimiento del tendón. Nivel de ruptura en los jóvenes.
- fibrocartílago calcificado: nivel de ruptura en los adultos.
- tejido óseo: resistencia a la compresión.

· Unión músculo–tendón:

Las fibras musculares (sarcómeras) que se imbrican con fibras de colágena en una fusión multicapas estableciéndose una gran superficie de contacto. Con esta fusión multicapas aumenta la superficie de contacto entre tejidos. Cuando sobre esta unión se producen cargas a gran velocidad las roturas originadas se localizan en el vientre muscular o en la unión músculo-tendinosa pero no en el tendón.

La tensión que un tendón puede soportar puede ser más del doble de la que puede generar el músculo: Elliot.

Clasificación funcional:

- tendón con alto índice de lesión: son capaces de almacenar gran cantidad de energía en poco tiempo. Van unidos a músculos de gran potencia (cuadriceps o tríceps sural).

- tendón con bajo índice de lesión: no son capaces de almacenar energía en poco tiempo. Unidos a músculos de resistencia (extensores y flexores de la mano).

- Mecanismo de deformación plástica del tendón y ligamento:

- altas temperaturas por electroterapia, etc: permite un cambio en la estructura de colágena que permite disminuir la tensión del elemento viscoso y su relajación.

- elongación prolongada en el tiempo (stretching) y elongación cíclica suave (cirias): rompen el enlace intermolecular de la colágena y aumenta el flujo viscoso.

La rápida movilización tras la sutura del tendón origina una mejor respuesta mecánica y funcional que la obtenida con inmovilización (por aumentar las resistencias mecánicas). La resistencia a la tracción del tendón disminuye en ausencia de cargas, sobre todo en jóvenes adultos. El ejercicio permite el trofismo de los ligamentos con lo que se retrasa su degradación fisiológica. En los tendones tenemos mecanorreceptores (entre ellos el órgano tendinoso de Golgi) que bloquean la acción del músculo agonista cuando su tracción es demasiado alta.

Temas 11 y 12: Características biomecánicas del músculo.

- Comportamiento mecánico: anisotrópico (diseñado sólo para recibir y producir fuerza en una única dirección).

- Fibras musculares:

- tipo I: rojas, lentas y aeróbicas. Alta resistencia pero producen poca fuerza. Mantienen la posición (típicas de los músculos de los canales paravertebrales).

- tipo II: blancas, lentas y anaeróbicas. Producen gran potencia en poco tiempo. Son las llamadas fibras de estallido y son típicas de los músculos de las extremidades [ejemplo: fibras tipo IIB].

- fibras tipo IIA: dan resistencia y potencia (entre tipo I y tipo II).

Las fibras se reclutan por orden (I, IIA y IIB). Para contraer con una cierta fuerza actúan sólo cierto número de unidades motoras. Si se necesita aumentar la fuerza también aumenta el reclutamiento de unidades motoras.

F

Carga pesada

Tipo IIB

Carga intermedia

Tipo IIA

Carga ligera

Tipo I

t

- Fuerza muscular: en la acción de fuerza o resistencia también influye la orientación de las fibras con respecto al eje longitudinal. Los músculos penniformes generan más fuerza que los fusiformes. Esto es porque la sección transversa fisiológica es mayor en los penniformes (tienen más puentes actina-miosina).

- Modelo mecánico: viscoelástico sin componente plástico. El elemento viscoso es la sarcómera (elemento contráctil) que actúa como un émbolo, los 2 elementos elásticos son el tejido conjuntivo (algunos autores también incluyen al tendón) que se encuentran en serie y paralelo almacenan energía para ser utilizada posteriormente además de ofrecer resistencia a la elongación. El elemento elástico en paralelo amortigua la elongación o carga de velocidad y así se produce la histeresis (mayor en los músculos) al deformarse. El comportamiento viscoelástico se corresponde con el comportamiento de un sistema de amortiguación.

- Comportamiento viscoelástico:

- ventajas: en el momento del choque se produce una deformación instantánea del tejido conectivo (muelle) que absorbe la energía generada transformándola en amortiguación. Las sarcómeras evitan la oscilación del muelle.

- desventajas: los antagonistas al movimiento generado se tensan con una resistencia que aumenta según se incrementa la velocidad. Son los que suelen lesionarse pues son un sistema de amortiguación. Las fuerzas productoras del movimiento deben aumentarse para vencer esta resistencia con un correspondiente aumento del gasto energético.

Es un sistema tiempo dependiente en el que la deformación depende de:

- magnitud de la fuerza: si es grande o a gran velocidad aumentará la rigidez y la absorción de energía. Mientras se es pequeña y constante se produce una relajación de la tensión del interior del material con una elongación mantenida. [creep: capacidad del tejido para modificar su longitud y deformarse más allá del límite pero sin aumentar su tensión. Lenta y continua deformación en el tiempo].
- duración de la fuerza.
- velocidad de aplicación de la carga.
- temperatura del tejido.

- Viscoelasticidad muscular stretching: produce un aumento de la elasticidad muscular y, por tanto, un aumento de movilidad articular. Los movimientos balísticos son movimientos veloces y son los más peligrosos (especialmente en ancianos) pues producen roturas de la sarcómera. Los estiramientos rápidos originan rigidez del tejido y almacenan tensión sin mantener la elongación en el tiempo con lo que no permiten el creep o la relajación de tensión. La deformación aumentará con : altas temperaturas (transición térmica de la microestructura de la colágena que permite disminuir el elemento viscoso y aumentar la relajación), elongación cíclica, suave y prolongada en el tiempo que permite el aumento del flujo viscoso.

· Rendimiento muscular:

- Ley de Starling: Un estiramiento previo a la contracción muscular permite mayor eficacia. Esto se debe a que se elongan los muelles que luego unen esa energía a la de la contracción propia del músculo. Este fenómeno ocurre en el músculo y la unión músculo-tendinosa y se da en situaciones como la marcha o el salto.
- Ley de la detorsión: Cuando un músculo se contrae tiende a colocar inserción y origen en un mismo plano.
- Ley de Steindler: De la posición de la articulación depende la acción fisiológica del músculo. El músculo es más estabilizador cuanto mayor sea su componente paralela u horizontal al eje longitudinal del hueso donde se inserta. Será más facilitador del movimiento cuanto mayor sea su componente perpendicular al eje longitudinal del hueso. [ejemplo: bíceps braquial: mayor componente perpendicular a 90° de flexión y mayor componente horizontal en extensión].

– modificación del tejido conectivo con entrenamiento: con el entrenamiento de resistencia aumenta su tamaño y resistencia mecánica a la tracción de los tendones. Mientras que con el entrenamiento de velocidad aumentan las cubiertas conectivas musculares (endomysio, perimysio y fascias) por un estímulo en la producción de colágena.

· Huso neuromuscular y órgano de Golgi:

El huso está formado por el saco nuclear que informa de la velocidad y por la cadena nuclear que informa del estado de tensión de las fibras. A través de ambos se aumenta o disminuye la activación de los agonistas, sinergistas, etc. En definitiva informan del estiramiento interno producido por la activación de las motoneuronas con inhibición de los agonistas y excitación de los sinergistas.

Golgi informa de la tensión muscular: el aumento de la tensión muscular produce la activación del órgano tendinoso de Golgi que informa a la motoneurona que produce la inhibición de los músculos agonistas.

· Fuerza muscular:

– concepto: tensión que actúa sobre el origen e inserción durante la contracción muscular con igual magnitud y dirección pero sentido convergente. Es producida en función de los filamentos de actina que trepan sobre los de miosina.

– depende de:

- longitud del músculo.
- área de sección transversa fisiológica (orientación de las fibras): esta área equivale a la suma de todas las áreas transversas de las fibras que constituyen el músculo (cortes perpendiculares a las fibras musculares y no al músculo. Las áreas han de ser máximas y como en penniforme tiene 2 ($A_1 + A_2$) genera más fuerza que un músculo fusiforme.

A1 A1

A2

Músculo Músculo

fusiforme penniforme

- ángulo de posición articular (posición de la articulación): dependiendo de la posición de la articulación con respecto al eje longitudinal del hueso donde se inserta suponen que tenga una acción estabilizadora o

facilitadora del movimiento (Ley de Steindler).

- contribución del componente elástico muscular.
- velocidad de la acción muscular.

– longitud de reposo (l_0): posición en la que se consigue la fuerza máxima. Corresponde con la activación de todos los puentes de actina y miosina de las sarcómeros. La fuerza disminuirá por encima y debajo de la longitud de reposo. Cuando la fibra se acorta más allá de la mitad de la longitud de reposo los puentes de actina–miosina se superponen. Al final del rango articular el músculo está más débil y no puede generar gran fuerza. Cuando un músculo está activado y es elongado un 20% más de la longitud de reposo la tensión del músculo es mayor que en la longitud de reposo, esto no es causa de los puentes de actina–miosina sino del tejido conectivo (elemento pasivo) que almacena energía que se añade a la tensión total. Si la elongación es mayor del 20% de la longitud de reposo la tensión caerá por la desconexión de puentes. Existe una zona de fuerzas privilegiadas en la que la fuerza es máxima, a partir de esta zona la fuerza será inframáxima.

F F 120%

tensión total

tensión

activa capacidad contráctil

tensión pasiva

50 100 % l_0 l_0 (100%) % l_0

– efecto banda elástica: si se extiende más allá de la longitud de reposo su fuerza de contracción dependerá de su capacidad para hacer puentes y de la tendencia de los componentes elásticos del músculo de volver a su situación inicial.

– longitud de acortamiento: sólo puede ser como máximo del 50% de su longitud inicial porque así lo hacen las sarcómeros y las células musculares. Un músculo fusiforme (localizados en lugares de ejecución de movimientos de gran amplitud) se puede acortar más que uno penniforme (localizados donde se requieren movimientos de pequeña amplitud).

· Tipos de contracción:

– contracción isométrica: donde la fuerza es constante.

– contracción concéntrica: la fuerza disminuye según el músculo se acorta.

– contracción excéntrica: genera el mayor nivel de fuerza por elongarse las fibras musculares mientras se contraen.

· Trabajo muscular:

– concepto: el trabajo mecánico corresponde al producto de la fuerza aplicada sobre un objeto y la distancia en la que el objeto se mueve durante la aplicación de dicha fuerza [$W = F \times l$]. Es el producto del momento de fuerza y el desplazamiento angular del segmento: $W_{\text{angular}} = M_{\text{fuerza}} \times \text{recorrido angular (rad)}$.

– tipos:

- estático (isométrico): no hay recorrido articular. Existen variaciones de longitud interna en el músculo aunque la longitud total del músculo no varía. [$W = F \times l$].
- dinámico (concéntrico o excéntrico): hay recorrido articular.
 - ♦ concéntrico: la fuerza produce rotación en el mismo sentido del cambio del ángulo articular. Se aproxima inserción a origen. La acción se denomina trabajo positivo. Se realiza en la aceleración y siempre contragrávida. Consume gran cantidad de energía porque tiene que vencer la fuerza del elemento pasivo. El trabajo disminuye a medida que el músculo se contrae más.
 - ♦ excéntrico: la fuerza produce rotación en sentido contrario al del cambio del ángulo articular. Se alejan origen e inserción. La acción se denomina trabajo negativo. Se realiza a favor de la gravedad o cuando se controla o decelera el segmento articular. Consume poca energía porque hay menos fricción y recluta menos fibras para realizar una misma cantidad de fuerza. Genera el mayor nivel de fuerza. Lesiones habituales.

F

140%

100% (máxima estática)

(-) 0 (+) velocidad contracción

Trabajo excéntrico Trabajo concéntrico

A mayor velocidad de contracción Velocidad y fuerza inversamente

mayor fuerza final de contracción. relacionadas.

(en la relación fuerza-velocidad contracción gana el trabajo excéntrico)

· Potencia muscular: corresponde al trabajo angular realizado por un músculo en un periodo de tiempo; $P = dW/dt$ $P_{angular} = M_{fuerza} \times v_{angular}$.

Tema 13: Consideraciones generales de la construcción del aparato locomotor.

· Ley de Roux: Se trata de conseguir con el mínimo material posible la máxima resistencia. Así se consigue una ventaja mecánica pues al disminuir la masa también reducimos el gasto energético para movilizar los segmentos corporales.

· Arquitectura ósea:

– índice de seguridad de un hueso:

depende del:

- diseño para soportar cargas habituales.
- diseño para soportar cargas por encima de las habituales.

se mantiene a través del ahorro de material con hueso tubular (esponjoso) y sistemas trabeculares (compacto).

– riesgo de ruptura: depende de,

- magnitud y velocidad de la carga: cuando la fuerza se sitúa en el eje de carga de la columna las solicitaciones son de compresión. A mayor magnitud de la carga mayor será la sollicitación de compresión, este estrés es compensado por un aumento del diámetro de la columna. Este aumento de diámetro supone que aumente el peso del segmento corporal [se contradice con la ley de Roux], para que esto no ocurra los huesos son tubulares (huecos), aunque en vaciamiento no es uniforme ya que se vacía menos en la zonas de más riesgo. La concentración de material se produce en las zonas con más sollicitaciones formándose un sistema trabecular o compacto. El resto de las zonas están ocupadas por tejido óseo conjuntivo.
- situación de la carga: cuando la carga se sitúa fuera del eje de carga de la columna vertebral las sollicitaciones pasan a ser de flexión (tracción y compresión), siendo el riesgo de ruptura mayor en el punto de tracción y en excéntrico. La disminución de la sollicitación por la situación excéntrica de la carga se realiza por 3 mecanismos que se complementan: contrapeso (modifica las sollicitaciones de flexión que sufre la columna en cuanto a las fuerzas de compresión. No se utiliza la misma masa del peso para no contradecir la ley de Roux. Ejemplo: trocanter mayor en el apoyo monopodal), obenque o tirante (modifica también a la flexión en cuanto a la compresión. Esta función está realizada por los músculos del aparato locomotor. Ejemplo: tensor de la fascia lata con respecto al fémur) e incurvación de la columna (invierte las sollicitaciones para anular las fuerzas de tracción y que queden sólo las de compresión que son bien toleradas por el hueso).

· Diseño del aparato locomotor:

– en apoyo monopodal: la carga que llega de la columna se reparte mejor sobre ambas piernas.

– en apoyo bipodal: en este caso la sollicitación es de flexión,

- obenque del glúteo mediano.
- obenque del ligamento lateral externo de la rodilla.
- aumento del diámetro de la columna ósea principalmente en las epífisis y articulaciones.
- contrapeso del trocanter mayor y obenques del tensor de la fascia lata y peroneos laterales largo y corto.
- reducir el brazo de resistencia aproximando a la vertical del peso la extremidad.

[en bipedestación: obenques (glúteo mayor, poplíteo y sóleo), aumento del diámetro de la rodilla, otros obenques (isquiotibiales y gemelos) e incurvación columna (fémur y tibia)].

Tema 14: Biomecánica de la cintura escapular. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

· Complejo articular del hombro: formado por 5 articulaciones,

- articulación escapulohumeral o glenohumeral.
- articulación esternocostoclavicular.
- articulación acromioclavicular.
- articulación subdeltoidea o suprahumeral (articulación mecánica pero no anatómica).
- articulación escapulotorácica (articulación mecánica pero no anatómica).

· Articulación escapulohumeral o glenohumeral:

Es muy móvil. Enartrosis con discordancia entre las superficies articulares (incongruencia fisiológica para aumentar el rango de movimiento).

En posición de reposo la cavidad glenoidea y la epífisis proximal del húmero están orientadas hacia arriba, dentro y detrás (retroversión). Existe un rodete de fibrocartilago para aumentar la superficie articular en un 75% (aunque puede estar ausente). No toda la cabeza está en contacto en toda la amplitud y tipo de

movimiento con la glena para evitar el choque continuo del cartilago.

Para la correcta mecánica es indispensable la integridad capsulo-ligamentosa y muscular: los movimientos son fundamentalmente de rodamiento y deslizamiento (traslación y giro).

– estabilizadores: estáticos (rodete glenoideo, cápsula articular, ligamento glenohumeral superior, medio o anterior e inferior y ligamento suspensorio que es la asociación de los ligamentos coracohumeral, glenohumeral superior y de Gordon-Brodie [fibras que saltan de uno a otro]) y dinámicos (manguito de los rotadores interno y externo que hace inserción común en la cabeza humeral).

– musculatura: 5 músculos se consideran como motores primarios (deltoides, supraespinoso, infraespinoso, redondo menor y subescapular).

· Articulación esternocostoclavicular:

Silla de montar pero con un disco intraarticular que hace que no sea un encaje recíproco sino que las superficies resbalan. El disco divide la articulación en 2 cavidades con funciones diferentes: superior (movimientos de ascenso y descenso de la clavícula en el plano frontal [30–40°]) e inferior (movimientos de deslizamiento en sentido anteroposterior en el plano sagital [30°]). En realidad son 3 grados de movimientos porque el disco produce una rotación sobre sí misma de la clavícula [40–50°].

La estabilidad articular se consigue por la acción de:

- potente cápsula articular.
- ligamento costoclavicular o romboideo: si se rompe conlleva la luxación. Además dirige los movimientos de la clavícula gracias a que se divide en 2 láminas (medial y lateral) que controlan cada uno de los movimientos de la cámara anterior.
- músculo subclavio (actúa como ligamento activo).

· Articulación acromioclavicular:

Interrelacionada con la articulación esternocostoclavicular. Artrodia teórica con un disco de fibrocartilago que aumenta las amplitudes. Está recubierta por una densa cápsula y un sistema ligamentoso acromioclavicular superior e inferior que sólo estabilizan. Mecánicamente los ligamentos coracoclaviculares sirven de eje de rotación durante los movimientos de la escápula: los ligamentos trapezoide y conoide, que forman un ángulo de 90° entre sí para controlar movimientos claviculares de ascenso-descenso y anteroposteriores.

– movimientos de la escápula:

- protracción (abd) y retracción (add) [30–50°]: alrededor del eje vertical. Limitado por el ligamento conoide.
- báscula hacia dentro y fuera [60°]: sobre el plano frontal. Limitado por el eje trapezoide.
- elevación y depresión [30°]: limitado por los músculos antagonistas al movimiento y no por los ligamentos trapezoide y conoide.

· Articulación subdeltoidea:

Sólo actúa en la separación y flexión del hombro. Situada bajo el deltoides. Formada por la cabeza humeral tapizada por el músculo supraespinoso (convexo) y el acromion, coracoides y ligamento acromiocracoides (cóncavo). Entre ambos segmentos hay una bolsa serosa que impide el contacto y cizallamiento. Si esta se lesiona se produce cicatrización y se unen las estructuras adyacentes quedando la articulación fija y evitando la entrada del húmero en el segundo segmento (hombro congelado).

– variaciones anatómicas del acromion según Bigliani:

- tipo I: acromion plano (el más frecuente).
- tipo II: acromion curvo.
- tipo III: acromion en forma de gancho (se asocia con un 70% de las roturas del supraespinoso y el manguito de los rotadores).

– atrapamiento subacromial (impingement): la abducción y rotación de la cabeza humeral de forma repetida provocan la sobresolicitación en compresión del supraespinoso y la bursa. Esta última se daña y la compresión pasa al periostio que responde produciendo osteofitos subacromiales.

· Articulación escapulotorácica:

Existe un movimiento sinérgico de la clavícula al ser arrastrada por el omoplato a través de la articulación acromioclavicular de forma que por cada 60° de movimiento escapulotorácico 20° pertenecen al acromion y 40° a la articulación esternocostoclavicular.

– músculos y movimientos de la escápula:

- protractores: pectoral mayor y menor y serrato.
- retractores: romboides mayor y menor, trapecio (fascículo medio) y dorsal ancho (en su inserción escapular).
- elevadores: trapecio (fibras superiores), angular de la escápula y romboides mayor y menor.
- báscula hacia fuera (glena orientada hacia arriba y fuera): serrato anterior y trapecio (fibras superiores e inferiores).
- báscula hacia dentro (glena orientada hacia abajo y dentro): elevador de la escápula, romboides y dorsal ancho.

· Abducción del hombro:

Los movimientos del húmero sólo se produce en los primeros 90°:

– 0–60°: rodamiento y/o traslación.

– +60°: deslizamiento (giro).

Participación de las articulaciones (responsabilidades máximas):

- 0–90°: articulación escapulohumeral. Después hace sólo movimientos internos. También actúa el resto de articulaciones.
- 90–150°: articulación escapulotorácica. También las articulaciones esternocostoclavicular y acromioclavicular.
- 150–180°: la columna vertebral actúa a partir del bloqueo del plano de deslizamiento escapulotorácico mediante la inclinación toracolumbar contralateral.
- articulaciones vicariantes: son las articulaciones esternocostoclavicular, acromioclavicular y subdeltoidea. Su lesión compromete el buen ritmo escapulohumeral.

Los músculos que mantienen la coaptación de la cabeza humeral durante la abducción evitando la componente luxante del deltoides y el atrapamiento subacromial son infraespinoso, supraespinoso y redondo menor.

– músculos agonistas:

0–90°: supraespinoso y deltoides (más la acción de: subescapular, infraespinoso y redondo menor. La acción de estos músculos se reduce progresivamente). La falta del supraespinoso no es iniciador de la acción y, por ello, la abducción es normal hasta los 30°, pero la reduce de forma importante a partir de estos grados. Sin embargo la falta del deltoides origina una pérdida uniforme de la abducción en todo el arco de movimiento.

+90°: bíceps braquial (estabilizador del húmero), trapecio y serrato mayor (articulación escapulotorácica).

· Aducción del hombro:

A partir de los 70–80° no puede realizarse ni en los planos frontal y escapular (orientación de la glena de 30°). Se suele realizar una aducción del húmero de 45° asociado a una flexión del hombro.

– músculos agonistas: pectoral mayor, dorsal ancho, tríceps braquial, redondo mayor y subescapular. Estos músculos necesitan la fijación de la escápula a través de la acción simultánea de trapecio, romboides, angular de la escápula, pectoral menor y subclavicular. Se establecen pares musculares entre tríceps braquial y dorsal ancho (la cabeza larga del tríceps anula la componente luxante descendente del húmero que tiene el dorsal ancho) y entre redondo mayor y romboides (la rotación interna del redondo mayor es anulada por la acción del romboides transformándose en aductor).

– músculos estabilizadores del húmero durante la aducción (sinergistas y fijadores): fibras internas del deltoides, porción corta del bíceps braquial, coracobraquial e infraespinoso.

· Flexión del hombro:

Participación de las articulaciones (responsabilidades máximas):

- 0–60°: articulación escapulohumeral.
- 60–120°: articulación escapulotorácica.
- 120–180°: columna vertebral (músculos homolaterales y contralaterales que aumentan la lordosis lumbar. En patologías de la columna lumbar se recomienda no acabar el movimiento de flexión).

– músculos agonistas: deltoides (fascículo anterior), coracobraquial y pectoral mayor (fascículo clavicular).

– músculos sinergistas: subescapular y bíceps braquial (porción corta y larga).

El ligamento coracohumeral frena el movimiento a los 60–80° de flexión quedando así bloqueada la articulación escapulohumeral. A partir de aquí actúan el serrato mayor y trapecio llevando la glena hacia arriba, fuera y delante. El movimiento a los 120° es frenado por la tensión de dorsal ancho e infraespinoso.

· Extensión del hombro:

Se da una aducción de escápula en el plano frontal pivotando esta hacia abajo y dentro (báscula interna).

– músculos agonistas: romboides, dorsal ancho, trapecio (fascículo medio), redondo mayor y tríceps braquial (cabeza larga). [En los últimos 10° también participa la columna vertebral, por eso hay una cadena cinética. El límite es el fascículo anterior del ligamento coracohumeral].

– músculos sinergistas: infraespinoso y redondo menor.

– participación de las articulaciones:

- articulación escapulohumeral: deltoides (espinal), dorsal ancho, redondo mayor, tríceps braquial (cabeza

larga). Infraespinoso y redondo menor como músculos sinergistas.

- articulación escapulotorácica: romboides, dorsal ancho y trapecio (fascículo medio).
- columna vertebral.

· Rotación externa del hombro:

Se valora con el codo en flexión. Sólo es útil para escribir o abarcar algo. Participan todas las articulaciones (también la columna vertebral) excepto la subdeltoidea.

– músculos agonistas:

- articulación escapulohumeral: infraespinoso (durante todo el movimiento) y redondo menor (a partir de los 30°). Como músculo sinergista encontramos al deltoides (espinal y fibras más mediales).
- articulación escapulotorácica: trapecio (aducción de la escápula).

· Rotación interna del hombro:

Participan todas las articulaciones excepto la subdeltoidea y la columna vertebral. Ahora la glena hace abducción.

– músculos agonistas: dorsal ancho, redondo mayor, subescapular, redondo mayor y deltoides (porción anterior o clavicular).

[El bíceps braquial limita la amplitud de la rotación externa colaborando en la interna, por eso si se lesiona puede confundirse con una lesión del manguito de los rotadores].

Tema 15: Biomecánica del complejo articular del codo. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

· Complejo articular del codo:

Colabora con el hombro en la aplicación de fuerza y control del movimiento de la mano en el espacio facilitando su versatilidad de movimiento.

Compuesto por 3 articulaciones:

- articulación humerocubital (trocleoartrosis).
- articulación humeroradial (condiloartrosis).
- articulación radiocubital proximal (troclus).

· Diseño de la epífisis distal del húmero:

- inclinación anterior de 45° (con respecto al plano frontal). Si no existiese, al flexionar el brazo el codo se frenaría en 90–100°, de esta manera queda espacio para los músculos y se alcanzan los 140–150°.
- existencia de cavidades para albergar superficies óseas que permite mayor amplitud de movimientos.
- oblicuidad de la tróclea humeral (es el valgo fisiológico del codo). En mujeres es de 10–15° y en hombres de 20–25°.

· Articulación humeroradial:

Se encarga de la flexión y extensión del codo aunque también del valgo y varo. El cóndilo humeral (ayudado por los músculos epicondíleos) soporta y absorbe la compresión y cizallamiento que se originan durante

lanzamientos y movimientos rápidos del brazo. Debido a la orientación en valgo, las fuerzas soportadas por el cóndilo radial son de compresión, mientras el ligamento lateral interno absorbe la tracción.

· Congruencia articular:

La situación de máxima congruencia de las diferentes articulaciones no se consigue en la misma del codo:

- articulación humeroradial: 80° de flexión y semipronación.
- articulación humerocubital: extensión total.
- articulación radio cubital proximal: semipronación.

· Sistema ligamentoso del codo:

- ligamento lateral interno: controla el estrés en valgo de la articulación (durante la extensión total). Consta de 3 fascículos: anterior (refuerza al ligamento anular), medio (se inserta en el húmero) y posterior (se inserta en el olécranon del cúbito).
- ligamento lateral externo: controla el estrés en varo de la articulación. Consta de 3 fascículos: anterior, medio (ambos refuerzan el ligamento anular) y posterior (se inserta en el olécranon).
- ligamento anular: completa el trocus funcional de la articulación radiocubital proximal. Estabiliza la cabeza del radio.
- ligamento de Denucé: tiene forma de abanico. Estabiliza la cabeza del radio en el movimiento de pronosupinación del antebrazo. Tiene que ver con la articulación radiocubital proximal.

[El fascículo anterior del ligamento lateral interno, los fascículos anterior y medio del ligamento lateral externo, el ligamento anular y el de Denucé evitan la luxación de la cabeza del radio por parte del bíceps braquial. La cabeza del cúbito está estable por la acción del tríceps braquial y braquial anterior (también en la posición de flexión)].

· Estabilizadores activos del codo:

La posición más estable del codo para la tracción es la extensión (menor riesgo de luxación):

- músculos del brazo: braquial anterior, tríceps braquial y bíceps braquial.
- músculos del antebrazo: supinador largo, epitrocleares y epicondíleos.
- en la zona interior del codo: braquial anterior, tríceps braquial, supinador largo y epitrocleares.
- en la zona exterior del codo: bíceps braquial y epicondíleos.

· Flexión del codo:

Participan las articulaciones humeroradial y humerocubital.

– músculos agonistas: bíceps braquial (máxima acción y capacidad de movimiento entre 30 y 120°, y especialmente entre 80 y 100°), braquial anterior (máxima acción con 90–100° de flexión) y supinador largo (máxima acción con 110–120° de flexión).

Estos músculos poseen componentes asociados de movimiento (Ley de la detorsión):

- bíceps braquial: flexión + componente de supinación.
- braquial anterior: flexión + componente de pronación.
- supinador largo: flexión + supinación (en pronación máxima) y flexión + pronación (en supinación)

máxima). En posición neutra es flexor puro.

Son músculos antigravitatorios (imprescindibles para la supervivencia), por ello tienen distinta inervación: bíceps braquial y braquial anterior están inervados por el músculo-cutáneo, mientras que el supinador largo lo está por el nervio radial.

· Extensión del codo:

Participan las articulaciones humeroradial y humerocubital.

– músculos agonistas: tríceps braquial, es el músculo más potente y resistente del antebrazo. No es un músculo antigravitatorio por lo que todos sus vientres tienen la misma inervación (nervio radial). Con 20–30° de flexión tenemos su posición de máxima ventaja mecánica. Con flexión máxima de codo y hombro el tríceps braquial tiene la mejor posición para actuar de acuerdo con la Ley de Starling (lo hace a través de la polea del olécranon).

· Pronación y supinación del antebrazo:

Es un movimiento conoide de base distal (el radio gira sobre el cúbito y éste sobre su eje). En la articulación radiocubital proximal durante la supinación los huesos están paralelos mientras en la pronación el radio se coloca por encima del cúbito. Los movimientos son realizados por la articulación radiocubital distal (trocleus invertido: el radio es el cilindro hueco y el cúbito es el macizo), la proximal es pasiva y sólo acompaña el movimiento. Ambas son coaxiales (mismo eje de arrastre) y cocongruentes (idéntica posición de máxima congruencia).

Mecánicamente hablando existe una 3ª articulación, la membrana interósea (sinsarcosis) que une los huesos y permite el movimiento de pronosupinación. Asegura la posición adecuada de los huesos del antebrazo para realizar el movimiento. Transmite fuerzas de compresión entre radio y cúbito en su parte central y fuerzas de tracción en sus partes distales.

– articulación radiocubital distal: tiene 2 ligamentos,

- ligamento radiocubital palmar o anterior: limita la supinación.
- ligamento radiocubital dorsal o posterior: limita la pronación.

– músculos pronadores: pronador cuadrado y pronador redondo. Situados en los 2/3 distales del antebrazo. Inervados ambos por el nervio mediano. Útil en la escritura pero la abducción del hombro es capaz de cumplir su función.

– músculos supinadores: supinador corto (nervio radial) y bíceps braquial (nervio músculo-cutáneo). Situados en 1/3 proximal del antebrazo.

· Lesiones del codo:

Esta articulación está sometida a grandes solicitaciones que pueden provocar una lesión por su participación en acciones repetidas (ejemplo: lanzamientos):

- se crean fuerzas de tracción a gran velocidad sobre la región medial del codo.
- se crean fuerzas compresivas sobre la porción lateral.
- se crean fuerzas de cizallamiento sobre la región posterior.

– epitrócleitis: se origina por una tracción a gran velocidad sobre la región medial del codo unido a una acción

asociada a los flexores del carpo.

– epicondilitis o codo de tenista: debido a repetidas sollicitaciones de la zona de origen de los músculos extensores del carpo.

Tema 16: Biomecánica del complejo articular de la muñeca. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

· Complejo articular:

Constituido por la unión del antebrazo con los huesos del carpo. Realiza 2 movimientos y consta de 2 articulaciones:

- articulación radiocarpiana: unión del radio con los huesos de la 1ª hilera del carpo (no existe un contacto directo por interponerse el ligamento triangular que soporta la mayor cantidad de cargas en pronación máxima e inclinación cubital. El radio absorbe el 80% restante de las cargas). Es una condiloartrosis con movimientos de flexoextensión e inclinación radial y cubital.
- articulación mediocarpiana: condiloartrosis. Los huesos de la 1ª hilera (escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme) están unidos mediante artrodias y por 2 membranas interóseas para mejorar su movilidad aunque son fácilmente subluxados (especialmente el hueso semilunar). Los huesos de la 2ª hilera (trapecio, trapezoide, grande y ganchoso) también son artrodias por con una movilidad más limitada por estar unidos por potentes ligamentos. El ligamento anular une el 1er (trapecio) y último hueso (ganchoso) de la 2ª hilera. Su máxima estabilidad la encontramos en inclinación radial. La mayor estabilidad de la muñeca está en hiperextensión (por ser la posición de contacto máximo entre los cartílagos hialinos de las 2 hileras).

· Sistema ligamentoso de la muñeca:

– ligamentos extrínsecos: más potente y resistentes a traumatismos. Unen carpo con radio o cúbito.

- dorsales: radiopiramidal dorsal.
- palmares [estabilizan a nivel del teórico eje de flexoextensión: interlínea articular de semilunar y grande]: extrínseco palmar profundo (desde el radio y cúbito hasta el semilunar) y extrínsecos palmares superficiales (desde el radio y cúbito hasta el centro de la cabeza del hueso grande donde se localiza el 2º eje de movimiento de la muñeca [abd–add]).

– ligamentos intrínsecos o interóseos: menos potentes. Relacionan los huesos del carpo entre sí.

- dorsal: desde piramidal hasta trapecio y trapezoide.
- palmares: unen entre sí piramidal–ganchoso–grande y escafoides–trapecio–trapezoide.

[En la muñeca no existen ligamentos laterales. Esta ausencia se compensa por la acción de los músculos cubital posterior (medialmente) y abductor largo y extensor corto del pulgar (lateralmente). Las luxaciones son más frecuentes hacia cubital y palmar].

· Mecanismos estabilizadores de la muñeca:

- cóndilo carpiano sobre la glenoides radial (articulación radiocarpiana). La luxación se encuentra bajo control de los ligamentos radiocarpianos (radio–piramidal [dorsal] y radio–grande y radio–semilunar [palmares]).
- sistema de la hilera proximal. Estabilización dependiente de las membranas interóseas y los ligamentos intrínsecos de la 1ª hilera (escafoides–semilunar y semilunar–piramidal).
- en la articulación mediocarpiana a través de sus ligamentos intrínsecos palmares:

- escafoides–trapecio–trapezoide (estabiliza el pulgar) y piramidal–ganchoso–grande (estabiliza el 5º dedo).
- sistema de la hilera distal con sus ligamentos interóseos palmares y dorsales.

· Flexión de la muñeca:

La articulación mediocarpiana completa el 60% del rango total de movimiento. El otro 40% corresponde a la articulación formada por radio–escafoides–semilunar. En las AVD sólo utilizamos una amplitud de 10–15°. La flexión de muñeca se reduce si se asocia a la flexión previa de los dedos y, por tanto, la flexión de muñeca y la extensión de dedos son sinergias.

El movimiento de flexión se inicia en la hilera distal que provoca la tensión de los ligamentos de la articulación mediocarpiana (principalmente el ligamento piramidal–trapecio–trapezoide) para acabar moviendo el escafoides (que moverá el semilunar y piramidal a través de la membrana interósea).

Con una flexión de muñeca de 20° y una pinza digital las sollicitaciones de la columna central de la mano (2º y 3er dedo) y los flexores profundo y superficial son muy intensas. Si existe tenosinovitis puede atraparse el nervio mediano en el ligamento anular del carpo.

– músculos agonistas: palmar mayor y menor (este último es dispensable, en algunos individuos está ausente) y cubital anterior (el más potente).

· Extensión de la muñeca:

La responsabilidad máxima es para la articulación radiocarpiana que completa el 66% del rango. El resto (33%) es para la articulación mediocarpiana. En las AVD sólo utilizamos una amplitud de 35°. La extensión de muñeca se reduce si se asocia a la extensión previa de los dedos.

El movimiento de extensión se inicia en la hilera distal que provoca la tensión de los ligamentos de la articulación mediocarpiana (principalmente los ligamentos extrínsecos palmares profundo y superficiales) para acabar moviendo el escafoides (que moverá el semilunar y piramidal a través de la membrana interósea).

– músculos agonistas: 1er y 2º radial, cubital posterior (siempre activos con la flexión de dedos para la función prensora) y abductor propio del pulgar (en menor medida).

· Inclinación radial o abducción de la muñeca:

El movimiento se inicia en la 2ª hilera que se mueve hacia radial mientras la 1ª se dirige hacia cubital además de flexionarse. El 60% del movimiento es responsabilidad de la articulación mediocarpiana.

– músculos agonistas: abductor largo, extensor largo y corto del pulgar (tabaquera anatómica) y 1er radial.

· Inclinación cubital o aducción de la muñeca:

El movimiento se inicia en la 2ª hilera que se mueve hacia cubital mientras la 1ª se dirige hacia radial además de extenderse. El 60% del movimiento es responsabilidad de la articulación mediocarpiana.

– músculos agonistas: cubital anterior y posterior.

Temas 17: Biomecánica de la mano (I). Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

- Canal diagonal: divide la mano en 3 columnas,

- columna pulgar: realiza el movimiento de oposición en las pinzas de precisión.
- columna media (2º y 3er dedo): dirige la presa y marca la dirección.
- columna lateral (4º y 5º dedo): da fuerza y firmeza a la presa.
- Articulación carpometacarpiana:

Artrodia. Se divide en 3 subarticulaciones:

- del 5º dedo: unión del ganchoso con el 5º metacarpiano. Artrodia cortada en oblicuo, esto obliga al 5º dedo a hacer flexión con aproximación y supinación asociadas. Tiene musculatura propia conocida como musculatura hipotenar (actúa sobre la articulación metacarpofalángica y arrastra a la articulación carpometacarpiana): oponente, flexor corto y abductor corto del 5º dedo.
- del 2º al 4º dedo: la unión trapecio–metacarpiano no es una artrodia sino un encaje recíproco.
- del pulgar.
- Acondicionamiento muscular de la mano: trabajar los músculos de dedos y muñeca por sinergias. Indicada en,
 - personas que hayan perdido la capacidad de agarrar objetos.
 - personas que hacen deportes de raqueta.
 - para prevenir o reducir lesiones (epicondilitis y epitrocleitis).
- Articulación metacarpofalángica:

Diseño de condiloartrosis. Existe desproporción entre el continente (1ª falange) y el contenido, por ello existe una placa de fibrocartílago que se sitúa palmar y se fija en la base de la 1ª falange y la cabeza del metacarpiano.

– sistema ligamentoso de la articulación metacarpofalángica:

- ligamentos laterales: se componen de los fascículos metacarpoglenoideo, falangoglenoideo y metacarpofalángico.
- ligamento transversal intercarpiano (no es propio de la articulación): une placas de fibrocartílago glenoideo entre sí, evitando que la cabeza de los metacarpianos se separen excesivamente. Está situado en una zona neutra.

Existen poleas flexoras (3 por cada dedo) situadas en la zona palmar para todos los tendones del flexor profundo de los dedos (llega hasta la 3ª falange) y del flexor superficial de los dedos (llega hasta la 2ª falange) para mejorar su eficacia al cambiar la dirección del vector. El flexor superficial de los dedos se divide en el interior de las poleas flexoras. Las cintillas digitales son estructuras colágenas que se fijan al fibrocartílago y cuya función es sujetar los tendones de los flexores a la cabeza de los metacarpianos y evitar que el extensor común de los dedos caiga a los valles (en la artritis reumatoide acaban por romperse las cintillas que hace que los tendones del extensor común de los dedos caigan al valle y los dedos se extiendan en ráfaga cubital).

El músculo extensor común de los dedos envía una inserción a la base dorsal de la 1ª falange y se divide en 3 fascículos: uno central y 2 laterales, recorriendo el dedo hasta la 3ª falange.

– musculatura propia:

- interóseos: pasan por encima del ligamento transversal intercarpiano y se sitúan en palmar y dorsal. Se

insertan en las cintillas laterales del extensor común de los dedos.

- lumbricales: pasan por debajo del ligamento transverso intercarpiano. Se insertan en las cintillas laterales del extensor común de los dedos.

- Flexión metacarpofalángica (del 2º al 5º dedo):

Limitada por el fascículo metacarpoglenoideo. Amplitud creciente del 2º al 5º dedo. Es más efectiva con 20–30º de flexión de muñeca.

– músculos agonistas: interóseos y lumbricales.

- Extensión metacarpofalángica (del 2º al 5º dedo):

Más efectiva con previa flexión de muñeca.

– músculos agonistas: extensor común de los dedos.

- Abducción metacarpofalángica (del 2º al 5º dedo):

– músculos agonistas: interóseos dorsales (separan los dedos del eje medio).

- Aducción metacarpofalángica (del 2º al 5º dedo):

– músculos agonistas: interóseos palmares.

- Articulación interfalángica:

Diseño de trocleoartrosis con desproporción continente–contenido. Esto es solucionado por una placa de fibrocartílago en la cara palmar (sólo existe en la articulación interfalángica proximal: IFP) y fijada en la base de la 2ª falange.

– sistema ligamentoso de la articulación interfalángica:

- ligamento falangoglenoideo: limita la extensión.
- ligamento interfalángico: limita la flexión. Se sitúa lateralmente.

- Extensión IFP e IFD:

En la articulación IFP existe un sistema fibroso que se sitúa en la cara palmar por debajo el fibrocartílago y por encima de los tendones del flexor de los dedos e impide la hiperextensión.

– músculos agonistas: extensor común de los dedos, interóseos y lumbricales. Hay que añadirles los músculos propios del 2º y 5º dedo.

- Flexión IFP e IFD:

– músculos agonistas IFP: flexor superficial de los dedos.

– músculos agonistas IFD: flexor profundo de los dedos.

· Vainas sinoviales de la mano: evitan la compresión en los tendones de los músculos flexores. Su capa visceral está pegada al tendón. Las encontramos a diferentes niveles: ligamento del carpo y donde hay poleas

flexoras.

Tema 18: Biomecánica de la mano (II): biomecánica del pulgar.

Columna mecánica independiente de los movimientos de los otros dedos.

· Unión funcional de las articulaciones:

- articulación trapezometacarpiana.
- articulación metacarpofalángica.
- articulación interfalángica.

· Articulación trapezometacarpiana:

Encaje recíproco con 2 grados cinéticos. Tiene gran laxitud y permite el movimiento pasivo de pronación y supinación del 1er metacarpiano.

– sistemas de estabilización: son pasivos,

- ligamento recto anteroexterno: posición palmar y externa.
- ligamento oblicuo anterointerno: posición palmar y en el eje medio.
- ligamento oblicuo posterointerno: posición dorsal y en el eje medio.

– movimientos del pulgar: los ejes de movimiento son oblicuos a los planos espaciales,

- retroposición: en el plano de la uña del pulgar. El 1er metacarpiano se coloca paralelo al plano que forman el resto de los metacarpianos. Limitado por el ligamento recto anteroexterno.
- anteposición: en el plano de la uña del pulgar. El 1er metacarpiano se coloca perpendicular al plano que forman el resto de los metacarpianos. Limitado por ambos ligamentos oblicuos.
- flexión: en el plano perpendicular a la uña del pulgar. El pulpejo se sitúa en la base del 5º dedo. Limitado por el ligamento posterointerno.
- extensión: en el plano perpendicular a la uña del pulgar. El 1er metacarpiano se coloca formando un ángulo de 60º con respecto al 2º metacarpiano. Limitado por los ligamentos recto anteroexterno y oblicuo anterointerno.

[Los movimientos asociados de pronación y supinación están limitados por los ligamentos oblicuo posterointerno y anterointerno respectivamente].

· Articulación metacarpofalángica:

Anatómicamente condiloartrosis con desproporción continente–contenido. Funcionalmente se trata de una trocleoartrosis. Para aumentar la congruencia existe en la cara palmar una placa de fibrocartílagos. Pegados a la placa hay 2 huesos sesamoideos (diferencia con el resto de las articulaciones de los dedos) que se incluyen en el fibrocartílagos. La cabeza del metacarpiano es asimétrica, esto supone que en la flexión y extensión la base de la falange gire hacia la pronación.

– sistema ligamentoso de la articulación metacarpofalángica: evitan el arrancamiento de los huesos sesamoideos por la musculatura propia. Unen los sesamoideos entre sí y a falange, metacarpiano y fibrocartílagos. La flexión está limitada por el ligamento lateral o metacarpofalángico, mientras la extensión está limitada por el ligamento metacarpoglenoideo.

· Articulación interfalángica.

Trocleoartrosis. El ligamento lateral interno es más corto que el externo, lo que obliga a la pronación asociada a la flexión.

· Movimiento de oposición:

Intervienen las 3 articulaciones del pulgar. Es el resultado de la asociación de anteposición, flexión y pronación.

– músculos agonistas: 2 grupos musculares,

- grupo sesamoideo interno: el grupo más activo en las presas de fuerza. Formado por los músculos aductor del pulgar y 1er interóseo palmar (puede estar ausente). Ambos tienen inserción en la línea media del sesamoideo. Grupo innervado por el cubital.
- grupo sesamoideo externo: el grupo más importante en la pinza de precisión. Formado por los músculos abductor corto, flexor corto y oponente del pulgar. Grupo innervado por el mediano.

– músculos antagonistas: extensor largo y corto del pulgar. También podemos incluir al abductor largo del pulgar (antepositor de la columna del pulgar). Grupo innervado por el radial. Para valorar su estado se valora el pulgar en extensión.

· Movimiento de anteposición:

Sólo interviene la articulación trapezometacarpiana.

– músculos agonistas: flexor largo propio, oponente y abductor corto y largo del pulgar.

· Movimiento de flexión:

– músculos agonistas: flexor largo propio del pulgar, grupo sesamoideo interno y sesamoideo externo.

Tema 19: Biomecánica de la columna vertebral: generalidades.

Las curvas del plano sagital aumentan la resistencia a la fuerza de flexión: $R = n^2 + 1$ (siendo n el número de curvas). Funcionalmente se divide en 2 arcos: anterior (resistencia) y posterior (movilidad).

Existe una evolución filogenética y ontogenética de la columna vertebral. Respecto a esta última, cuando nacemos no las tenemos. Las curvas cervical y lumbar aparecen por modificaciones óseas y musculares cuando el niño levanta la cabeza pues cambian las fuerzas de compresión por las de tracción (el proceso dura 3 meses). La lordosis lumbar aparece con la bipedestación por ser contraria a la flexión.

Las diferentes regiones (cervical, dorsal, lumbar y sacra) se diferencian por el diseño de sus vértebras que va en función de su cometido en la columna vertebral, éstas se encajan para dar flexibilidad y resistencia. Son artrodias.

La columna está diseñada para la bipedestación. Al sentarse aumenta la acción muscular por desplazamiento del centro de gravedad, lo que aumenta el brazo de resistencia que es peligroso para la columna vertebral. [Es pero la inclinación hacia delante que hacia atrás].

Las vértebras se componen de tejido óseo compacto que la recubre y tejido óseo esponjoso cuyas trabéculas se reparten siguiendo líneas de fuerzas (compresión: vertical, tracción: arqueadas y cizallamiento: horizontales). Para la tracción existen 2 sistemas arqueados (superior: nace de la parte superior del cuerpo vertebral, e inferior: nace desde la parte inferior del cuerpo vertebral) que refuerzan los arcos que forman la apófisis

espinosa y articular superior y la apófisis articular inferior hasta la apófisis espinosa.

– sistema ligamentoso de la columna vertebral: es pasivo,

- ligamento vertebral común anterior: une cuerpos vertebrales por su parte ventral. Recorrido ventral a los discos intervertebrales. Desde el agujero occipital al sacro.
- ligamento vertebral común posterior: une discos intervertebrales, al unirse se abre en abanico. Desde el agujero occipital al sacro.
- ligamento amarillo: une láminas vertebrales. Hay 2 (laterales). Mayor proporción de fibras elásticas.
- ligamentos interespinosos: une apófisis espinosas que abarca en su totalidad.
- ligamentos supraespinosos: une los extremos de las apófisis espinosas.
- ligamentos capsulares: refuerzan las articulaciones interapofisarias.

– sistema estabilizador activo o muscular: actúan como obenques o palancas para el movimiento. Son estabilizadores activos.

– unidad funcional vertebral (UVF) o segmento móvil de la columna vertebral: formado por 2 vértebras adyacente más el tejido blando (disco intervertebral y no los músculos). Actúa como una palanca de 1er género.

– disco intervertebral: se corresponde con un modelo viscoelástico sin componente plástico. Se degenera antes en las personas sedentarias y lo hace de dentro a fuera. Si el disco intervertebral está dañado la compresión va a parar a la colágena, disminuyen los espacios intervertebrales y sucede una alteración mecánica. La progresión conlleva una pérdida de altura y laxitud de los ligamentos, seguido por la profusión y degeneración discal y la producción de osteofitos.

Formado por:

- anillo fibroso: contacta con el hueso. Formado por capas de colágena que se orientan de diferente manera. En una misma capa las fibras de colágena también tienen distintas orientaciones con el fin de absorber la fuerza de tracción en cualquier dirección. La rigidez máxima está en las fibras orientadas a 15° (son las más externas) y mínima en aquellas orientadas a 90° (las más internas).
- núcleo pulposo: las cargas aumentan la presión del núcleo que provoca que también aumente la rigidez del disco intervertebral. Principalmente se encarga de aguantar las fuerzas de compresión. Compuesto por agua que se encuentra libre o unida a proteoglicanos. El agua libre se encarga de variar la rigidez: cuando es absorbida disminuye la rigidez y la columna vertebral se descarga. Con la edad disminuye la capacidad del sistema de amortiguación del núcleo pulposo.

– cinética:

- compresión: absorbida por los cuerpos y discos vertebrales (columna anterior). Los problemas aparecen con las hiperlordosis mantenidas (aumentan la carga en las carillas articulares con posible pinzamiento de la cápsula articular) y las hiperextensiones mantenidas (posible fractura del arco posterior por fatiga en la zona lumbar).
- cizallamiento: en la región lumbar es absorbida por las carillas articulares (mayor riesgo de lesión). En las regiones cervical y dorsal además de por las carrillas articulares es absorbida por los discos intervertebrales y ligamentos. Por tanto, el arco posterior es quien soporta la cizalla que tiende a elevar las apófisis espinosas.
- flexión: las carillas articulares no asumen cargas en este caso. Esto corresponde a elementos pasivos como son: ligamentos capsulares (40% carga), ligamentos supra e infraespinosos (20%) y ligamento amarillo (13%).
- Inclinación lateral: absorbida por el ligamento amarillo contralateral a la inclinación y los ligamentos

intertransversos también contralaterales (menos importante).

- momentos de fuerza: hay un momento flexor como consecuencia del peso y la gravedad y otro momento extensor por los músculos erectores del cuerpo que se equilibran en el plano sagital.

– orientación de las carillas articulares:

- segmento cervical: 45°. Permite movimientos de flexión, extensión, inclinación y rotación.
- segmento dorsal: similar al plano frontal. Permite movimientos de inclinación.
- segmento lumbar: similar al plano sagital. Permite movimientos de flexión y extensión. Impide totalmente las rotaciones.

– propiocepción:

- corpúsculos de Freeman y Wyke: órganos efectores del reflejo fibroneuromuscular. Activación con los movimientos forzados. Responde con una contracción coordinada de los antagonistas al movimiento.
- corpúsculos de Nade: órganos nociceptivos situados en la cápsula articular. Estimulados por sobrecargas mecánicas o en procesos inflamatorios. Respuesta muscular para evitar que el movimiento sobrepase los límites fisiológicos.

Tema 20: Biomecánica de la columna vertebral: segmento cervical. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

· Características: orientada en lordosis. Formada por 7 vértebras que se caracterizan por tener apófisis espinosas bífidas y agujeros para el paso de las arterias. Se divide en 2 segmentos: cervical superior (occipital-atlas-axis) y cervical inferior (C3-C7).

· Columna cervical superior:

– articulación occipitoatloidea: condiloartrosis. Unión de los cóndilos laterales del occipital (convexo) con las masas laterales del atlas (cóncavas). Los movimientos de flexión y extensión son muy amplios (es un pivote por ser la de mayor rango), su eje atraviesa la apófisis mastoides. Las inclinaciones están más limitadas, su eje pasa 3 cm por encima de la apófisis odontoides (eje anteroposterior). La rotación axial es casi nula, sólo hay una reserva elástica para los últimos 7–10°.

– articulación atloaxoidea: biconvexa. Es bastante inestable. Sólo permite la flexoextensión: en flexión el atlas escurre hacia atrás del axis, mientras en extensión es al contrario (anteroretrolistesis). El eje pasa por las masas laterales del atlas.

– articulación atloodontoidea: trocus. Pivote de las rotaciones por tener una amplitud de 45°. Eje en el centro de la apófisis odontoides o del ligamento transversal. En el giro con inclinación el atlas gira alrededor de la apófisis odontoides, momento en el que hay un bostezo asociado de la articulación biconvexa contralateral. [En el giro puede quedar obstruida la arteria que en caso de enfermedad oclusiva crónica supone un peligro].

– sistema ligamentoso de contención de la columna cervical superior: se disponen en 4 capas,

- ligamento transversal. [1ª capa].
- ligamentos occipitoodontoideos (uno central y 2 laterales): impide que la apófisis odontoides contacte con el bulbo donde se encuentra el centro de la respiración. [1ª capa].
- ligamento cruciforme. [2ª capa].
- membrana tectórea. [3ª capa].
- ligamento vertebral común posterior. [4ª capa].
- ligamento occipitoatloideo: fija al hueso occipital.

[Atención en personas con Síndrome de Down por tener los ligamentos más laxos].

- Columna cervical inferior:

- características: apófisis unciformes, discos intervertebrales y articulaciones interapofisarias.

- características mecánicas: sus carillas se orientan formando un ángulo de 45° , lo que facilita el movimiento. Permite rotaciones (deslizamiento) y traslaciones en todas las direcciones con predominio de la flexoextensión (plano sagital). La rotación y traslación son máximas en C5–C6 (lugar más inestable en los accidentes con riesgo de afectación del nervio frénico de la respiración). Los ejes de la flexoextensión no son constantes sino que se trasladan a distintos niveles. En C5 existe el llamado movimiento paradójico, en extensión de la columna cervical C5 se flexiona y viceversa.

- apófisis unciformes o de Lushka: une vértebras y bloquea movimientos. Son pseudoartrodias que se degeneran las primeras en columna vertebral (se producen osteofitos que comprimen las raíces nerviosas produciendo cervicoartrosis). Obligan a la inclinación lateral para cada rotación y viceversa.

Tema 21: : Biomecánica de la columna vertebral: segmento dorsal o torácico. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

- Vértebras: son 12 para este segmento. Son palancas de 1er género. La orientación de las carillas apofisarias es próxima al plano frontal con lo que se facilitan las inclinaciones laterales.

- Anatomía: lo habitual es que las costillas se unan a la vértebra superior e inferior a través de las articulaciones costovertebrales y costotransversas tal y como ocurre desde la 2ª a la 9ª vértebra (se limita la rotación y flexión). Las costillas 1ª, 10ª, 11ª y 12ª sólo se unen con el cuerpo vertebral de la vértebra correspondiente con lo que no tienen articulaciones costotransversas pero sí articulaciones costovertebrales.

- Articulaciones: son 3 en este segmento,

- articulaciones interapofisarias: de movimiento.
- articulaciones costovertebrales: unión de la costilla con la vértebra correspondiente.
- articulaciones costotransversas: entre D1–D7 la carilla articular de la apófisis transversa está orientada hacia delante mientras en el segmento D8–D12 se orienta hacia arriba con lo que obliga a un movimiento asociado de deslizamiento hacia arriba en inspiración, que arrastra al esternón a moverse en esa misma dirección con más amplitud que el recorrido que realiza en su parte superior.

Tema 22: Biomecánica de la respiración.

- Mecánica respiratoria: en reposo la cara externa de las costillas (excepto el 1er par) se orienta hacia fuera y abajo. En la 1ª costilla el eje de movimiento es casi frontal (150°), éste se sitúa más sagital hacia caudal (en 9ª y 10ª costilla el ángulo es de 180°). En inspiración la caja torácica rota en dirección craneal colocando el plano costal perpendicular al plano vertebral. El ascenso de las costillas provoca un desplazamiento anterolateral (especialmente en la región superior) y aumenta el diámetro transversal del tórax (muy marcado en las regiones torácicas media e inferior). Las articulaciones condroesternales actúan como una barra de torsión: en inspiración la elasticidad del cartílago actúa como un muelle acumulando energía para descender el esternón de manera pasiva en la espiración.

- Aparato respiratorio: desde la traquea hasta los bronquios de 1 mm de luz. Los anillos cartilaginosos de los bronquios dan rigidez pero están incompletos dorsalmente. En este espacio encontramos fibras elásticas y miofibrillas de colágena que dan elasticidad. Las ramificaciones pequeñas están rodeadas de fibras lisas de trayecto espiral hasta llegar a los sacos alveolares.

– tipos de desplazamiento de los bronquios: la variación del diámetro torácico es en función del efecto de presión o tracción del aire,

- desplazamiento angular: provoca una apertura en abanico.
- desplazamiento longitudinal.
- desplazamiento anular: es el que aumenta los diámetros del tórax.

– elasticidad y flexibilidad pulmonar: presente en,

- alveolos pulmonares: por la presencia de elastina y colágena.
- bronquios: por su capacidad de desplazamiento.
- cartílagos costales: por su capacidad de torsión.

· Ventilación:

– diafragma: le corresponde un 97% de la fuerza en la respiración tranquila y un 70% si la respiración es máxima. Su acción y relajación son progresivas. Para actuar precisa de la fijación de la 1ª costilla por los escalenos y de la 12ª por la acción del cuadrado lumbar y serrato menor posteroinferior. Su contracción provoca un aumento del diámetro vertical. Cuando llega al tope de su descenso por la presión intraabdominal aumenta el diámetro transversal del tórax rotando las costillas que tiran de sus inserciones.

– inspiración: en 3 fases progresivas,

- diafragma, músculos paraesternales e intercostales externos.
- músculos supracostales.
- esternocleidomastoideo, serratos posterosuperiores, músculos tranversoespinosos y espinales, extensión de la columna vertebral y descarga del peso de los miembros superiores (elevación del húmero hasta los 70°) y pectoral mayor y menor y serrato lateral.

– espiración: si es pasiva o relajada no hay gasto energético. Si es forzada el 65% de la fuerza es muscular (80% de los abdominales y 17% de los intercostales internos y triangular del esternón) y el 35% corresponde a la retracción del tejido pulmonar y el tórax.

Tema 23: Biomecánica de la columna vertebral: segmento lumbar. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

· Características: orientación lordótica con cenit en L3. Es la zona de más sollicitación de toda la columna vertebral (especialmente la unión lumbosacra), por ello los cuerpos y discos vertebrales son más grandes. La orientación de las apófisis articulares es próxima al plano sagital, lo que facilita el movimiento de flexoextensión. En las articulaciones interapofisarias existe un mecanismo valvular para disminuir la presión intraarticular: en sus polos hay unas cápsulas laxas de donde la grasa pasa de una cámara interna a otra externa. Además existen unas estructuras meniscoidales: rebordes de tejido conectivo en forma de cuña (rellenan los espacios curvos entre superficies articulares), almohadillas de tejido adiposo en los polos y estructuras fibroadiposas de más de 5 mm (se proyectan hacia el interior).

· Técnicas de manipulación:

La presión en L3, L4 y L5 aumenta la lordosis lumbar. Si presionamos a nivel de L1 y L2 la lordosis lumbar disminuye.

· Flexión lumbar:

Existen 2 etapas:

- 0–40°: la responsabilidad es de la columna lumbar. A los 40° desaparece la lordosis fisiológica. Las fuerzas que contrarrestan el cizallamiento durante la flexión son: la presión intraabdominal (5–30%), la tensión ligamentosa, las carillas articulares (20%) y la fascia dorsolumbar (evita la hiperlordosis. A ella se adosan los músculos erectores del tronco, descarga la compresión sobre el disco intervertebral y sufre tracción a nivel de L4–L5).

– músculos agonistas: músculos abdominales recto anterior, oblicuo mayor y menor (grupo extrínseco ileotorácico) y psoas iliaco (grupo intrínseco femoroespinal).

- 40–80°: responsabilidad de las caderas y la columna lumbar.

· Extensión lumbar:

– músculos agonistas: distribuidos en 3 capas,

- capa superficial: músculos sacroespinales o erector spinae (iliocostal, dorsal largo y epiespinoso).
- capa intermedia: músculos multifidos (desde apófisis transversas a apófisis espinosas).
- capa profunda: músculos intertransversos (cortos y profundos).

· Inclinación lumbar:

– músculos agonistas: músculos oblicuos del abdomen, cuadrado lumbar e intertransversos homolaterales.

· Rotación:

Producida por aquellos músculos con dirección más oblicua del tronco.

– músculos agonistas: músculos abdominales transversos y oblicuos, psoas iliaco y musculatura corta.

Tema 24: Biomecánica de la cintura pélvica.

· Pelvis: en la mujer es más ancha para la salida del feto por el canal del parto. La cintura pélvica se compone de la unión de los 2 huesos coxales con el sacro y coxis:

- los 2 coxales se unen en la región púbica a través de la articulación sínfisis del pubis (anfiartrosis).
- dorsalmente se unen coxal y sacro a través de 2 articulaciones sacroiliacas (artrodia).
- unión sacro con coxis a través de la articulación sacrocóccigea (anfiartrosis).

· Articulación sacroiliaca:

Artrodia con una angulación semilunar de las carillas articulares. Al nacer la orientación es más longitudinal, la semilunar se adquiere con las cargas. La evolución sería la siguiente:

- al nacer existe fibrocartílago en el iliaco y cartílago hialino en el sacro. Las superficies articulares son planas.
- en la pubertad las superficies articulares siguen siendo planas. Existen deslizamientos en todos los sentidos.
- tras la pubertad las superficies articulares se hacen irregulares para mejorar la resistencia aunque disminuye la movilidad. Las irregularidades aumentarán con la edad.

El fibrocartílago comienza a degenerarse a los 30 años en hombres y a los 40 en mujeres (más tardío debido a

la gestación) pudiendo bloquear la articulación. Hay una potente cápsula articular (principalmente por delante) reforzada por ligamentos que le engrosan en su parte anterior aunque no limitan el movimiento por ser mecánicamente débiles, son los ligamentos anteriores o sacroiliacos ventrales.

Está rodeada de músculos muy potentes que se encargan de la movilidad y la estabilidad dinámica de la articulación. También se encargan de mantener los ejes del movimiento triplanar.

– sistema ligamentoso de la articulación sacroiliaca:

- ligamento interóseo: el más potente y estabilizador.
- ligamento sacroiliaco.
- ligamento iliolumbar.
- ligamento sacrotuberoso o sacrociático mayor.
- ligamento sacroespinoso o sacrociático menor.

· Modelo Panjabi:

El equilibrio de las articulaciones supone su correcto funcionamiento y viceversa.

Sistema control (neural)

Sistema pasivo Sistema activo

(osteoarticular y ligamentoso) (miofascial)

· Estabilidad: depende del llamado mecanismo de cierre o autobloqueo que a su vez depende de:

- diseño anatómico: la pelvis se dispone en forma de cuña o triángulo invertido para ser la piedra angular del arco romano y así autobloquearse. Esto es importante pues la dirección de las fuerzas es extremidades–sacro–articulación sacroiliaca. Las partes distales del arco están sujetas por los ligamentos sacroiliaco posterior, sacrociático mayor y menor y por los músculos cocígeo y periforme. La orientación de las carillas en semiluna contrarresta las traslaciones verticales y anteroposteriores evitando una posible luxación. Los músculos del suelo pélvico y el engranaje de las superficies articulares con aparición de las regularidades contribuyen a ello.
- fuerzas: mantienen el cierre y son originadas por 2 sistemas,

– fuerzas que originan la nutación: la nutación estabiliza la articulación sacroiliaca porque tensa los ligamentos sacrotuberoso y sacroespinoso. En la nutación se abre el estrecho inferior de la pelvis cerrándose la superior. También ocurre que el promontorio y el coxis se adelantan originando la separación de las tuberosidades isquiáticas y acercando las alas iliacas. La nutación es el movimiento más amplio en el nacimiento tras salir la cabeza del bebé (previamente ha habido una contranutación para encajar la cabeza en la salida). No sólo son movimientos del momento del parto sino que se dan continuamente al andar: en la fase de balanceo con la pierna se produce la nutación y con la pierna apoyada ocurre la contranutación.

– unidades miofasciales internas y externas: las unidades externas se componen de 3 sistemas,

- sistema oblicuo: el sistema oblicuo posterior está constituido a través de la fascia toracolumbar, dorsal ancho y glúteo mayor contralateral en contracción simultánea, se estabiliza así la articulación sacroiliaca. El sistema oblicuo anterior se compone de los abdominales oblicuos mayor y menor de un lado a través de la fascia abdominal hasta los aductores de la cadera del lado contralateral. Tiene inserción en la sínfisis del pubis estabilizando ésta directamente e indirectamente a la articulación sacroiliaca.
- sistema profundo longitudinal: unión del erector spinae, ligamento sacrotuberoso y bíceps femoral a través

de la fascia toracodorsal en su lámina más profunda. Estabiliza la articulación sacroiliaca.

- sistema lateral: unión del glúteo menor y medio y aductores de cadera contralaterales. Estabiliza durante la marcha en el plano frontal.

Tema 25: Biomecánica de la articulación de la cadera. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

- Características articulares:

Enartrosis mecánica entre el acetábulo coxal y la cabeza femoral. Como el tamaño de esta última es mayor existe un fibrocartílago alrededor del acetábulo excepto en la parte inferior donde el trasfondo cotiloideo tiene grasa vascularizada. El cartílago hialino es más grueso para mejorar el soporte a la sobrecarga, se encuentra en la porción superior del acetábulo y en la porción central y medial de la cabeza femoral. También existe una potente cápsula articular reforzada con diferentes ligamentos y el músculo psoas iliaco. Esta cápsula es más densa en las regiones anterior y superior porque debido a la orientación del fémur las solicitaciones son mayores.

- Sistema ligamentoso de la cadera:

– ligamentos anteriores:

- ligamento iliofemoral o de Y de Bertin: formado por 2 fascículos (superior e inferior). Limita los movimientos de extensión, rotación interna y externa.
- ligamento pubofemoral: forman la llamada Z dinámica cuando se une al ligamento iliofemoral. Limita los movimientos de abducción, extensión y rotación externa (en menor medida).

– ligamento posterior:

- ligamento isquiofemoral: realmente cubre más parte superior que posterior. Limita los movimientos de aducción, extensión y rotación interna.

- Sistemas trabeculares de la articulación coxofemoral: existen 2 sistemas principales,

- sistema sacroiliaco inferior: se origina en la parte inferior de la articulación sacroiliaca, atraviesa la línea innominada y llega a la parte superior del acetábulo coxal donde se junta en abanico con el sistema de la cabeza femoral (cortical inferior del cuello del fémur). Soporta fuerzas de compresión.
- sistema sacroiliaco superior: se origina en la parte superior de la articulación sacroiliaca para reforzar la zona media e inferior de la cavidad acetabular, se continúa con el sistema arciforme que tiene una trayectoria desde la zona interior e inferior de la cabeza femoral a través del cuello anatómico hasta la cortical externa de la diáfisis del fémur. Soporta fuerzas de tracción.
- existen otros sistemas como son el sacropúbico (arciforme. Soporta fuerzas de tracción), sacroisquiático (en abanico. Soporta fuerzas de compresión) e intertrocantereo (del trocanter mayor al menor).

[Entre el cuello anatómico y quirúrgico es una zona de frecuentes fracturas].

- Morfología femoral:

Al nacer la cabeza del fémur forma un ángulo de 145° que se aplanan con las cargas y al andar hasta quedar con 125° de inclinación (el ángulo se corrige en las primeras etapas). El ángulo de anteversión o declinación de la cabeza femoral es de 12–15° (45° al nacer) tras ser corregido por las cargas. Puede haber retroversión femoral que hace que la extremidad gire hacia externo. Evitar que los niños se sienten en W.

· Flexión de cadera:

Una previa flexión de rodilla proporciona mayor amplitud a este movimiento. Por el contrario con una extensión de rodilla el rango articular es menor por ser los isquiotibiales antagonistas. Esto se debe a que son músculos biarticulares.

– músculos agonistas: psoas iliaco (también es aductor y rotador externo) y recto femoral (flexor puro) son los más importantes. También son agonistas del movimientos los músculos sartorio (también es abductor y rotador externo) y tensor de la fascia lata (también es abductor y rotador interno). [Todos ellos están situados por delante del eje vertical, por delante del plano frontal].

· Extensión de cadera:

Una previa extensión de rodilla proporciona mayor amplitud a este movimiento. Con la flexión de rodilla se reduce el rango articular por la tensión del recto femoral que ejerce de antagonista.

– músculos agonistas: glúteo mayor (monoarticular), isquiotibiales (biarticulares) [ambos estabilizan la pelvis en el plano sagital o anteroposterior], glúteos inferior (fibras posteriores) y medio y aductor mayor (fascículo independiente). [Todos ellos están situados por detrás del eje vertical, en el plano dorsal].

[El fascículo superior tiene origen iliaco y tiene función de separación y rotación externa. El fascículo inferior de este músculo con origen sacro es aproximador y rotador interno].

· Abducción de cadera:

Sólo es de 15°, pero la movilidad aumenta porque intervienen pelvis y columna vertebral.

– músculos agonistas: el principal es el glúteo medio (estabiliza la pelvis en el plano frontal y en el apoyo monopodal. Cuando la fuerza muscular es menor del 50% de la normal se produce la marcha de Trendelenburg, esta es la única ocasión en la que la pelvis cae hacia el lado insuficiente o lesionado), glúteo medio, tensor de la fascia lata (ambos ayudan al glúteo medio en la estabilización) y músculo piramidal. [Todos ellos están situados en externo eje vertical, en el plano lateral].

· Aducción de cadera:

Sólo es de 15°, pero la movilidad aumenta porque intervienen pelvis y columna vertebral.

– músculos agonistas: aductores mayor, medio e inferior (actúan con los abductores contralaterales para evitar la caída de la pelvis). [Todos ellos están situados en interno al eje vertical, en el plano medial].

– músculos sinergistas: músculos gracilis o recto interno y pectíneo.

· Rotación externa de cadera:

Su arco de movimiento es mayor que la rotación interna (90° frente a 70°) porque aumenta la base de sustentación.

– músculos agonistas: músculos pelvitrocantéreos, aductores de cadera, cuadrado crural, pectíneo y glúteos mayor, medio y menor (estos 2 últimos sólo con previa rotación interna). [Todos ellos cruzan por delante al eje vertical].

· Rotación interna de cadera:

- músculos agonistas: glúteos mayor y menor.
- músculo sinergista: tensor de la fascia lata.

Tema 26: Biomecánica del complejo articular de la rodilla. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

Complejo articular formado por una doble trocleoartrosis que favorecen la estabilidad y movilidad de la rodilla:

- articulación femoropatelar: por unión del cóndilo externo femoral y rótula. La rótula es un hueso sesamoideo que actúa como polea semimóvil con 2 funciones: aumentar la fuerza del cuádriceps (al aumentar el resultado de la fórmula $M = F \times d$) y aumentar la superficie de contacto entre fémur y ligamento rotuliano del cuádriceps. El inconveniente de esta articulación es su gran sollicitación de cargas, en extensión máxima está en descarga pero en flexión las cargas crecen progresivamente con el movimiento. Estas sollicitaciones exigen una congruencia casi perfecta (aguanta la mitad del peso corporal en la marcha y 3 veces el peso al subir escaleras). La rótula se mueve en el plano frontal y sagital, nunca contacta totalmente con el fémur. Hay 3 diseños anatómicos de rótula en función de la ubicación del canal patelar: tipo I (canal central, típico), tipo II (canal lateral) y tipo III (sin canal, riesgo alto de lesión). Las fibras oblicuas del vasto interior que recentran la rótula para evitar que se luxe hacia fuera tienen una orientación de 80°.
- articulación femorotibial: trocleoartrosis mecánica pero con movimientos asociados de rotación y varo-valgo. La unión es entre cóndilos femorales y meseta tibial. La superficie medial de la tibia es cóncava mientras la superficie lateral es convexa y más inestable. El cóndilo medial tiene una orientación interna y dorsal para alcanzar la línea de carga de la extremidad. Debido a la asimetría entre cóndilos se produce el llamado atornillamiento automático de la rodilla: en extensión se produce rotación externa y valgo (el cóndilo externo o lateral se bloquea porque el cóndilo interno desciende, y rota hacia interno con lo que provoca que la tibia rote a externo) y en flexión se produce rotación interna y varo (el cóndilo interno se bloquea porque el cóndilo externo desciende, y rota hacia externo con lo que provoca que la tibia rote a interno). Las espinas tibiales dan estabilidad en el plano frontal porque evitan que los cóndilos femorales se muevan. En el movimiento de flexoextensión existe rodamiento y deslizamiento para evitar la luxación. La rotación se inicia con 20° de flexión, es máxima a los 40–60° y nula a partir de los 90°. [La rotación activa alcanza 30° de rotación externa y 15° de rotación interna].

· Estructuras blandas de la rodilla:

– meniscos: estructura de fibrocartílago con fibras de colágena en todas direcciones. Mecánicamente mejoran la congruencia (especialmente el menisco externo), la lubricación y el reparto de cargas. Se unen por unos cuernos anteriores y posteriores a la meseta tibial, el resto de superficie meniscoidal es libre. Acompañan el movimiento de los cóndilos femorales, se rompen cuando se descoordinan los cóndilos y los músculos donde tienen inserción. En extensión transmiten cargas y se dirigen hacia delante acompañando a los cóndilos, en flexión sólo intentan mejorar la movilidad. También se unen a la membrana sinovial para nutrirse. Hay 2 en la rodilla:

- interno: aumenta el contacto entre las superficies para repartir mejor las cargas. Es más delgado, grande y abierto que el menisco externo. Recorre casi toda la superficie pero sólo por el borde. Tiene unión con el menisco externo a través del ligamento yugal (zona anterior), a la rótula por el ligamento meniscorotuliano, al ligamento lateral interno en sus zonas lateral y posterior y al músculo semimembranoso en la zona posterior (pata de ganso profunda).
- externo: se cierra como un anillo por la forma convexa de la tibia. Tiene unión con el menisco interno a través del ligamento yugal, a la rótula por el ligamento meniscorotuliano, al músculo poplíteo y al ligamento meniscofemoral que acompaña al ligamento cruzado posterior.

- sistema ligamentoso de la rodilla: la estructura capsuloligamentosa está formada por,
 - pivote central: estabiliza en los planos sagital o anteroposterior y horizontal. Constituido por los ligamentos cruzados anterior y posterior, que tienen sus fibras en torsión para mantener la tensión en todo el recorrido articular.
- ligamento cruzado anterior: principal freno para evitar que el cóndilo interno se luxe hacia atrás o la tibia hacia delante, 2/3 del ligamento (fibras posterolaterales) está en máxima tensión con la extensión total de rodilla y 1/3 del mismo está en tensión máxima a partir de 90° de flexión.
- ligamento cruzado posterior: frena que la tibia se luxe hacia delante y el cóndilo interno hacia atrás, la flexión tensa su fascículo anterolateral (el más potente) y la extensión tensa el resto del ligamento. Ambos ligamentos limitan la rotación interna con la rodilla en 30° de flexión.
- estructuras periféricas: estabilizan en los planos frontal (varo–valgo) y horizontal.
- ligamento lateral interno: colabora con la pata de ganso superficial en el control del valgo. Es más grueso que el externo. Tiene inserción del menisco interno. Con extensión total la tensión del ligamento es máxima mientras que en flexión la tensión sólo es parcial. Tiene acción sincrónica y protectora del ligamento cruzado anterior.
- ligamento lateral externo: controla el varo ayudado por los músculos tensor de la fascia lata y bíceps crural.
- sistema del ligamento oblicuo posterior: formado por 3 fascículos (uno con inserción tibial y 2 para el cóndilo externo). Su fascículo más superior tiene conexión directa con la pata de ganso profunda y su fascículo inferior forma parte de la arcada del poplíteo.

[Para trabajar en la recuperación de los ligamentos laterales la rodilla no se posiciona ni en extensión ni rotación externa. Para los cruzados ni extensión, ni rotación interna y el caso del cruzado posterior tampoco en flexión de 90°].

· Flexión de rodilla:

- músculos agonistas: isquiotibiales (colabora con el ligamento cruzado anterior tirando de la tibia hacia atrás), tensor de la fascia lata (flexor de rodilla pero con previa flexión de la misma), recto interno, sartorio, poplíteo y gemelos (si actúa conjuntamente con los isquiotibiales la resultante produce extensión de rodilla).

· Extensión de rodilla.

- músculos agonistas: cuádriceps (protege al ligamento cruzado posterior tirando del tubérculo tibial hacia delante).

Tema 27: Biomecánica del complejo articular del tobillo. Musculatura responsable de los movimientos y acciones asociadas.

Trocleoartrosis. Los movimientos son congruentes y coaxiales. Principalmente se mueve el peroné y la tibia está fija. Establecida por:

- sindesmosis tibioperonea: la membrana sinovial hace que los huesos puedan moverse entre si. Hay numerosos ligamentos para reforzar esta unión. LA articulación tibioperonea proximal tiene movimiento pasivo.
- astrágalo: la articulación tibioperonea le hace una pinza. No tiene inserciones musculares. Tiene 3

superficies articulares: polea superior (asimétrica, más ancha en su porción anterior), superficie interna para el maleolo tibial (en semiluna) y superficie externa para el maleolo peroneo (en triángulo). El astrágalo reparte el peso corporal: 1/3 es para el escafoides y los 2/3 restantes van a parar al calcáneo.

[El maleolo peroneo o externo desciende más para aguantar las fuerzas de compresión que van a la parte externa. Al maleolo interno, que desciende más, van las fuerzas de tracción].

· Sistema ligamentoso del tobillo: son refuerzos laterales para controlar la flexoextensión,

– ligamentos laterales:

- ligamento lateral interno, medial o deltoideo: controla el valgo y tracción debido a los 5° fisiológicos de varo del tobillo. Existe uno profundo que une tibia y astrágalo y otro superficial que va más allá de la articulación del tobillo y que se subdivide en 3 fascículos: anterior (inserción en escafoides), medio (une tibia y sustentáculo tali) y posterior (une tibia con astrágalo discurriendo por encima del profundo).
- ligamento lateral externo: controla los movimientos del tobillo. Formado por una capa con 3 fascículos: peroneo–astrágalo anterior (limita flexión plantar), peroneo–calcáneo (limita varo) y peroneo–astrágalo posterior (limita flexión dorsal).

· Flexión dorsal de tobillo:

El eje de movimiento es oblicuo a los planos sagital y horizontal y pasa por la punta de ambos maleolos. Lleva asociado un movimiento pasivo de abducción de los dedos. Debido a la asimetría de la polea astragalina en este movimiento el peroné se aleja, asciende y gira en interno.

– músculos agonistas (de medial a lateral. Los músculos se encuentran por delante del eje de movimiento): tibial anterior, extensor propio del 1er dedo, extensor común de los dedos y peroneo anterior.

· Flexión plantar de tobillo:

El eje de movimiento es oblicuo a los planos sagital y horizontal y pasa por la punta de ambos maleolos. Lleva asociado un movimiento pasivo de aducción de los dedos. Debido a la asimetría de la polea astragalina en este movimiento el peroné se acerca, desciende y gira en externo.

– músculos agonistas (de medial a lateral): tibial posterior, flexor propio del 1er dedo, flexor común de los dedos, tríceps sural y peroneos laterales largo y corto.

· Inversión y eversión del pie:

Sólo se dan en una cadena cinética abierta (pie en el aire):

– inversión: flexión plantar + aducción + supinación o rotación externa. (La tibia rota hacia externo y aumenta el arco de la bóveda del pie).

– eversión: flexión dorsal + abducción + pronación o rotación interna. (La tibia rota hacia interno y disminuye el arco de la bóveda del pie).

Los músculos situados por dentro del eje medio son aductores y supinadores. Aquellos que se sitúan por fuera del eje medio son abductores y pronadores.

anterior

interno externo

1 2

3 4

posterior

- cuadrante anteo interior: músculos flexores dorsales, pronadores y supinadores (tibial anterior y extensor propio del 1er dedo).
- cuadrante antero externo: músculos flexores dorsales, abductores y pronadores (extensor común de los dedos y peroneo anterior): EVERSORES.
- cuadrante postero interior: músculos flexores plantares, aductores y supinadores (tibial posterior, flexores del 1er dedo y común de los dedos y sóleo del tríceps): INVERSORES.
- cuadrante postero externo: músculos flexores plantares, abductores y pronadores (peroneos laterales largo y corto y gemelos del tríceps).

· Fascia plantar: el tríceps sural tira de ella mejorando la función estática de la fascia en la bóveda del pie. Con un tacón de 3 cm de altura equilibramos la carga de la zona anterior del pie, si aumentamos el tacón aumentará la carga en esa zona.

Temas 28 y 29: Biomecánica del pie (I y II): articulaciones de amortiguación y movimiento. Estática y dinámica del pie en su conjunto.

· Articulaciones:

- articulaciones de movimiento: metatarsofalángicas e interfalángicas (articulaciones más distales del pie). Importantes en el despegue del pie.
- articulaciones de acomodación o amortiguación.

· Articulación subastragalina:

Mecánicamente es un trocus. Unión de astrágalo y calcáneo en 2 puntos: antero interior y postero externo. Su eje de movimiento es oblicuo, se le conoce como eje de Henke y sólo permite rotaciones.

– sistema ligamentoso:

- ligamento interóseo: divide las cámaras de la articulación. El fascículo anterior está próximo a la cámara antero interna. Por el contrario, el fascículo posterior está próximo a la cámara postero externa. Entre los fascículos está el seno del tarso formado por grasa y mecanorreceptores.
- ligamento deltoideo: su fascículo anterior se inserta en el escafoide mientras que el fascículo medio lo hace en el sustentáculo tali.
- ligamento talocalcáneo: 2 fascículos: anterior y lateral.

· Articulación mediotarsiana o de Chopard:

Formada por 2 cámaras:

- cámara interna: por unión de astrágalo y escafoides. Condiloartrosis anatómica pero enartrosis mecánica debido a que el ligamento calcaneoescafoideo plantar o glenoideo alarga la superficie del escafoides. Tiene movilidad porque se encarga de la amortiguación.
- cámara externa: por unión de calcáneo y cuboides. Silla de montar porque se encarga de la transmisión de

cargas y no necesita movilidad.

[El ligamento en Y de Chopard es mecánicamente importante pues guía los movimientos normales].

· Articulaciones intertarsianas:

Artrodias unidas por diferentes ligamentos que permiten que actúen todas como un bloque.

· Articulación tarsometatarsiana:

Artrodia excepto para el 2º metatarsiano que no se mueve. La movilidad máxima está en el 1er y 5º metatarsianos. El 2º y 3er metatarsianos tienen forma de cuña. Su función consiste en mantener el arco transversal de la bóveda del pie.

· Articulaciones metatarsofalángicas:

Trócleas. Idénticas a las de la mano exceptuando el 1er dedo que tiene fibrocartílago y huesos sesamoideos propios. Éste sólo hace movimientos de flexión y extensión y no de abducción y aducción. Los músculos que se insertan en los huesos sesamoideos no mueven el dedo sino que lo estabilizan al apoyo contra el suelo.

Temas 31 y 32: Biomecánica de la marcha (I y II): patrón, cinética y cinemática de la marcha normal.

· Características:

- progresión hacia delante: se produce por 3 mecanismos,
 - empuje debido a la flexión plantar del tobillo.
 - oscilación del miembro superior contralateral.
 - empuje del tronco hacia delante por la extensión de cadera.
- correcto apoyo y absorción del impacto pie–suelo: debido a,
 - flexión de rodilla.
 - acción de la musculatura pretibial.
- estabilidad durante el apoyo: se precisan movimientos continuos para alinear los segmentos corporales. Especialmente se realizan en la cintura escapular con movimientos contralaterales a la pelvis.
- correcto balanceo de miembros superiores y miembro inferior que queda en el aire.
- correcta conservación de la energía: la marcha normal es la más eficiente energéticamente. La marcha rápida aumenta en un 60% el consumo energético y los bastones y muletas lo aumentan entre el 100–300%. La energía se conserva con,
 - control del desplazamiento del centro de gravedad con movimientos pélvicos en los 3 planos (anteversión, oblicuidad y rotación) y movimientos de rodilla y tobillo coordinados.
 - disminución de la acción muscular controlando los momentos de fuerza y utilizando ligamentos y otras estructuras pasivas. La mayoría de las contracciones se realizarán en excéntrico.
 - transferencia de energía entre los segmentos corporales a través de los músculos biarticulares.

– almacenamiento de energía potencial en los músculos biarticulares con elongación previa a la contracción y contracción excéntrica a la concéntrica.

• Mecanismo de producción de la marcha:

La 3ª ley de Newton (acción–reacción) es la responsable de la marcha. La fuerza de reacción creará momentos externos articulares que serán utilizados o anulados durante la marcha. El momento que pase por delante del eje articular producirá flexión, si pasa por detrás hará una extensión.

• Ciclo de la marcha: desde que un pie contacta con el suelo hasta que vuelve a hacerlo. Dura 1 segundo y el 25% es bipodal. Consta de 2 fases:

– fase de apoyo (60%): se inicia cuando el borde posteroexterno del talón toca el suelo y finaliza cuando el 1er dedo deja de contactar con el suelo. 4 periodos:

- Respuesta o adaptación a la carga: es bipodal. Se inicia cuando el borde posteroexterno del talón toca el suelo hasta que se apoya todo el pie.

– objetivos: amortiguar el choque pie–suelo, controlar el descenso del centro de gravedad y preparar el miembro inferior para soportar el peso del cuerpo.

El momento de fuerza intenta flexión plantar de tobillo, flexión de rodilla y extensión de cadera. Existe una acción muscular que modera al momento:

– tobillo: tibial anterior (en excéntrico).

– rodilla: vientres monoarticulares del cuádriceps (en excéntrico) e isquiotibiales.

– cadera: glúteo mayor (en concéntrico porque queremos avanzar).

- apoyo medio: es monopodal. Termina cuando se inicia el despegue del talón.

– objetivos: estabilidad, progresión y facilitar el despegue del miembro inferior contralateral.

Se subdivide en 2 periodos: en el inicial el momento de fuerza intenta flexión dorsal de tobillo, flexión de rodilla y extensión de cadera. En el final se tiende a flexión dorsal de tobillo (mayor que en el inicial), extensión de rodilla y neutro en la cadera. Existe una acción muscular que modera al momento:

– tobillo: soleo (en excéntrico), es mayor en el periodo final. Al final del todo inicia una contracción concéntrica con previa elongación.

– rodilla: vientres monoarticulares del cuádriceps (en excéntrico). Sólo actúan en el periodo inicial, en el final no hay acción muscular.

– cadera: glúteo mayor. Sólo actúan en el periodo inicial, al final sin acción muscular.

- apoyo final. Es monopodal. Termina cuando sólo los metatarsianos están apoyados.

– objetivos: estabilidad, progresión y retrasar la caída del centro de gravedad.

El momento de fuerza intenta flexión dorsal de tobillo, rodilla neutra y extensión de cadera. Existe una acción muscular que modera al momento:

- tobillo: tríceps sural (en concéntrico).
- rodilla: estabilidad por estructuras pasivas (ligamentos y cápsula articular posterior).
- cadera: ligamento iliofemoral principalmente.
- prebalanceo: es bipodal. Termina cuando despegar el 1er dedo del suelo.
- objetivos: transferencia del peso al miembro inferior contralateral, crear potencia para despegar el pie y controlar el descenso del centro de gravedad.

El momento de fuerza intenta flexión dorsal, flexión de rodilla y mínima extensión de cadera. Existe una acción muscular que modera al momento:

- tobillo: tríceps sural.
- rodilla: vientre monoarticular del bíceps femoral, ambos vientres del recto femoral (en excéntrico para que la flexión no sea excesiva). [El recto femoral sólo se contrae en esta fase de la marcha].
- cadera: recto femoral (en concéntrico) y aductor medio. [Ambos son flexores de cadera].
- fase de balanceo (40%): se inicia cuando se pierde el contacto pie-suelo hasta que vuelve a tocarlo. En toda esta fase tobillo y rodilla se contraen en excéntrico y la cadera lo hace siempre en concéntrico. 3 periodos:

- inicio:

- objetivos: acelerar el miembro inferior homolateral y evitar que el pie roce con el suelo (flexión de toda la extremidad).

Existe una acción muscular que modera al momento:

- tobillo: tibial anterior y extensor común de los dedos (evitan que los dedos rocen con el suelo).
- rodilla: bíceps femoral (para mantener la flexión de rodilla).
- cadera: psoas iliaco, aductor medio, sartorio y recto interno. [Son todos los flexores de cadera a excepción del recto femoral].

- desarrollo:

- objetivos: mantener la aceleración del periodo inicial y evitar el roce pie-suelo.

Existe una acción muscular que modera al momento:

- tobillo: tibial anterior.
- rodilla y cadera: sin acción muscular. Aprovechan la inercia inicial.

- final:

- objetivos: decelerar la inercia del miembro inferior homolateral, evitar el roce pie-suelo y preparar el miembro inferior para el inicio de la fase de apoyo.

Existe una acción muscular que modera al momento (se requiere precisión de movimientos):

- tobillo: tibial anterior (en excéntrico para lograr flexión dorsal de tobillo).
- rodilla: isquiotibiales y vientres monoarticulares del cuádriceps (cocontracción antagonistas en excéntrico).
- cadera: glúteo mayor e isquiotibiales (disminuyen la inercia al ser extensores de cadera).

Temas 33 y 34: Biomecánica de la marcha del niño y del anciano.

- Marcha infantil: la marcha normal o adulta se consigue a los 5 años de edad.
- características: dependen del grado de maduración del SNC y del aprendizaje,
 - inestabilidad fisiológica debido al déficit en el control del equilibrio, insuficiencia de los flexores dorsales del pie (los primeros músculos en desarrollarse son los flexores o antigravitatorios) y falta de regulación de la función muscular.
 - aumento de la longitud del paso (de 22 a 56 cm) y la velocidad (de 64 a 120 cm/seg) con la edad.
 - disminución de la cadencia (de 176 a 128 pasos/min) y la base de sustentación con la edad.
- evolución:
 - con 1 año de edad:
 - miembros superiores sin movimiento recíproco.
 - pelvis hacia delante (aumento de la rotación de la pelvis con la marcha).
 - cadera: abducción, flexión y rotación externa.
 - rodilla: flexión (para acercar el centro de gravedad a la base de sustentación).
 - tobillo: flexión plantar (tienden a andar de puntillas).
 - con año y medio de edad:
 - los miembros superiores inician el movimiento recíproco.
 - cadera: flexión y rotación interna (debido a la anteversión del cuello femoral).
 - rodilla: flexión.
 - tobillo: inicio de la flexión dorsal.
 - con 2 años de edad:
 - miembros superiores con movimiento correcto.
 - pelvis: próxima a la normalidad.
 - cadera: aducción en apoyo y extensión al final del apoyo.

- rodilla: inicio de la flexoextensión.
- tobillo: próximo al patrón normal.
- entre los 2 años y medio y los 5 años de edad: se perfila el movimiento,
- cadera: normal excepto por la rotación externa.
- rodilla: próxima a la normalidad.
- tobillo: patrón normal.
- Marcha de los ancianos:
- características: la marcha es un indicador del declive de las funciones,
- generales: disminuye la longitud del paso y la velocidad de forma progresiva y aumenta el doble apoyo para que disminuya el apoyo monopodal.
- específicas: disminuye el contrabalanceo de los miembros superiores, la cadencia, las rotación de pelvis cadera y rodilla, la base de sustentación, la elevación de los pies en el despegue (roce pie–suelo) y la velocidad de la marcha. La velocidad de la marcha disminuye porque también disminuye la fuerza muscular (especialmente de los extensores de cadera y los flexores plantares del pie) y la amplitud articular de los miembros inferiores están limitadas. También puede influir la superficie de suelo por donde caminan (más rugosidad implica más velocidad) y el tipo de calzado, que puede bloquear el movimiento aunque aumente la estabilidad.

Tema 37: Biomecánica de la carrera.

- Ciclo de la carrera: dura 0,5 segundos. No existe doble apoyo sino periodo de vuelo. Consta de 2 fases:
- fase de apoyo:
- inicio del apoyo: la fuerza generada durante el contacto inicial (zona posterolateral del talón) es baja. La mayor parte de la carga se produce en los 20–30 mseg después del contacto inicial. El contacto inicial precisa de estabilización y dorsiflexión del tobillo. El choque pie–suelo puede hacerse:
 - a) zona posterolateral del talón.
 - b) todo el retropie.
 - c) casi toda la planta del pie (lo más frecuente).
 - d) con el antepie
- [Toe–runners: forma ineficaz de apoyo durante la carrera pero muy útil durante el sprint, donde se precisa gran propulsión en un corto periodo de tiempo].
- medio apoyo: la absorción del choque pie–suelo requiere de,
 - a) flexión articular de cadera y rodilla.
 - b) tobillo en flexión dorsal (efecto mecedora).

c) colaboran como amortiguadores la fascia plantar y el tejido adiposo del talón.

Final del medio apoyo e inicio del despegue:

a) el centro de gravedad se sitúa por delante.

b) precisan que el pie se constituya en palanca rígida.

Bloqueo del pie: se produce una rápida flexión de la pierna que está en el aire que origina una rotación externa progresiva de toda la extremidad apoyada que se transmite al calcáneo (supinación subastragalina).

- medio apoyo y despegue:

c) se estabiliza el arco interno por la puesta en tensión de la fascia plantar originada por la contracción del tríceps sural.

d) importante acción del tibial anterior.

e) importante estrés tibial (rotaciones interna–externa realizadas a gran velocidad).

– fase de vuelo:

- inicio del vuelo (aceleración): cuando la pierna apoyada consigue la extensión completa y el pie se levanta del suelo, la rodilla está mucho más flexionada que en la marcha y el pie se sitúa en una posición mucho más alta que en la marcha. Esta flexión sirve para acortar la longitud del miembro oscilante (evita el roce pie–suelo) y reducir la fuerza que se precisa para enviar la pierna hacia delante (mayor velocidad y aceleración). En definitiva, en esta fase se produce aceleración de la pierna y flexión de cadera.
- ampliación de la zancada.
- final del vuelo: la pierna alcanza la extensión completa e inicia el retroceso antes de establecerse en contacto con el suelo. En definitiva, en esta fase se produce deceleración de la pierna, extensión de cadera y rotación femoral interna.

· Acción de los miembros superiores:

- mejoran la estabilidad.
- ayudan a ganar velocidad.
- colaboran en la absorción de las rotaciones que tienen lugar durante la carrera.

· Acción muscular:

- estabilizar tronco y pelvis.
- acelerar la pierna durante el apoyo.
- decelerar la pierna al final del vuelo.
- controlar las rotaciones de la pierna.