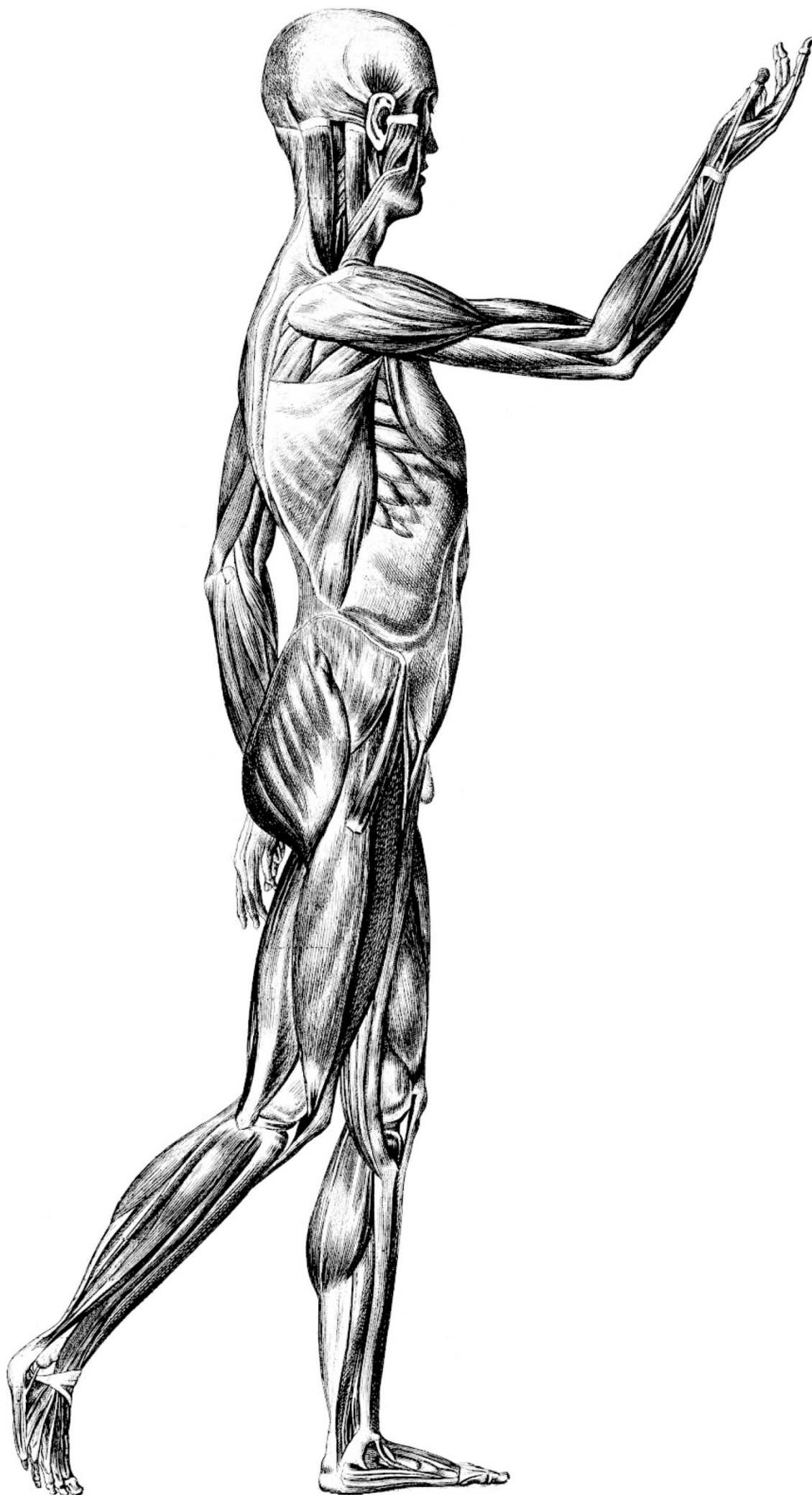




BIOMECHANICA. MIEMBRO INFERIOR

AULA VIRTUAL
2º NIVEL



I. FISIOLÓGIA ARTICULAR DE LA CADERA	1
A. INTRODUCCIÓN.....	1
B. RECUERDO ANATÓMICO.....	2
1. Superficies articulares	2
2. Medios de unión.....	4
C. FACTORES DE COAPTACIÓN DE LA CADERA.....	7
D. OSTEOCINEMÁTICA Y ARTROCINEMÁTICA.....	8
1. Flexión.....	8
2. Extensión	9
3. Abducción.....	10
4. Aducción.....	10
5. Rotación Externa	11
6. Rotación interna	12
E. MÚSCULOS MOTORES.....	12
1. Flexores	12
2. Extensores.....	14
3. Abducción.....	16
4. Aducción.....	18
5. Rotación externa.....	18
6. Rotación interna	19
7. Inversión de las acciones musculares.....	19
F. MOVIMIENTOS DE LA PELVIS SOBRE EL MUSLO	20
1. En el plano sagital	20
2. En el plano frontal.....	20
G. EQUILIBRIO DE LA PELVIS EN EL APOYO UNIPODAL.....	21
II. FISIOLÓGIA ARTICULAR DE LA RODILLA.....	22
A. INTRODUCCIÓN.....	22
B. RECUERDO ANATÓMICO.....	23
1. Superficies articulares de la articulación femoropatelar	23
2. Superficies articulares de la articulación femorotibial.....	24
3. Medios de unión de la articulación femorotibial	27
C. OSTEOCINEMÁTICA Y ARTROCINEMÁTICA.....	29
1. Flexión.....	29
2. Extensión	30
3. Rotaciones.....	30
4. Artrocinemática de la flexoextensión	30
5. Artrocinemática de las rotaciones.....	36
D. MÚSCULOS MOTORES.....	38
1. Extensión	38



2. Flexión.....	38
3. Rotación	39
E. LA RODILLA EN BIPEDESTACIÓN.....	39
1. Equilibrio de la rodilla	39
2. Estabilidad de la rodilla	40
III. FISIOLÓGÍA ARTICULAR DE LA ARTICULACIÓN TIBIOTARSIANA.....	42
A. INTRODUCCIÓN.....	42
B. RECUERDO ANATÓMICO.....	43
1. Superficies articulares	43
2. Medios de unión.....	44
C. OSTEOCINEMÁTICA Y ARTROCINEMÁTICA	46
1. Flexión dorsal.....	46
2. Flexión plantar.....	48
D. BIOMECÁNICA DE LAS ARTICULACIONES PERONEOTIBIALES.....	50
1. Articulación peroneotibial distal.....	50
2. Articulación peroneotibial proximal.....	51
IV. FISIOLÓGÍA ARTICULAR DEL PIE.....	53
A. INTRODUCCIÓN.....	53
B. RECUERDO ANATÓMICO.....	53
C. ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA	54
1. Superficies articulares	54
2. Medios de unión.....	55
3. Movimientos del complejo articular del retropié.....	56
4. Movimientos de la subastragalina.....	59
D. ARTICULACIÓN MEDIOTARSIANA O DE CHOPART	59
1. Superficies articulares	60
2. Medios de unión.....	60
3. Movimientos de la mediotarsiana	61
4. Movimientos combinados de inversión y eversión	62
5. Acción de los músculos extrínsecos.....	64
E. ARTICULACIONES DEL TARSO ANTERIOR.....	65
F. ARTICULACIÓN DE LISFRANC (TARSOMETATARSIANA)	66
1. Superficies articulares	66
2. Medios de unión.....	67
3. Movimientos de la articulación de Lisfranc.....	68
G. ARTICULACIÓN ENTRE LOS DEDOS DEL PIE	69
1. Superficies articulares y medios de unión	69
2. Estudio de los movimientos.....	69



H. MÚSCULOS MOTORES.....	71
1. Músculos de los dedos	71
2. Músculos del compartimento plantar interno	71
3. Músculos del compartimento plantar externo.....	72
V. ARQUITECTURA DEL PIE	73
A. ESTUDIO DE LA BÓVEDA PLANTAR.....	73
1. Concepto clásico.....	73
2. Conceptos modernos.....	80
B. ESTABILIDAD DEL PIE EN CARGA.....	82
1. Estabilidad del antepié.....	82
2. Estabilidad del retropié.....	82



BIOMECÁNICA. MIEMBRO INFERIOR

I. FISIOLÓGIA ARTICULAR DE LA CADERA

A. INTRODUCCIÓN

Es la articulación proximal del miembro inferior. Su característica principal es que está fuertemente coaptada.

Su función principal es orientar el miembro inferior en cualquier dirección espacial. Mantiene una fuerte estabilidad para soportar la función de carga del peso corporal y se encarga a su vez de unir la cintura pélvica con el miembro inferior.

Esta articulación ha experimentado un cambio evolutivo, debido a la progresión del ser humano hacia la posición bípeda, donde los miembros inferiores absorben casi toda la carga. La posición funcional de la cadera es en flexión, con la cabeza femoral alojada dentro de la cavidad cotiloidea, puesto que es suficientemente amplia como para contener parcialmente la cabeza del fémur.

Es una enartrosis. Posee tres ejes de movimiento y tres planos de movimiento articular:

- Eje transversal: en torno al cual se articula el movimiento de flexo-extensión.
- Eje antero-posterior: pasa por el centro de la articulación, en torno al cual se articula el movimiento de abducción-aducción.
- Eje vertical: en torno al cual se articula el movimiento de rotación interna y externa.

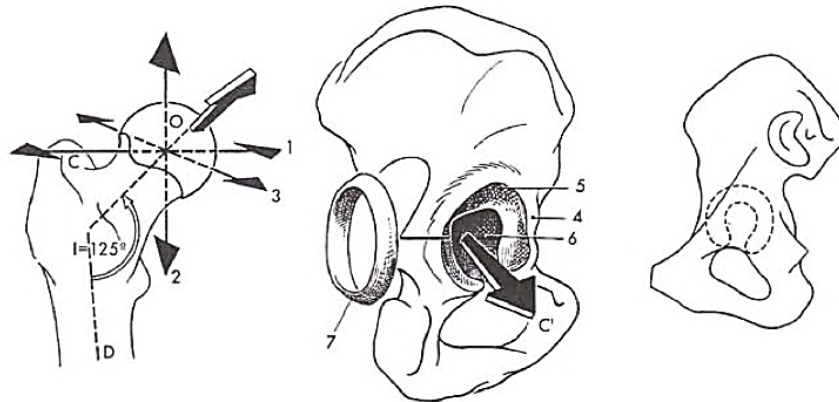


Figura 1. Ejes de movimiento de la cadera.

La articulación coxofemoral tiene una menor amplitud de movimiento respecto a la articulación glenohumeral, que posee poca capacidad de coaptación y una gran capacidad de movimiento, en detrimento de la estabilidad. En consecuencia, la coxofemoral posee menor amplitud de movimiento, que en parte es compensada por el raquis lumbar, a cambio de ser una articulación de gran estabilidad y la más difícil de luxar de toda la anatomía humana.

Estas características de estabilidad y solidez están condicionadas por las funciones de soporte del peso corporal y de locomoción desempeñadas por los miembros inferiores. Es una articulación con mucha exigencia mecánica.

B. RECUERDO ANATÓMICO

PARA SABER MÁS

Si todavía no visualizas bien alguna estructura de las que se describirán a continuación, repasa antes la anatomía de la zona para entender bien la descripción biomecánica.

1. Superficies articulares

Cabeza femoral

Representa los $\frac{3}{4}$ de una esfera de 25 mm de radio, con un desarrollo angular de 240° en el plano frontal. La cabeza femoral tiene una orientación hacia arriba, delante y dentro en posición bípeda.

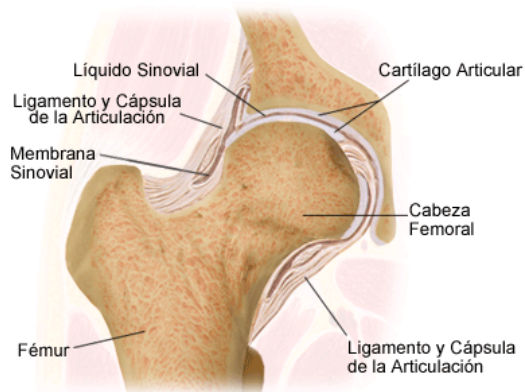


Figura 2.

Presenta un ángulo cervicodiafisario de 130° . Es mayor al nacer y disminuye con el crecimiento

- Si es superior a 130° , el individuo presenta una coxa valga.
- Si es menor a 130° , presenta una coxa vara.

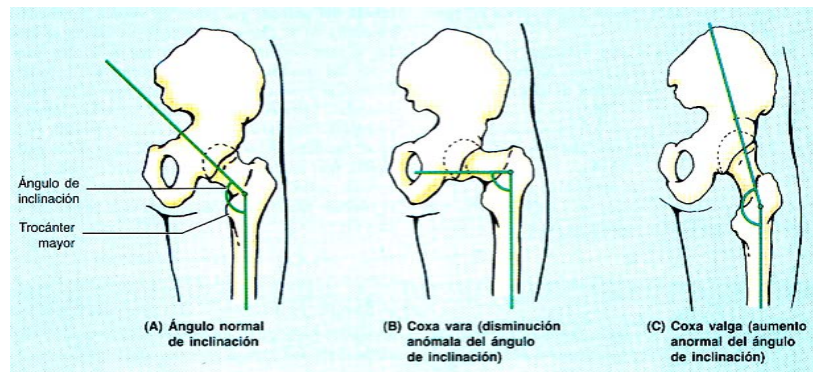


Figura 3.

Existe un ángulo de declinación o anteversión entre el eje del cuello y el plano frontal de 10 a 15°.

- Si este ángulo aumenta, existe un adelantamiento de la cabeza respecto a la diáfisis, llamada coxa antetorsa.
- Si el ángulo disminuye, existe una posición retrasada de la cabeza respecto a la diáfisis, llamada coxa retrorsa.

Esta arquitectura facilita una gran movilidad del fémur en la cadera, pero implica una gran sobrecarga mecánica.

PARA SABER MÁS

Arquitectura anatómica de la cabeza femoral

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022010000200016

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022011000200010&script=sci_arttext

Cavidad cotoidea o acetábulo

Está situada a la unión del pubis, del isquion y del ilion. Representa la mitad de una esfera de 25 mm de radio y con un desarrollo angular de 180°. Está limitada por un borde óseo o ceja cotoidea. La orientación de la cavidad cotoidea es hacia fuera, abajo y delante. Su eje hace un ángulo de 30-40° con la horizontal.

Presenta 2 partes:

- El trasfondo cuadrilátero no articular.
- Una parte periférica cubierta de cartílago articular en forma semilunar llamado rodete cotoideo.

El **rodete o labrum acetabular** es un anillo de fibrocartílago fijado en el perímetro del cotilo. Aumenta la superficie, la congruencia articular y se considera un medio de unión.



PARA SABER MÁS

- Anatomía, función y lesiones del labrum acetabular:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3468736/>
- Degeneración del labrum por traumatismo de repetición:
<https://www.youtube.com/watch?v=qu5DAJCZjyA>
- Artroscopias reparadoras del labrum:
<https://www.youtube.com/watch?v=GiOZGEHYQ44>
<https://www.youtube.com/watch?v=PmJq07kYOI8>

En posición anatómica, la cabeza femoral no está cubierta enteramente por el cotilo, la coincidencia entre ambas estructuras aparece en flexión de 90°.

El cotilo tiene dos ángulos de coincidencia:

- Ángulo de cobertura externo de la cabeza VCE de 25°.
- Ángulo de oblicuidad del techo VCE 10°.

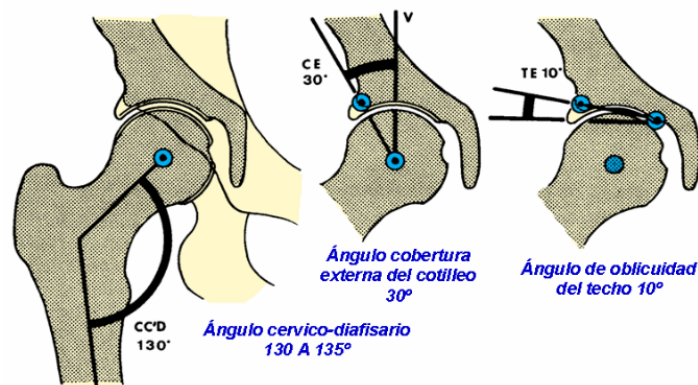


Figura 1. Ángulos femoroacetabulares.

2. Medios de unión

Cápsula

Es un manguito cilíndrico muy resistente que se extiende desde el hueso ilíaco hasta la extremidad superior del fémur.

Según Kapandji, el manguito de la cápsula está constituido por cuatro tipos de fibras:

- Fibras longitudinales: su función es sobre todo de unión, son paralelas al eje del manguito capsular.
- Fibras oblicuas: también de unión, pero en forma de espiral alrededor de la cápsula.
- Fibras arciformes: se insertan únicamente en el ilíaco, formando un arco. Envuelven la cabeza femoral coaptándola hacia el cotilo.



- Fibras circulares: rodean a modo de cinturón el centro de la cápsula articular, reforzándola y ciñéndola al cuello femoral.
- Fibras recurrentes o frenula capsulae: al desplegarse aportan la holgura adicional necesaria para permitir la amplitud de movimiento. De gran utilidad, especialmente en los movimientos de ABD /ADD.

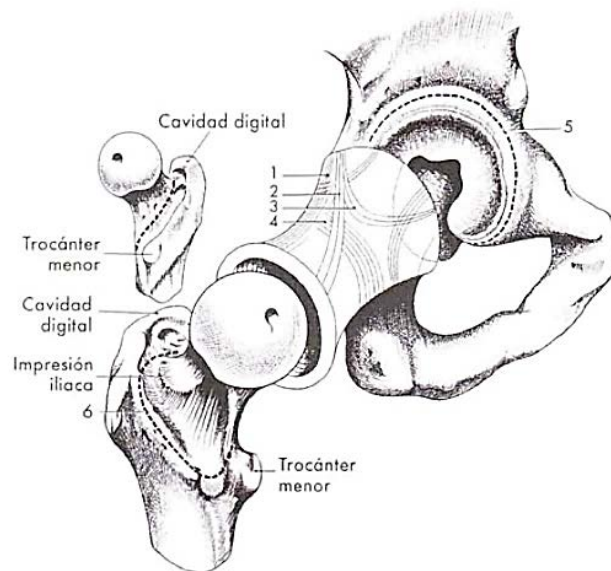


Figura 5. Cápsula articular coxofemoral. Fibras longitudinales (1), fibras oblicuas (2), fibras arciformes (3), fibras orbiculares (4).

PARA SABER MÁS

Contribución de la cápsula articular a la estabilidad de la articulación coxofemoral

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3160501/>

Ligamentos

- **Ligamento redondo:** se extiende desde la escotadura inferior del cotilo a la cabeza femoral hasta la cabeza femoral. Consta de tres haces: posterior o isquiático, anterior o púbico y medio. Contribuye a la vascularización de la cabeza femoral.



Figura 6.

- **Ligamento iliofemoral o de Bertin:** de la espina ilíaca anteroinferior a la línea intertrocantérica anterior. Presenta 2 haces: iliopretrocantéreo o superior e iliopertrocanteriano o inferior.
- **Ligamento pubofemoral:** de la eminencia iliopectínea del pubis hasta la fosa pretrocanteriana¹.

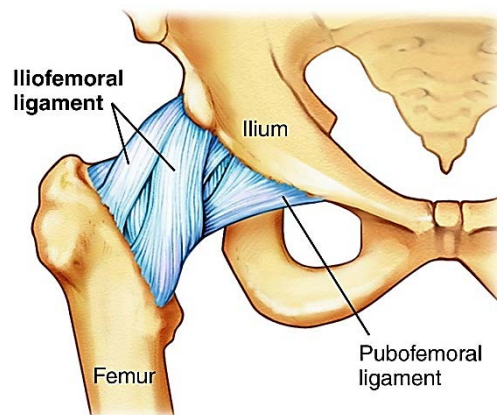


Figura 7. Ligamento en N.

- **Ligamento isquiofemoral:** menos potente, es el único situado a la parte posterior de la articulación y se inserta sobre la parte isquiática del rodete cotiloideo en la corredera infracotiloidea. Presenta 3 haces: superior o isquio-supra-cervical, medio o isquiozonular e inferior o isquio-infra-cervical.

En general, la flexión los relaja y la extensión los tensa. Este enrollamiento en la extensión aumenta la estabilidad, lo que hace que las presiones aumenten.

¹ Estos 2 ligamentos forman la N acostada de WELCKER o ligamento en Z.

C. FACTORES DE COAPTACIÓN DE LA CADERA

- **Gravedad:** a diferencia de la articulación glenohumeral, a la que la acción de la gravedad tiende a luxar, la coxofemoral se beneficia de ella para aumentar su coaptación en bipedestación.
- **Par de anclaje osteofibroso:** el rodete cotiloideo cubre la cabeza femoral y amplía la profundidad de la cavidad, aumentando la porción femoral dentro de la misma. A su vez, las fibras orbiculares de la cápsula ayudan al rodete a retener la cabeza femoral dentro de la cavidad cotiloidea, ambos elementos crean un par de acoplamiento fibroso.
- **Presión atmosférica:** existe un vacío intracapsular que provoca una diferencia de presión con el exterior. Es un factor importante de coaptación de la cadera. El rodete garantiza dicha relación de vacío con el exterior de la articulación, que a su vez garantiza la coaptación articular².
- **Factores ligamentarios:** desempeñan un papel fundamental en la estabilidad articular, especialmente en la cara anterior de la cadera, donde no hay mucha cobertura muscular, donde los ligamentos son muy potentes. En la cara posterior, ante la predominancia muscular, los ligamentos no son tan fuertes como en la cara anterior.

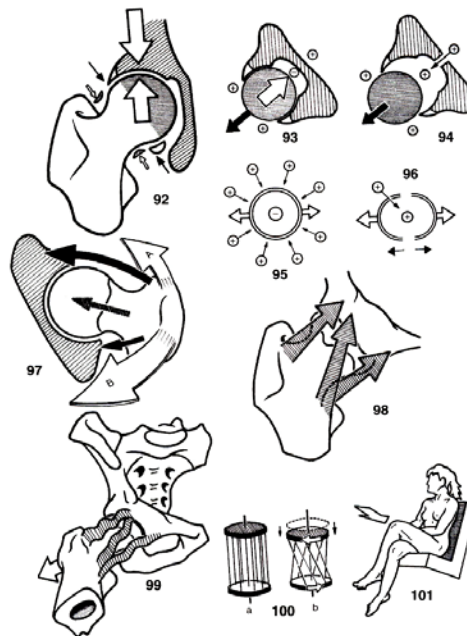


Figura 8. Factores de coaptación femoral.

La acción de los ligamentos es diferente según la posición articular. Por ejemplo en posición anatómica, los ligamentos están tensos, coaptando eficazmente, mientras que en flexión dichos ligamentos están distendidos y la cabeza no se coapta con tanta fuerza, por lo que entendemos

² Weber comprobó que al seccionar todas las partes blandas que unen el ilíaco al fémur, la cabeza femoral no salía de la cavidad acetabular, incluso traccionándola. No obstante, realizando un pequeño orificio en el fondo del acetábulo, permitiendo la entrada de aire en el mismo, el miembro inferior se desprendía del ilíaco por su propio peso.

que la flexión, por la relajación ligamentosa, es una posición relativamente más inestable que la alineación normal.

- **Músculos periarticulares:** la resultante de las componentes radiales de todos los músculos periarticulares es coaptadora.

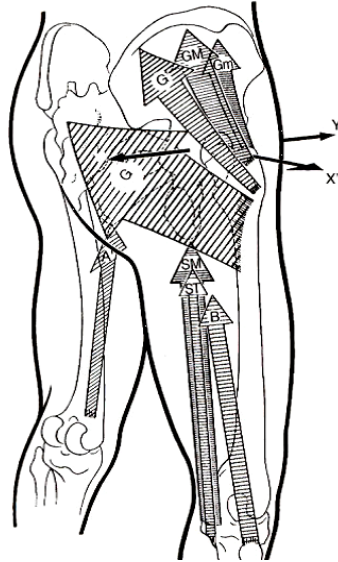


Figura 9. Coaptación muscular.

La estabilidad de la cadera varía según su posición:

- En flexión la estabilidad es buena, la congruencia articular aumenta pero los ligamentos se relajan.
- En extensión ocurre el fenómeno contrario.
- En aducción la estabilidad disminuye, así como la congruencia, hay riesgos de luxación.
- En rotación externa la congruencia disminuye, los ligamentos se relajan.

La posición menos estable es la sedestación con rodillas cruzadas, ya que la flexión aporta la relajación de los ligamentos y la ADD reduce la porción de cabeza femoral dentro del rodete. En esta posición un golpe antero-posterior sobre la rodilla puede generar una luxación coxofemoral posterior.

D. OSTEOCINEMÁTICA Y ARTROCINEMÁTICA

1. Flexión

Es el movimiento que lleva a la extremidad inferior del fémur hacia adelante en dirección del pecho. El movimiento de flexión y extensión se produce en el plano sagital, a través de un eje transversal horizontal.



- Amplitud:
 - En activo:
 - Rodilla extendida: 90°.
 - Rodilla flexionada: 120°.
 - En pasivo:
 - Rodilla extendida: 100° a 110°.
 - Rodilla flexionada: 130° a 140°.

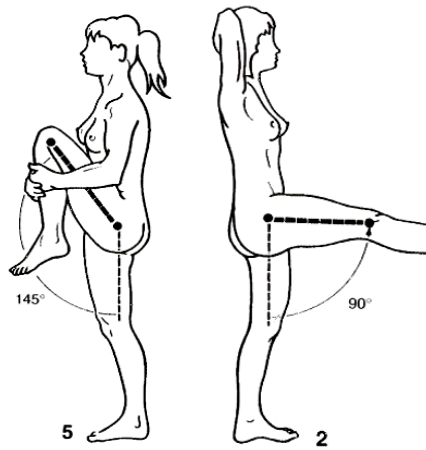


Figura 10. Amplitud en flexión coxofemoral.

- Límites de la flexión:
 - Rodilla extendida: tensión de los isquiotibiales.
 - Rodilla flexionada: contacto del muslo con el abdomen, puesta en tensión del glúteo mayor y porción posterior de la cápsula.

El movimiento de flexión puede continuarse con una retroversión de la pelvis y cifosis del raquis lumbar.

2. Extensión

Es el movimiento que lleva a la extremidad inferior del fémur posterior del plano frontal.

- Amplitud:
 - En activo:
 - Rodilla extendida: 20°.
 - Rodilla flexionada: 10°.
 - En pasivo:
 - Rodilla extendida: 30°.
 - Rodilla flexionada: 20°.
- Límites de la extensión:

- Con la rodilla extendida: los elementos pasivos son la puesta en tensión de la región anterior de la cápsula y la tensión de todos los ligamentos iliofemorales anteriores. El principal elemento activo limitante es la tensión en el músculo psoas iliaco.
- Con la rodilla flexionada: además de los anteriores, la tensión del músculo recto anterior.

El movimiento puede seguir con una anteversión pélvica e hiperlordosis del raquis lumbar.

3. Abducción

Los movimientos de este plano frontal, se realizarán mediante un eje anteroposterior que atraviesa el centro de la articulación.

La Abducción separa el miembro inferior hacia fuera, alejándolo de la línea media del cuerpo.

La amplitud es de 45° , a partir de ahí, la pelvis bascula en lateroversión o el otro miembro se mueve en abducción.

Los límites se encuentran en la tensión de los aductores, del ligamento pubofemoral y el tope óseo del cuello del fémur sobre la ceja cotiloidea.

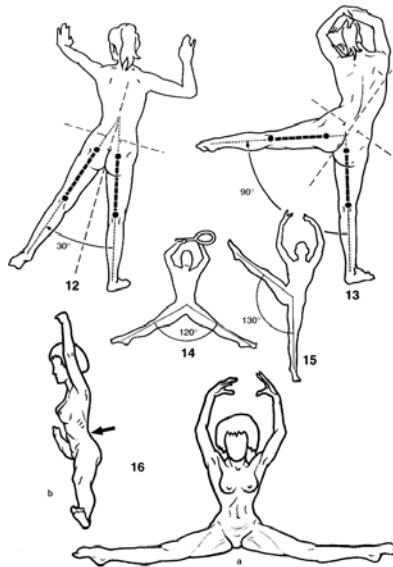


Figura 11. Movimiento de abducción coxofemoral.

4. Aducción

La aducción acerca el miembro inferior a la línea media del cuerpo. Debido a que en posición anatómica ambos MMII están en contacto, no existe en dicha posición el movimiento de ADD pura. Se asocia a una flexión o extensión coxofemoral para evitar el contacto con el MMII

contralateral. También podemos considerar un movimiento de ADD relativa, cuando a partir de una posición de ABD, el miembro inferior se acerca a la línea media.

- Amplitudes:
 - Aducción relativa - 45°.
 - Aducción verdadera + 30°.
- Factores de limitación:
 - Tensión de los abductores.
 - Tensión del haz iliopretrocantérico del ligamento de Bertin.
 - Contacto de las masas musculares en la flexión.

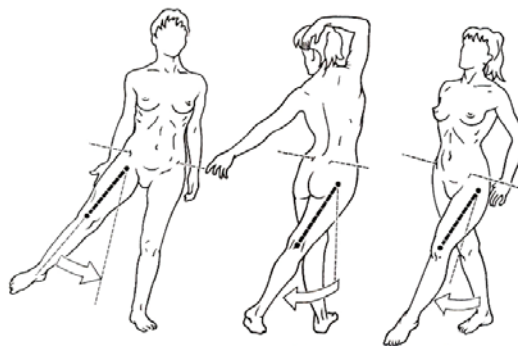


Figura 12. Movimientos de aducción coxofemoral.

5. Rotación Externa

Es el movimiento que lleva a la cara anterior de la pierna a mirar hacia fuera y a la rodilla flexionada a llevar la pierna hacia dentro. Se hace en torno al eje mecánico vertical del fémur en el plano horizontal. Para estudiarlo se modifica la posición anatómica, con la rodilla flexionada a 90° en el plano sagital en procúbite, o sentado con rodilla y cadera flexionadas a 90°.

La amplitud es de 45° a 60°.

Factores de limitación:

- Tensión de los rotadores internos.
- Tensión de los ligamentos anteriores (Bertin y pubofemoral).

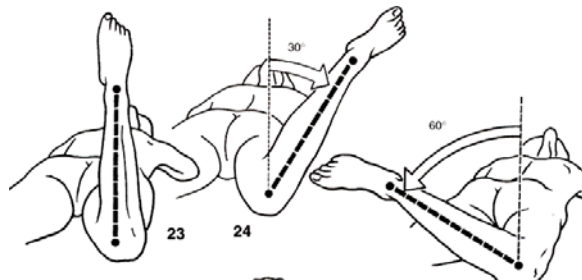


Figura 13. Movimiento de rotación externa coxofemoral.

6. Rotación interna

Es el movimiento que lleva a la cara anterior del muslo a mirar hacia dentro y que lleva la pierna a mirar hacia fuera.

La amplitud varía de 30º a 45º.

Factores de limitación

- Tensión de los músculos rotadores externos.
- Tensión de la cápsula posterior y del ligamento isquiofemoral.

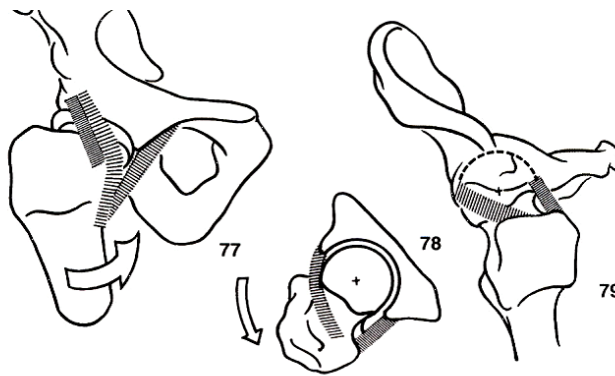


Figura 14. Límites en la rotación interna coxofemoral.

PARA SABER MÁS

Musculatura de la cadera: <http://www.youtube.com/watch?v=kXg3akhbrrg>

E. MÚSCULOS MOTORES

1. Flexores

Son los músculos situados ventrales al eje de flexión-extensión y al plano frontal que pasa por el centro de la articulación.



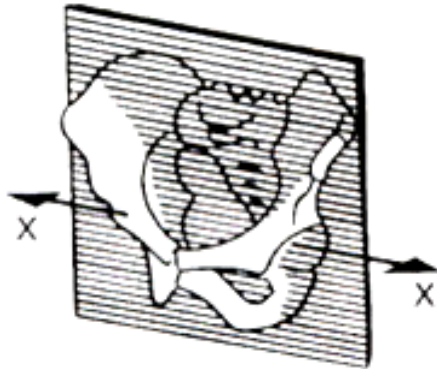


Figura 15.

Musculatura principal

- **Psoas-iliaco:** es el flexor más potente de la cadera y el de mayor recorrido. Es también aductor y rotador externo de cadera.
 - Porción psoica: de D12 a L4, insertándose en los cuerpos y discos intervertebrales, hasta el trocánter menor. Posee una potente acción muscular sobre la cadera y el raquis lumbar, donde una contracción bilateral genera una fuerza lordosante o cifosante del mismo, dependiendo de la posición de partida. En cualquiera de los casos, aumenta considerablemente la presión de los distintos discos intervertebrales. La contracción unilateral refuerza la fijación de las disfunciones osteopáticas del raquis lumbar, ya que genera una componente de imbricación más lateroflexión homolateral y rotación contralateral.
 - Porción ilíaca: de la fosa ilíaca interna al trocánter menor.

PARA SABER MÁS

Acción del Psoas-iliaco:

<https://www.youtube.com/watch?v=7tGf8TIGTmA>

<https://www.youtube.com/watch?v=ovQYBAiv8cI>

Musculatura secundaria

- **Sartorio:** de la EIAS hasta la cara interna de la tibia a nivel de la pata de ganso. Es flexor de cadera y accesoriamente realiza la abducción y rotación externa. En la rodilla es flexor y rotador interno.

PARA SABER MÁS

Acción del Sartorio: https://www.youtube.com/watch?v=toswa_KTYHk



- **Recto anterior del cuádriceps:** de la EIAI hasta el borde superior de la rótula y la tuberosidad anterior de la tibia. Es un potente flexor, aunque su potencia depende del grado de flexión de la cadera, de manera que a mayor flexión de rodilla mayor acción flexora de cadera.
Interviene especialmente en los movimientos que asocian flexión de cadera con extensión de rodilla, como la fase oscilante anterior en la marcha humana.
- **Tensor de la fascia lata:** de la EIAS hasta el tubérculo de Gerdy sobre la tibia. Es un potente flexor y abductor de cadera. En la rodilla, es flexor y rotador externo. Es un músculo fundamental en la estabilización activa de la pelvis.

Musculatura accesoria

- Pectíneo.
- Aductores, partiendo de una extensión máxima.
- Recto interno.
- Fibras anteriores de los glúteos medio y menor.

Salvo el recto anterior del cuádriceps, todos los músculos flexores de cadera tienen acciones secundarias, como ABD-ADD o RI-RE. Se pueden clasificar en dos grupos funcionales:

- Flexores, abductores y rotadores internos:
 - Tensor de la fascia lata.
 - Haces anteriores de los glúteos menor y mediano.
- Flexores, aductores y rotadores externos:
 - Psoas-iliaco
 - Pectíneo.
 - Aductor mediano.

2. Extensores

Son los músculos situados detrás del eje de flexión-extensión y del plano frontal que pasa por el centro de la articulación de la cadera.

Existen dos grupos, según su inserción en torno al extremo superior del fémur o alrededor de la cara posterior de la rodilla.

- Músculos monoarticulares, como el glúteo mayor.
- Músculos biarticulares, como los isquiotibiales, cuya acción extensora dependerá en gran medida de la posición de la rodilla.



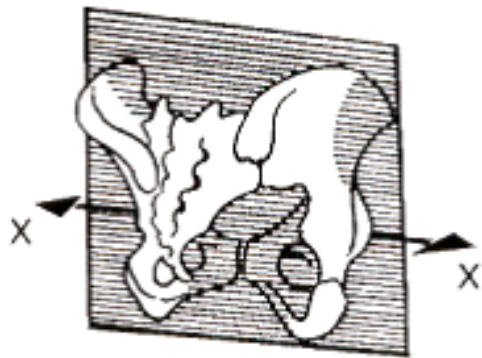


Figura 16.

PARA SABER MÁS

Musculatura extensora de la cadera: <https://www.youtube.com/watch?v=RHJwCzzWqhE>

Musculatura principal

Glúteo mayor: es el músculo más potente del aparato locomotor. Es el más superficial de los músculos glúteos.

- Porción superficial: recorre la cresta sacra y del cuarto posterior de la cresta ilíaca hasta el borde posterior del tensor de la fascia lata.
- Porción profunda: de la parte posterior de la fosa ilíaca externa, los bordes laterales del sacro del cóccix y el ligamento sacrociático, hasta la tuberosidad glútea. Continúa con una expansión aponeurótica hacia el tensor de la fascia lata.

Su acción extensora de cadera la completan los haces posteriores de los glúteos medio y menor. También es rotador externo y abductor de cadera.

Musculatura secundaria

Según Kapandji, la potencia extensora de cadera de todos los isquiotibiales (isquiotibioperoneos) juntos no supera los dos tercios de la potencia extensora del glúteo mayor. La posición extendida de la rodilla aumenta la capacidad extensora de cadera de los isquiotibiales.

- **Bíceps:** de la tuberosidad isquiática Se inserta sobre la cabeza del peroné.
- **Semimembranoso:** de la tuberosidad isquiática a la parte posterior de la tuberosidad interna de la tibia (pata de ganso).
- **Semitendinoso:** de la tuberosidad isquiática a la parte superior de la cara interna de la tibia a nivel de la pata de ganso.

Son también aductores y rotadores externos de cadera, flexores y rotadores de la rodilla.



Musculatura accesoria

- **Aductor mayor:** colabora en la extensión cuando la flexión coxofemoral lo sitúa por delante de su inserción proximal.
- **Glúteos menor y medio:** fibras posteriores.
- **Pectíneo:** si parte de una flexión máxima.

Durante la marcha normal en plano, la extensión de cadera queda a cargo de los isquiotibiales, con poca intervención del glúteo mayor. Al subir una pendiente, correr o saltar, el principal papel extensor es el glúteo mayor.

3. Abducción

Son los músculos situados por fuera del plano sagital que atraviesa la articulación coxofemoral.

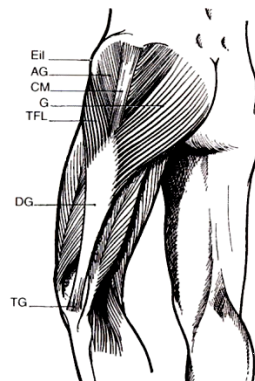


Figura 17.

Musculatura principal

- **Glúteo medio:** de la fosa ilíaca externa a la cara externa del trocánter mayor. Es el principal abductor de la cadera. Debido a su orientación casi vertical y perpendicular al brazo de palanca (cuello del fémur), tiene una gran potencia y eficacia como abductor. Su eficacia está condicionada por la longitud del cuello del fémur. Junto al glúteo menor desempeña una vital función en la estabilización lateral de la pelvis.
- **Glúteo menor:** de la fosa ilíaca externa a la cara anterior del trocánter mayor. Es principalmente abductor.

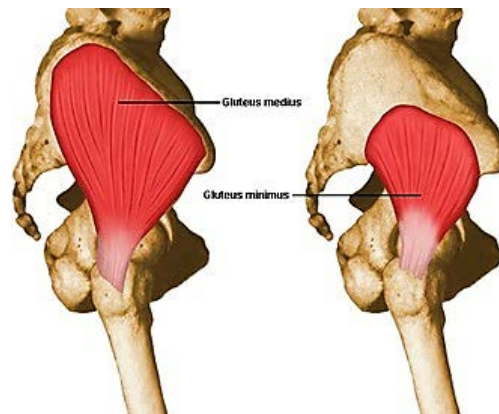


Figura 18.

Estos músculos son también flexores por sus fibras anteriores, extensores por sus fibras posteriores, rotadores internos por sus fibras anteriores, rotadores externos por sus fibras posteriores.

Musculatura secundaria

- **Tensor de la fascia lata:** potente abductor en posición anatómica. Colabora con los glúteos medio y menor en la estabilización lateral de la pelvis y del compartimento externo de la rodilla.
- **Fibras superiores y superficiales del glúteo mayor:** aquellas fibras que están por encima de la línea horizontal del trocánter mayor tienen una componente abductor, formando parte “del deltoides glúteo”.

PARA SABER MÁS

- Tensor de la fascia lata: <https://www.youtube.com/watch?v=C4gXjOyu-hg>
- Deltoides glúteo: <https://www.youtube.com/watch?v=zqj66pRzENw>

- **Piramidal:** potente acción abductora, además de su papel principal como rotador externo.

Grupo funcional de músculos abductores flexores y rotadores internos:

- Tensor de la fascia lata
- Fibras anteriores de los glúteos medianos y menor.

Grupo funcional de músculos aductores extensores y rotadores externos:

- Haces posteriores del glúteo menor y mediano.
- Haces abductores del glúteo mayor.

4. Aducción

Son los músculos situados debajo y dentro del eje de abducción-aducción.

Musculatura principal

- **Aductor mayor:** los haces anterior y medio van de los dos tercios de la rama isquiopúbica a la línea áspera. El haz posterior o tercer aductor va de la cara posterior de la tuberosidad isquiática al tubérculo aductor sobre el cóndilo interno. Es también extensor y rotador externo.
- **Aductor medio:** de la superficie angular del pubis hasta la línea áspera del fémur. Es también extensor o flexor y rotador externo.
- **Aductor menor:** de la superficie angular del pubis y termina en dos haces sobre la línea áspera. Es también rotador externo, flexor o extensor.

Musculatura secundaria

- **Pectíneo:** de la cresta pectínea a la superficie pectínea. Es también flexor y rotador externo.
- **Recto interno:** de la superficie angular del pubis hasta tubérculo interno de la tibia, formando parte de la pata de ganso superficial. Es también flexor de cadera, flexor-rotador interno de rodilla.

Musculatura accesoria

- Glúteo medio y menor.
- Fibras craneales del glúteo mayor.
- Pelvitrocantéreos, si la cadera está en flexión.

PARA SABER MÁS

Músculos aductores: <https://www.youtube.com/watch?v=5DrgfIJkSu0>

5. Rotación externa

De manera general, recorren la cintura pélvica hasta el trocánter mayor. Son tres veces más potentes que los rotadores internos.

Musculatura principal

La realizan los músculos pelvitrocantéreos.

- **Piramidal:** de la cara anterior del sacro al borde superior del trocánter mayor a través de la escotadura ciática. Es también abductor.



- **Obturador interno:** de la cara interna del agujero obturador hasta la cara interna del trocánter mayor, reflexiona sobre la escotadura ciática menor. Sigue un primer trayecto paralelo al piramidal, para después reflejarse en ángulo recto en el borde posterior del hueso ilíaco, por debajo de la espina ciática. Comienza entonces un trayecto endopélvico hacia el borde interno del agujero obturador. Es también abductor.
- **Obturador externo:** del contorno externo del agujero obturador hasta la fosa digital del trocánter mayor. Su tendón rodea la cara posterior del cuello femoral. Es también aductor.
- **Cuadrado crural:** de la cara externa de la tuberosidad isquiática a la cara posterior del trocánter mayor. Es también aductor.

PARA SABER MÁS

Músculos pelvitrocantéreos: <https://www.youtube.com/watch?v=iTOBN2AJqnI>

Musculatura accesoria

- Fibras superiores del glúteo mayor.
- Fibras posteriores del glúteo medio.
- Aductores.
- Pectíneo.
- Sartorio.
- Bíceps femoral (cabeza larga).

6. Rotación interna

Son menos numerosos y potentes que los externos.

Musculatura principal

- **Glúteo menor:** el principal rotador interno, sobre todo la porción ventral.

Musculatura secundaria

- Fibras anteriores del glúteo medio.
- Tensor de la fascia lata.
- Aductores, si parten de una rotación externa máxima.

7. Inversión de las acciones musculares

En una enartrosis, articulación con tres grados de libertad, las acciones secundarias de los músculos pueden cambiar e incluso invertirse en función de la posición articular.

Un ejemplo es la inversión del componente flexor de los aductores. Los aductores medio y menor son flexores hasta 50º grados de flexión, momento en el cual se sitúan por encima de su inserción proximal y pasan a ser extensores a partir de 70º.



Otro ejemplo es el cuadrado crural. En posición anatómica es extensor. En la extensión de cadera, el fémur está retrasado respecto a su inserción pélvica, por lo que tracciona la cadera en flexión. Durante la flexión, el fémur queda adelantado respecto de la inserción pélvica del músculo, lo que lo convierte en extensor.

F. MOVIMIENTOS DE LA PELVIS SOBRE EL MUSLO

1. En el plano sagital

Corresponde a una báscula pélvica.

Retroversión

La espina ilíaca anterosuperior (EIAS) se desplaza hacia craneal y la espina ilíaca posterosuperior (EIPS) se desplaza hacia caudal. Provoca una cifosis lumbar o inversión de la lordosis lumbar.

Los músculos motores que posibilitan este movimiento son:

- Desplazamiento craneal EIAS: recto anterior del abdomen.
- Desplazamiento caudal EIPS: glúteo mayor, isquiotibiales, aductor mayor.

Está limitado por el haz iliopretrocantérico del ligamento de Bertin.

Anteversión

Es el movimiento contrario, la espina ilíaca anterosuperior (EIAS) se desplaza hacia caudal y la espina ilíaca posterosuperior (EIPS) se desplaza hacia craneal. Provoca una hiperlordosis lumbar.

Los músculos motores que posibilitan este movimiento son:

- Desplazamiento caudal EIAS: psoas ilíaco, recto anterior del cuádriceps, tensor de la fascia lata, aductores
- Desplazamiento craneal EIPS: musculatura paravertebral.

Si la pelvis bascula en anteversión, provoca un límite en la tensión de los músculos isquiotibiales. Si la pelvis bascula en retroversión, provoca un límite en la tensión del músculo psoas ilíaco.

2. En el plano frontal

Traslación lateral de la pelvis

Se realiza gracias a la sinergia entre abductores de un lado y aductores del lado contrario.



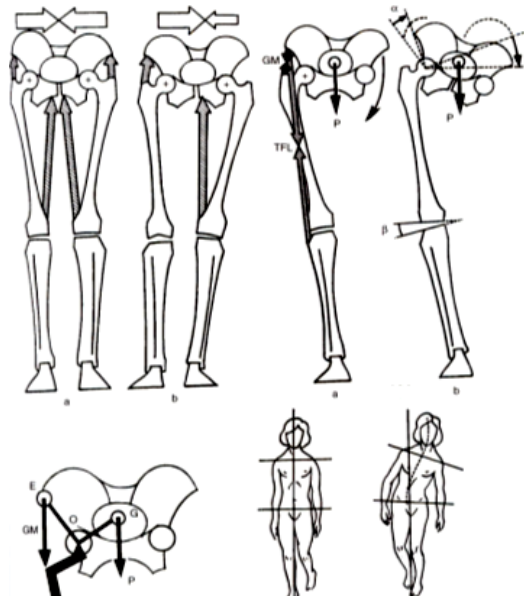
G. EQUILIBRIO DE LA PELVIS EN EL APOYO UNIPODAL

La estabilidad depende de la acción de los distintos músculos abductores.

Por ejemplo, con la cadera en extensión el centro de gravedad se localiza dorsal a la articulación. Esto hace que el tensor de la fascia lata y el glúteo menor realicen la estabilización lateral. Con la cadera en posición anatómica, la función estabilizadora lateral la realiza el glúteo medio.

En apoyo monopodal, cuando la articulación coxofemoral se mueve hacia la extensión se activa el glúteo mayor para mejorar la estabilidad lateral. En la flexión, según aumenta el rango de movimiento, se activan sucesivamente el piramidal, el obturador interno y el cuadrado crural.

Todos estos músculos son abductores, por lo que dependiendo del grado de flexo-extensión, se alternan para garantizar una eficaz estabilidad lateral de la pelvis.



**Ilustración 2. Función sinérgica equilibradora de los músculos ABD y ADD en el apoyo bípodo.
Función del tensor de la fascia lata en el apoyo monopodal.**

II. FISIOLÓGÍA ARTICULAR DE LA RODILLA

A. INTRODUCCIÓN

Es la articulación intermedia del miembro inferior. Funcionalmente está formada por dos sistemas articulares incluidos en una sola cápsula sinovial:

- Articulación femorotibial.
- Articulación femoropatelar.

Desde un punto de vista mecánico debe conciliar 2 características contradictorias:

- Estabilidad en extensión completa.
- Movilidad a partir de cierto grado de flexión.

La rodilla es una articulación inestable. A nivel óseo es discordante y poco congruente y su estabilidad es debida a los meniscos, a la musculatura y al aparato capsulo-ligamentario.

Anatómicamente se describe como una bicondílea, pero funcionalmente es una tróclea, porque tiene 1 grado de libertad de flexoextensión en un eje transversal. De manera accesoria y con la rodilla en flexión, existe un 2º grado de libertad según un eje vertical: la rotación. En esta posición existe cierta amplitud mecánica que permite pequeños movimientos de lateralidad según un eje anteroposterior, que sería patológico en extensión completa.

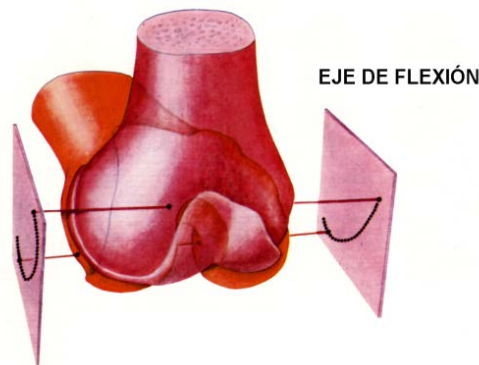


Figura 20. Eje transversal que atraviesa horizontalmente los cóndilos femorales.



Figura 21. Eje de rotación longitudinal que pasa por la espina tibial interna.

La rodilla está sometida a fuerzas de:

- Presión: lo que favorece la gonartrosis o artrosis de la rodilla.
- Torsión y alargamiento: que le expone a esguinces y lesiones meniscales.

El eje de la diáfisis del fémur no continúa en la prolongación de la tibia. Por lo que entre estos dos ejes existe un ángulo de valgo fisiológico abierto hacia fuera de $170-175^\circ$. Teniendo en cuenta estos grados, las deformaciones de la rodilla en el plano frontal se denominan:

- Ángulo mayor de 175° : genu varo.
- Ángulo menor de 170° : genu valgo.

El eje mecánico del miembro inferior es un eje oblicuo hacia abajo y adentro que pasa por el centro de las 3 articulaciones (forma 3° con la vertical). Entre el eje mecánico y el eje diafisario del fémur, se observa un ángulo de 6° .

B. RECUERDO ANATÓMICO

PARA SABER MÁS

Si todavía no visualizas bien alguna estructura de las que se describirán a continuación, repasa antes la anatomía de la zona para entender bien la descripción biomecánica.

1. Superficies articulares de la articulación femoropatelar

Tróclea femoral

Presenta 2 vertientes convexas separadas por una garganta. La vertiente externa es más ancha y más prominente hacia delante. Presenta una diferencia de altura de 5mm respecto a la vertiente interna.

Entre las 2 vertientes, hay un ángulo de apertura de 140° . La tróclea está separada de los cóndilos por las líneas intercondíleas.



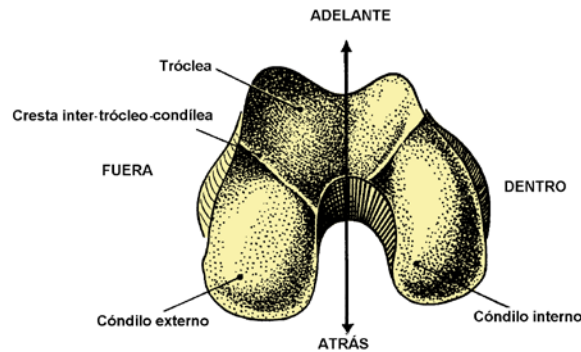


Figura 22. Vista inferior de la epífisis caudal del fémur.

Rótula

La superficie articular ocupa los dos tercios superiores de la cara posterior. Está separada en dos partes por una cresta roma vertical, que sobresale y encaja en la garganta de la tróclea femoral. Presenta 2 facetas cóncavas a los lados de la cresta:

- Faceta externa: más ancha que la externa.
- Faceta interna: dividida en 2 partes por una cresta oblicua hacia abajo y hacia dentro. La parte superior de la faceta interna solo está en contacto con la tróclea en la flexión máxima.

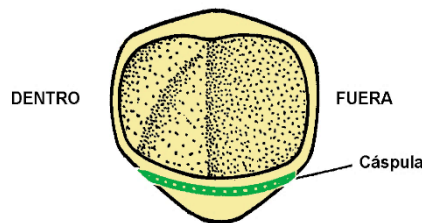


Figura 23. Visión posterior de la rótula.

2. Superficies articulares de la articulación femorotibial

Cóndilos femorales

Prolongan la tróclea femoral hacia abajo y hacia atrás. Están separados de la tróclea por las líneas intertrocleocondíleas.

Los cóndilos son dos prominencias convexas en ambas direcciones. Alargadas de delante a atrás y divergentes hacia atrás. El cóndilo interno es más divergente, más estrecho y más convexo (predomina el eje vertical) y el cóndilo externo es más aplanado y grande (eje mayor anteroposterior).

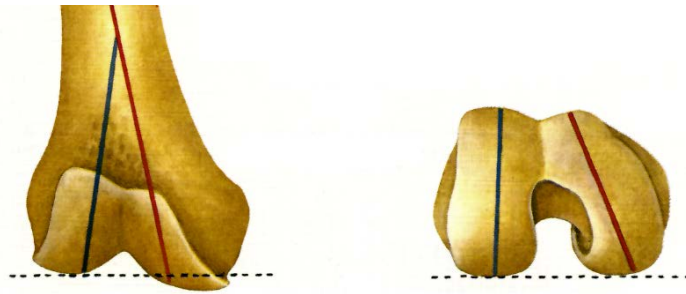


Figura 24.

La curvatura convexa de los cóndilos corresponde a las curvas cóncavas de las glenas tibiales.

El radio de la curva de las superficies condíleas no es uniforme, disminuye de delante hacia atrás como una espiral con varios centros geométricos. En realidad es una espiral de espiral cuyos centros instantáneos de rotación se denominan curva evoluta.

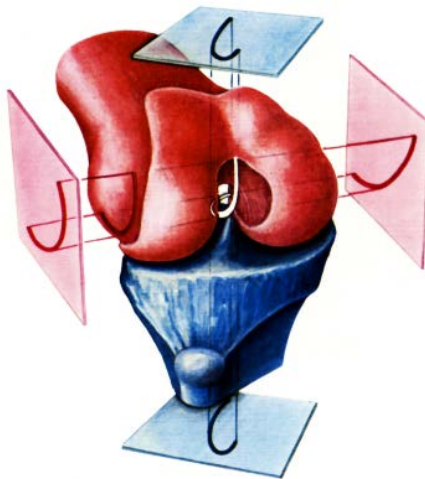


Figura 25. Centro articular de la rodilla.

Glenoides tibiales

Articulan con los cóndilos femorales. En un plano anteroposterior las glenoides interna y externa son diferentes:

- La glena interna es cóncava en ambos sentidos (transversal y anteroposterior).
- La glena externa es cóncava transversalmente y convexa en sentido anteroposterior.

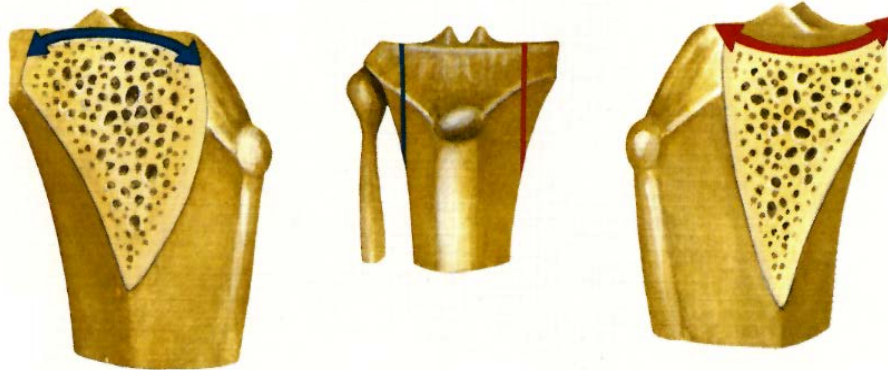


Figura 26.

Meniscos intraarticulares

Son fibrocartílagos con forma semilunar que compensan la falta de concordancia de las superficies articulares. Se asemejan a una media luna con un cuerno anterior y otro posterior.

- Menisco interno: forma de C.
- Menisco externo: forma de O.

Conexiones meniscales:

- Los cuernos se fijan en la meseta tibial, los anteriores en la superficie preespinal y los posteriores en la retroespinal.
- Los cuernos anteriores se unen por medio del ligamento transversal o ligamento yugal de Winslow.
- Ambos meniscos se unen a la rótula gracias a los alerones meniscorrotulianos.
- Las caras periféricas meniscales se conectan a la cápsula, excepto la parte posterior del menisco externo, que está separada debido al paso del músculo poplíteo (intracapsular), separando menisco y cápsula.
- El menisco interno tiene conexiones con el ligamento lateral interno (LLI)
- El menisco externo (cuerno posterior) tiene conexiones con el ligamento cruzado posterointerno (LCPI), gracias al ligamento meniscofemoral.



Figura 27.

- El menisco interno recibe una expansión del semimembranoso, el menisco externo del poplíteo.

Restablecen la concordancia aumentando la concavidad de las glenas, por lo tanto, la superficie de contacto y reparten y disminuyen las presiones.

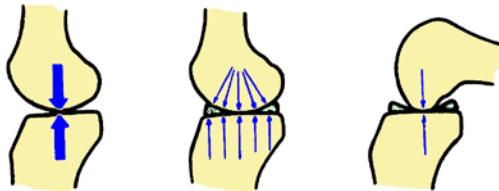


Figura 28.

En extensión favorecen la transmisión del peso y en flexión pierden contacto, favoreciendo la movilidad.

Para Castaing, permiten un mejor paso del líquido sinovial, lo que provoca una mejor lubricación de la rodilla.

3. Medios de unión de la articulación femorotibial

Cápsula articular

Manguito fibroso que rodea el extremo inferior del fémur y el extremo superior de la tibia y se inserta justo por fuera de las superficies articulares. En la cara anterior se abre una ventana para encajar la rótula.

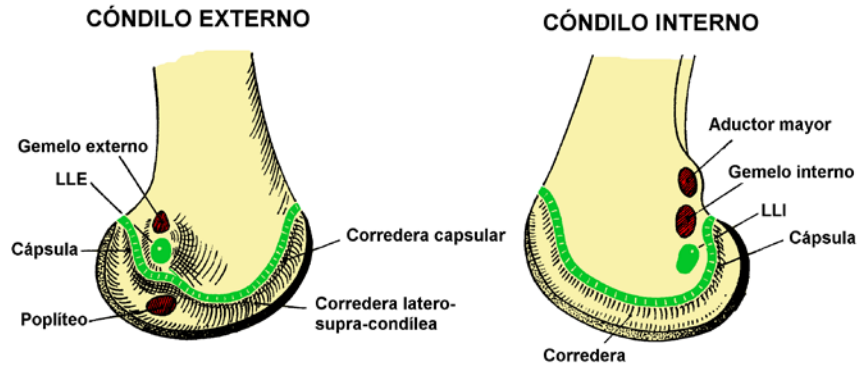


Figura 29.

Existen unos repliegues capsulares denominados fondos de saco, que permiten el movimiento al desplegarse.

Ligamentos

Tienen un papel de limitación de los movimientos y de estabilización. Existen principalmente 2 grupos de ligamentos: laterales y cruzados.

- **Ligamentos laterales:** refuerzan la cápsula por su lado interno y externo, asegurando la estabilidad lateral de la rodilla.
 - **LLI:** es un ligamento capsular intrínseco que se origina sobre la cara cutánea del cóndilo interno y se inserta sobre la cara interna del extremo superior de la tibia, detrás de la inserción de la pata de ganso.
 - **LLE:** es un ligamento extrínseco con forma de cordón, que se origina sobre la cara cutánea del cóndilo externo y se inserta sobre la cabeza del peroné.
- **Ligamentos cruzados:** se alojan en la escotadura intercondílea. Son intracapsulares pero extrasinoviales.
 - **LCAE:** sobre la superficie preespinal de la tibia entre los cuernos anteriores de los meniscos hasta la parte posterior de la cara axial del cóndilo externo del fémur.
 - **LCPI:** sobre la superficie retroespinal de la tibia, detrás de los cuernos posteriores de los meniscos hasta el fondo de la escotadura intercondílea sobre la cara axial del cóndilo interno del fémur.

Estos 2 ligamentos están cruzados en el plano sagital y frontal. Están en contacto el uno con el otro y no solo están cruzados entre sí, sino que también lo están con el ligamento lateral homólogo: el LCPI está cruzado respecto al LLI y el LCAE está cruzado respecto al LLE.

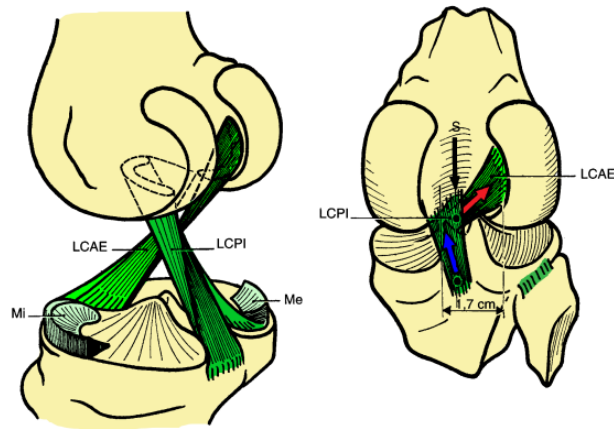


Figura 30.

- **Plano fibroso anterior de la rodilla:**
 - Alerones rotulianos.
 - Tendón rotuliano y cuadrícipital.
 - Expansiones directas y cruzadas de los vastos interno y externo.
 - Expansión del sartorio.
 - Expansión de la cintilla de iliotibial.
- **Plano fibroso posterior de la rodilla:**
 - El Músculo Semimembranoso mediante su tendón reflejo.
 - El ligamento poplíteo arqueado que comprende 2 haces que se insertan sobre la cabeza del peroné y son:
 - Ligamento lateral externo corto o ligamento sesamoideo peroneo
 - Ligamento poplíteo arqueado.

C. OSTEOCINEMÁTICA Y ARTROCINEMÁTICA

1. Flexión

Es el movimiento que lleva la tibia hacia atrás del plano frontal. El eje de flexión-extensión es un eje transversal. Es una línea recta horizontal que une los centros instantáneos de rotación de los dos cóndilos. Pasa entre los dos tercios anteriores y el tercio posterior de los cóndilos.

- **Amplitud:**
 - Activa:
 - Con cadera flexionada: 130º a 140º.
 - Con cadera extendida 120º.
 - Pasiva:
 - Con cadera flexionada 150º a 160º.
 - Con cadera extendida 140º.



- **Límites:**

- Cadera flexionada: contacto de las masas musculares, tensión del plano fibroso anterior, tensión del cuádriceps, tope del talón contra la nalga.
- Cadera extendida: Insuficiencia pasiva del recto anterior.

2. Extensión

Es la posición de referencia.

- **Amplitud:**

- Activa: 0º.
- Pasiva: 5º-10º.
- En personas laxas puede existir de 5 a 6º de extensión fisiológica.

- **Límites:**

- Tensión de los isquiotibiales. Aumenta cuanto más flexionada esté la cadera.
- Tensión de los gemelos. Aumenta cuanto más flexionado este el tobillo.
- Tensión del plano fibroso posterior.
- Tensión de los ligamentos laterales.

3. Rotaciones

Es un grado de libertad accesorio que permite la adaptación de la rodilla al terreno. No es posible en extensión (bloqueo articular) La posición de referencia es la rodilla flexionada a 90º, donde aparece el mayor recorrido.

Se produce alrededor de un eje vertical que pasa por la espina tibial interna, en un plano horizontal.

- **Rotación externa:**

- La cresta tibial se desplaza hacia lateral.
- Amplitudes de 30º a 40º.
- Límites por la tensión de los músculos rotadores internos y los ligamentos laterales.

- **Rotación interna:**

- Es el movimiento que lleva a la cresta tibial a mirar hacia dentro.
- Amplitudes de 20º a 30º.
- Límites por la: tensión de los músculos rotadores externos y los ligamentos cruzados.

4. Artrocinemática de la flexoextensión

Para describir el movimiento de flexoextensión se considera el fémur móvil y a la tibia fija (Regla convexa-cóncava).



Movimientos de los cóndilos sobre las glenas

Los cóndilos ruedan y deslizan sobre las glenas. Es un movimiento combinado de rodamiento-deslizamiento, donde el desarrollo de los cóndilos es el doble de las glenas. En flexión, el cóndilo rueda hacia atrás y resbala hacia delante sobre la glenoide. En una flexión el cóndilo empieza a rodar sin resbalar, a continuación el deslizamiento comienza a predominar cada vez más, de tal manera que al final de la flexión resbala sin rodar.

- Un rodamiento puro provocaría una luxación.
- Un deslizamiento puro provocaría una limitación precoz de los movimientos.

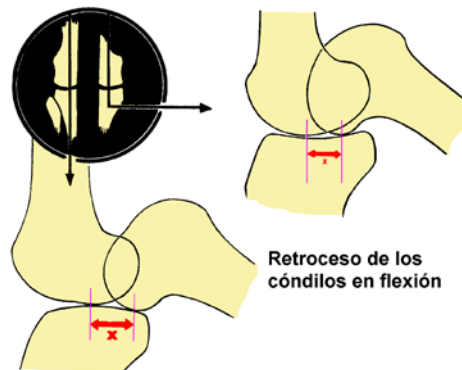


Figura 31.

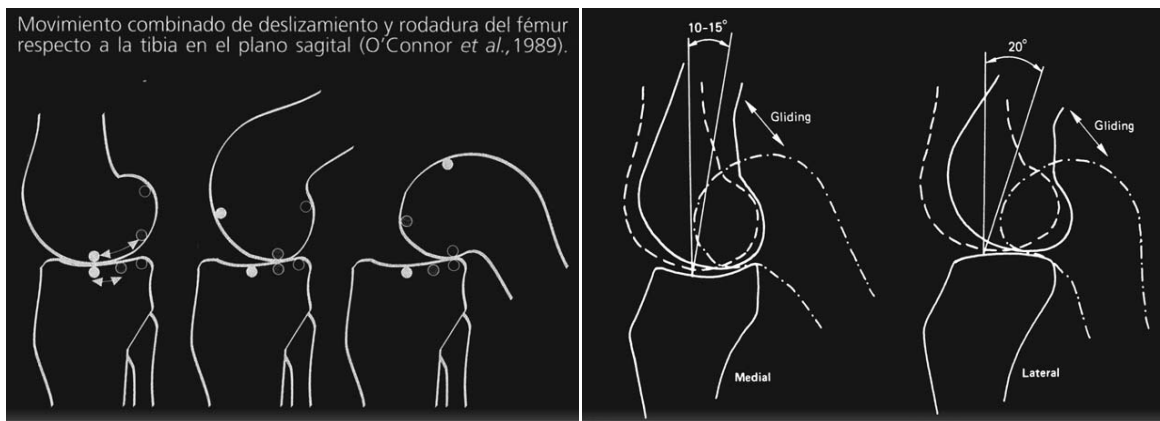


Figura 32.

En la flexión existe un desequilibrio en el retroceso de los cóndilos. El cóndilo externo rueda mucho más que el interno (recorre más distancia). En la marcha normal, el cóndilo externo rueda 20° y el interno de 10° a 15°.

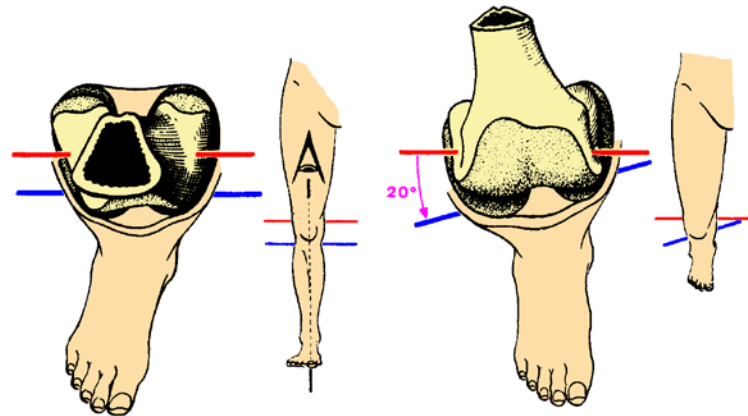


Figura 33. Rotación automática.

PARA SABER MÁS

Rodamiento-deslizamiento de los cóndilos femorales: <http://www.youtube.com/watch?v=Ki6klHQh84k>

Rotación automática de la rodilla en la flexoextensión

El principio de la flexión se acompaña de una rotación interna automática de la tibia sobre el fémur. El final de la extensión se acompaña de una rotación externa. Este movimiento es automático e involuntario³. Dicho de otra forma, si el cóndilo externo del fémur retrocede más distancia, en la flexión de rodilla se produce una rotación externa femoral automática, lo que equivale a una rotación interna tibial. En extensión avanza más.

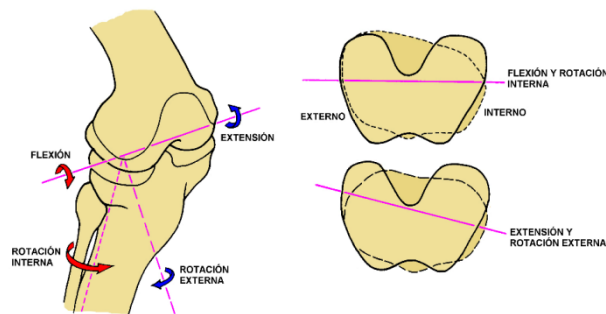


Figura 34.

Este retroceso desigual de los cóndilos se produce por tres factores:

- Discordancia de la curva condílea: el cóndilo externo tiene mayor desarrollo por lo que rueda más tiempo. La forma de las glenoides: interna más cóncava, externa convexa.

³ Roud demostró estos fenómenos. La información se encuentra en el experimento de los alfileres descrito en el libro de Kapandji.

- Orientación de los ligamentos: el LLI se tensa más deprisa en la flexión. La tensión del LCAE al final de la extensión provoca un RE tibial.
- Acción predominante de los músculos flexores y rotadores internos: pata de ganso y poplíteo.

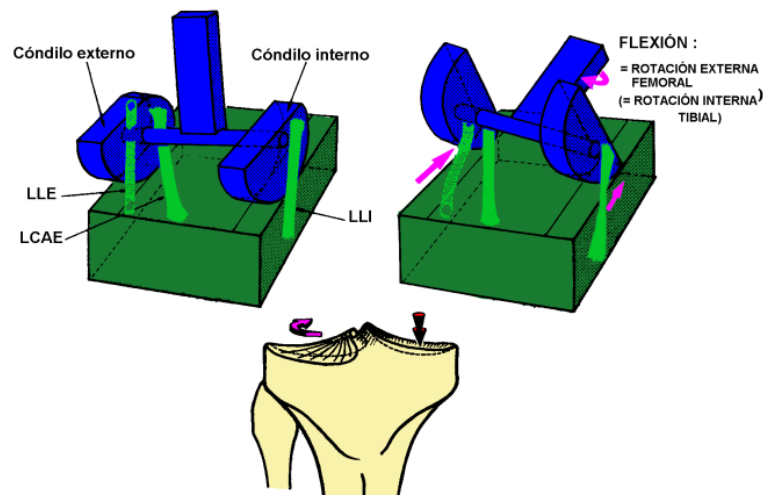


Figura 35. Desequilibrio en el retroceso de los cóndilos en la flexión.

PARA SABER MÁS

Tibiofemoral movement 1: the shapes and relative movements of the femur and tibia in the unloaded cadaver knee: <http://www.bjj.boneandjoint.org.uk/content/82-B/8/1189.full.pdf>

Desplazamiento de los meniscos en la flexoextensión

Son capaces de adaptarse a los movimientos, ya se deforman porque sus cuernos están fijos sobre la meseta tibial y el resto del menisco es móvil. En la flexión el punto de contacto entre cóndilos y glenoides retrocede y en extensión avanza. Los meniscos siguen a los cóndilos en este movimiento.

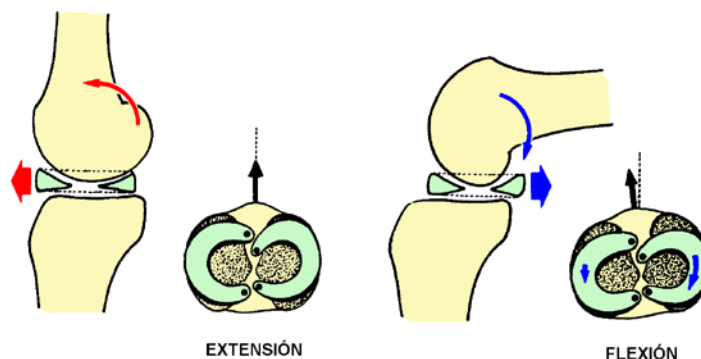


Figura 36. Desplazamiento de los cóndilos sobre las glenas.

Los meniscos retroceden de manera desigual en la flexión. El menisco externo retrocede dos veces más que el interno. El recorrido del interno es de 6mm, mientras que el recorrido del externo es de 12 mm.

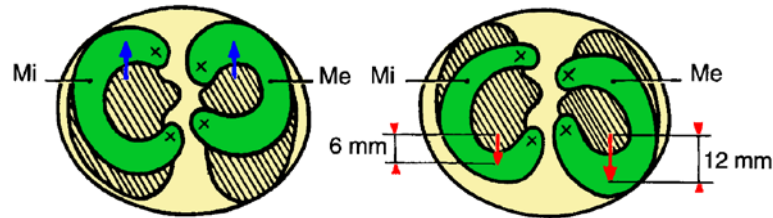


Figura 37. Desplazamiento de los meniscos en extensión y flexión respectivamente.

Existen diferentes factores que colaboran en el movimiento de los meniscos:

- En extensión:
 - Pasivo: los cóndilos empujan los meniscos hacia delante
 - Activos: durante la extensión se desplazan hacia delante gracias a los alerones meniscorrotulianos, tensos por el ascenso de la rótula. Además, el ligamento meniscofemoral impulsa el cuerno post del ME hacia delante por la tensión del LCPI.
- Flexión:
 - Pasivo: los cóndilos empujan los meniscos hacia atrás.
 - Activos: El MI retrocede por la tracción del semimembranoso. El ME retrocede por acción del poplíteo.

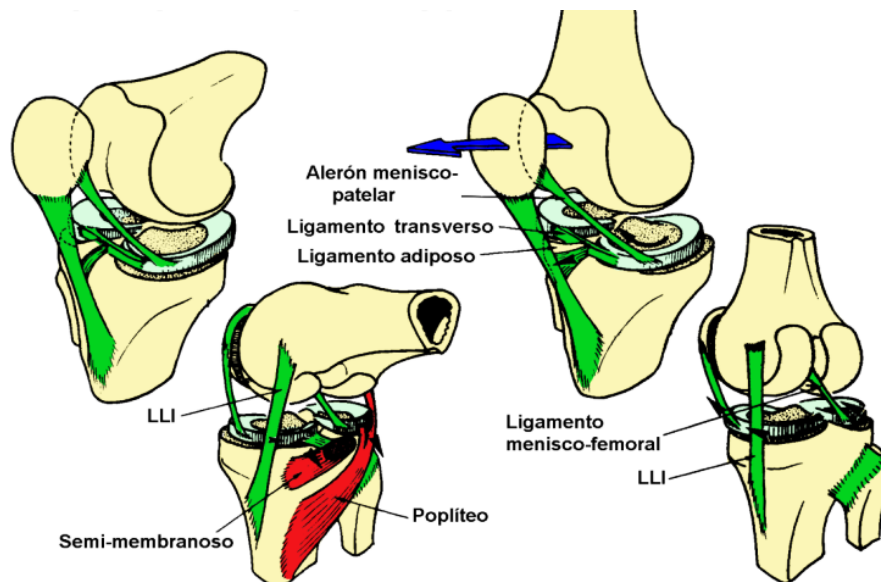


Figura 38. Estructuras responsables del desplazamiento meniscal en flexoextensión.

Desplazamientos de la rótula en la flexoextensión

1) Desplazamiento respecto al fémur:

- En extensión, la cara posterior de la rótula está orientada hacia la tróclea.
- En flexión, la rótula desliza sobre la tróclea como una polea. Realiza un movimiento de translación circunferencial hacia caudal, hasta encajar en la escotadura intercondílea. La rótula se desplaza dos veces su longitud. Es posible gracias al despliegue del fondo de saco cuadricipital.

2) Desplazamiento respecto a la tibia:

Está unida a la tibia por el tendón rotuliano, lo que provoca que su vértice se desplace en torno a un arco de círculo realizando una translación circunferencial.

- En extensión, la rótula se orienta hacia dorsal.
- En flexión, la rótula se orienta hacia dorsal y caudal.

PARA SABER MÁS

Movimiento de translación circunferencial de la rótula en relación a la tibia:

<https://www.youtube.com/watch?v=sR12gKtFQj4>

Papel de los ligamentos en la flexoextensión

Los ligamentos laterales se tensan en extensión y se relajan en flexión (excepto las fibras anteriores del LLI).

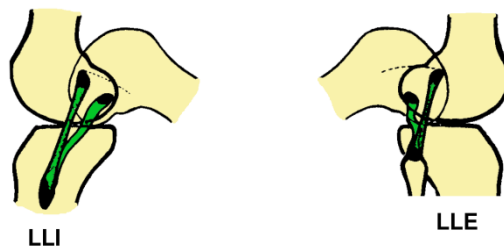


Figura 39.

Los ligamentos cruzados impiden los movimientos de cajón y son responsables de los movimientos de deslizamiento en sentido inverso al rodamiento de los cóndilos sobre las glenas.

El LCPI está más tenso en flexión. El LCAE se tensa más en extensión y es uno de los frenos de la hiperextensión. En realidad, tanto en flexión como en extensión, ambos permanecen siempre tensos por la desigualdad de longitud y orientación de sus fibras.

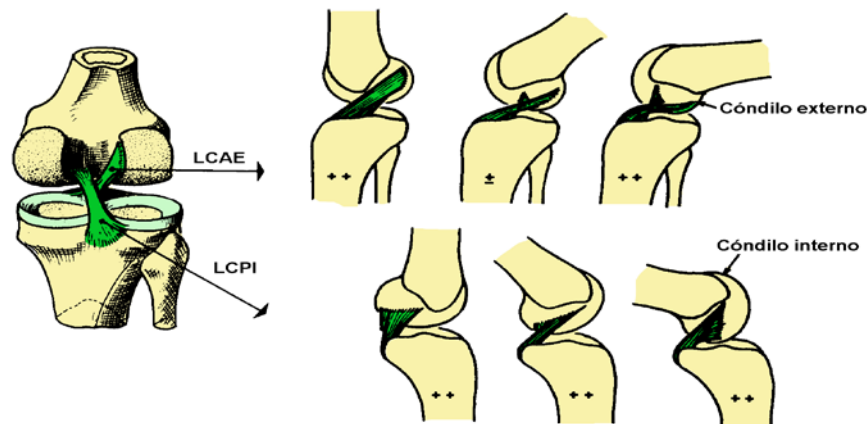


Figura 40.

5. Artrocinemática de las rotaciones

Movimientos de los condilos sobre las glenas en la rotación

En la rotación externa de la tibia sobre el fémur, el cóndilo externo avanza sobre la glena externa y el interno retrocede.

En la rotación interna ocurre a la inversa. El cóndilo interno avanza y el externo retrocede.

El eje real de la rotación axial pasa a través de la espina tibial interna (constituye el verdadero pivote central). Esto se traduce en un mayor recorrido del cóndilo externo y el cóndilo interno se desplaza poco en la concavidad de la glenoide interna. El cóndilo externo realiza un recorrido casi dos veces mayor sobre la convexidad de la glenoide externa (asciende por la vertiente anterior y desciende por la posterior)

Desplazamiento de los meniscos en la rotación

Los meniscos siguen los desplazamientos de los condilos femorales sobre las glenoides:

- En rotación externa tibial, el ME avanza y el MI retrocede.
- En rotación interna es al revés. El MI avanza y el ME retrocede.

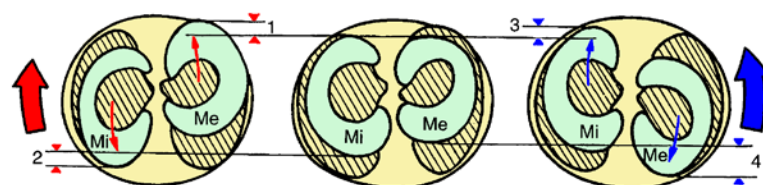


Figura 41. La flecha roja representa la rotación externa y la flecha azul la rotación interna.

En este movimiento los meniscos también se desplazan y deforman en torno a sus puntos fijos en la inserción de los cuernos. El menisco externo tiene un recorrido dos veces mayor. Estos

movimientos se producen por un fenómeno pasivo de arrastre de los cóndilos y por un factor activo, la tensión de los alerones meniscorrotulianos del lado de la rotación.

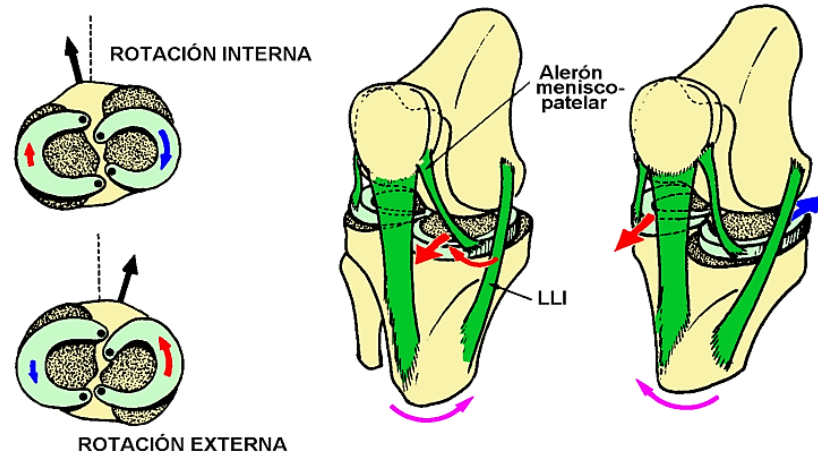


Figura 42. Estructuras responsables de los desplazamientos meniscales en rotación. Los meniscos siguen el desplazamiento de los cóndilos femorales.

Papel de los ligamentos en la rotación

Los ligamentos que participan en la estabilidad de la rodilla son:

- En el plano frontal: ligamentos laterales.
- En el plano anteroposterior: ligamentos cruzados.
- En la estabilidad rotatoria de la rodilla: ligamentos cruzados y laterales

Los ligamentos laterales tienen una dirección opuesta. Por su disposición se tensan en rotación externa y se relajan en rotación interna.

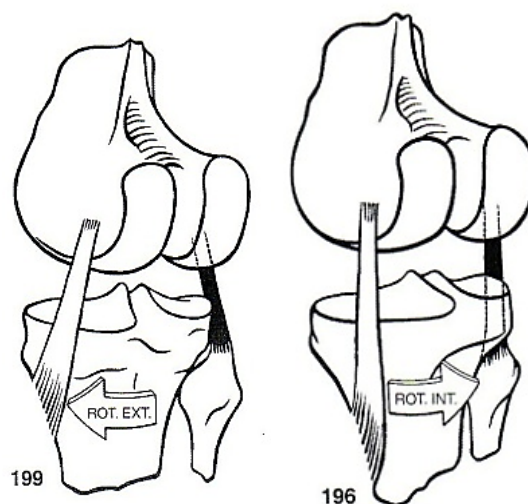


Figura 43.

Los ligamentos cruzados en rotación interna se enrollan y se tensan. En rotación externa se desenrollan y se relajan.

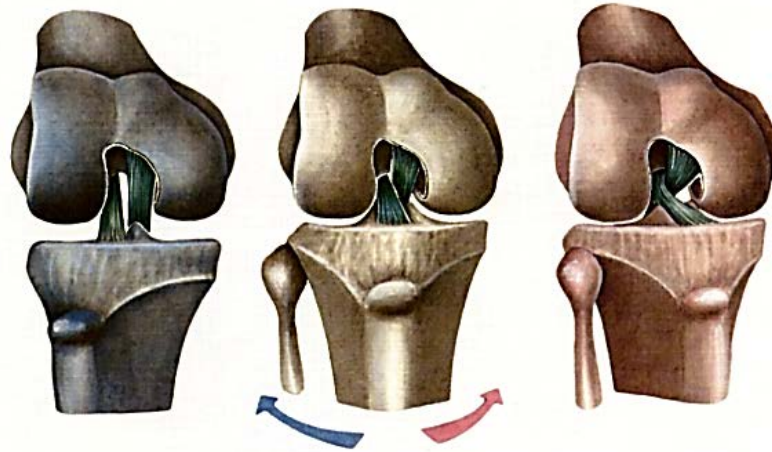


Figura 44.

D. MÚSCULOS MOTORES

1. Extensión

Cuádriceps: es tres veces más potente que los flexores de la rodilla. Tiene un papel estático y dinámico. Está formado por cuatro vientres: crural, vastos interno y externo y recto anterior. Terminan en el tendón cuádriceptal, sobre los bordes superior y lateral de la rótula y se continúa con el tendón rotuliano, insertándose sobre la tuberosidad anterior de la tibia. Además, los vastos envían expansiones directas y cruzadas sobre la rótula.

- **Recto anterior:** representa $\frac{1}{5}$ de la fuerza total del cuádriceps. Es flexor de cadera y extensor de rodilla. Su eficacia como extensor de rodilla depende de la posición de la cadera. Es más eficaz cuanto más extendida esté la cadera.
- **Vastos interno y externo:** tienen una importante acción de bloqueo y estabilización de la rodilla, por sus expansiones.
- **Crural:** tiene una importante función postural, en el mantenimiento de la bipedestación.

2. Flexión

- **Isquiotibiales:** de medial a lateral son el semitendinoso, semimembranoso y bíceps crural. Los principales músculos flexores son el bíceps y el semimembranoso. La puesta en tensión de los Isquiotibiales por la flexión de cadera aumenta su eficacia como flexores de rodilla.
- **Pata de ganso superficial:** formado por semitendinoso, sartorio y recto interno.
- **Poplíteo:** su inserción femoral es intracapsular. Desbloquea la extensión por su acción de flexión-rotación interna.
- **Gemelos interno y externo:** su eficacia depende de la posición del tobillo.

3. Rotación

Son los mismos músculos flexores. Se dividen en:

- Rotadores externos: tensor de la fascia lata y bíceps femoral.
- Rotadores internos: sartorio, recto interno, semitendinoso, semimembranoso y poplíteo.

E. LA RODILLA EN BIPEDESTACIÓN

1. Equilibrio de la rodilla

En el plano sagital

- **Flexión:** la línea de gravedad pasa por detrás del eje de flexión-extensión. El equilibrio está asegurado por la tensión del tendón rotuliano gracias a la contracción del cuádriceps⁴.
- **Extensión:** la línea de gravedad pasa por delante del eje de flexión-extensión. El equilibrio está asegurado por los gemelos y por la tensión del plano fibroso posterior.

En el plano frontal

En apoyo unipodal, la línea de gravedad pasa por dentro de la rodilla, lo que provoca un genu varo. Será necesaria una fuerza externa por parte del tensor de la fascia lata y el bíceps femoral.

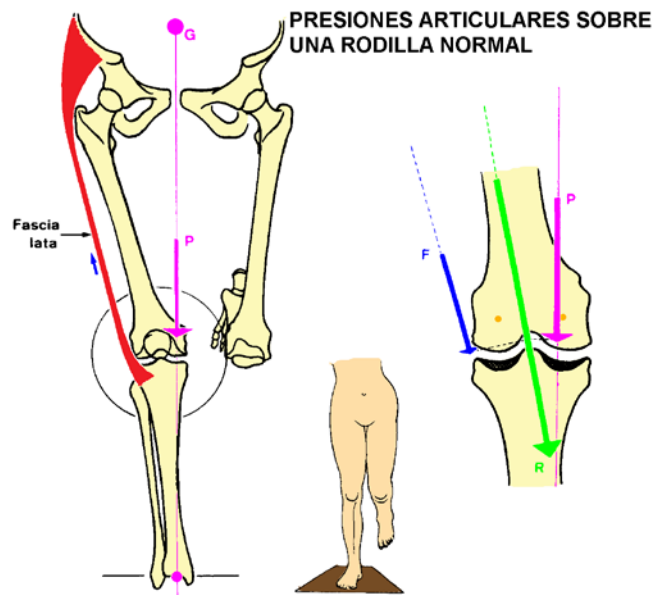


Figura 45.

⁴ En un paciente con parálisis del cuádriceps se necesita un determinado grado de recurvatum para poder bloquear la rodilla.

2. Estabilidad de la rodilla

La inestabilidad provocada por las superficies articulares discordantes se asegura por el aparato cápsulo-ligamento-muscular.

Estabilidad pasiva

1) En el plano frontal

- **Extensión:** está estable. No hay movimientos de lateralidad ya que los ligamentos están tensos, así como los cóndilos.
 - LLI y cóndilo interna frenan el valgo.
 - LLE y cóndilo externa frenan el varo.
- **Flexión:** está inestable ya que los ligamentos y los cóndilos se relajan. A 20º de flexión existen pequeños movimientos de lateralidad.

2) En el plano sagital

La rodilla está estable en todas las posiciones ya que los ligamentos cruzados están siempre tensos, limitando los movimientos de cajón (excepto entre 20º y 60º). Un movimiento exagerado de cajón anterior podría lesionar el LCAE. Un movimiento exagerado de cajón posterior podría lesionar el LCPI.

3) En el plano transverso

Es necesaria la estabilidad rotatoria de la rodilla.

- **Extensión:** está estable, ya que los ligamentos cruzados están tensos e impiden la rotación interna y los ligamentos laterales impiden la rotación externa.
- **Flexión:** existe inestabilidad rotatoria debida a la relajación de los ligamentos laterales, que permiten la rotación externa, y de los ligamentos cruzados, que permiten la rotación interna.

Estabilidad activa

Indispensable y muy potente, absorbe las presiones por la elasticidad y la contractibilidad. Sin su acción, el aparato ligamentoso estaría más expuesto y sería más frágil.

1) En el plano frontal

En flexión y en extensión las expansiones directas y cruzadas de los vastos se oponen al valgo y al varo. El Tensor de la fascia lata y el bíceps femoral se oponen al varo (músculos antivarizantes). Los músculos de la pata de ganso se oponen al valgo (músculos antivalgizantes).



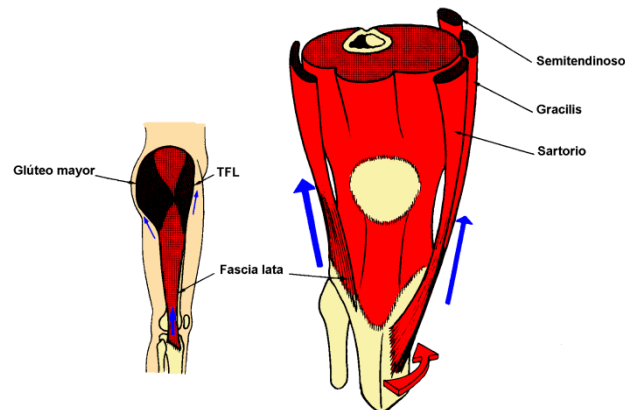


Figura 46. Acción estabilizadora de la musculatura interna y externa del muslo.

2) En el plano sagital

El cuádriceps controla la flexión en sinergia antagonista con los isquiotibiales. Se oponen a los movimientos de cajón. El cuádriceps impide el cajón posterior junto al LCPI. Los isquiotibiales impiden el cajón anterior junto al LCAE.

3) En el plano transverso

Los músculos de la pata de ganso superficial, semimembranoso y poplíteo se oponen a la rotación externa. El bíceps y el tensor de la fascia lata controlan la rotación interna.

Existen dos posiciones de inestabilidad extremas de la rodilla en apoyo unipodal:

- **Flexión-valgo-rotación externa:**
 - Controlado por cuádriceps, poplíteo, semimembranoso, músculos de la pata de ganso superficial.
 - Bloqueada por LLI, cóndilo interno, LCAE, cuerno posterior del menisco interno.
- **Flexión-varo-rotación interna**
 - Controlada por cuádriceps, bíceps femoral y tensor de la fascia lata.
 - Bloqueado por LLE, cóndilo externo, LCPI.

Estos músculos deben tener fuerza suficiente y estar siempre activos ya que protegen contra las situaciones de sollicitación extrema. Por esta razón es muy importante una rehabilitación propioceptiva de la rodilla.

III. FISIOLÓGIA ARTICULAR DE LA ARTICULACIÓN TIBIOTARSIANA

A. INTRODUCCIÓN

Es la articulación más importante de todo el complejo articular del retropié. También se denomina mortaja tibioperoneoastagalina. Este conjunto permite orientar la bóveda plantar en todas las direcciones del espacio para que se adapte al terreno. Es independiente del resto de articulaciones del pie, pero funciona a menudo en sinergia, lo que permite el movimiento global del pie.

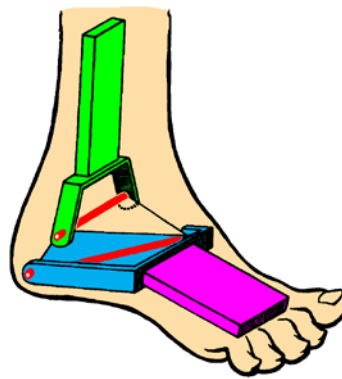


Figura 47. Modelo simplificado del pie.

Es una tróclea con un solo grado de libertad. El astrágalo está encajado entre la pinza que forman la porción inferior de la tibia y el peroné. Por lo tanto, permite movimientos de flexoextensión en el plano sagital.

El eje de esta articulación es transversal. Pasa por los dos maleolos. Es oblicuo hacia fuera, hacia atrás y abajo formando un ángulo de 10° - 15° con el plano frontal. Por lo tanto, el plano de movimiento de la flexoextensión no es sagital puro, sino oblicuo, formando un ángulo de 15° con el plano sagital (igual a la dirección de la polea astragalina).

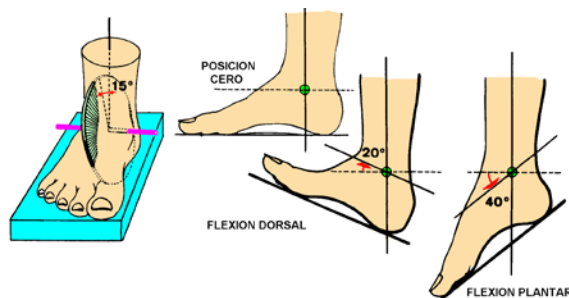


Figura 48.

Posee una función indispensable en la marcha y en soporte del peso corporal (aumentado por la energía cinética en la marcha, la carrera o el salto).

B. RECUERDO ANATÓMICO

PARA SABER MÁS

Si todavía no visualizas bien alguna estructura de las que se describirán a continuación, repasa antes la anatomía de la zona para entender bien la descripción biomecánica.

Aunque no pertenecen anatómicamente a esta articulación, el movimiento de la tibiotarsiana provoca un ligero movimiento de las articulaciones tibioperoneas proximal y distal, por lo que es necesario conocer su descripción para la mejor comprensión del movimiento en esta región.

1. Superficies articulares

Cara inferior del pilón tibial

Superficie cuadrangular más ancha por delante que por detrás. Es cóncava de delante hacia atrás y presenta una cresta roma anteroposterior.

El borde posterior desciende más abajo que el anterior y forma el 3º maléolo de Destot.

Esta superficie articular se orienta hacia abajo y hacia delante y presenta un desarrollo angular de 70º-80º.

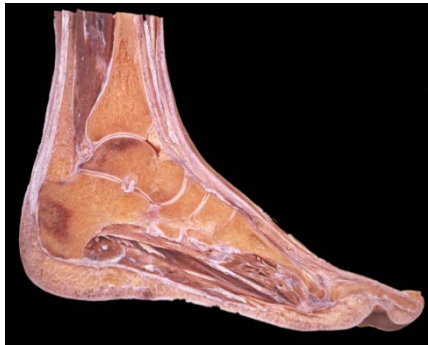


Figura 49.

Cara externa del maléolo tibial

Perpendicular a la cara inferior del pilón, mira hacia abajo y hacia fuera. Desciende 10 mm por debajo del pilón.

Cara interna del maléolo peroneo

Es triangular con vértice inferior. Convexo de arriba abajo, se orienta hacia abajo y dentro. Es mayor y desciende más inferior que el maleolo interno. El maleolo externo es más frágil, voluminoso, bajo y posterior que el interno.

Cuña astragalina

La superficie articular del astrágalo o también llamada polea astragalina.

- **Cara superior:** convexa de delante a atrás y cóncava transversalmente. Es más ancha delante que detrás (5 mm). Esto hace que en flexión dorsal, la tibia y el peroné se separen ligeramente. Su borde interno es sagital, su borde externo convexo.

Está separada en 2 partes por una depresión axial, oblicua hacia delante y hacia fuera, formando un ángulo de 15º con el plano sagital (igual al eje longitudinal pie). El cuello del astrágalo se dirige hacia delante y adentro.

Presenta de delante a atrás un desarrollo angular de 120º a 140º. Corresponde a la cara inferior del pilón tibial.

- **Cara interna:** plana y con forma de coma. Corresponde a la cara externa del maleolo interno.
- **Cara externa:** cóncava de arriba abajo y de delante a atrás. Corresponde a la cara interna del maleolo externo. Es mayor que la interna y se proyecta más inferior.



Figura 50.

2. Medios de unión

Cápsula

Muy tensa lateralmente, es laxa por delante y por detrás. Se inserta sobre el perímetro de las superficies articulares, excepto en el cuello del astrágalo donde se inserta por dorsalmente.

Ligamentos laterales

- **Ligamento lateral externo:** Presenta tres haces: anterior, medio y posterior.



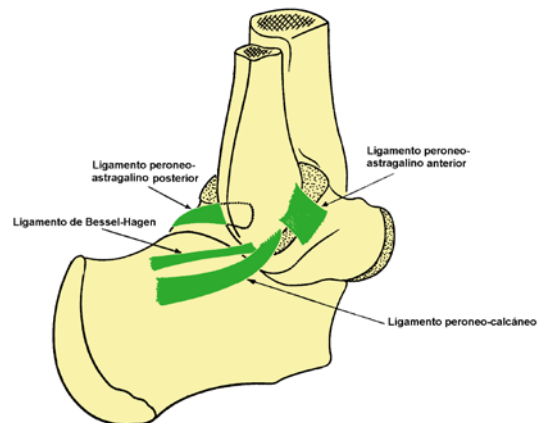


Figura 51.

- **Ligamento lateral interno.** Presenta dos planos: superficial o ligamento deltoideo y profundo.

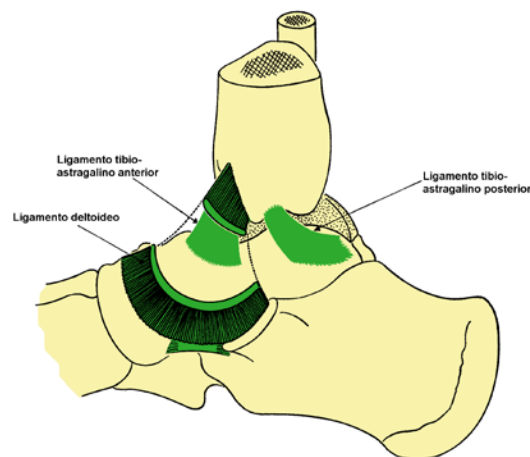


Figura 52.

El astrágalo está como un “pie dentro de un estribo”, gracias a los ligamentos laterales que aportan estabilidad transversal. Los tendones que cruzan la articulación también son factores de coaptación y estabilidad.

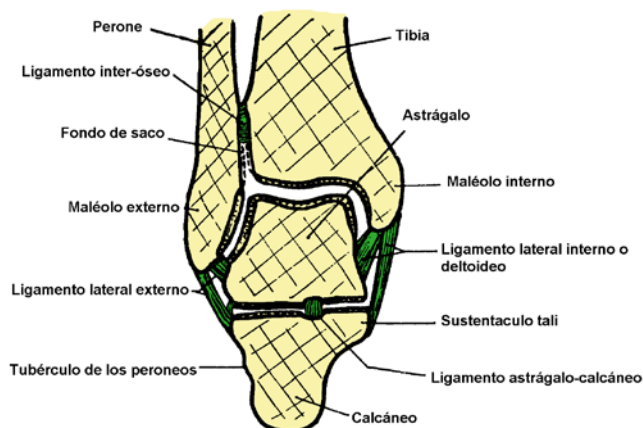


Figura 53.

C. OSTEOCINEMÁTICA Y ARTROCINEMÁTICA

La posición de referencia es la planta del pie perpendicular al eje de la pierna, que coincide con la posición anatómica. Respecto a la nomenclatura de esta articulación existe cierta controversia. Si atendemos a la anatomía de la zona, el grupo de músculos extensores se localiza en la región ventral de la pierna y dorsal del pie, así como la musculatura flexora se localiza en la región dorsal de la pierna y planta del pie. Se hablaría de flexión dorsal o extensión, así como de flexión plantar o flexión. Desde un punto de vista funcional, la flexión es el movimiento que acerca la punta del pie hacia el plano frontal, por lo que la nomenclatura sería justo al contrario, flexión dorsal o flexión y flexión plantar o extensión⁵.

1. Flexión dorsal

Es el movimiento que lleva la punta del pie hacia la cara anterior de la pierna. Durante la flexión dorsal sin carga, la superficie posterior del astrágalo rueda hacia delante respecto a la pierna, al tiempo que se desliza posteriormente. Esto permite al astrágalo girar hacia delante sin mucha traslación anterior.

Amplitud

- 20° a 30° con rodilla en extensión.
- 45° con rodilla en flexión.

Las articulaciones del tarso añaden algunos grados. La bóveda se aplan.

Factores de limitación

- Tope del cuello del astrágalo contra el margen anterior de la tibia.

⁵ Es por ello que, dependiendo del autor consultado, se pueden tomar puntos de referencia y nomenclaturas distintas. Siempre habrá que prestar especial atención a este hecho, para no confundir la biomecánica de esta región.

- Cierre pasivo de la pinza bimalleolar.
- Tensión de la cápsula posterior y de los haces posteriores de los ligamentos laterales.
- Tensión del tríceps sural.

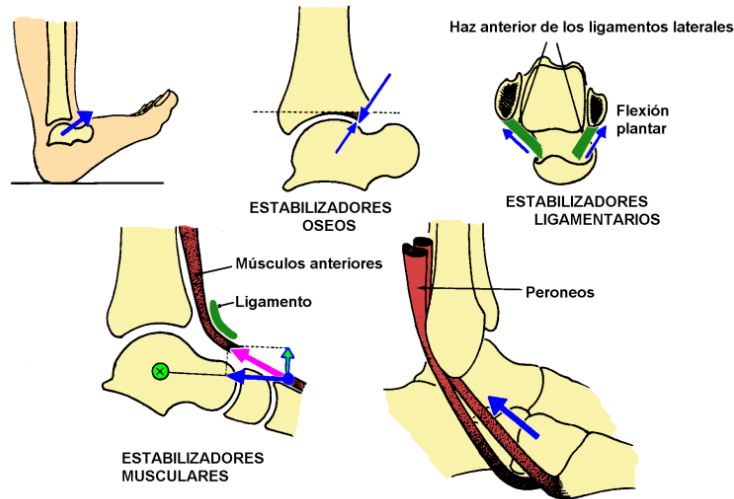


Figura 54. Factores de limitación de la flexión dorsal

Músculos motores

Los músculos de la dorsiflexión son todos poliarticulares y pasan bajo el ligamento anular anterior del tarso (retináculo de los extensores), que les sirve de polea de reflexión.

El músculo principal es el tibial anterior. Los secundarios son el extensor largo del primer dedo, el extensor largo de los dedos y el peroneo anterior (inconstante). Para ello, los dedos deben estar estabilizados por los lumbricales e interóseos palmares.

- **Tibial anterior:** desde tubérculo de Gerdy y la cara externa de la tibia hasta la primera cuña y la base del primer metatarsiano.
- **Extensor largo del dedo primer dedo:** desde la cara interna del peroné a la base de la falange distal del primer dedo.
- **Extensor largo de los dedos:** desde la tuberosidad externa de la tibia y borde anterior del peroné, a la parte posterior de las falanges media y distal de los dedos del segundo al quinto.
- **Peroneo anterior (inconstante):** desde borde anterior y distal del peroné a la base del quinto metatarsiano.

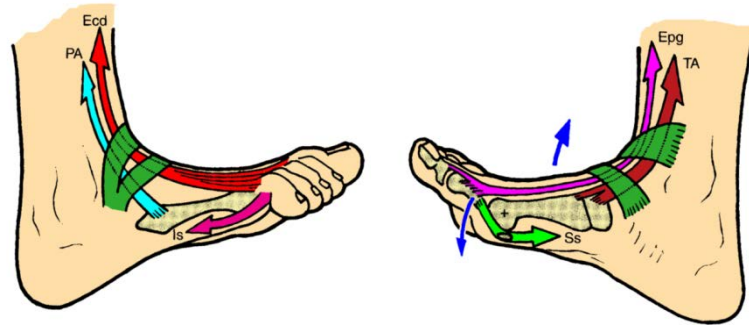


Figura 55.

2. Flexión plantar

Es el movimiento opuesto que aleja el dorso del pie de la pierna. La superficie posterior del astrágalo rueda hacia atrás mientras el hueso se desliza al mismo tiempo en sentido anterior.

Amplitud

- 40 a 50°. Hundimiento de la bóveda plantar.

Factores de limitación

- Tope de los tubérculos posteriores del astrágalo contra el 3º maleolo (margen posterior de la tibia)
- Cápsula anterior y haces anteriores de los ligamentos laterales.
- Tensión de los músculos flexores dorsales: tibial anterior, extensor largo dedos y extensor largo del primer dedo.

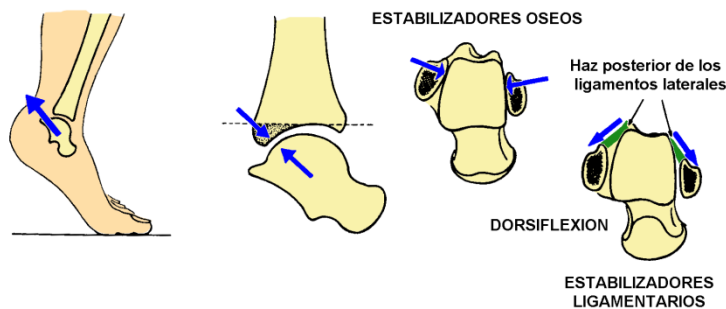


Figura 56. Factores de limitación de la flexión plantar.

Músculos motores

El músculo principal es el tríceps sural, compuesto por el sóleo, el gemelo medial y el lateral. Los músculos secundarios son el tibial posterior, el flexor largo del primer dedo, el flexor largo de los dedos, el peroneo corto y largo.

- **Gemelos:** de los cóndilos del fémur al tendón de Aquiles sobre la cara posterior del calcáneo.
- **Sóleo:** origen en cabeza y cara posterior del peroné y cresta oblicua de la tibia e inserción en tendón de Aquiles sobre la cara posterior del calcáneo.
- **Tibial posterior:** De los dos tercios superiores de la cara interna del peroné y de la cara posterior de la tibia al tubérculo del escafoides.
- **Flexor largo del primer dedo:** desde la cara posterior del peroné a la falange distal del primer dedo.
- **Flexor largo de los dedos:** Va de la línea oblicua y de la cara posterior de la tibia hasta la base de las falanges distales del dedo segundo al quinto.
- **Peroneo lateral largo:** de la cabeza y dos tercios superiores de la cara externa del peroné a la base del primer metatarsiano y la primera cuña.
- **Peroneo lateral corto:** de los dos tercios inferiores de la cara externa del peroné al tubérculo del quinto metatarsiano.

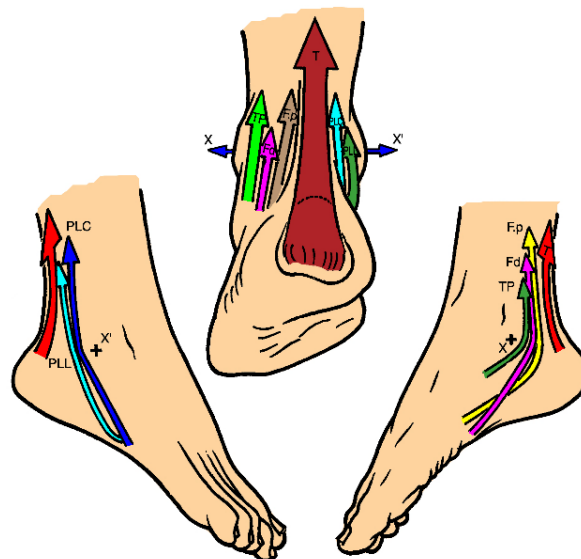


Figura 57.

PARA SABER MÁS

Movimiento de la articulación tibiotarsiana

- Ankle & Subtalar joint Motion Function Explained Biomechanic of the Foot:
http://www.youtube.com/watch?v=0R4zRSE_-40

D. BIOMECÁNICA DE LAS ARTICULACIONES PERONEOTIBIALES

La tibia y el peroné se articulan entre sí en sus dos extremos mediante las articulaciones peroneotibial proximal y distal. Estas articulaciones están mecánicamente relacionadas con los movimientos de flexoextensión tibiotarsiana.

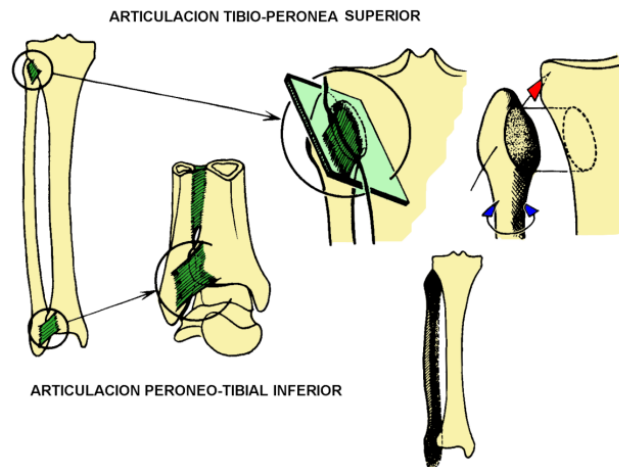


Figura 58.

1. Articulación peroneotibial distal

Es una sindesmosis sin superficies cartilaginosas (sinartrosis unida por ligamento), cuyas superficies articulares están separadas por tejido celuloadiposo.

La polea astragalina es más ancha por delante, por lo que la separación de la pinza bimalleolar debe variar dentro de unos límites en la flexoextensión: mínimo en la flexión plantar y máximo en la flexión dorsal: es una pinza adaptable.

Flexión dorsal

De manera pasiva, durante la flexión dorsal, con el ligamento peroneotibial anteroinferior de bisagra, se produce:

- Separación de la pinza bimalleolar para permitir el encastramiento de la parte anterior de la polea astragalina.
- Ascenso del peroné.
- Rotación interna del peroné sobre su eje longitudinal.

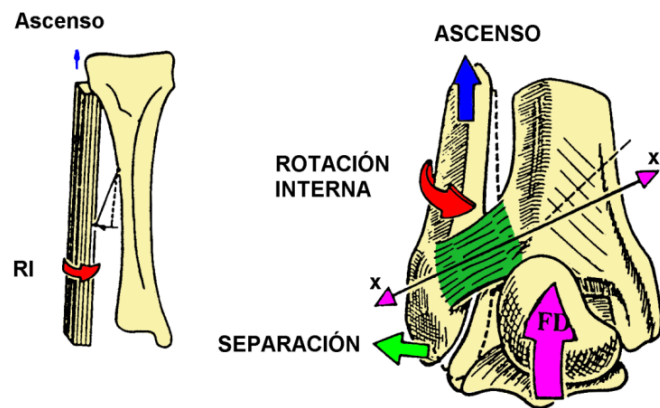


Figura 59. Movimiento del peroné durante la flexión dorsal.

Flexión plantar

De manera activa, en flexión plantar se produce lo contrario:

- Cierre de la pinza que se adapta a la parte posterior de la polea astragalina, por contracción del tibial posterior⁶.
- Descenso del peroné.
- Rotación externa del peroné.

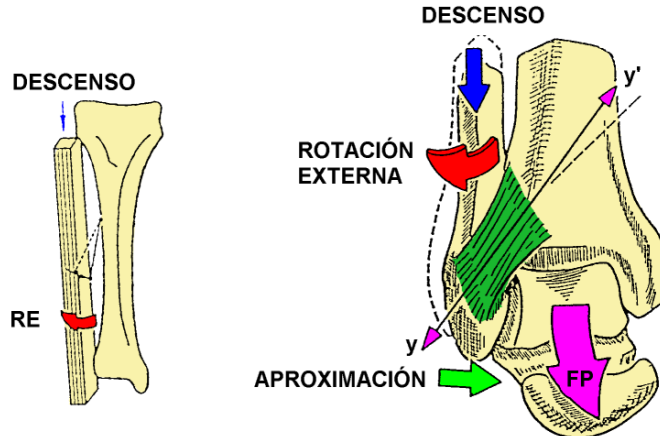


Figura 60.

2. Articulación peroneotibial proximal

Es una artrodia. Su interlínea articular está en un plano oblicuo hacia delante y hacia fuera.

Sufre las repercusiones de las acciones del maleolo externo.

⁶ En flexión plantar pasiva, hay un bamboleo del astrágalo en la pinza bimalleolar. En caso de diástasis discreta, es necesario reforzar el tibial posterior.

Flexión plantar

La carilla peronea desliza arriba y atrás (rotación interna). Se produce un bostezo (apertura) atrás y abajo.

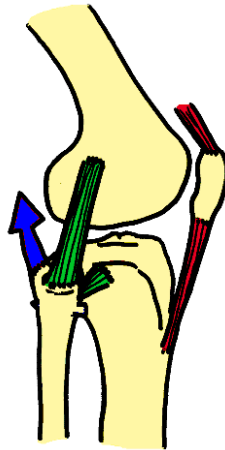


Figura 61. Movimiento del peroné durante la flexión plantar.

Flexión dorsal

La carilla peronea desciende y se desplaza hacia anterior. Se produce un bostezo por anterior y superior.

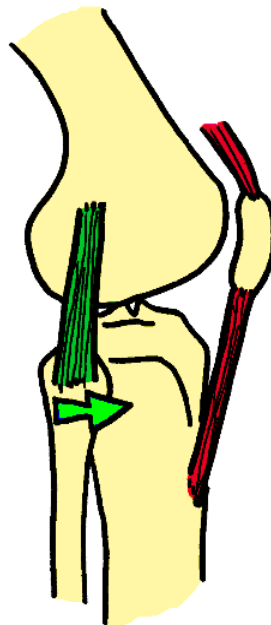


Figura 62.

IV. FISIOLOGÍA ARTICULAR DEL PIE

A. INTRODUCCIÓN

Es el segmento distal del miembro inferior. Está formado por 26 huesos y más de 36 articulaciones. Éstas poseen una doble función:

- Orientar el pie con respecto al suelo
- Modificar la forma y la curva de la bóveda plantar para que el pie se adapte a las irregularidades del terreno. Esto crea un sistema de amortiguación, que da al paso elasticidad y flexibilidad.

B. RECUERDO ANATÓMICO

PARA SABER MÁS

Si todavía no visualizas bien alguna estructura de las que se describirán a continuación, repasa antes la anatomía de la zona para entender bien la descripción biomecánica.

El pie está formado por:

- El tarso posterior: está constituido por el astrágalo y el calcáneo.
- El tarso anterior: escafoides, cuboides y los tres cuneiformes.
- El metatarso: comprende cinco metatarsianos.
- Las falanges: son catorce (dos falanges el 1º dedo y tres el resto).

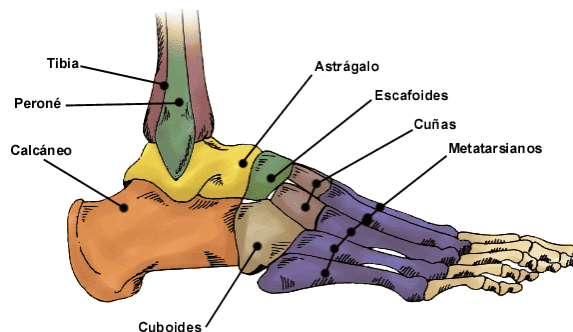


Figura 63.

Las articulaciones del pie son numerosas y complejas:

- Articulación calcaneoastragalina o subastragalina
- Articulación mediotarsiana o de Chopart
- Articulación escafocuboidea, intercuneales, escafocuneales y cuboidocuneal.



- Articulación tarsometatarsiana o de Lisfranc.
- Articulaciones metatarsofalángica, interfalángica proximal e interfalángica distal.

C. ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA

Es la unión entre el astrágalo y el calcáneo por medio de la superficie talámica de la cara superior del calcáneo y de la cara inferior del astrágalo.

Fisiológicamente, esta articulación comprende además la superficie anterointerna de la cara superior del calcáneo y la faceta inferior del cuello del astrágalo, aunque anatómicamente estas dos superficies pertenecen a la articulación mediotarsiana.

1. Superficies articulares

Articulación posterior

- **Calcáneo:** Tálamo de Destot con forma ovalada. Su eje mayor es oblicuo hacia delante y hacia fuera. Similar a un cilindro macizo.
- **Astrágalo:** Faceta inferior cóncava hacia abajo. Similar a un cilindro hueco.

Articulación anterior

- **Calcáneo:** Superficie ovalada anterointerna y cóncava hacia arriba. Su eje mayor es oblicuo hacia delante y hacia fuera.
- **Astrágalo:** Superficie convexa localizada en la cara inferior del cuello y cabeza del astrágalo.

Estas 2 articulaciones subastragalinas anterior y posterior están separadas por el seno del tarso, formado por los surcos astragalino y calcáneo que forman un túnel oblicuo hacia delante y hacia fuera⁷.

⁷ Hay autores que consideran tres carillas articulares diferenciadas, por lo que separan una articulación subastragalina anterior, media y posterior.



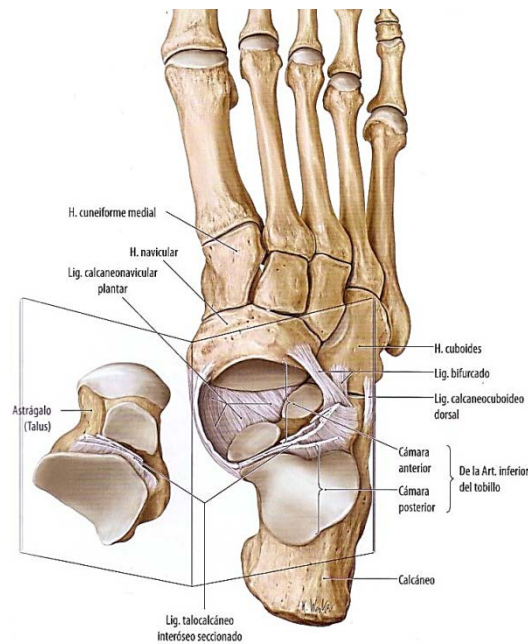


Figura 64.

2. Medios de unión

Cápsula

Cada articulación tiene su propia cápsula: una capsula anterior y otra posterior.

Ligamentos

- **Ligamentos periféricos:** ligamento astragalocalcáneo posterior y ligamento astragalocalcáneo externo.
- **Ligamento interóseo:** Ligamento con 2 haces (anterior y posterior) situado en el seno del tarso. Separa la articulación subastragalina anterior de la posterior.
- **Ligamentos tibiotarsianos:** Se relacionan con la subastragalina el haz medio del ligamento lateral externo y el haz superficial del ligamento lateral interno (ligamento deltoideo).

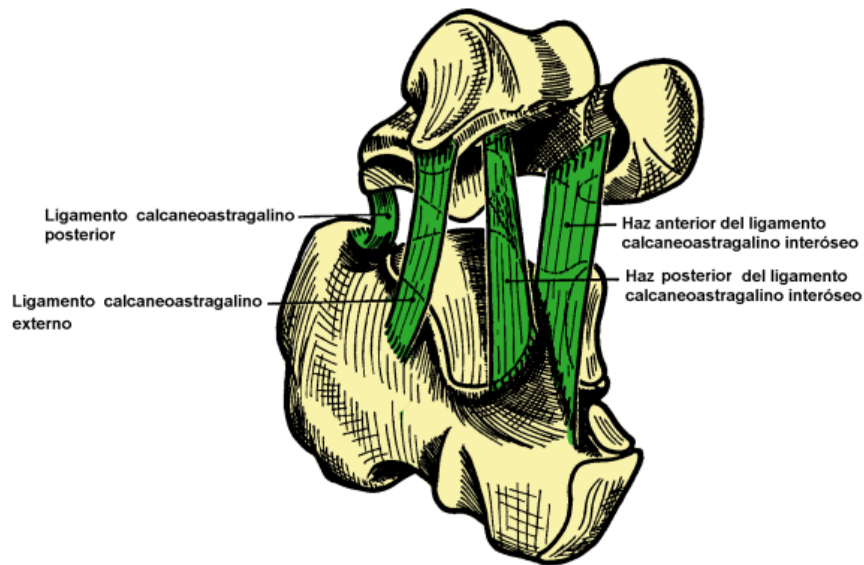


Figura 65.

3. Movimientos del complejo articular del retropié

No se pueden considerar los movimientos del pie de forma aislada. Las articulaciones subastragalina y mediotarsiana están mecánicamente unidas y equivalen todas juntas a una sola articulación con un solo grado de libertad en torno al eje de Henke. Desde el punto de vista funcional el complejo MTSA (mediotarso-subastragalino) es la pareja de torsión del retropié. Sirve para adaptar la orientación y la forma de la bóveda plantar.

El eje de Henkes un eje oblicuo hacia afuera, hacia atrás y hacia abajo. Se describe desde la cara interna del cuello del astrágalo, cruza el seno del tarso y sale del pie a nivel del tubérculo posteroexterno del calcáneo. Es el resultado de la mezcla de un eje horizontal-frontal, horizontal-anteroposterior y vertical-sagital.

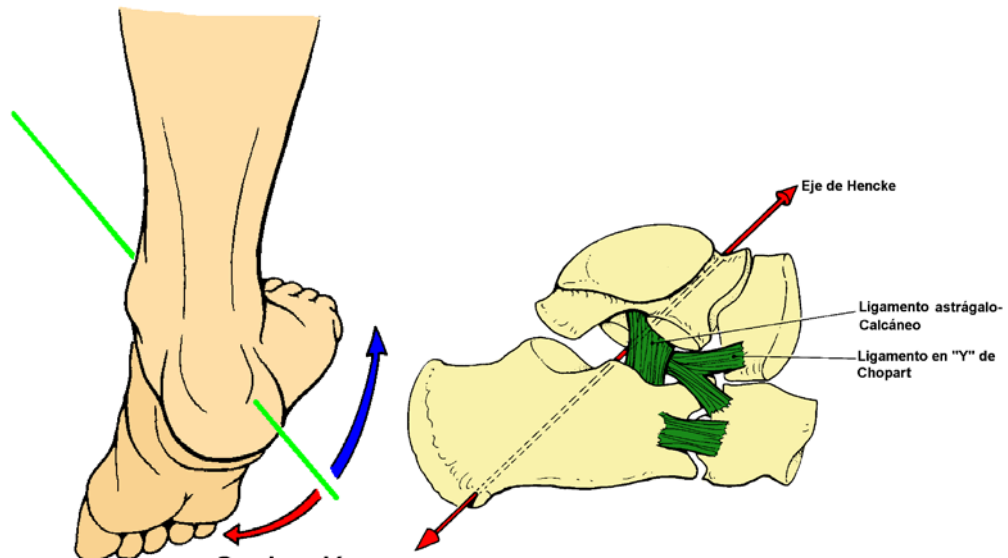


Figura 66. Eje de Henke. Eje oblicuo hacia afuera, hacia atrás y hacia abajo para los movimientos de inversión-eversión.

De manera artificial, este complejo articular puede realizar seis movimientos en un solo plano según tres ejes diferentes: flexión/extensión, pronación/supinación, abducción/aducción.

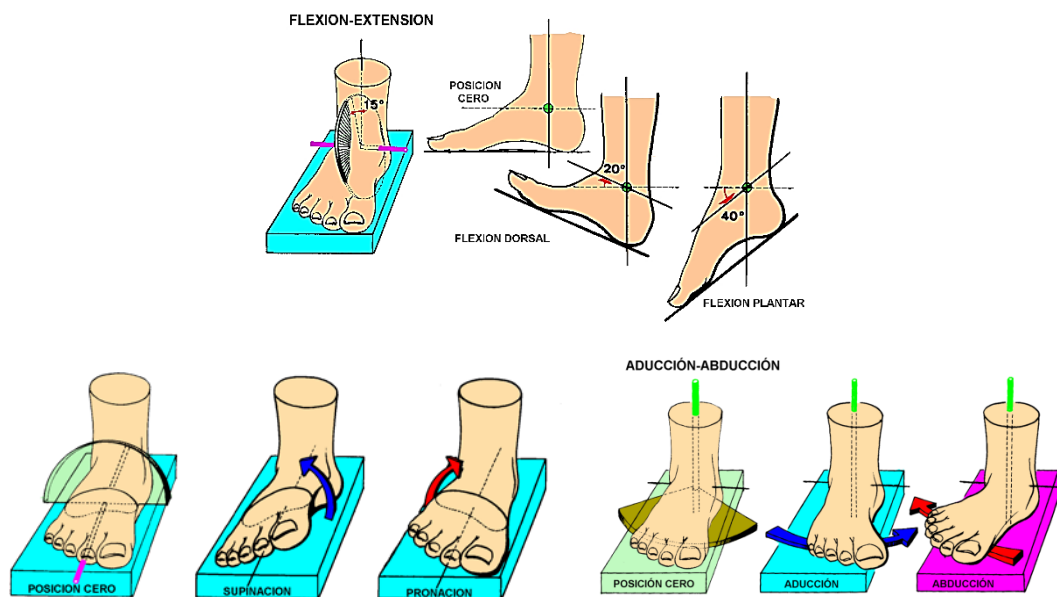


Figura 67.

No existen movimientos puros, sino que un movimiento se acompaña de movimientos en los otros dos planos. De esta forma el pie realiza movimientos de inversión y eversión, que son movimientos combinados en tres planos según un solo eje.

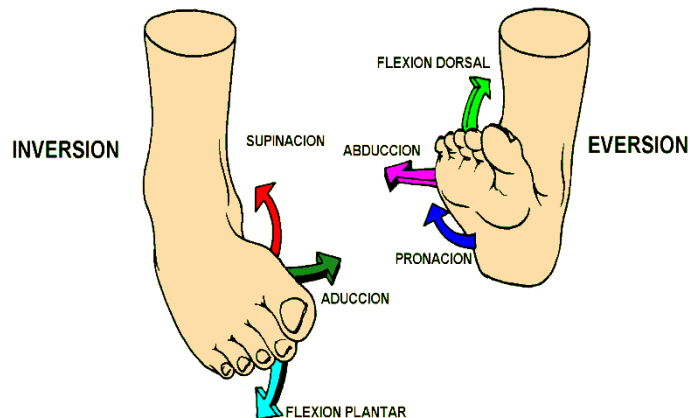


Figura 68.

Inversión

Es el movimiento que lleva la planta del pie hacia dentro asociado a una elevación del borde interno del pie. Asocia 3 movimientos:

- Flexión plantar.
- Aducción.
- Rotación axial en supinación.

Eversión

Es el movimiento que lleva la planta y la punta del pie hacia fuera. Asocia 3 movimientos:

- Flexión dorsal.
- Abducción.
- Pronación.

PARA SABER MÁS

Movimiento del pie

- Ankle & Subtalar joint Motion Function Explained Biomechanic of the Foot:
http://www.youtube.com/watch?v=0R4zRSE_-40

Durante los movimientos combinados de inversión-eversión, el extremo anterior del calcáneo se mueve bajo el astrágalo que está fijo. Hay un movimiento de traslación circunferencial. El Calcáneo en su parte anterior combina 3 movimientos:

- Flexión plantar-aducción-supinación (durante la inversión).
- Flexión dorsal-abducción-pronación (durante la eversión).



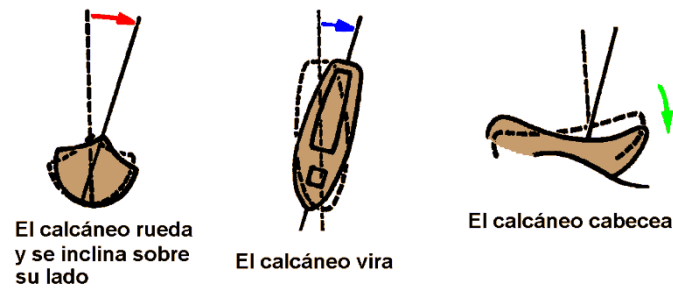


Figura 69. Movimientos del calcáneo según Farabeuf.

4. Movimientos de la subastragalina

Para Kapandji es un doble artrodia: realiza movimientos de apertura y deslizamiento. Para otros autores es una doble trocoide formada por 2 cilindros. Posee un eje común que atraviesa la porción posterolateral del talón hacia la articulación subastragalina en dirección oblicua hacia delante, arriba y dentro,

El calcáneo se mueve cuando no está en carga. Si hay apoyo, es el astrágalo y la pierna los que realizan el movimiento, puesto que el calcáneo está relativamente fijado por el peso del cuerpo.

Los principales movimientos que realiza la articulación subastragalina son:

- **Pronación:** El calcáneo se desplaza hacia su borde interno, aumentando el valgo. Este movimiento está limitado por el ligamento deltoideo y la parte interna del ligamento interóseo.
- **Supinación:** El calcáneo se desplaza hacia su borde externo, aumentando el varo. Este movimiento está limitado por el haz medio del ligamento lateral externo, por el ligamento astragalocalcáneo externo y por la parte externa del ligamento interóseo.



Figura 70. Movimientos de la articulación subastragalina.

D. ARTICULACIÓN MEDIOTARSIANA O DE CHOPART

Situada entre el tarso posterior y el tarso anterior. Forma una interlínea con forma de S cursiva con 2 superficies articulares:

- Articulación interna astrágalo-escafoidea (o navicular).

- Articulación externacalcáneo-cuboidea.



Figura 71. Articulación mediotarsiana.

1. Superficies articulares

Articulación astrágaloescafoidea

- **Astrágalo:** es una superficie esférica de la cabeza del astrágalo con 2 partes:
 - Porción anterior: es una porción de esfera convexa hacia delante en todas direcciones. Corresponde a la cara posterior del escafoides.
 - Porción inferior: alargada. Corresponde a la cara superior del ligamento glenoideo (ligamento triangular que se extiende desde el borde inferior del escafoides al sustentaculum tali)
- **Escafoides:** superficie articular cóncava hacia atrás.

Articulación calcaneocuboidea

- **Calcáneo:** superficie articular ligeramente cóncava hacia delante. Tiene una forma compleja: transversalmente es cóncava en su segmento superior y convexa en su segmento inferior, verticalmente es cóncava en la parte superior y convexa en la inferior.
- **Cuboides:** cara posterior conformada inversamente.

2. Medios de unión

Cápsulas

Son dos. Se insertan en la periferia de las superficies articulares.

Ligamentos

- Ligamento calcaneocuboideo dorsal.
- Ligamento calcaneocuboideo plantar.
- Ligamento en Y de Chopart:
 - Haz interno: vertical. Termina sobre el borde externo del escafoides.
 - Haz externo: horizontal. Termina sobre la parte interna de la cara superior del cuboides.
- Ligamento astrágaloescafoideo dorsal.



- Ligamento glenoideo.

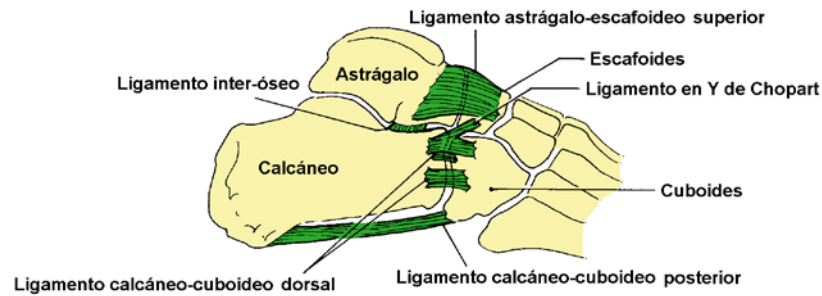


Figura 72 Visión lateral.

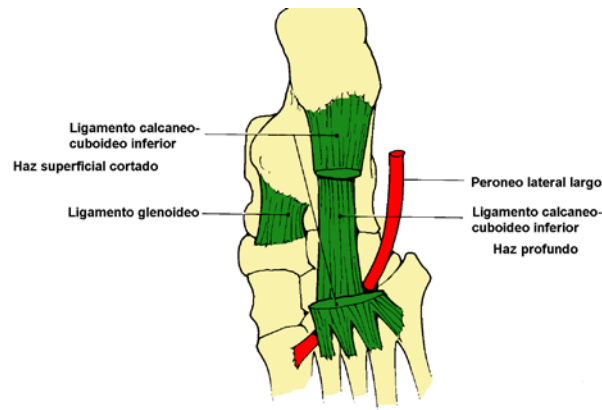


Figura 73. Visión inferior.

3. Movimientos de la mediotarsiana

La parte interna es una enartrosis o una condílea muy móvil. La parte externa es un encaje recíproco muy poco móvil⁸. El ligamento en Y de Chopart es la bisagra de esta articulación. Los músculos que movilizan esta región se insertan distalmente a la interlínea de Chopart.

Los principales movimientos que realiza la articulación mediotarsiana son:

- Abducción-aducción
 - Eje vertical en el ligamento de Chopart.
- Pronosupinación
 - Eje anteroposterior en el ligamento de Chopart.

⁸ Hay que recordar que las articulaciones subastragalina y mediotarsiana están mecánicamente unidas y equivalen todas juntas a una sola articulación con un solo grado de libertad en torno al eje de Henke.

4. Movimientos combinados de inversión y eversión

En los movimientos de inversión-eversión del pie se producen desplazamientos complejos del escafoides, cuboides y calcáneo en relación al astrágalo fijo. El ligamento de Chopart trabaja en torsión en los dos movimientos. La inversión-eversión se independientemente de la tibiotarsiana.

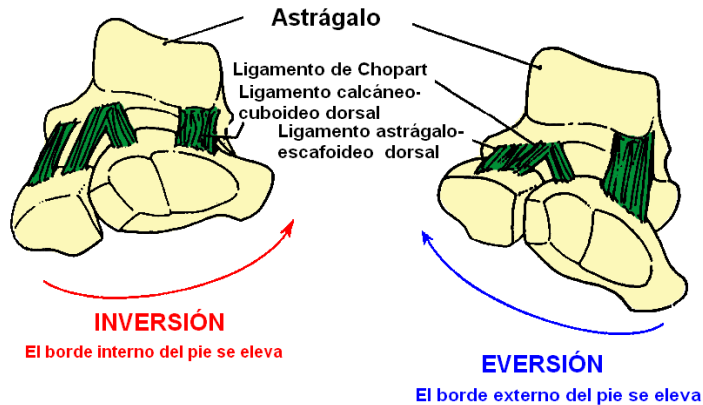


Figura 74.

Inversión

El tibial posterior tracciona del escafoides que se desplaza hacia abajo y hacia dentro, girando en torno a su eje anteroposterior. Al final del movimiento, la parte superoexterna de la cabeza del astrágalo está descubierta.

El escafoides arrastra el cuboides en la misma dirección, por la acción de los ligamentos escafo-cuboides.

El escafoides y el cuboides arrastran el calcáneo mediante el ligamento de Chopart. El calcáneo en su parte anterior se desplaza hacia abajo y dentro por debajo del astrágalo: el seno del tarso “se abre” al máximo y el ligamento interóseo se tensa.

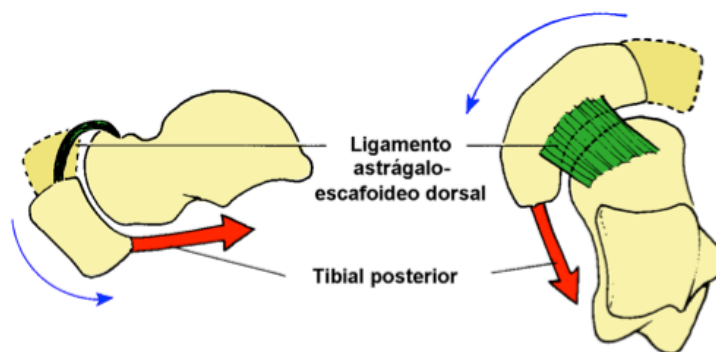


Figura 75. Acción del tibial posterior en la inversión.

- **Amplitud:** 45°.
- **Límites:**
 - Haz anterior del ligamento lateral externo.
 - Ligamento interóseo.
 - Ligamento en Y de Chopart.
 - Ligamento calcáneocuboideo dorsal y plantar.
 - Ligamento astragaloescafoideo dorsal.
 - Tensión de los músculos antagonistas (eversores).

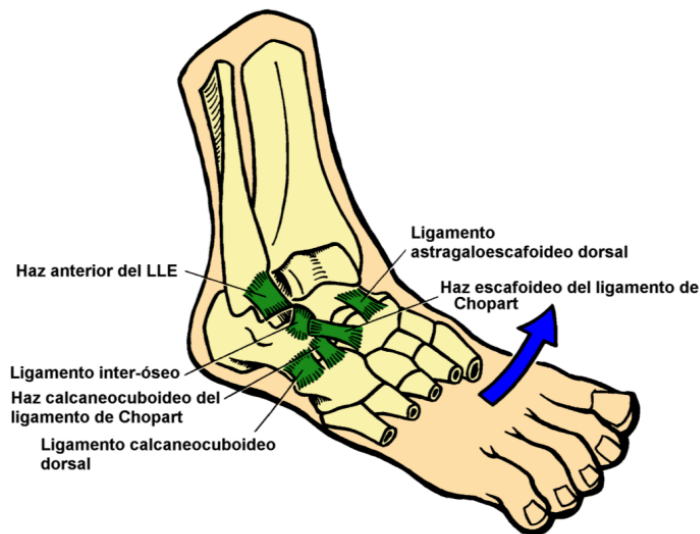


Figura 76. Límites de la inversión.

- **Músculos motores:**
 - Tibial anterior.
 - Extensor propio del dedo gordo.
 - Tibial posterior.
 - Flexor propio del dedo gordo.
 - Flexor común de los dedos del pie.
 - Tríceps.

Eversión

El peroneo lateral corto tracciona de la estiloides del 5º metatarsiano, que arrastra el cuboides hacia fuera y hacia atrás.

El cuboides arrastra el escafoides, que deja descubierta la porción superointerna del astrágalo.

El cuboides y el escafoides desplazan el calcáneo hacia fuera y hacia atrás, bajo el astrágalo: el seno del tarso "se cierra". El movimiento está limitado por la apófisis superoexterna del calcáneo.



- **Amplitudes:** 15º a 20º.
- **Límites:**
 - Haz anterior del ligamento lateral interno (Ligamento deltoideo).
 - Ligamento interóseo.
 - Ligamento de Chopart.
 - Ligamento calcáneoocuboideo plantar.
 - Tope del cuboides contra la parte superoexterna del calcáneo.
 - Tensión de los músculos antagonistas (inversores).
- **Músculos motores:**
 - Peroneo lateral Largo.
 - Peroneo lateral Corto.
 - Peroneo anterior.
 - Extensor común de los dedos del pie.

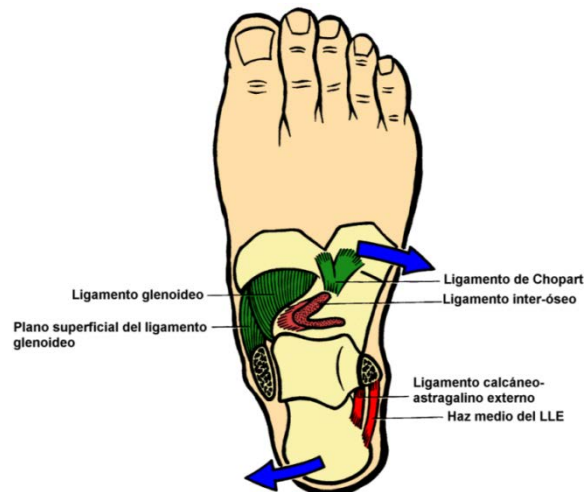


Figura 77. Límites de la eversión.

5. Acción de los músculos extrínsecos

Todos los músculosextrínsecoscruzan el complejo MTSA (mediotarsiano-subastragalino). La acción de cada músculo depende de la posición de su tendón con relación a los ejes de flexo-extensión (eje X-X') y de inversión-eversión (eje U-U').

El esquema de Ombredanne, comprende 4 cuadrantes:

- Cuadrante anterointerno: flexión e inversión.
- Cuadrante posterointerno: extensión e inversión.
- Cuadrante anteroexterno: flexión y eversión.
- Cuadrante posteroexterno: extensión y eversión.

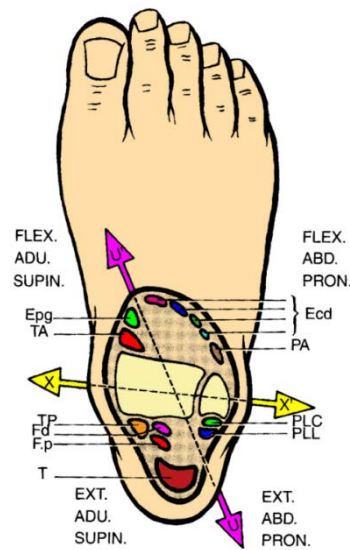


Figura 78.

E. ARTICULACIONES DEL TARSO ANTERIOR

Comprenden las siguientes estructuras:

- Articulación escafocuboidea y escafocuneales.
- Articulación cuboidocuneal.
- Articulaciones intercuneales.

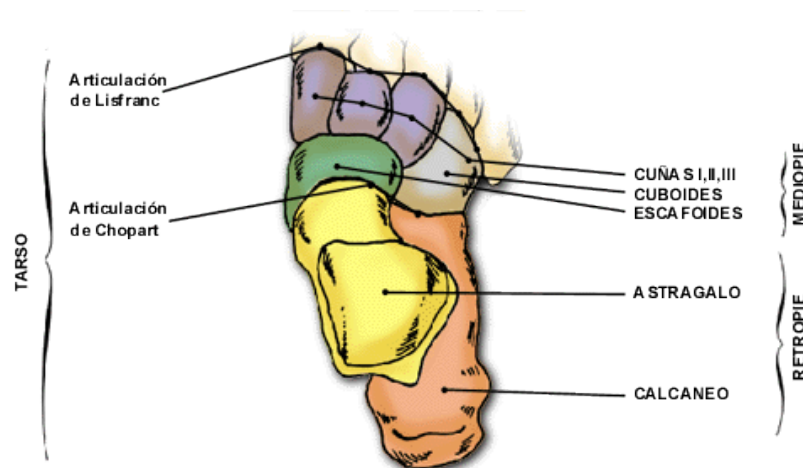


Figura 79. Visión dorsal del retropié y mediopié.

Estas articulaciones son artrodias que realizan movimientos de deslizamiento y apertura (bostezo) de escasa amplitud. Están limitados por ligamentos potentes.

El cuboide y las cuñas constituyen el arco transversal tarsiano. Los ligeros movimientos verticales de las cuñas modifican la curva transversal de la bóveda plantar. La 3ª cuña reposa sobre el cuboide que sirve de soporte.

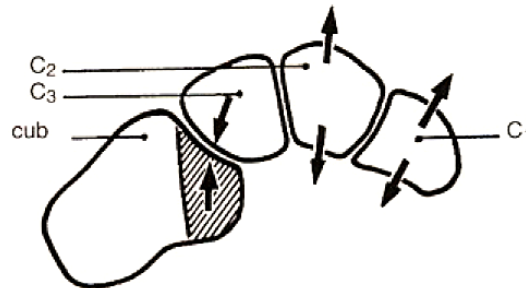


Figura 80.

En sentido longitudinal los ligeros desplazamientos de las cuñas respecto al escafoide contribuyen a los cambios de curvatura del arco interno.

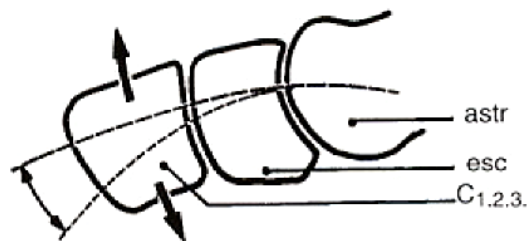


Figura 81.

F. ARTICULACIÓN DE LISFRANC (TARSOMETATARSIANA)

Es la articulación entre el tarso anterior y los metatarsianos.

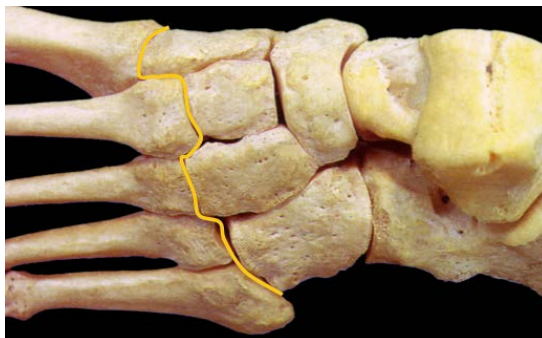


Figura 82.

1. Superficies articulares

La articulación de Lisfranc está formada por una sucesión de artrodias íntimamente unidas.

Proximal

- Cara anterior del cuboides con dos carillas para el 4º y 5º metatarsiano (MTT).
- Cara anterior de la 3ª cuña, que sobrepasa dos mm. la faceta anterior del cuboides.
- Cara anterior de la 3ª cuña, que sobrepasa cuatro mm. a la 2ª.
- Cara anterior de la 1ª cuña, que sobrepasa a la 2ª en ocho mm.

Distal

- Las carillas de la base del 4º y 5º metatarsiano se articulan con el cuboides.
- La carilla de la base del 3º metatarsiano se une al 3º cuneiforme.
- La base del 2º metatarsiano articula con los tres cuneiformes.
- La base del 1º metatarsiano se une a la faceta anterior del 1º cuneiforme.

Entre las tres cuñas se forma una mortaja donde se encaja la base del 2º metatarsiano. Por lo tanto, el 2º MTT es el menos móvil.

2. Medios de unión

Cápsula

Anatómica y funcionalmente hay tres articulaciones, por lo tanto hay tres cápsulas:

- Articulación entre cuboides y 4º-5º metatarsiano.
- Articulación entre 1º-2º-3º cuña y 2º-3º metatarsiano.
- Articulación entre 1º metatarsiano y 1º cuña.

Ligamentos

La solidez de la articulación tarsometatarsiana está asegurada por numerosos ligamentos.

- **Ligamentos dorsales:** desde la base de cada MTT hasta el hueso correspondiente del tarso y MTT vecinos. El 2º MTT manda un ligamento a cada hueso vecino.

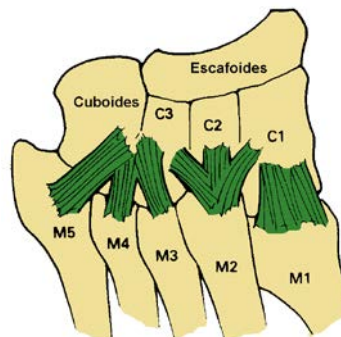


Figura 83. Ligamentos dorsales.

- **Ligamentos plantares:** cada metatarsiano está unido al tarso por un ligamento. Los MTT 2º y 3º reciben cada uno un haz desde la 1ª cuña.
- **Ligamentos interóseos:**
 - Ligamento de Lisfranc entre 1ª cuña y 2º metatarsiano.
 - Ligamentos directos entre 2º MTT y 2ª cuña y entre 3º MTT y 3ª cuña.
 - Ligamentos cruzados entre 2º MTT y 3ª cuña y entre 3º MTT y 2ª cuña.

3. Movimientos de la articulación de Lisfranc

La interlínea de Lisfranc es oblicua hacia afuera, abajo y atrás (su porción interna se localiza dos cm por delante de la externa).

Por la disposición de la interlínea de Lisfranc, realiza movimientos de flexoextensión sobre un eje oblicuo. Contribuye a los movimientos combinados de eversión-inversión del pie.

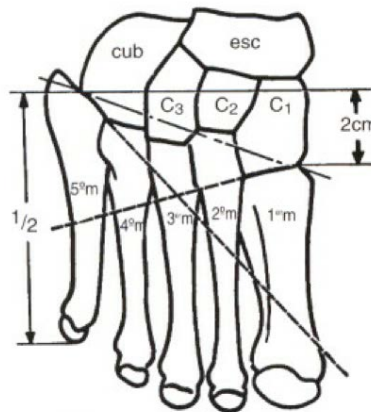


Figura 84. Articulación de Lisfranc.

Los metatarsianos están dispuestos en semicírculo en descarga. En carga son mantenidos por el ligamento intermetatarsiano y el aductor del dedo gordo.

El 2º metatarsiano es el menos móvil porque está encajado entre las tres cuñas y porque se insertan el mayor número de ligamentos. El 3º metatarsiano es poco móvil. Los metatarsianos 1º, 4º y 5º son más móviles.

La interlínea entre la 1ª cuña y el 1º metatarsiano está situada en un plano oblicuo hacia delante y hacia fuera, cortando el plano de la interlínea entre el cuboide y el 5º metatarsiano a nivel del 3º metatarsiano.

Cuando se flexionan no lo hacen en un plano sagital sino que se desplazan hacia dentro en aducción (respecto al eje del pie). Las cabezas de los MTT descienden y se aproximan al eje del pie, lo que aumenta la curva del arco anterior. En extensión, los MTT se separan y la bóveda plantar se aplanan.

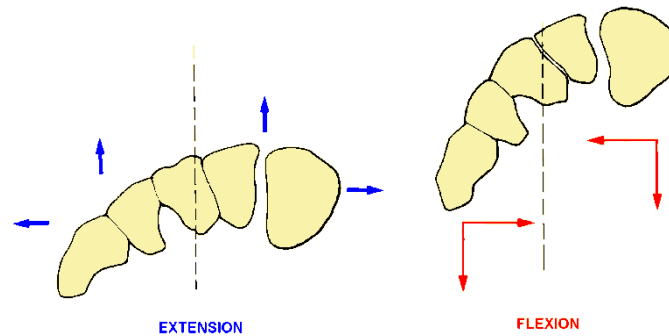


Figura 85. Biomecánica de la articulación de Lisfranc.

G. ARTICULACIÓN ENTRE LOS DEDOS DEL PIE

1. Superficies articulares y medios de unión

Hay varias estructuras a tener en cuenta:

- Articulaciones intermetatarsianas: las bases de los cuatro MTT laterales están conectadas con los ligamentos plantares, dorsales e interóseos. Sin tres diartrosis. Un ligero movimiento de estas articulaciones, aumenta la flexibilidad de la de Lisfranc⁹.
- Articulaciones metatarsofalángicas: entre las cabezas convexas de las MTT y la concavidad leve del extremo proximal de las falanges proximales. Tienen dos ligamentos colaterales que refuerzan la cápsula. También existen cuatro ligamentos metatarsianos profundos que se unen con los ligamentos plantares. Esto ayuda a la mejora del rendimiento en la fase de propulsión de la marcha.

La metatarsofalángica del dedo gordo presenta dos sesamoideos en el espesor del tendón del flexor corto del primer dedo, que colaboran al punto de apoyo.

- Articulaciones interfalángicas proximal y distal: el primer dedo solo cuenta con una. Se compone de una cabeza convexa de la falange proximal articulada con la base cóncava de la falange distal. Existen cápsulas reforzadas con ligamentos colaterales y plantares.

A diferencia de la mano, el 1º dedo del pie no puede realizar el movimiento de oposición.

2. Estudio de los movimientos

Flexión

Es el movimiento de los dedos del pie en dirección plantar.

- **Primer dedo:**
 - Metatarsofalángica: 30º-40º en activo/45º-50º en pasivo.
 - Interfalángicas: variable entre 70º-90º.

⁹ Aunque haya ligamentos, entre las bases del I y II MTT no suele existir una verdadera articulación, lo que aumenta el movimiento relativo del primer radio del pie.

- Músculos motores:
 - Flexión de la metatarsofalángica: flexor corto del dedo gordo, aductor y abductor del dedo gordo.
 - Flexión de la interfalángica: flexor largo del dedo gordo.
- **Resto de los dedos del pie:**
 - Metatarsofalángica: 40º-50º.
 - Interfalángica proximal: 60º-90º.
 - Interfalángica distal: 50º-60º.
 - Músculos motores:
 - Flexión metatarsofalángica: interóseos y lumbricales.
 - Flexión interfalángica proximal: flexor corto plantar.
 - Flexión interfalángica distal: flexor común de los dedos del pie.

Extensión

Es el movimiento de los dedos del pie en dirección dorsal.

- **Primer dedo:**
 - Metatarsofalángica: 50º-60º en activo/90º en pasivo.
 - Interfalángica: 0º.
 - Músculos motores:
 - Extensión metatarsofalángica: Extensor propio del dedo gordo.
 - Extensión interfalángica: Extensor propio del dedo gordo.
- **Resto de los dedos del pie:**
 - Metatarsofalángica: 60º-90º.
 - Interfalángica proximal: 0º.
 - Interfalángica distal: 0º/ 70º.
 - Músculos motores:
 - Extensión metatarsofalángica: extensor común, fijado por el pedio excepto en el quinto dedo.
 - Extensión interfalángica proximal: interóseos y lumbricales.
 - Extensión interfalángica distal: extensor largo de los dedos.

Movimientos de lateralidad

En las metatarsofalángicas son de muy poca amplitud. Los músculos que actúan son los interóseos palmares y dorsales.



H. MÚSCULOS MOTORES

1. Músculos de los dedos

- **Flexor largo de los dedos:** se origina en el tercio medio de la cara posterior de la tibia. En la planta tiene un recorrido oblicuo hacia delante y hacia fuera. Sus cuatro tendones se insertan sobre la base de las falanges distales de los cuatro últimos dedos después de haber perforado el flexor plantar corto.

Es flexor plantar de tobillo e inversor de pie. Flexor de las metatarsofalángicas e interfalángicas proximales y distales de los cuatro últimos dedos.

- **Flexor largo del primer dedo:** dos tercios distales de la cara posterior peroné y membrana interósea hasta base falange distal primer dedo. Es flexor plantar tobillo, inversión pie, flexor de la MTTF e IF del primer dedo. Sostiene bóveda plantar

Cuadrado carnoso de Silvio o flexor accesorio de los dedos: es muy corto. Contribuye a la flexión de los dedos del pie corrigiendo el eje del flexor.

- **Flexor plantar corto:** sostiene la bóveda plantar. Flexiona las MTTF e IF proximales del segundo al quinto dedo.

Interóseos dorsales y plantares: flexores de la falange proximal y extensores de la falange media y distal. Los dorsales separan los dedos y los plantares los aproximan.

- **Lumbricales:** flexionan la MTTF y extienden las IF.
- **Extensor largo de los dedos:** se origina en meseta tibial, cabeza y borde anterior del peroné. Sus cuatro tendones se insertan del segundo al quinto dedos, mediante una expansión en tres lengüetas (una intermedia en base falange media y dos laterales en la base de la falange distal).

Es flexor dorsal y evensor del tobillo. Extensor de las MTTF e IF proximal y distal del segundo al quinto dedos.

- **Extensor largo del primer dedo:** tercio medio de la cara anterior del peroné y membrana interósea, hasta la base de la falange distal del primer dedo.

Es flexor dorsal del tobillo e inversor del pie. Extensor de las MTTF e IF del primer dedo.

- **Extensor corto de los dedos:** de la apófisis mayor del calcáneo al borde externo de los tendones del extensor común.

Es extensor de las MTTF y ayuda a la extensión de las IF.

2. Músculos del compartimento plantar interno

Similar a la eminencia tenar en la mano.

- **Abductor del primer dedo:** de la tuberosidad posterointerna del calcáneo hasta el sesamoideo interno y base de la falange proximal del primer dedo.

Es flexor y abductor del primer dedo. Mantiene la bóveda plantar.

- **Aductor del primer dedo:** presenta dos haces. Haz oblicuo que nace de la cara inferior del cuboide, de la base del tercer y cuarto metatarsiano y termina en el sesamoideo externo de la metatarsofalángica del primer dedo. Haz transverso: desde la cara inferior de la tercera a la quinta MTTF, hasta la primera falange del dedo gordo.



Es flexor y aductor del dedo gordo. Sostiene el arco transversal anterior.

- **Flexor corto del primer dedo:** del cuboide, de la segunda y tercera cuña, se divide en dos haces: un haz interno que se inserta en sesamoideo interno y base de la primera falange del dedo gordo y un haz externo que se fusiona con el aductor del dedo gordo.

Es flexor de la primera falange del primer dedo. Sostiene la bóveda plantar.

- **Extensor corto del primer dedo:** Extensor MTT del primer dedo.

3. Músculos del compartimento plantar externo

Similar de la eminencia hipotenar en la mano.

- **Oponente del quinto dedo:** es inconstante y va del cuboide al borde externo de quinto metatarsiano. Es flexor y aductor del quinto metatarsiano.
- **Flexor corto del quinto dedo:** va del cuboide y de la base del quinto el metatarsiano hasta la base de la primera falange del quinto dedo. Es flexor de la primera falange del quinto dedo.
- **Abductor del quinto dedo:** de la tuberosidad posteroexterna del calcáneo al borde externo de la base de la primera falange del quinto dedo.

Es flexor y abductor de la primera falange del quinto dedo. Actúa sobre el arco externo del pie.



V. ARQUITECTURA DEL PIE

Transmite el peso del cuerpo hacia al suelo. Es una estructura deformable que permite la adaptación al terreno. Es un conjunto osteoartroligamentoso y muscular capaz de modificar su forma y curvatura para adaptarse a las irregularidadesdel terreno y crear un sistema de amortiguación, dando al paso elasticidad y flexibilidad

A. ESTUDIO DE LA BÓVEDA PLANTAR

1. Concepto clásico

Para Destot el pie es un medio plato invertido. Puede definirse como una bóveda, cóncava hacia abajo y dentro, sujeta por tres arcos:

- Arco interno longitudinal.
- Arco externo longitudinal.
- Arco anterior transversal.

Estos tres arcos presentan tres puntos de apoyo: cabeza del primer MTT, cabeza del quinto MTT, y tuberosidad posteromedial del calcáneo.

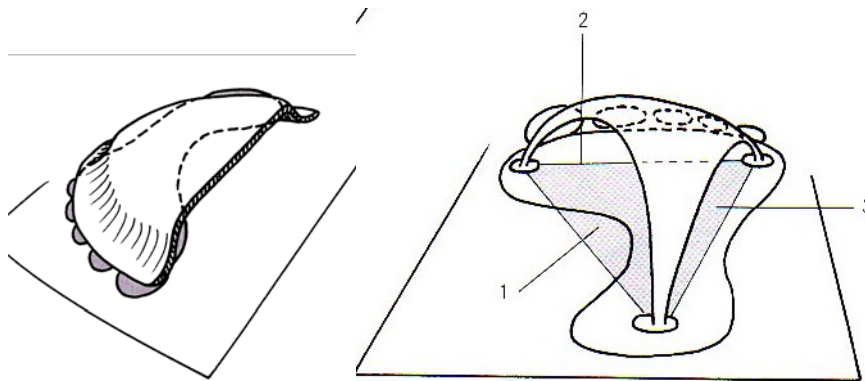


Figura 86.

La cumbre de la bóveda está representada por el astrágalo que recibe y transmite el peso del cuerpo.

Arco interno

Constituida por cinco huesos de delante a atrás:

- Primer metatarsiano que reposa en el suelo sobre los sesamoideos.
- Primera cuña.
- Escafoides.

- Astrágalo.
- Calcáneo.

La clave de bóveda de este arco es el escafoides, que se separa del suelo 15-18 mm.

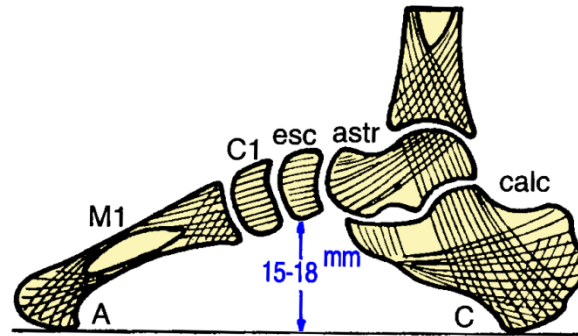


Figura 87. Arco interno.

El arco interno conserva su concavidad y flexibilidad gracias a los ligamentos y músculos plantares. Este arco está mantenido por varios ligamentos:

- Ligamento interóseo.
- Ligamento glenoideo.
- Ligamento escafofocuneal inferior.
- Ligamento tarsometatarsiano inferior.

Los músculos forman un cordón activo, como verdaderos tensores:

- Tibial posterior
- Peroneo lateral largo: aumenta la concavidad del arco interno.
- Flexor largo del dedo gordo ayudado por el flexor largo de los dedos: aumenta concavidad arco interno. También desempeña papel de estabilizador del astrágalo y calcáneo. Pasa entre los tubérculos posteriores del astrágalo y por debajo del sustentáculo tali del calcáneo
- Abductor dedo gordo

Los músculos insertados en la convexidad disminuyen y aplanan la curva:

- Tibial anterior
- Extensor largo dedo gordo

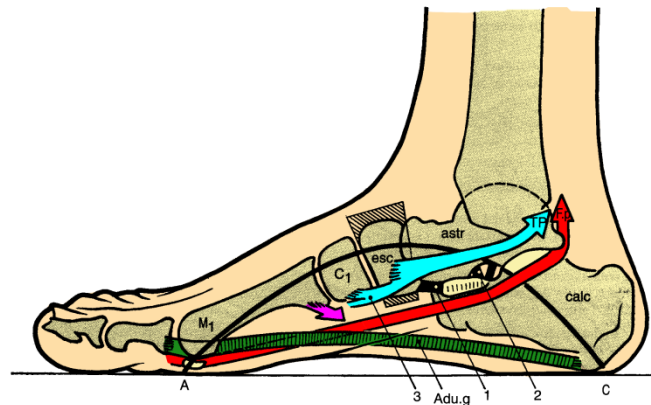


Figura 88.

Arco externo

Comprende tres huesos de delante a atrás:

- Quinto metatarsiano.
- Cuboides.
- Calcáneo.

La apófisis mayor del calcáneo y el cuboides constituyen la clave de este arco. El cuboides está unos 3-5 mm por encima del suelo. Es más rígido que el interno. Es un arco de solidez que transmite las fuerzas del impulso motor del tríceps sural a las cabezas de los metatarsianos.

Está mantenido por el potente sistema ligamentario calcaneocuboideos plantar.

Los músculos que mantienen el arco externo:

- Peroneo lateral largo: sostén del cuboides y del calcáneo.
- Peroneo lateral corto: impide bostezo inferior.
- Abductor del quinto dedo.

Los músculos insertados en la convexidad, disminuyen y aplanan la curva:

- Peroneo anterior (inconstante pero generalmente presente).
- Extensor largo de los dedos
- Tríceps sural.

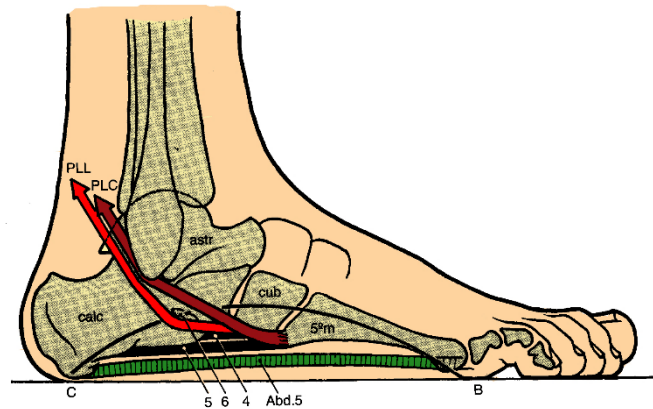


Figura 89.

Arco anterior y curva transversal

Es un arco transversal que va de la cabeza del primer metatarsiano a la cabeza del quinto metatarsiano. La clave de bóveda es la cabeza del segundo metatarsiano: hay 3 mm de diferencia entre el nivel de la cabeza de éste y el nivel del primer y quinto metatarsianos. Es el resultado de los cinco radios metatarsianos:

- Primer radio: es el más alto. Forma un ángulo de 18° - 25° con respecto al suelo.
- Segundo radio: forma un ángulo de 15° con el suelo.
- Tercer radio: forma un ángulo de 10° con el suelo.
- Cuarto radio: forma un ángulo de 8° con el suelo.
- Quinto radio: forma un ángulo de 5° con el suelo.

Este arco reposa sobre el suelo por medio de los tejidos blandos y está sostenido por:

- Ligamentos intermetatarsianos.
- Haz transversal del aductor del primer dedo (músculo poco potente).

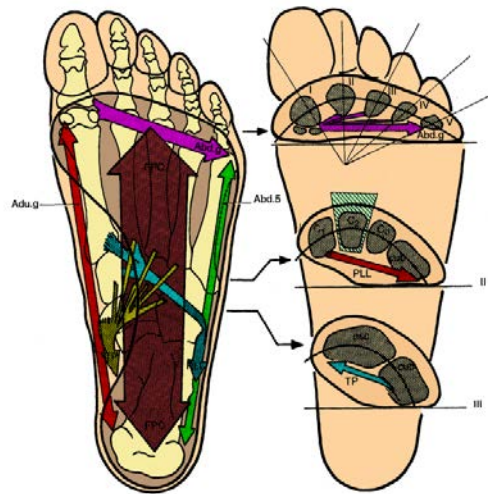


Figura 90.

A la altura de las cuñas, la curva transversa de la bóveda está formada por el cuboide, hueso que contacta con el suelo y por las tres cuñas (la segunda cuña es la cúspide). Este arco está mantenido por la forma en cuña de los huesos cuneiformes y por el peroneo lateral largo que tracciona del primer cuneiforme y de la base del primer metatarsiano.

A la altura del escafoide y cuboide, el arco transversal contacta con el suelo mediante el cuboide. El escafoide está suspendido. Este arco está mantenido por las expansiones plantares del tibial posterior.

En resumen, la curva transversa de la bóveda está mantenida por tres músculos:

- Aductor transverso del dedo gordo.
- Peroneo lateral largo, tensor oblicuo que actúa sobre los tres arcos.
- Expansiones del tibial posterior.

Distribución de las cargas

La tibia transmite el peso del cuerpo al astrágalo. A partir del astrágalo, las presiones se distribuyen en tres direcciones:

- Hacia el antepié:
 - Apoyo anterointerno: a través del cuello del astrágalo y el arbotante anterior del arco interno: $\frac{2}{6}$ partes del peso.
 - Apoyo anteroexterno: a través de la apófisis mayor del calcáneo y del arbotante anterior del arco externo: $\frac{1}{6}$ parte del peso.
 - Estas dos líneas forman un ángulo de 35°-40°.
- Hacia el retropié:
 - Apoyo posterior a través del cuerpo del astrágalo, la subastragalina y el cuerpo del calcáneo: $\frac{3}{6}$ partes del peso.

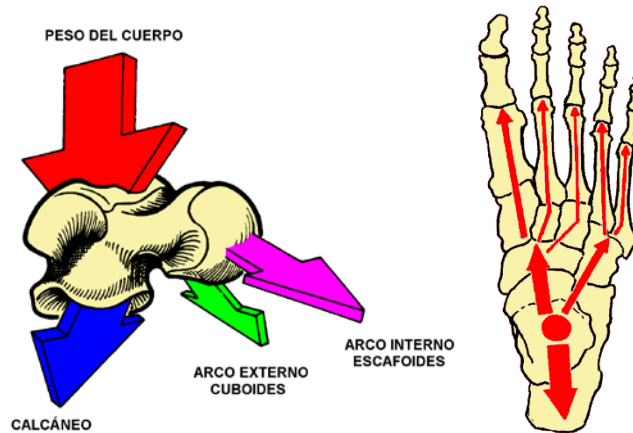


Figura 91. Reparto de cargas en bipedestación estática.

Deformaciones estáticas de la bóveda plantar

Bajo la carga cada arco, se aplana y se alarga:

- Arco interno: el calcáneo desciende, el astrágalo avanza, el escafoides baja y asciende respecto al astrágalo, las articulaciones tarsometatarsianas se separan inferiormente, el metatarsiano se horizontaliza, el talón va hacia atrás y los sesamoideos hacia delante.
- Arco externo: calcáneo, cuboides y estiloides del quinto MTT descienden, las articulaciones se separan inferiormente, el talón y la cabeza del quinto MTT se separan.
- El arco anterior se aplana y se expande 1'2 cm. a un lado y otro del segundo MTT. La curva transversal también se aplana a la altura de las cuñas y del escafoides.

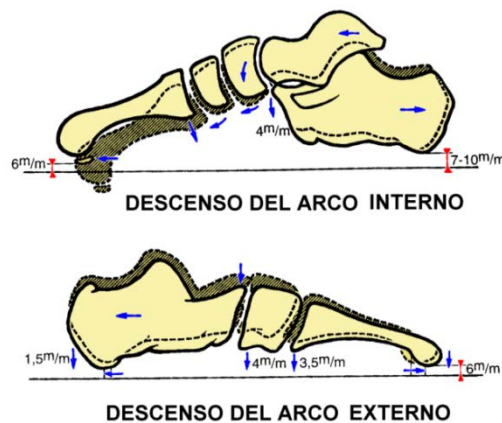


Figura 92. Deformaciones de la bóveda en carga.

El retropié se desplaza hacia dentro (flexión plantar/aducción/pronación) y el antepié hacia fuera (flexión dorsal / abducción / supinación). El astrágalo y la parte anterior del calcáneo se desplazan hacia dentro. Este mecanismo está muy acentuado en el pie plano valgo.

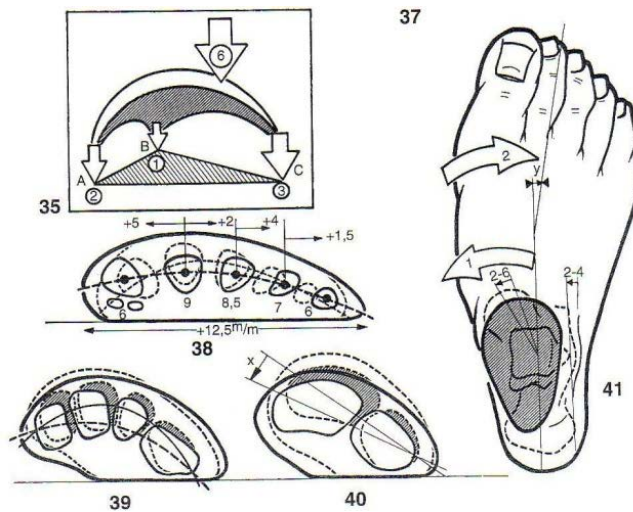


Figura 93. Deformaciones de la bóveda en carga.

Análisis de la huella plantar

El apoyo de la huella plantar comprende cuatro partes:

- Apoyos digitales: apoyo de las yemas de los cinco dedos del pie.
- Talón anterior: desplegado transversalmente, corresponde al apoyo de las cabezas de los cinco metatarsianos. Presenta una concavidad retrocapital.
- Apoyo del arco externo: banda externa de apoyo que une los dos talones. Su anchura normal es de $\frac{1}{3}$ de la anchura del pie.
- Talón posterior: apoyo posterior de forma ovoide con borde externo hacia delante y afuera.

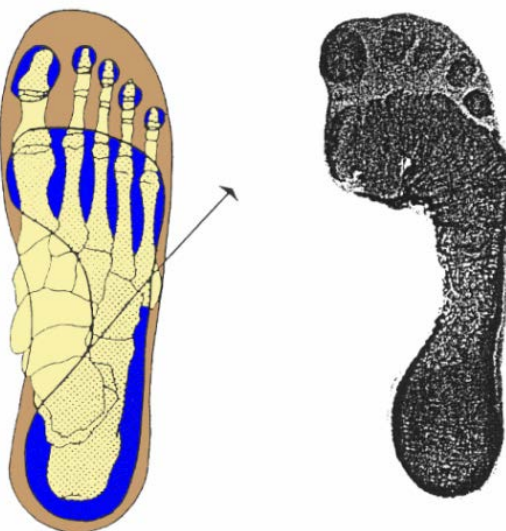


Figura 94. Huella plantar fisiológica.

2. Conceptos modernos

El armazón del pie

Para los autores modernos no se trata de una cúpula o de un arco ya que los elementos no se mantienen solos.

Según Lapidus y otros autores, como Doncker y Kovalski, el pie es un armazón. En arquitectura un armazón es una estructura de tres elementos: dos vigas o cordones superiores y un tirante o cordón inferior:

- Las vigas o cordones superiores están constituidos por el calcáneo en su porción posterior y los metatarsianos en su porción anterior.
- El tirante o cordón inferior está constituido por el conjunto ligamento-musculo-aponeurótico de la planta del pie.

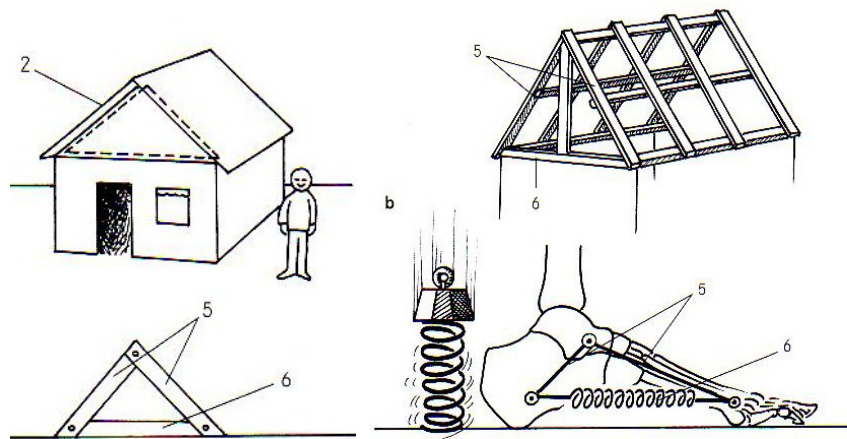


Figura 95. Estructura en armazón.

El astrágalo está en la cumbre del armazón. La carga transmitida se distribuye hacia los apoyos anteriores y posteriores: 50% sobre el talón posterior y 50% sobre el talón anterior.

Paleta axial del pie

El concepto de las tres paletas:

- Paleta axial del pie: parte media del pie constituida sobre todo por el segundo metatarsiano más estable y menos móvil. El eje dinámico del pie pasa por el segundo metatarsiano. Es también el eje mecánico del pie.
- Paletas laterales: mucho más móviles.

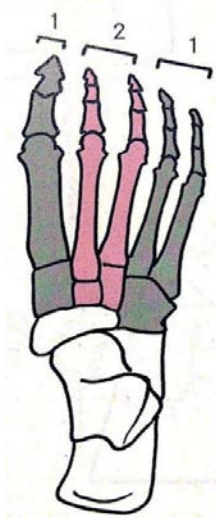


Figura 96. Concepto de paletas.

Papel de las articulaciones de Lisfranc

1) Apoyo anterior

En apoyo del pie, las cabezas de los metatarsianos se disponen sobre un mismo plano paralelo al suelo. En carga el arco anterior desaparece.

En la bipedestación prolongada, se producen pequeños movimientos del teclado metatarsiano para variar el apoyo de una cabeza sobre otra. Se trata de un movimiento reflejo propioceptivo que evita la presión excesiva sobre las cabezas de los metatarsianos.

2) Armazón-tirante principal y secundarios

Sobre un pie en carga, el armazón principal es la paleta axial en la región anterior y el calcáneo en la posterior. El tirante principal es el conjunto ligamento-aponeurótico que une la paleta media y el calcáneo.

El primer y quinto metatarsianos son armazones secundarios sostenidos por el abductor del primer dedo y el abductor del quinto dedo. Estas dos paletas laterales aseguran el equilibrio y la estabilidad lateral del pie.

Amortiguadores del pie

- **La planta del pie o “neumático del pie”:** el tejido subcutáneo plantar es muy grueso y contiene celdas fibrosas. Contienen células adiposas que desempeñan un papel amortiguador.
- **El retropié:** el desequilibrio en los movimientos de la subastragalina está sostenido por el ligamento interóseo, el ligamento glenoideo y el tibial posterior.
- **El antepié o resorte del talón anterior:** en descarga, el arco anterior aumenta. En apoyo, se aplana constituyendo un resorte.

- **La cumbre o barra de torsión de Hendrix:** la palanca anterior es la paleta axial, la palanca posterior es el calcáneo. La barra está constituida por cuboides, segunda y tercera cuñas. El cojinete está constituido por el astrágalo y el escafoides. Todos estos elementos trabajan en torsión.
- **La hélice del pie:** El pie tiene forma de media hélice: vertical por atrás (calcáneo) y horizontal por delante (talón anterior). La amortiguación se produce por una desrotación de la hélice.
- **Vigas compuestas del pie:** El esqueleto óseo es incapaz de resistir las fuerzas de tracción y torsión. Está reforzado por músculos que forman una viga compuesta. En el pie, los músculos y los ligamentos se sitúan en la parte inferior para resistir a la tracción. El dorso del pie resiste a la presión.

B. ESTABILIDAD DEL PIE EN CARGA

Depende de su estructura. El calcáneo es un hueso vertical, por lo que aporta una estabilidad precaria, sin embargo, los metatarsianos están desplegados en el antepié, lo que genera más estabilidad.

1. Estabilidad del antepié

El antepié es estable por la tendencia a la separación de los metatarsianos. Los dedos del pie participan en la estabilidad en el desequilibrio anterior.

2. Estabilidad del retropié

Estabilidad en el plano sagital

- **Factores óseos:** el astrágalo está encastrado en el calcáneo por la acción del peso corporal y está contenido por los bordes anterior y posterior de la tibia.
- **Factor ligamentario:** los haces anteriores y posteriores de los ligamentos laterales de la tibiotarsiana impiden los movimientos de cajón anterior y posterior. El ligamento interóseo evita los movimientos de cajón de la subastragalina.
- **Factores musculares:** tríceps sural por detrás, tibial anterior y extensores de los dedos por delante.

Estabilidad en el plano frontal

- **Factores óseos:** el ajuste de la mortaja tibioperoneoastragalina impide los movimientos de lateralidad del astrágalo. Para ello, es necesario la integridad de los maleolos, que forman la pinza bimaleolar, y de los ligamentos peroneotibiales inferiores, que limitan la diástasis tibioperonea.
- **Factor ligamentario:** el encastramiento y los ligamentos laterales impiden los movimientos de balanceo del astrágalo.



- **Factor muscular:** medialmente, el tibial posterior y los flexores de los dedos frenan el valgo del retropié y la abducción. Lateralmente, los peroneos controlan y frenan el varo y la aducción del retropié.

