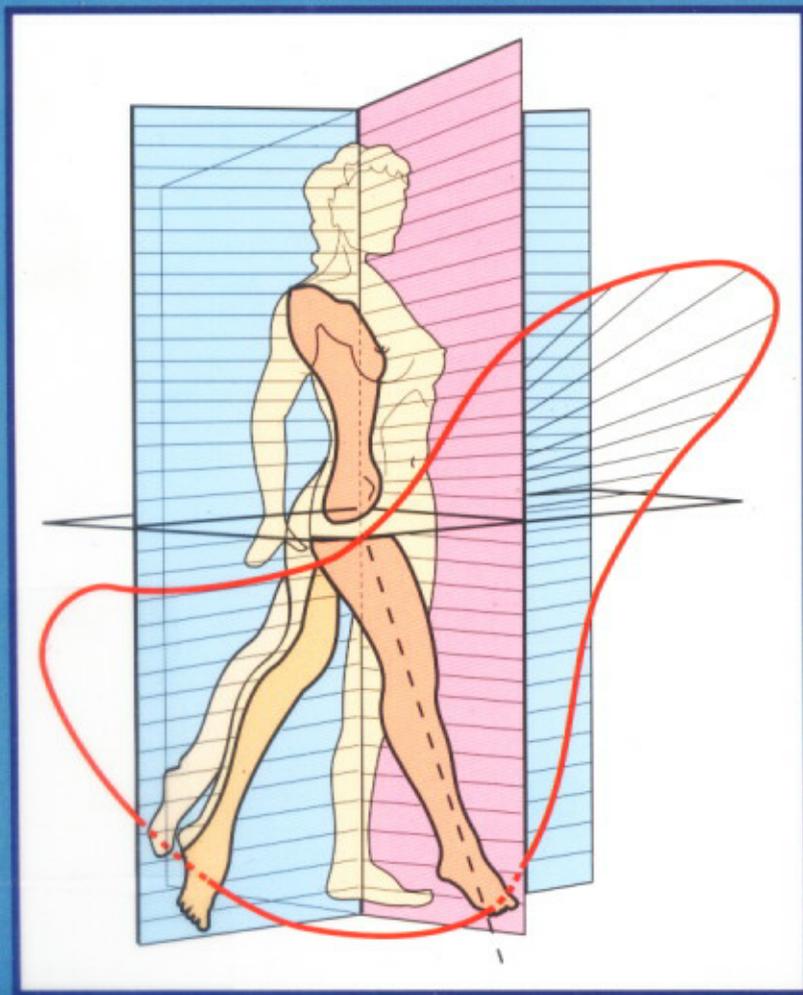


A. I. KAPANDJI

Fisiología Articular

5ª edición



2

Miembro Inferior

EDITORIAL MEDICA
panamericana


MALOINE

25-1103

BC-CG

612.75

K171

v. 2 c. 1

85969

5a. ed

A. I. KAPANDJI

Ex-interno de los Hospitales de París

Ex-Jefe de clínica - Auxiliar de los Hospitales de París

Miembro de la Sociedad Francesa de Ortopedia y Traumatología (S.O.F.C.O.T.)

Miembro de la Sociedad Francesa de Cirugía de la Mano (G.E.M.)

FISIOLOGÍA ARTICULAR

ESQUEMAS COMENTADOS DE MECÁNICA HUMANA

TOMO II

QUINTA EDICIÓN

MIEMBRO INFERIOR

I.-LA CADERA

II.-LA RODILLA

III.-EL TOBILLO

IV.-LA BÓVEDA PLANTAR

Con 690 dibujos originales del autor

Versión española de

MARÍA TORRES LACOMBA

Fisioterapeuta

Profesora Titular de la Escuela Universitaria de Enfermería y Fisioterapia de Toledo.

Universidad de Castilla-La Mancha

EDITORIAL MEDICA
panamericana




MALOINE

INDICE

LA CADERA

Movimientos de flexión de la cadera	14
Movimientos de extensión de la cadera	16
Movimientos de abducción de la cadera	18
Movimientos de aducción de la cadera	20
Movimientos de rotación longitudinal de la cadera	22
El movimiento de circunducción de la cadera	24
Orientación de la cabeza femoral y del cótilo	26
Nexos de las superficies articulares.....	28
Arquitectura del fémur y de la pelvis	30
El rodete cotiloideo y el ligamento redondo	32
La cápsula articular de la cadera	34
Los ligamentos de la cadera	36
Función de los ligamentos en la flexoextensión	38
Función de los ligamentos en la rotación externa-rotación interna	40
Función de los ligamentos en la aducción-abducción.....	42
Fisiología del ligamento redondo	44
Factores de coaptación de la coxofemoral	46
Factores musculares y óseos de la estabilidad de la cadera.....	48
Los músculos flexores de la cadera.....	50
Los músculos extensores de la cadera.....	52
Los músculos abductores de la cadera	54
El equilibrio transversal de la pelvis	58
Los músculos aductores de la cadera	60
Los músculos rotadores externos de la cadera.....	64
Los músculos rotadores de la cadera.....	66
La inversión de las acciones musculares.....	68
Intervención sucesiva de los abductores	72

LA RODILLA

Los ejes de la articulación de la rodilla.....	76
Los desplazamientos laterales de la rodilla	78
Los movimientos de flexoextensión.....	80
La rotación axial de la rodilla.....	82
Arquitectura general del miembro inferior y orientación de las superficies articulares.....	84
Las superficies de la flexoextensión.....	86
Las superficies en función de la rotación axial	88

Perfil de los cóndilos y de las glenoides	90
Determinismo del perfil cóndilo-troclear	92
Los movimientos de los cóndilos sobre las glenoides en la flexoextensión	94
Los movimientos de los cóndilos sobre las glenoides en los movimientos de rotación axial	96
La cápsula articular.....	98
El ligamento adiposo, las plicas, la capacidad articular.....	100
Los meniscos interarticulares	102
Los desplazamientos de los meniscos en la flexoextensión.....	104
Los desplazamientos de los meniscos en la rotación axial. Lesiones meniscales	106
Los desplazamientos de la rótula sobre el fémur	108
Los nexos femorrotulianos	110
Los desplazamientos de la rótula sobre la tibia.....	112
Los ligamentos laterales de la rodilla.....	114
La estabilidad transversal de la rodilla.....	116
La estabilidad anteroposterior de la rodilla	120
Las defensas periféricas de la rodilla	122
Los ligamentos cruzados de la rodilla	124
Nexos de la cápsula y de los ligamentos cruzados	126
Dirección de los ligamentos cruzados	128
Función mecánica de los ligamentos cruzados	130
Estabilidad rotadora de la rodilla en extensión	136
Los tests dinámicos en rotación interna	140
Los tests dinámicos de ruptura del LCAE.....	142
Los tests dinámicos en rotación externa.....	144
Los músculos extensores de rodilla.....	146
Fisiología del recto anterior.....	148
Los músculos flexores de la rodilla.....	150
Los músculos rotadores de la rodilla.....	152
La rotación automática de la rodilla	154
El equilibrio dinámico de la rodilla	156

EL TOBILLO

El complejo articular del pie	160
La flexoextensión	162
Las superficies de la tibiotarsiana	164
Los ligamentos de la tibiotarsiana.....	166
Estabilidad anteroposterior del tobillo y factores limitantes de la flexoextensión	168
Estabilidad transversal de la tibiotarsiana	170
Las articulaciones peroneotibiales.....	172
Fisiología de las articulaciones peroneotibiales	174

EL PIE

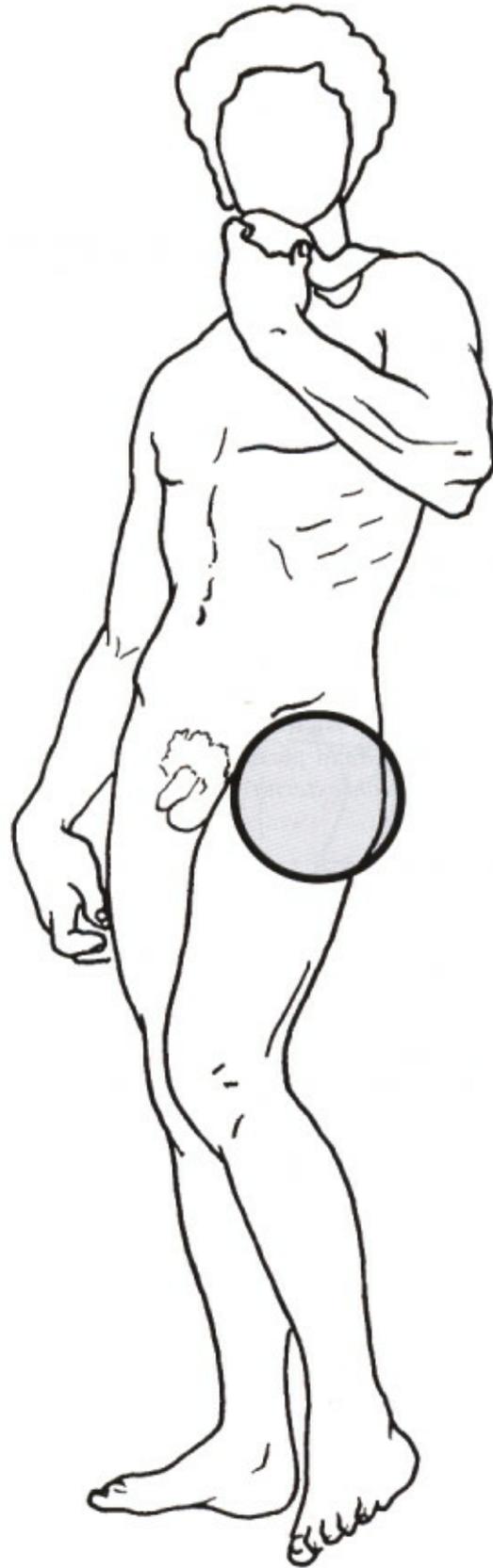
Los movimientos de rotación longitudinal y de lateralidad del pie	178
Las superficies articulares de la subastragalina.....	180
Congruencia e incongruencia de la subastragalina	182
El astrágalo, un hueso singular.....	184
Los ligamentos de la articulación subastragalina.....	186
La mediotarsiana y sus ligamentos.....	188
Los movimientos en la subastragalina.....	190
Los movimientos en la subastragalina y en la mediotarsiana	192
Los movimientos en la mediotarsiana	194
Funcionamiento global de las articulaciones del tarso posterior	196
El cardán heterocinético del retropié.....	198
Las cadenas ligamentosas de inversión y eversión	200
Las articulaciones escafo-cuneales, intercuneales y tarsometatarsianas	202
Movimientos en las articulaciones del tarso anterior y en la tarsometatarsiana.....	204
La extensión de los dedos.....	206
Músculos interóseos y lumbricales.....	208
Músculos de la planta del pie	210
Correderas tendinosas de la garganta y de la planta del pie	212
Los flexores del tobillo.....	214
El tríceps sural	216
Los otros extensores del tobillo.....	220
Los músculos abductores-pronadores: los peroneos	222
Los músculos aductores-supinadores: los tibiales.....	224

LA BÓVEDA PLANTAR

La bóveda plantar en conjunto	228
El arco interno	230
El arco externo.....	232
El arco anterior y la curva transversal.....	234
Distribución de las cargas y deformaciones estáticas de la bóveda plantar.....	236
El equilibrio arquitectural del pie.....	238
Deformaciones dinámicas de la bóveda plantar durante la marcha	240
Deformaciones dinámicas según la inclinación lateral de la pierna sobre el pie.....	242
Adaptación de la bóveda plantar al terreno.....	244
Los pies cavos.....	246
Los pies planos	248
Los desequilibrios del arco anterior	250
BIBLIOGRAFÍA	253
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	279

CAPÍTULO I

LA CADERA



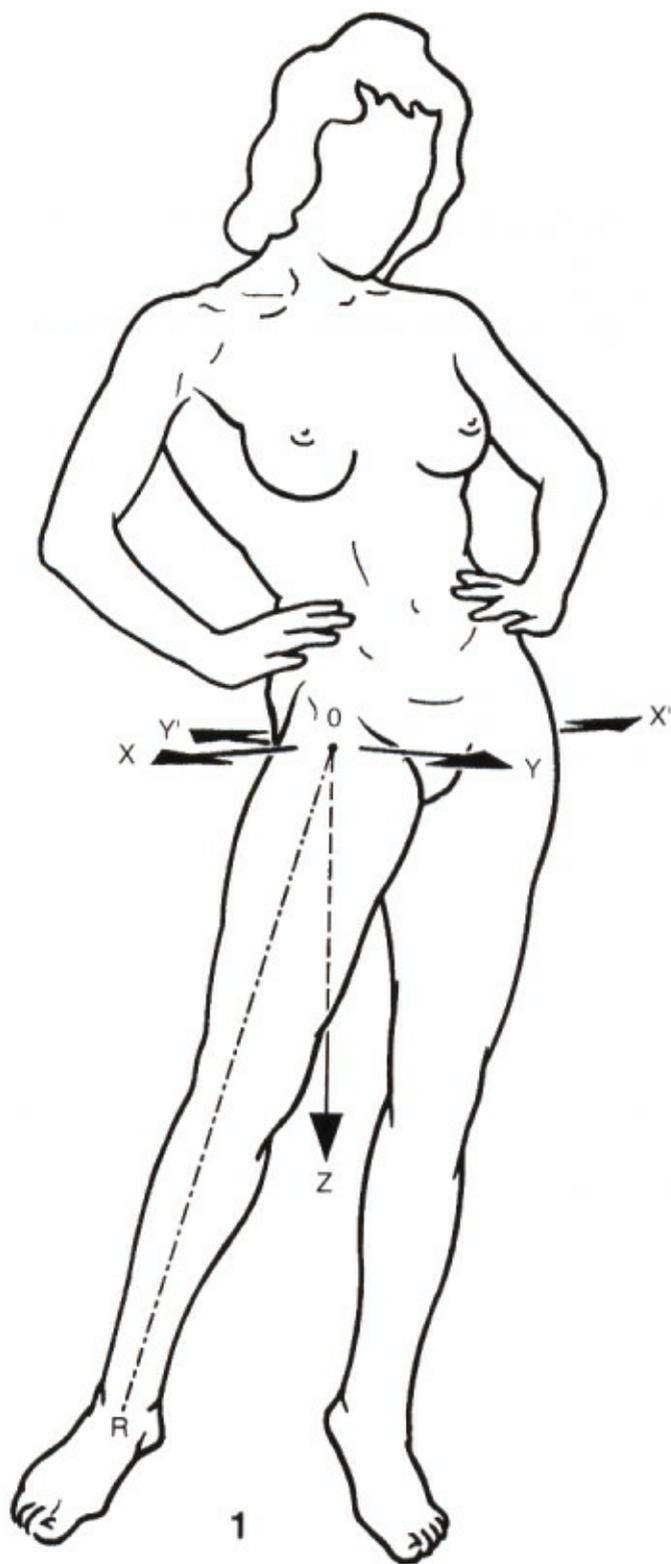
La cadera es la *articulación proximal* del miembro inferior: situada en su raíz, su función es orientarlo en *todas las direcciones del espacio*, para lo cual posee tres ejes y tres grados de libertad (Fig. 1):

- un eje transversal XOX', situado en el *plano frontal*, alrededor del cual se ejecutan los movimientos de *flexo-extensión*;
- un eje anteroposterior YOY', en el *plano sagital*, que pasa por el centro de la articulación, alrededor del cual se efectúan los movimientos de *abducción-aducción*;
- un eje vertical OZ, que se confunde con el *eje longitudinal OR* del miembro inferior cuando la cadera está en una posición de alineamiento. Este eje longitudinal permite los movimientos de *rotación externa* y *rotación interna*.

Los movimientos de la cadera los realiza una sola articulación: la *coxofemoral*, en forma de **enartrosis** muy coaptada. Esta característica se opone totalmente a la de la articulación del hombro, verdadero complejo articular cuya articulación escapulohumeral es una enartrosis con poca capacidad de coaptación y una gran movilidad en detrimento de la estabilidad. En consecuencia, la

articulación coxofemoral tiene menos amplitud de movimiento —compensada, en cierta medida, por el raquis lumbar—; en cambio, es mucho *más estable* resultando ser la articulación más difícil de luxar de todo el cuerpo. Todas estas características propias de la cadera están condicionadas por las funciones de *sopORTE del peso corporal* y de *locomoción* desempeñadas por el miembro inferior.

Precisamente fue a propósito de la articulación de la cadera que surgió la era de las prótesis articulares, transformando la cirugía del aparato locomotor. Esta articulación, aparentemente la más sencilla de amoldar, puesto que sus superficies articulares son muy parecidas a las de una esfera, todavía plantea bastantes problemas: dimensión de la esfera protésica, naturaleza de las superficies en contacto en lo referente al coeficiente de frotación, resistencia al desgaste, toxicidad eventual de los desechos del desgaste, pero sobre todo, el problema más difícil de abordar es la unión con el hueso vivo bajo la controversia de incrustación o no. También gracias a la cadera, la investigación sobre las prótesis se desarrolló de tal forma que la cantidad de modelos aumentó considerablemente.



MOVIMIENTOS DE FLEXIÓN DE LA CADERA

La flexión de la cadera es el *movimiento que produce el contacto de la cara anterior del muslo con el tronco*, de forma que el muslo y el resto del miembro inferior sobrepasan el plano frontal de la articulación, quedando por delante del mismo.

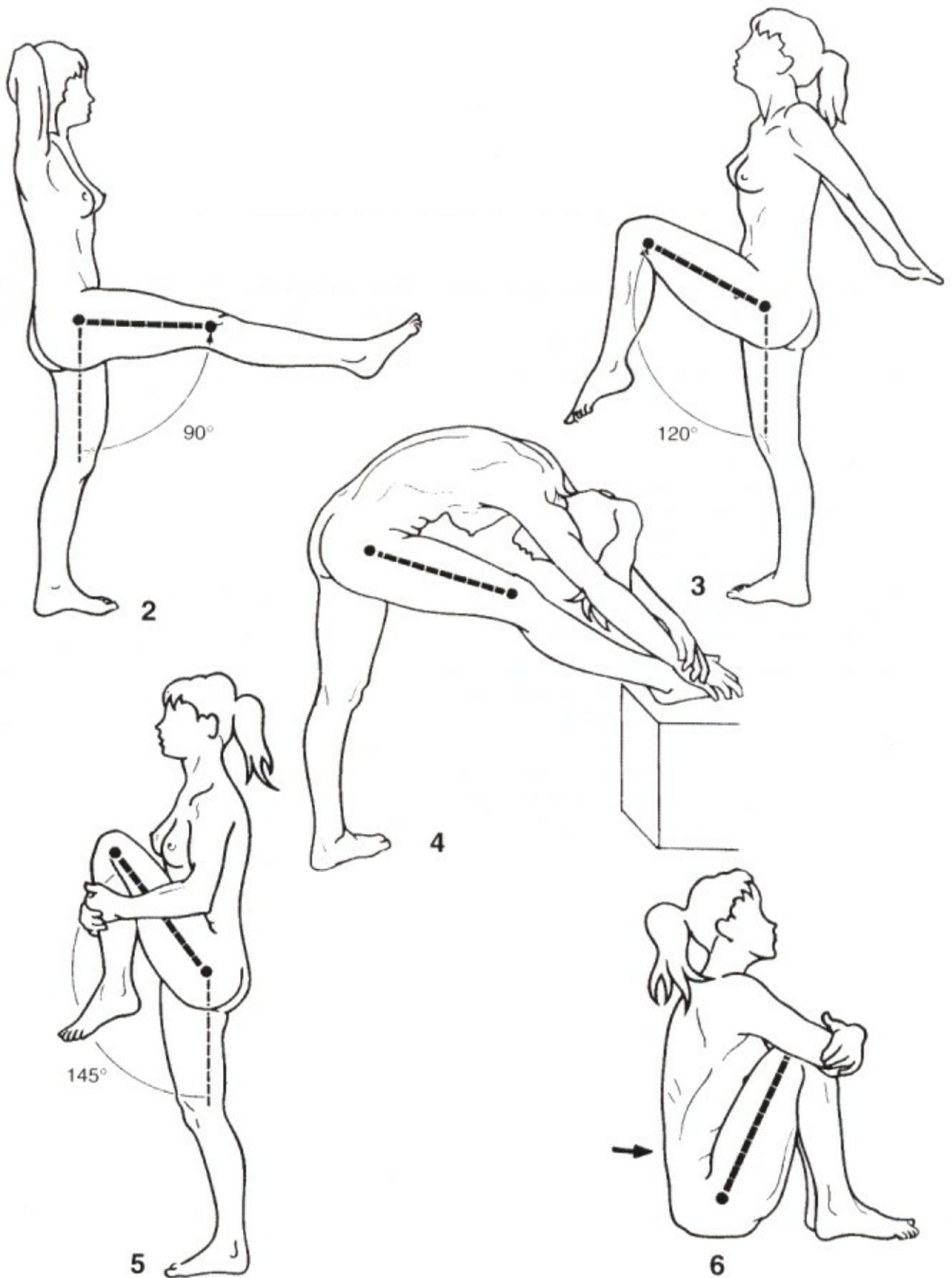
La amplitud de la flexión varía según distintos factores:

De forma general, la flexión *activa* de la cadera no es tan amplia como la pasiva. La *posición de la rodilla* también interviene en la amplitud de la flexión: cuando la rodilla está extendida (Fig. 2), la flexión no supera los 90°, mientras que cuando la rodilla está flexionada (Fig. 3) alcanza e incluso sobrepasa los 120°.

En lo que respecta a la flexión *pasiva*, su amplitud supera siempre los 120°, pero de nuevo

la posición de la rodilla es importante: si ésta está extendida (Fig. 4), la flexión es mucho menor que cuando está flexionada (Fig. 5); en este último caso, la amplitud sobrepasa los 140° y el muslo contacta casi totalmente con el tórax. Más adelante se podrá constatar (pág. 150) cómo la flexión de rodilla, siempre que los isquiotibiales estén relajados, permite una mayor flexión de la cadera.

Si se flexionan ambas caderas a la vez de forma pasiva mientras que las rodillas están también flexionadas (Fig. 6), la cara anterior de los muslos contacta ampliamente con el tronco, puesto que a la flexión de las articulaciones coxofemorales se añade la retroversión pélvica *borrando la lordosis lumbar* (flecha).



MOVIMIENTOS DE EXTENSIÓN DE LA CADERA

La extensión dirige el miembro inferior *por detrás* del plano frontal.

La amplitud de la extensión de la cadera es mucho menor que la de la flexión, estando limitada por la tensión del *ligamento iliofemoral* (véase pág. 36).

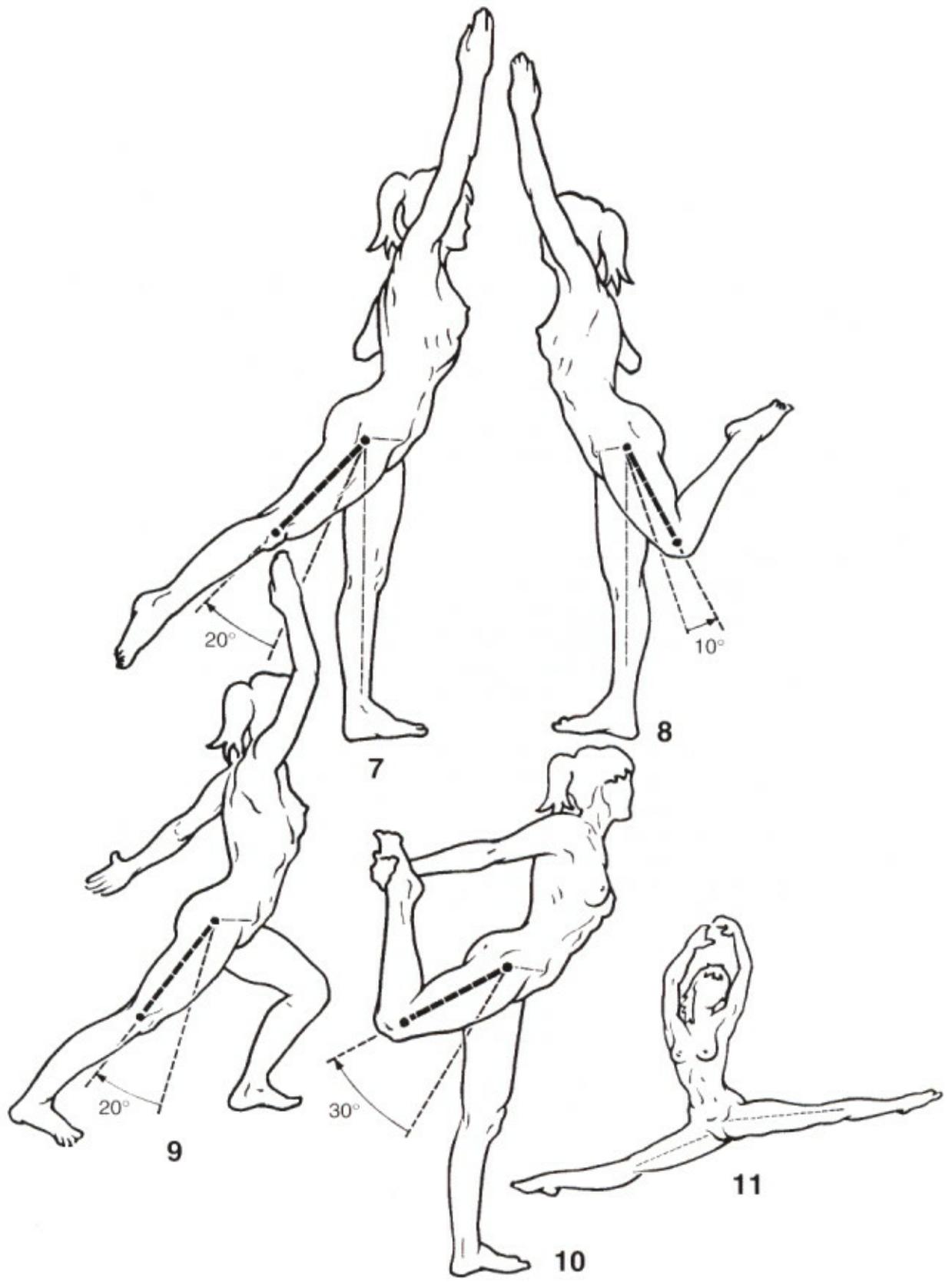
La extensión activa es de menor amplitud que la extensión pasiva. Cuando la rodilla está extendida (Fig. 7) la extensión es mayor (20°) que cuando está flexionada (Fig. 8), esto se debe a que los músculos isquiotibiales pierden totalmente su eficacia como extensores de cadera, puesto que han utilizado gran parte de su fuerza de contracción en la flexión de rodilla (véase pág. 150).

La extensión pasiva no es más que de 20° en el paso hacia delante (Fig. 9); alcanza los 30° cuando el miembro inferior se sitúa muy hacia atrás (Fig. 10).

Hay que recalcar que la extensión de la cadera aumenta notablemente debido a la anteversión pélvica producida por una *hiperlordosis lumbar*.

Esta participación del raquis lumbar se puede medir en las figuras 7 y 8 mediante el ángulo entre la vertical (trazos finos) y la posición de alineación normal del muslo (trazos gruesos). Esta última posición se obtiene gracias al ángulo invariable que forma el muslo con la línea que une el centro de la cadera con la espina ilíaca anterosuperior. Sin embargo, este ángulo varía según sujetos, ya que *depende de la estática* pélvica, es decir del grado de retroversión o anteversión pélvica.

Las amplitudes aquí referidas corresponden a individuos "normales" sin ningún entrenamiento previo. Se pueden aumentar considerablemente gracias al ejercicio y al entrenamiento apropiados; por ejemplo, las bailarinas pueden realizar sin problemas la *apertura de ambas piernas* (Fig. 11) incluso sin apoyarse en el suelo, merced a la flexibilidad de su ligamento de Bertin; sin embargo, es necesario recalcar que no extienden suficientemente el muslo debido a una anteversión pélvica demasiado pronunciada.



MOVIMIENTOS DE ABDUCCIÓN DE LA CADERA

La abducción dirige el miembro inferior **hacia fuera** y lo aleja del plano de simetría del cuerpo.

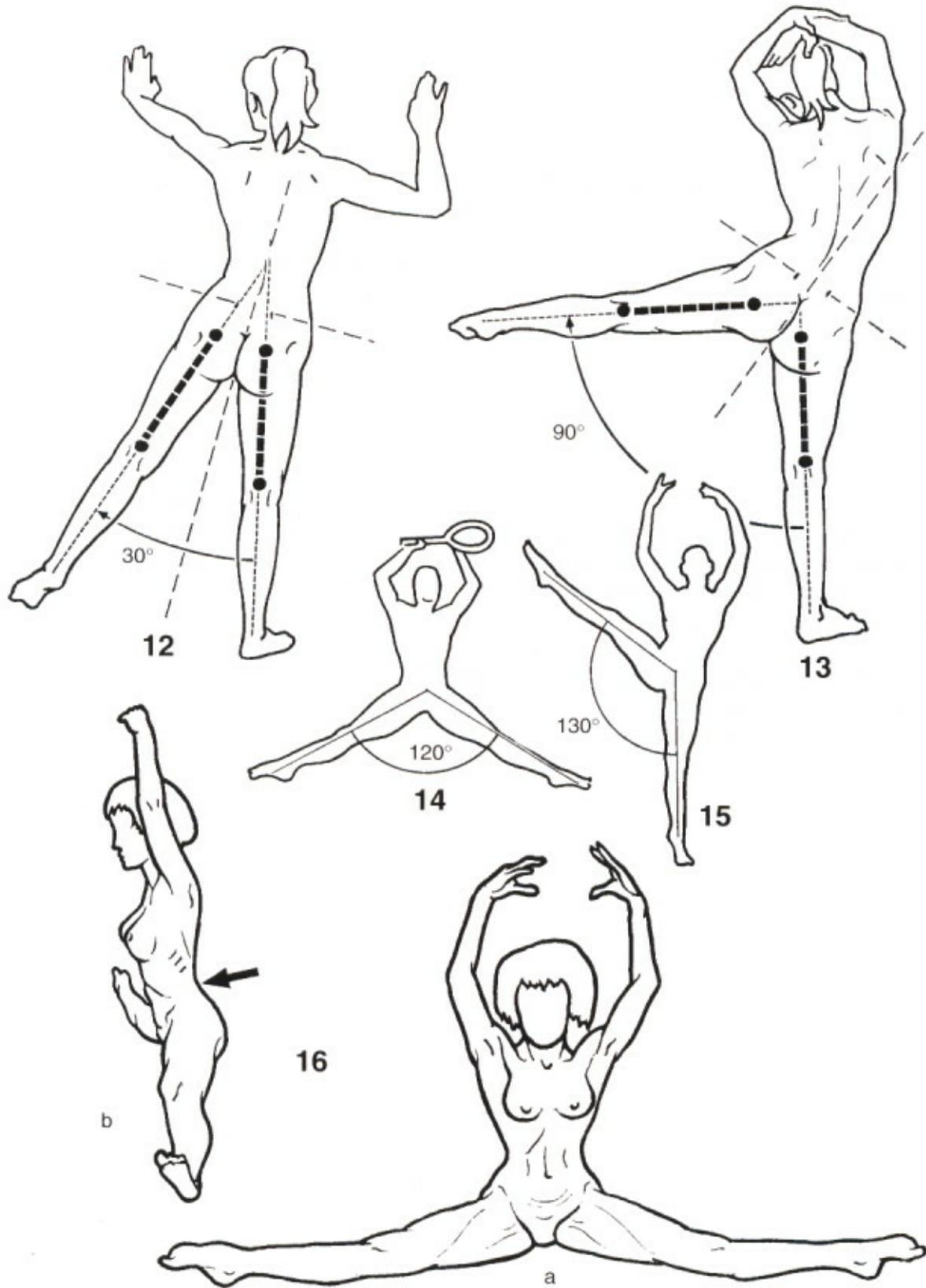
Si teóricamente es factible realizar la abducción de una sola cadera, *en la práctica la abducción de una cadera se acompaña de una abducción idéntica de la otra cadera*. Esto ocurre a partir de los 30° (Fig. 12), amplitud en la que se inicia una basculación de la pelvis mediante la inclinación de la línea que une las dos fosas laterales e inferiores (que corresponden a la proyección cutánea de las espinas ilíacas posterosuperiores). Prolongando el eje de ambos miembros inferiores, se constata que se cortan en el eje simétrico de la pelvis: por lo tanto, se puede deducir que en esta posición ambas caderas están en abducción de 15°.

Cuando se completa el **movimiento de abducción** (Fig. 13), el ángulo formado por los dos miembros inferiores alcanza los 90°. La simetría de abducción de ambas caderas reaparece, pudiendo deducir que la máxima amplitud de abducción de una cadera es de 45°. Obsérvese que, en ese preciso instante, la pelvis tiene una

inclinación de 45° con respecto a la horizontal, del lado de la carga. El raquis, en conjunto, compensa esta inclinación de la pelvis mediante una convexidad hacia el lado que carga. Nuevamente reaparece *la participación del raquis en los movimientos de cadera*.

La abducción está limitada por el impacto óseo del cuello del fémur con la ceja cotiloidea (véase página 34) aunque antes de que esto ocurra intervienen los músculos aductores y los ligamentos ilio y pubofemorales (véase pág. 42).

Mediante ejercicio y entrenamiento adecuados, es posible aumentar la máxima amplitud de abducción, como en el caso de las bailarinas, que pueden alcanzar de 120° (Fig. 14) a 130° (Fig. 15) de abducción *activa*, es decir sin apoyo. En cuanto a la abducción *pasiva*, los individuos que se entrenan pueden alcanzar los 180° de *abducción frontal* (Fig. 16a); en realidad, ya no se trata de abducción pura, puesto que para distender los ligamentos de Bertin la pelvis bascula hacia delante (Fig. 16b) mientras que el raquis lumbar se hiperlordosa (flecha) de forma que la cadera está en abducción-flexión.



MOVIMIENTOS DE ADUCCIÓN DE LA CADERA

La aducción lleva el miembro inferior **hacia dentro** y lo aproxima al plano de simetría del cuerpo. Dado que en la posición de referencia ambos miembros inferiores están en contacto, no existe movimiento de *aducción "pura"*.

Sin embargo, existen movimientos de **aducción relativa** (Fig. 17) cuando, a partir de una posición de abducción, el miembro inferior se dirige hacia dentro.

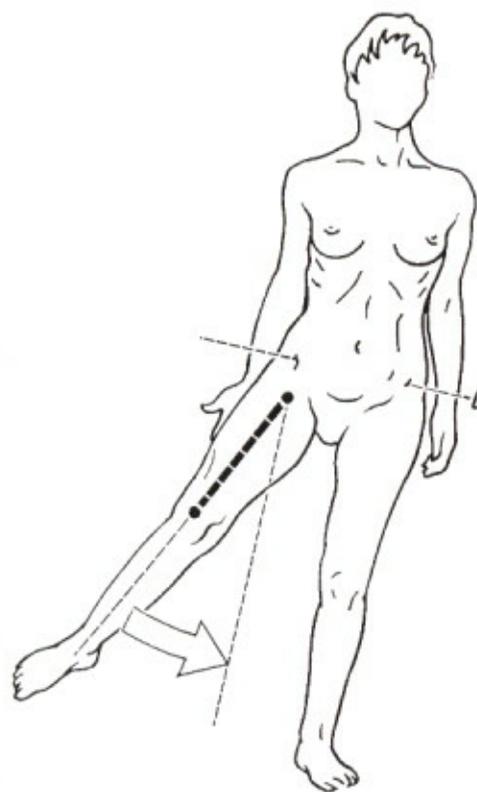
También existen movimientos de **aducción combinados con extensión de cadera** (Fig. 18) y **movimientos de aducción combinados con flexión de cadera** (Fig. 19).

Por último, existen movimientos de **aducción de una cadera combinados con una abducción de la otra cadera** (Fig. 20), acompañados de una inclinación de la pelvis y de una

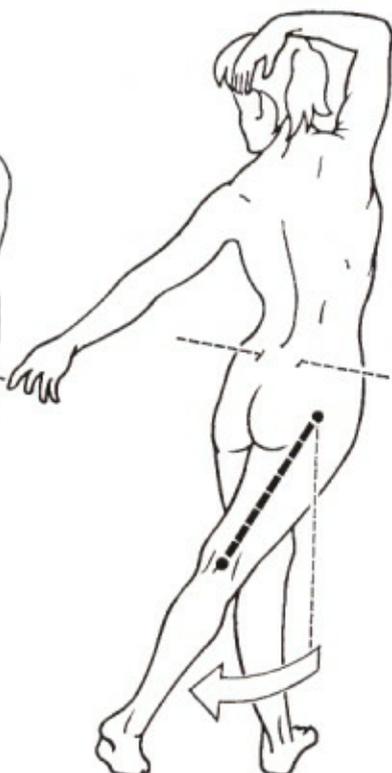
incurvación del raquis. Recalcar que a partir del momento en el que los pies se separan –y esto es necesario para asegurar el equilibrio del cuerpo– el ángulo de aducción de una cadera no es exactamente el mismo que el ángulo de abducción de la otra cadera (Fig. 21): su diferencia es el ángulo formado por los ejes de ambos miembros inferiores en la posición simétrica de partida.

En todos estos movimientos de aducción combinada, *la amplitud máxima de aducción es de 30°*.

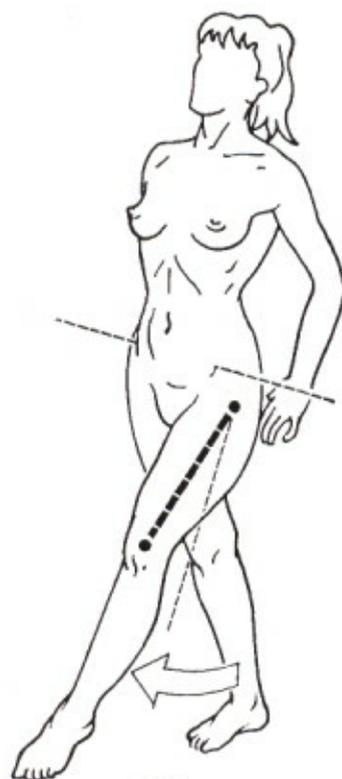
De entre todos estos movimientos de aducción combinada, hay uno que efectúa una posición bastante frecuente (Fig. 22): la sedestación con las piernas cruzadas. En este caso, la aducción se asocia a la flexión y rotación externa de cadera y es la posición más *inestable* para la cadera (véase pág. 46).



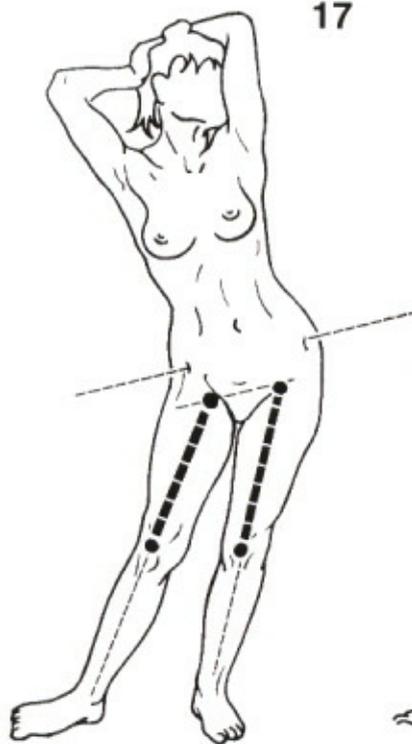
17



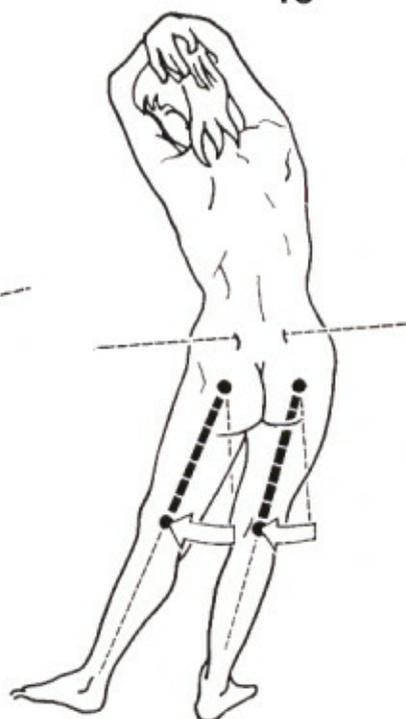
18



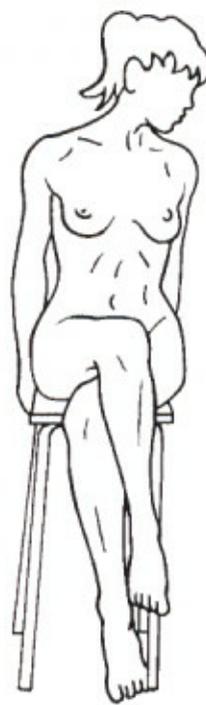
19



20



21



22

MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN LONGITUDINAL DE LA CADERA

Los movimientos de rotación longitudinal de la cadera se realizan alrededor *del eje mecánico del miembro inferior* (eje OR en la figura 1). En la posición normal de alineamiento, este eje se confunde con el eje vertical de la articulación coxofemoral (eje OZ, Fig. 1). En estas condiciones, la **rotación externa** es el movimiento que dirige la punta del pie *hacia fuera*, mientras que la **rotación interna** dirige la punta del pie *hacia dentro*. Cuando la rodilla está totalmente extendida no existe ningún movimiento de rotación en la misma (véase pág. 136), siendo la cadera, en este caso, la única responsable de los movimientos de rotación.

Sin embargo, ésta no es la posición utilizada para apreciar la amplitud de los movimientos de rotación. Es preferible realizar este estudio con el individuo en decúbito prono, o sentado en el borde de una camilla con la rodilla flexionada en ángulo recto.

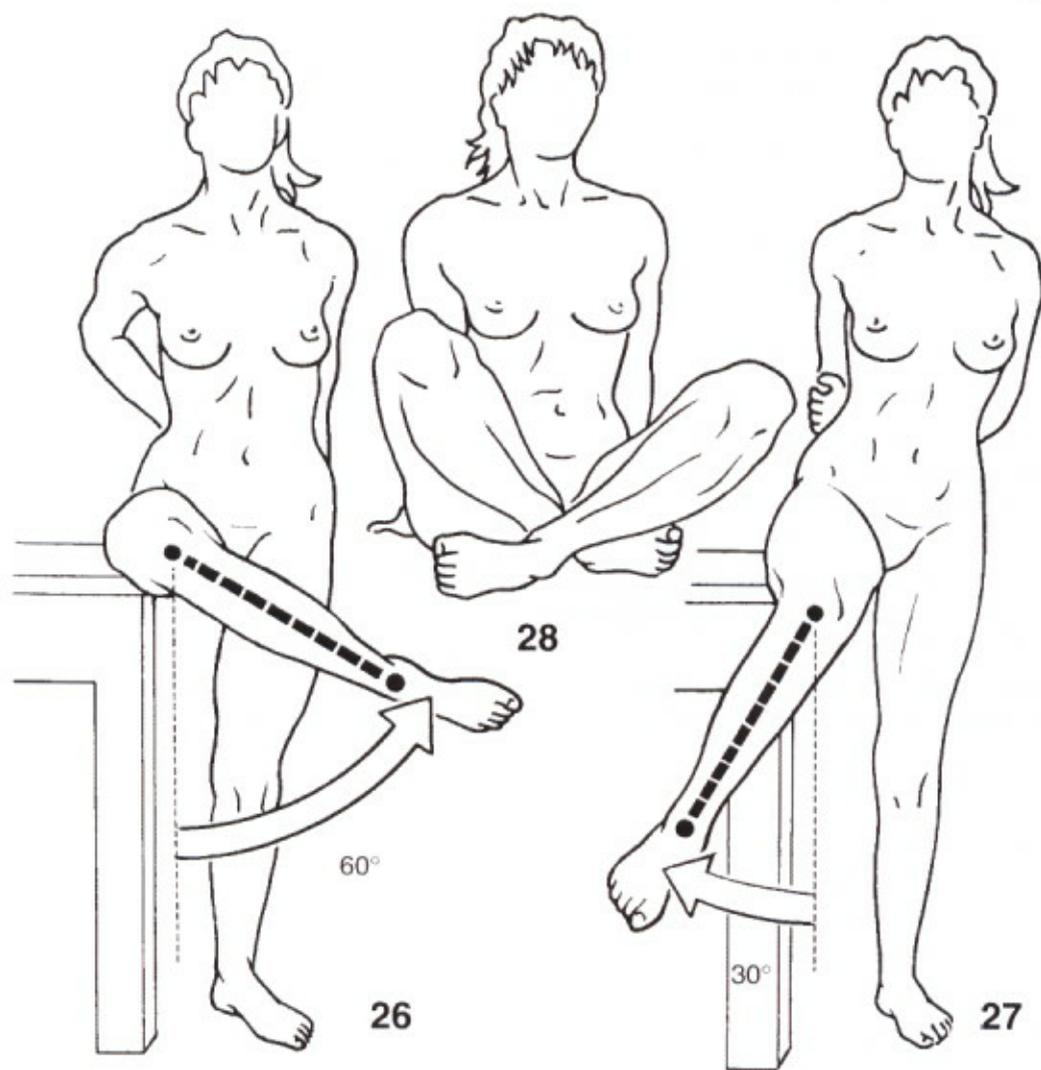
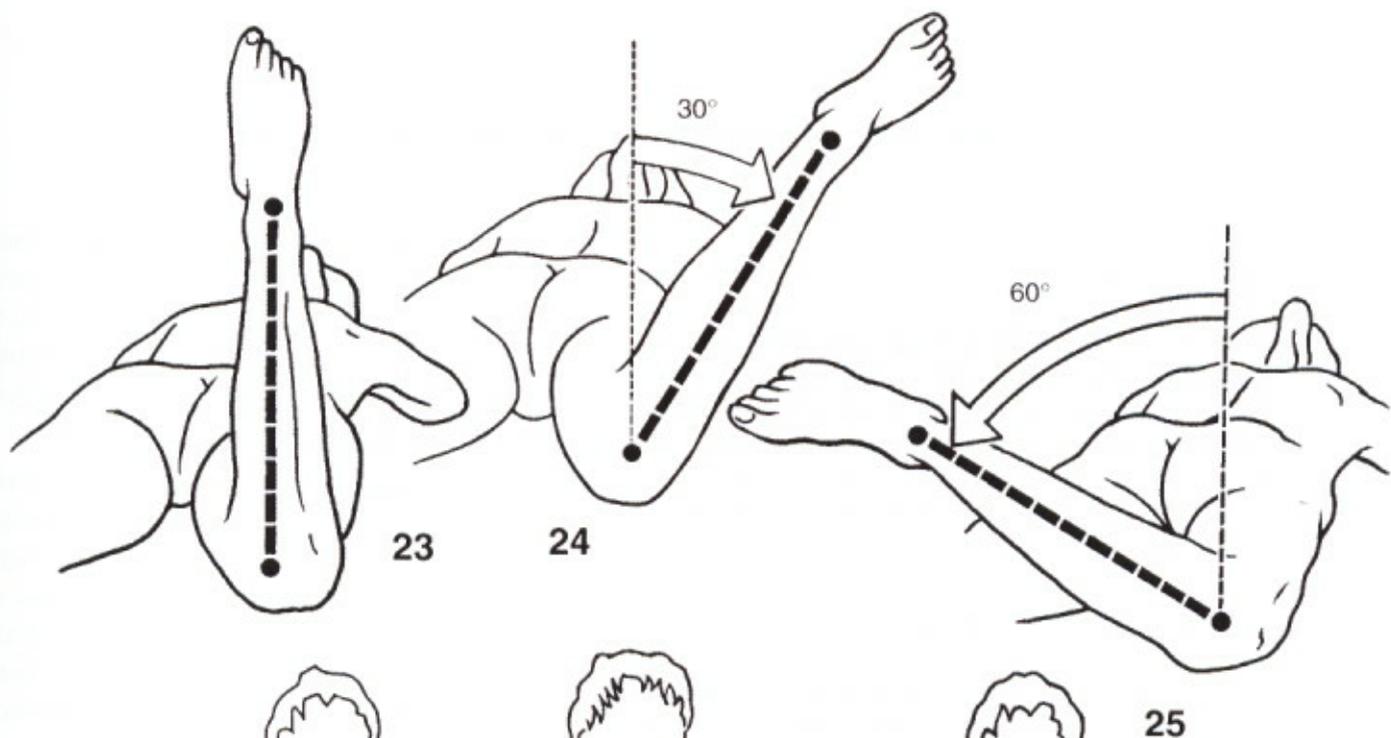
En *decúbito prono*, la **posición de referencia** (Fig. 23) se obtiene cuando la rodilla flexionada en ángulo recto está *vertical*. A partir de esta posición, cuando la pierna se dirige *hacia fuera*, se mide la **rotación interna** (Fig. 24), cuya amplitud máxima es de 30 a 40°. Cuando la pierna se dirige *hacia dentro*, se mide la **rotación externa** (Fig. 25), cuya amplitud máxima es de 60°.

En *sedestación al borde de la camilla*, cadera y rodilla flexionadas en ángulo recto, la **rotación externa** se mide igual que en el caso anterior, cuando la pierna se dirige hacia dentro (Fig. 26), con el muslo girando en el sitio, y la **rotación interna** cuando la pierna se dirige hacia fuera (Fig. 27). En esta posición, la amplitud máxima de la rotación externa puede ser *mayor* que en la posición de decúbito prono, ya que la flexión de la cadera distiende los ligamentos ilio y pubofemorales, que son los principales factores limitantes de la rotación externa (véase pág. 40).

En la posición de sedestación con las piernas cruzadas (Fig. 28), la rotación externa se combina con una flexión que sobrepasa los 90° y con una abducción. Los adeptos al yoga llegan a forzar la rotación externa hasta tal punto que los ejes de ambas piernas quedan paralelos, superpuestos y horizontales (posición denominada de "loto").

La amplitud de las rotaciones depende del ángulo de anteversión del cuello femoral. Esta anteversión está, por lo general, muy acentuada en el niño, lo que conlleva una *rotación interna de la pierna* —el niño anda con "los pies hacia dentro" y presenta con frecuencia *un pie plano valgo bilateral*—. Con el crecimiento, el ángulo de anteversión recupera su valor normal, haciendo que los problemas citados anteriormente desaparezcan. Sin embargo, es necesario citar una circunstancia en la que la anteversión puede permanecer perenne e incluso exagerada: algunos niños adquieren el hábito de *sentarse en el suelo sobre sus talones* con las rodillas flexionadas, esto conlleva una rotación interna del fémur y, como la plasticidad del esqueleto es todavía muy grande, una anteversión exagerada de los cuellos femorales. Una forma de remediar esta situación es obligar al niño a adoptar una actitud inversa, es decir *sentarse con las piernas cruzadas*, o todavía mejor, en la *posición de yoga*, lo que, con el tiempo, moldea el cuello femoral en retroversión.

La medición del ángulo de anteversión de los cuellos femorales planteaba, hasta hace poco, al menos con el método radiológico clásico, algunas dificultades para interpretar los resultados. En la actualidad, gracias al **escáner**, esta medición se lleva a cabo de forma simple y precisa. Por lo tanto, conviene utilizar este método cuando se pretende diagnosticar rotaciones defectuosas de los miembros inferiores, ya que, por lo general, el problema se inicia en la cadera.



EL MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN DE LA CADERA

Como en el caso de todas las articulaciones que tienen tres grados de libertad, el movimiento de circunducción de la cadera se define como la **combinación simultánea de movimientos elementales efectuados alrededor de tres ejes**. Cuando la circunducción alcanza su máxima amplitud, el eje del miembro inferior describe en el espacio un cono cuyo vértice resulta ser el *centro de la articulación coxofemoral*: es el **cono de circunducción** (Fig. 29).

Este cono dista mucho de ser regular, puesto que las amplitudes máximas no son iguales en todas las direcciones del espacio; por lo tanto, la trayectoria descrita por la porción distal del miembro inferior no es un círculo, sino una *curva sinuosa* que recorre distintos sectores del espacio determinados por la intersección de los tres planos de referencia:

- A) Plano sagital, en el que se realizan los movimientos de flexo-extensión.
- B) Plano frontal, en el que se ejecutan los movimientos de abducción-aducción.
- C) Plano horizontal.

Los ocho sectores del espacio numerados del I al VIII demuestran que la trayectoria atraviesa sucesivamente los sectores III, II, I, IV, V y VIII*.

* Nota del autor: los sectores VI, VII y VIII no son visibles en la figura ya que están situados por detrás, entre los planos I y II. Se deducen por razonamiento lógico.

Obsérvese cómo la trayectoria contornea el miembro en carga; si este último se desviase, la

trayectoria sufriría un ligero desplazamiento hacia dentro. La flecha R que prolonga hacia abajo, adelante y afuera el miembro inferior en el sector IV representa el **eje del cono de circunducción**, que corresponde a la *posición tanto funcional como de inmovilización de la cadera*.

Strasser propuso proyectar esta trayectoria sobre una esfera (Fig. 30) cuyo centro O lo ocupa el centro de la articulación coxofemoral, cuyo radio OL está formado por el fémur y en la que el eje de los polos EI es horizontal. En la citada esfera se pueden señalar las amplitudes máximas gracias a un sistema de meridianos y de paralelos (ausentes en esta figura).

Se propuso este mismo sistema de medición para el hombro, aunque en este último caso es ciertamente mucho más interesante, puesto que la rotación sobre el eje longitudinal es mayor para el miembro superior que para el inferior.

A partir de una posición determinada OL del fémur, la articulación puede realizar movimientos de abducción (flecha Ab) o de aducción (flecha Ad) recorriendo el meridiano horizontal (MH), movimientos de rotación interna (flecha rI) o de rotación externa (rE) mediante rotación alrededor del eje OL. En cuanto a los movimientos de flexoextensión, éstos son de dos tipos según se efectúen en el sentido del *paralelo P*—se dice entonces que la flexión F1 es *circumpolar*—o en el sentido del *gran círculo C*—en cuyo caso se dice que la flexión F2 es *circuncentral*—. Estas distinciones no parecen tener demasiada utilidad práctica.

ORIENTACIÓN DE LA CABEZA FEMORAL Y DEL CÓTILO

(las explicaciones son comunes a todas las figuras)

La articulación coxofemoral es una **enartrosis**: sus superficies articulares son **esféricas**.

La **cabeza femoral** (Fig. 31: vista anterior) está constituida por los 2/3 de una esfera de 40 a 50 mm de diámetro. Por su centro geométrico O pasan los tres ejes de la articulación: eje horizontal (1), eje vertical (2), eje anteroposterior (3). El cuello femoral sirve de soporte a la **cabeza femoral** a la par que asegura su unión con la diáfisis. El eje del cuello femoral (flecha Cf) es oblicuo hacia arriba, hacia dentro y hacia delante, formando así el eje diafisario (D), ángulo denominado "*de inclinación*", de 125° en el adulto; con el plano frontal (Fig. 37: vista superior) forma un ángulo denominado "*de declinación*", de 10 a 30°, abierto hacia dentro y *hacia delante* y también denominado ángulo de *anteversión*. De esta forma (Fig. 34: vista posterointerna), el plano frontal vertical que pasa por la cabeza femoral y el eje de los cóndilos (plano P) deja *tras de sí*, casi en su totalidad, la diáfisis femoral y su extremo superior; *dicho plano P contiene el eje mecánico MM'* del miembro inferior, que junto con el eje diafisario (D) forma un ángulo de 5 a 7° (véase pág. 76).

La forma de la cabeza y el cuello varía según individuos, esto hizo que los antropólogos constataran que respondía a una determinada adaptación funcional. Por lo tanto, se distinguen dos tipos extremos (Fig. 35 según Bellugue):

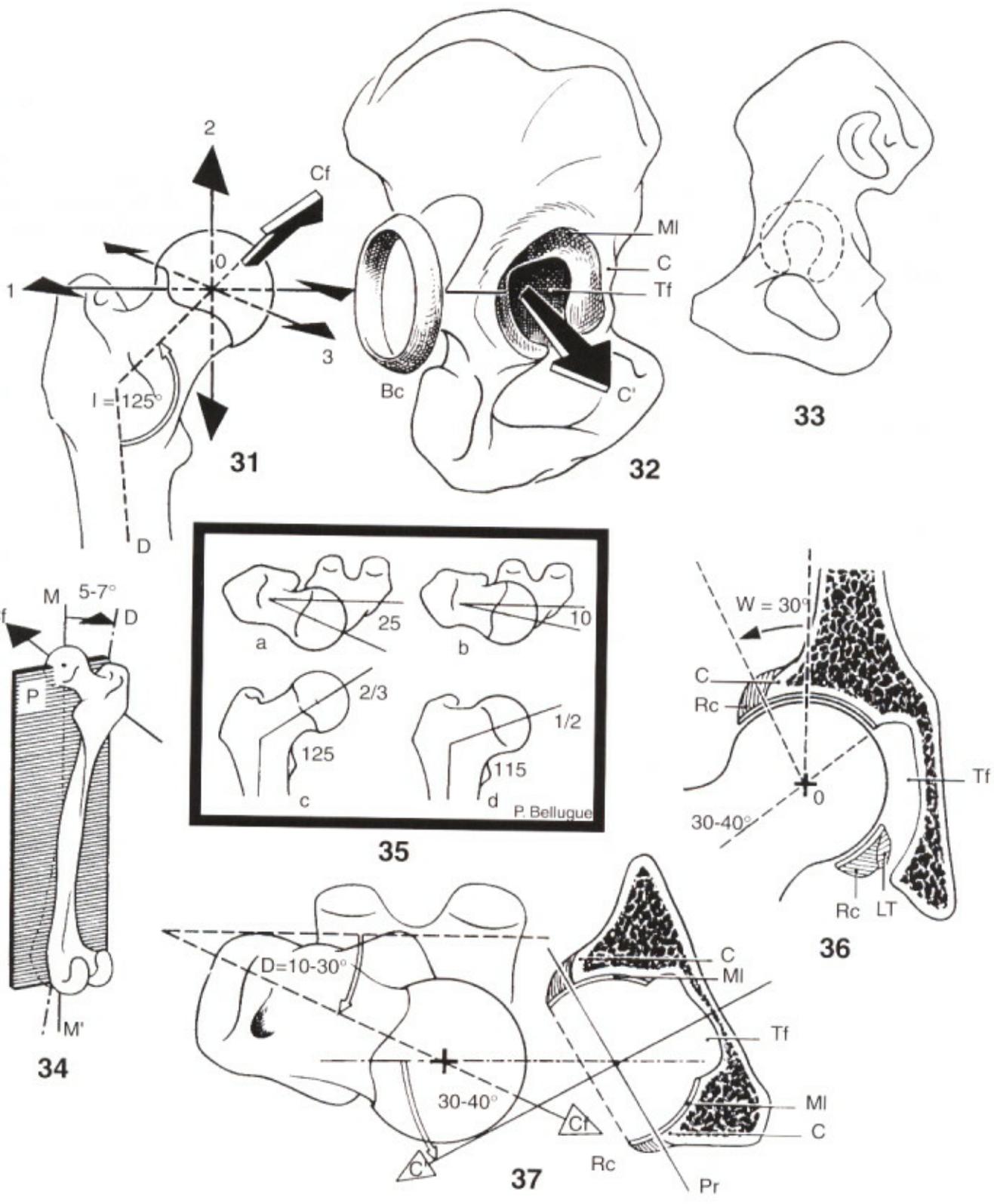
- un tipo "longilíneo" donde la cabeza representa más de los 2/3 de una esfera y los ángulos cervico-diafisarios son máximos (I = 125°, D = 25°). La diáfisis femoral es delgada y la pelvis pequeña y alta. Una morfología como ésta favorece grandes amplitudes articulares y corresponde a una adaptación a la velocidad de la carrera (esquemas a y c);
- un tipo "brevilíneo": la cabeza apenas sobrepasa la hemiesfera, los ángulos son pequeños (I = 115°, D = 10°), la diáfisis es más ancha y la pelvis maciza y ancha. La amplitud articular no es tan grande, y lo que pierde en velocidad lo gana en robustez (b y d). Es una morfología de "fuerza".

La **cavidad cotiloidea** (Fig. 32: vista externa) recibe a la cabeza femoral; está situada en la cara externa del hueso iliaco, en la unión de las tres partes que lo componen. Tiene forma de *hemiesfera* limitada en su contorno por la *ceja cotiloidea* (C). Tan sólo la periferia del cótilo está recubierta de cartilago: es la *media luna articular* (MI), interrumpida en su parte inferior por la *escotadura* profunda isquiopúbica. La parte central del cótilo está por detrás de la media luna articular y, por lo tanto, no contacta con la cabeza femoral: es el *trasfondo cotiloideo* (Tf) al que una fina lámina ósea separa de la superficie endopélvica del hueso iliaco (Fig. 33: hueso transparente). Más adelante se verá (pág. 32) cómo el *rodete cotiloideo* (Rc) se encaja en la ceja cotiloidea.

El cótilo no está orientado directamente hacia afuera, sino que "mira" *hacia abajo y hacia delante* (la flecha C' representa el eje del cótilo). En un corte vertical del mismo (Fig. 36) se puede ver con claridad esta orientación hacia abajo: el eje del cótilo forma un ángulo de 30 a 40° grados con la horizontal, esto implica que la parte superior del cótilo rebasa la cabeza por fuera; este avance se mide por el ángulo de recubrimiento W, que generalmente es de 30° (ángulo de Wiberg). En el techo del cótilo es donde la presión de la cabeza es mayor y el cartilago de la misma y de la media luna articular es más espeso. En un corte horizontal (Fig. 37) se pone de manifiesto la orientación hacia delante: el eje del cótilo (C') forma un ángulo de 30 a 40° con el plano frontal. Se distingue también el *trasfondo* (Tf) por detrás de la media luna (MI) y el *rodete* (Rc) encajado en la ceja cotiloidea. El plano tangencial a la ceja cotiloidea (Pr) es oblicuo hacia delante y hacia dentro.

En la práctica, para realizar estos dos tipos de corte se recurre a:

- en el caso del corte verticofrontal, a la **tomorradiografía**, que proporciona una imagen semejante a la figura 36;
- en el caso del corte horizontal, al **examen escanográfico** de la cadera, que proporciona una imagen semejante a la figura 37 y permite medir el ángulo de anteversión del cótilo y del cuello femoral, lo que es muy útil para el diagnóstico de las displasias de cadera.



NEXOS DE LAS SUPERFICIES ARTICULARES

Cuando la cadera está **alineada** (Fig. 38), lo que corresponde a la *bipedestación* también denominada posición "erguida" (Fig. 39), la cabeza femoral no está totalmente recubierta por el cótilo, toda la parte anterosuperior de su cartílago está al descubierto (flecha, figura 38). Esto se debe (Fig. 44: vista en perspectiva de los tres planos de referencia de la cadera derecha) a que el eje del cuello femoral (Cf) oblicuo hacia arriba, hacia delante y hacia dentro no está en la prolongación del eje del cótilo (C') oblicuo hacia abajo, *hacia delante* y hacia fuera. Mediante un modelo de la articulación de la cadera (Fig. 40), se puede constatar la siguiente disposición: una esfera sujeta por un tallo curvo de acuerdo con los ángulos de inclinación y de declinación, el plano D representa el plano que pasa por los ejes diafisario y transversal de los cóndilos. Por otra parte, un hemisferio convenientemente orientado con respecto a un plano sagital S; un pequeño plano F representa el plano frontal que pasa por el centro del hemisferio. En la posición erguida, la esfera queda ampliamente descubierta por arriba y por delante: la media luna negra representa la parte del cartílago que no está cubierta.

Haciendo girar de determinada manera el hemisferio-cótilo con respecto a la esfera-cabeza

femoral (Fig. 43), se llega a hacer coincidir totalmente las superficies articulares de la cabeza y el cótilo: en este caso la media luna negra desaparece totalmente. Gracias a los planos de referencia S y P es fácil constatar que para hacer coincidir las superficies articulares son necesarios *tres movimientos elementales*:

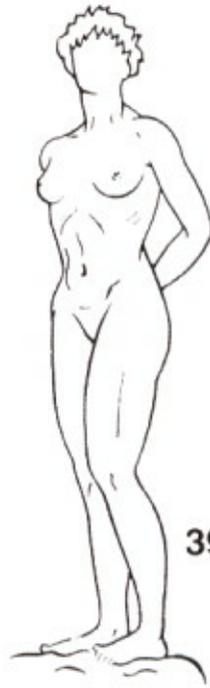
- una flexión próxima a los 90° (flecha 1);
- una ligera abducción (flecha 2);
- una ligera rotación externa (flecha 3).

En esta nueva posición (Fig. 45), el eje del cótilo C' se ha alineado en C'' con el eje del cuello.

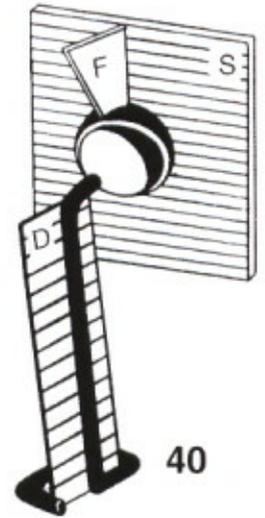
En el esqueleto (Fig. 41), la coincidencia de las superficies articulares puede conseguirse mediante los mismos movimientos de flexión, abducción y rotación externa: la cabeza se encaja totalmente en el cótilo. Esta posición de la cadera corresponde a la *situación de cuadrupedia* (Fig. 42), que es, por lo tanto, la auténtica *posición fisiológica de la cadera*. La evolución que hizo que el hombre pasara de la *marcha cuadrúpeda a la bípeda* es responsable de la **no coincidencia de las superficies articulares de la coxofemoral**. Por otra parte, esta no coincidencia de las superficies articulares puede utilizarse como un argumento a favor del origen cuadrúpedo del hombre.



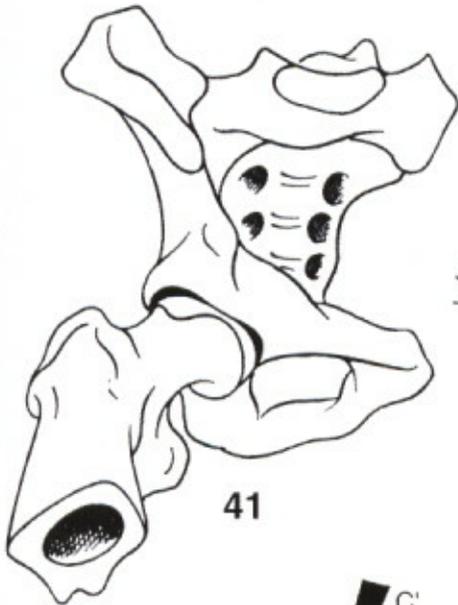
38



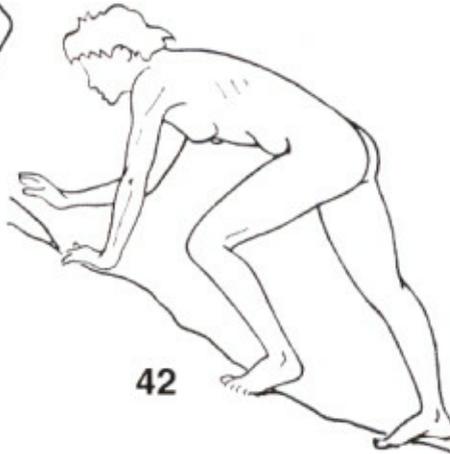
39



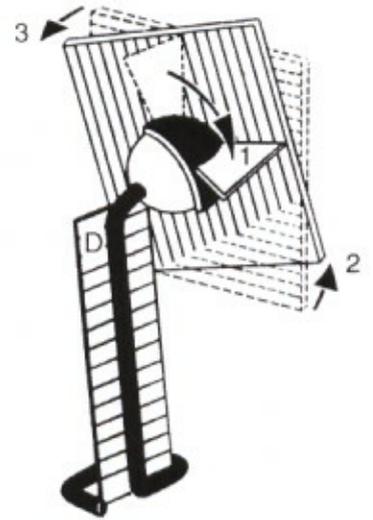
40



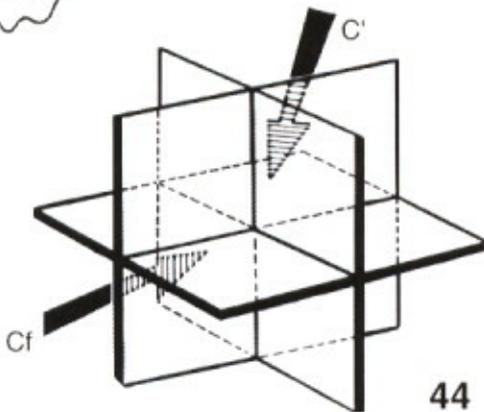
41



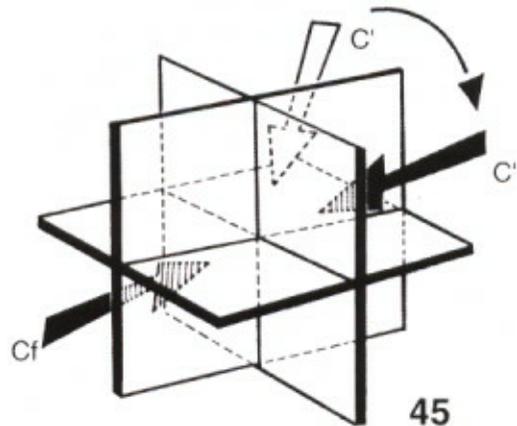
42



43



44



45

ARQUITECTURA DEL FÉMUR Y DE LA PELVIS

La cabeza, el cuello y la diáfisis femoral forman un conjunto que realiza lo que se denomina en mecánica un *voladizo*. En efecto, el peso del cuerpo que recae sobre la cabeza femoral se transmite a la diáfisis femoral *a través de un brazo de palanca*: el cuello femoral. Se puede observar el mismo sistema en "voladizo" en una *horca* (Fig. 50), donde la fuerza vertical tiende a "cizallar" la barra horizontal en el punto de unión con el mástil y a cerrar el ángulo que forman ambas piezas. Para evitar un accidente de este calibre, basta con intercalar oblicuamente una *jamba de fuerza*.

El cuello del fémur constituye la barra superior de la horca y observando el miembro inferior en su conjunto (Fig. 48) se puede constatar que el eje mecánico (trazos gruesos) en el que se alinean las tres articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo, deja por fuera la horca femoral (obsérvese también que el eje mecánico no coincide con la vertical, representada en la figura por una línea a trazos intercalados de distinto tamaño). Se podrá ver más adelante (Fig. 128) el interés mecánico de esta disposición.

Para evitar el cizallamiento de la base del cuello del fémur (Fig. 51), **el extremo superior del fémur posee una estructura** muy visible sobre un corte vertical de hueso seco (Fig. 46). Las láminas del hueso esponjoso están dispuestas en *dos sistemas de trabéculas* que corresponden a *líneas de fuerza mecánicas*.

- un sistema **principal** formado por *dos haces de trabéculas* que se expanden sobre el *cuello* y la *cabeza*:
 - el *primero* (1) se origina en la cortical externa de la diáfisis y se acaba en la parte inferior de la cortical cefálica. Es el haz arciforme de Gallois y Bosquette;
 - el *segundo* (2) se expande desde la cortical interna de la diáfisis y la cortical inferior del cuello y se dirige verticalmente hacia la parte superior de la cortical cefálica: es el haz cefálico o **abanico de sustentación**.

Culmann demostró que si se carga excéntricamente un tubo de ensayo en forma de cayado o grúa (Fig. 49) se pueden hacer aparecer *dos abanicos de líneas de fuerza*: uno oblicuo, en la convexidad, que correspondería a *fuerzas de tracción* y representa el homólogo del haz arciforme; y otro vertical, en la concavidad, que correspondería a *fuerzas de presión* y representa el haz cefálico (jamba de refuerzo de la horca):

- un **sistema accesorio** formado por *dos haces* que se expanden hacia el *trocánter mayor*:
 - el *primero* (3), a partir de la cortical interna de la diáfisis: es el *haz trocántereo*;
 - el *segundo* (4), de menor importancia, formado por fibras verticales paralelas a la cortical externa del trocánter mayor.

Hay que recalcar **tres puntos**:

- 1º En la meseta trocánterea se constituye un *sistema ojival* mediante la convergencia de los haces arciforme (1) y trocántereo (3). El cruce de estos dos pilares forma una *clave de arco* más densa que desciende de la cortical superior del cuello. El pilar interno es menos sólido y se debilita todavía más a medida que aumenta la edad, debido a la osteoporosis senil.
- 2º En el cuello y la cabeza se constituye *otro sistema ojival* formado esta vez por la convergencia del haz arciforme (1) y del abanico de sustentación (2). En la intersección de estos dos haces, una zona más densa forma el *núcleo de la cabeza*. Este sistema cervicocefálico se apoya en una zona extremadamente sólida, la cortical inferior del cuello, que forma el *espolón cervical inferior* de Merkel (Ep), también denominado de Adams o "Calcar".
- 3º Entre el sistema ojival de la meseta trocánterea y el sistema de sustentación cervicocefálico existe una *zona menos resistente* (+) que la osteoporosis senil torna todavía más vulnerable, más frágil: precisamente ésta es la zona donde se localizan las fracturas cervico-trocántereas (Fig. 51).

La *estructura de la cintura pélvica* (Fig. 46) también se puede analizar del mismo modo. Formando un anillo totalmente cerrado, transmite las fuerzas verticales del raquis lumbar (flecha sombreada con trazos y desdoblada) hacia las dos coxofemorales.

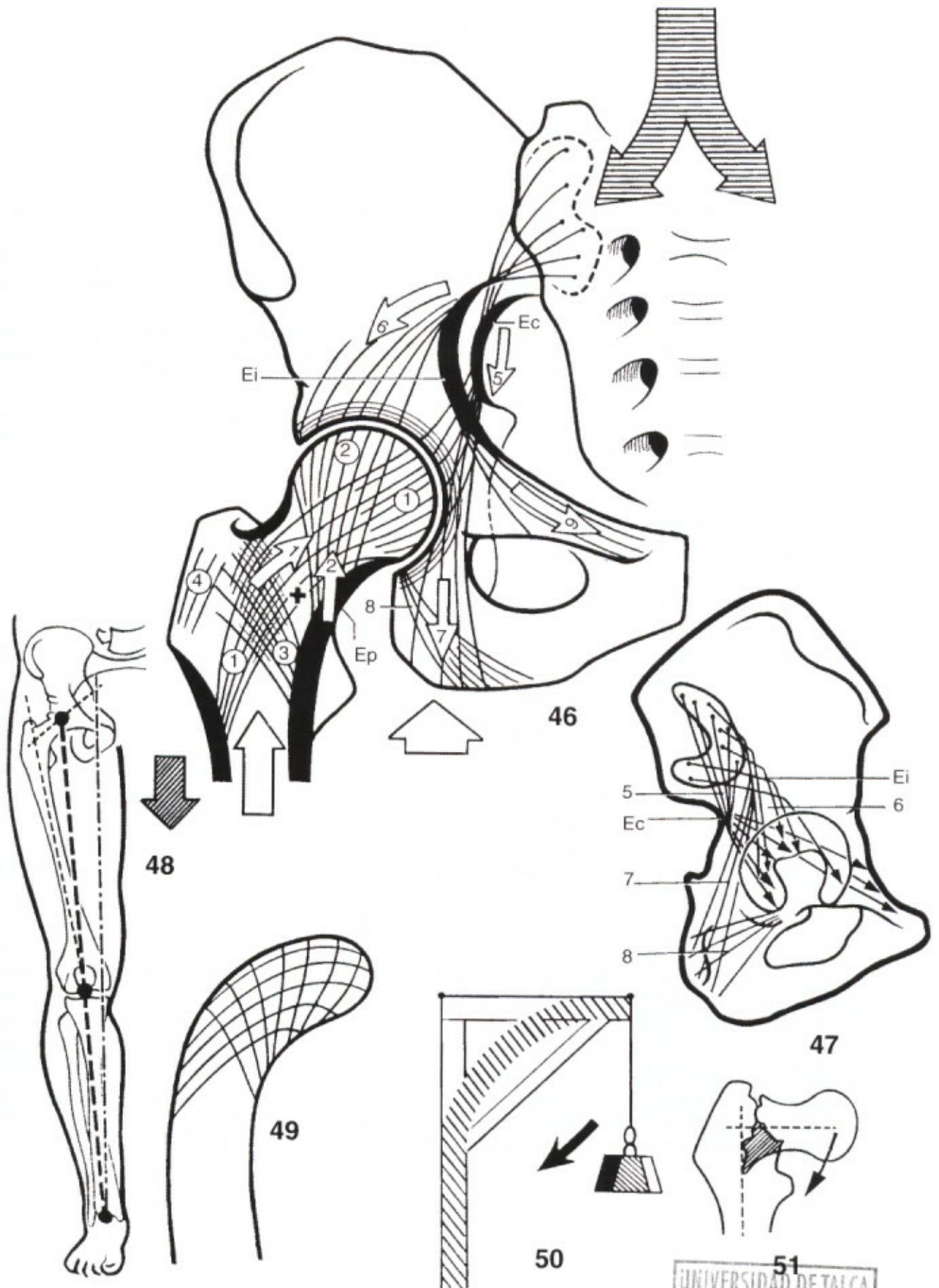
Existen dos *sistemas trabeculares principales* que transmiten las fuerzas a través de la carilla auricular, en dirección *al cótilo* y *al isquión* (Figs. 46 y 47).

- Las **trabéculas sacrocotiloideas** se organizan según dos sistemas:

- 1º El primero (5), procedente de la parte superior de la superficie auricular, se condensa en el borde posterior de la escotadura ciática -formando la *espina ciática* (Ec)- para expandirse en la parte inferior del cótilo, donde se continúa con las trabéculas de tracción del cuello femoral (1).
- 2º El segundo (6), procedente de la parte inferior de la superficie auricular, se condensa a la altura del estrecho superior -formando la *espina innominada* (Ei)- para expandirse en la parte superior del cótilo donde se continúa con las trabéculas de presión del abanico de sustentación (2).

- Las **trabéculas sacroisquiáticas** (7) se originan en la superficie auricular con los dos haces citados anteriormente, para descender hasta el isquión. Se entrecruzan con las trabéculas que nacen en la ceja cotiloidea (8). Este sistema de trabéculas isquiáticas soporta el peso del cuerpo en sedestación.

- Por último, las trabéculas originadas en la espina innominada (Ei) y en la espina ciática (Ec) se insertan en la rama horizontal del pubis, completando de esta manera el anillo pélvico.



EL RODETE COTILOIDEO Y EL LIGAMENTO REDONDO

El **rodete cotiloideo** (Rc) es un **anillo fibrocartilaginoso** que se inserta en la ceja cotiloidea (Fig. 52), aumentando notablemente la profundidad de la cavidad cotiloidea (véase pág. 44) e igualando las irregularidades de la ceja (C): extirpando la parte superior del rodete, se puede ver la *escotadura iliopúbica* (EP). En cuanto a la *escotadura isquiopúbica* (EIP), la más profunda de las tres, el rodete forma un puente insertándose en el *ligamento transverso del acetábulo* (LT), fijo a su vez en los dos bordes de la escotadura: en el esquema se ha "desmontado" LT y Rc. En el corte (Fig. 53), el rodete se fija con firmeza en el borde del ligamento transverso (véase también la Fig. 36).

De hecho, en el corte se puede apreciar la forma **triangular** del rodete además de las **tres caras** que se describen a continuación: una cara *interna* que se inserta totalmente en la ceja y ligamento transverso; una cara *central* (que mira hacia el centro de la articulación) recubierta de cartilago, continuación de la media luna articular, y por lo tanto en contacto con la cabeza femoral, una cara *periférica* en la que se inserta la cápsula articular (Ca), pero esta inserción capsular sólo se da en la parte más interna de la citada cara, dejando libre el borde cortante del rodete dentro de la cavidad articular; de esta forma, aparece delimitado entre el rodete y la cápsula un receso circular (Fig. 54 según Rouvière), denominado *pliegue perilímbico* (Pp).

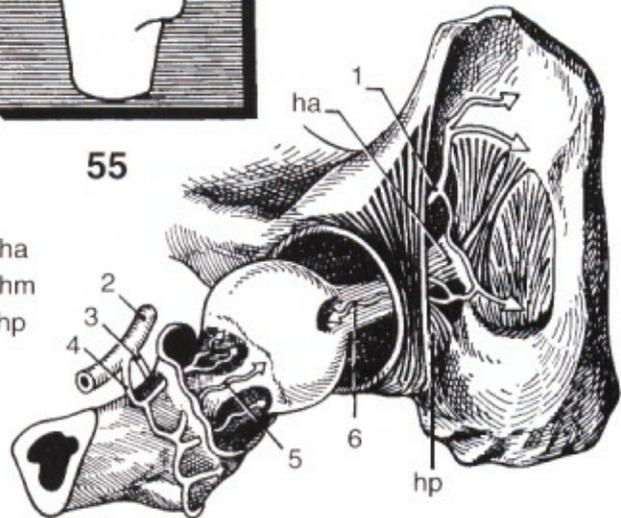
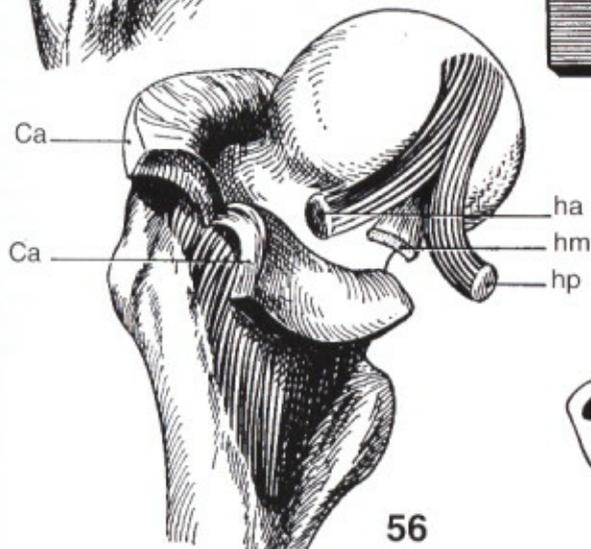
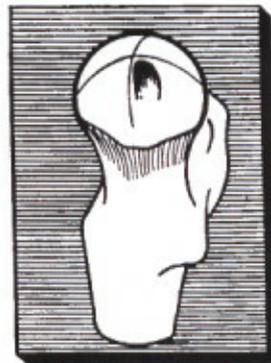
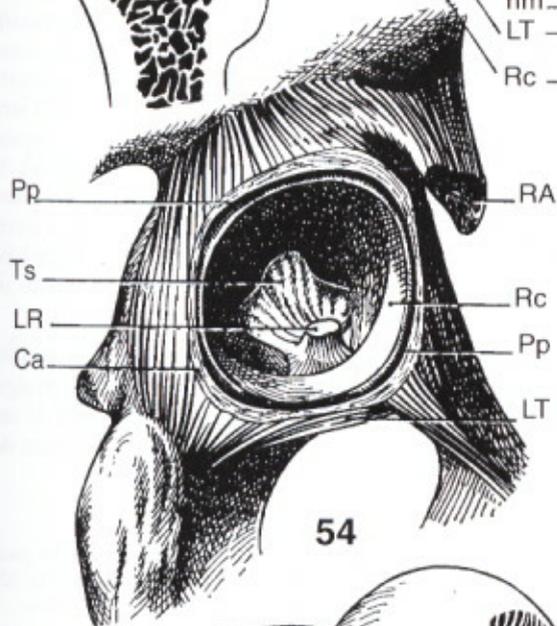
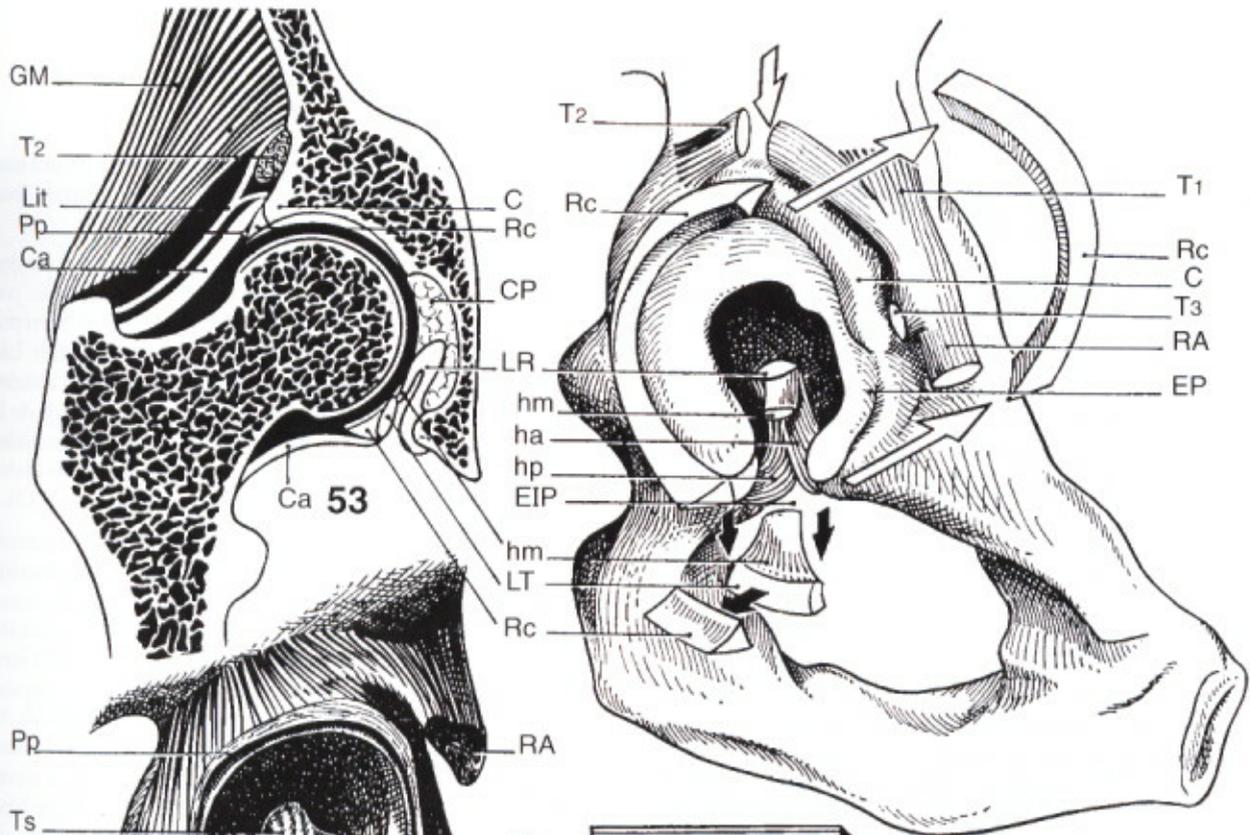
El **ligamento redondo** (LR) es una cintilla aplanada fibrosa (Fig. 56), de 30-35 mm de largo, que se extiende desde la escotadura isquiopúbica (Fig. 52) a la cabeza femoral y se aloja en el trasfondo del cótilo (Fig. 53). *Su inserción en la cabeza femoral* (Fig. 55) se sitúa en la parte superior de una *pequeña fosa apenas localizada* por debajo y por detrás del centro de la superficie cartilaginosa; en la parte inferior de la fosita, el ligamento se

limita a deslizarse sobre ella. La cintilla se divide en *tres haces*:

- un *haz posterior isquiático* (hp), el de mayor longitud, que sale por la escotadura isquiopúbica, pasando por debajo del ligamento transverso (Fig. 52), para insertarse por debajo y por detrás del cuerno posterior de la media luna articular,
- un *haz anterior púbico* (ha) que se fija en la misma escotadura, por detrás del cuerno anterior de la media luna articular,
- un *haz medio* (hm) más delgado, que se inserta en el borde superior del ligamento transverso (Fig. 52).

El ligamento redondo se localiza (Fig. 53), junto con tejido celulo-adiposo, en la cavidad posterior (CP), donde está recubierto por la *sinovial* (Fig. 54); esta membrana se inserta, por una parte, en el borde central de la media luna articular y en el borde superior del ligamento transverso y, por otra, en la cabeza femoral, en el borde de la fosita de inserción del ligamento redondo. Por lo tanto, la sinovial tiene, aproximadamente, una forma troncocónica, por lo que se la denomina la *tienda del ligamento redondo* (Ts).

El ligamento redondo no desempeña una función mecánica importante, a pesar de ser extremadamente resistente (carga de ruptura = 45 kg); sin embargo, contribuye a la *vascularización de la cabeza femoral*. De hecho (Fig. 57: vista inferior según Rouvière), la rama posterior de la arteria obturatriz (1) desprende una arteriola, la *arteria del ligamento redondo* (6), que pasa por debajo del ligamento transverso y penetra en el espesor del ligamento redondo. Por otra parte, la cabeza y el cuello están vascularizados por las arterias capsulares (5) ramas de las arterias circunflejas anterior (3) y posterior (4), colaterales de la **arteria femoral profunda** (2).



52

54

55

56

57

LA CÁPSULA ARTICULAR DE LA CADERA

La cápsula de la cadera tiene forma de **manguito cilíndrico** (Fig. 58) que se extiende desde el hueso ílfaco a la extremidad superior del fémur. Este manguito se constituye de *cuatro fibras tipo*:

- fibras *longitudinales* (1), de unión, paralelas al eje del cilindro;
- fibras *oblicuas* (2), también de unión, pero formando una espiral, más o menos larga, alrededor del cilindro;
- fibras *arciformes* (3), cuya única inserción es el hueso ílfaco, expandidas en forma de "guimaldas" de un punto a otro de la ceja cotiloidea, forman un arco, de longitud variable, cuya parte más prominente sobresale del centro del manguito. Estos arcos fibrosos "envuelven", a modo de un nudo de corbata, la cabeza femoral y contribuyen a mantenerla en el cótilo;
- fibras *circulares* (4), sin ninguna inserción ósea. Sobre todo abundantes en el centro del manguito, al que retraen ligeramente. Sobresalen en la cara profunda de la cápsula formando el *anillo de Weber o zona orbicular*, que rodea y ciñe el cuello.

Mediante su **extremo interno**, el manguito capsular se fija en la ceja cotiloidea (5), en el ligamento transverso y en la superficie periférica del rodete (véase pág. 32), estableciendo estrechos nexos con el tendón del recto anterior (RA, Fig. 52).

Su haz directo (T₁) se fija en la espina ílfaca anteroinferior, su haz reflejo (T₂) se fija en la parte posterior de la corredera supracotiloidea tras haberse deslizado por un desdoblamiento de la inserción capsular (Fig. 53) y del ligamento ilirotendinopetrocantéreo (Lit) que refuerza la parte superior de la cápsula (véase pág. 36); su haz recurrente (T₃) refuerza la parte anterior de la cápsula.

El extremo externo del manguito capsular no se inserta en el límite del cartilago de la cabeza, sino en la base del cuello, siguiendo una línea de inserción que pasa:

- por delante, a lo largo de la *línea intertrocantérea anterior* (6);
- por detrás (Fig. 59), no en la línea intertrocantérea posterior (7), sino en la unión del tercio externo y de los dos tercios internos de la cara posterior del cue-

llo (8), *justo por encima de la corredera* (9) del tendón del obturador externo, antes de fijarse en la fosa digital (Fd);

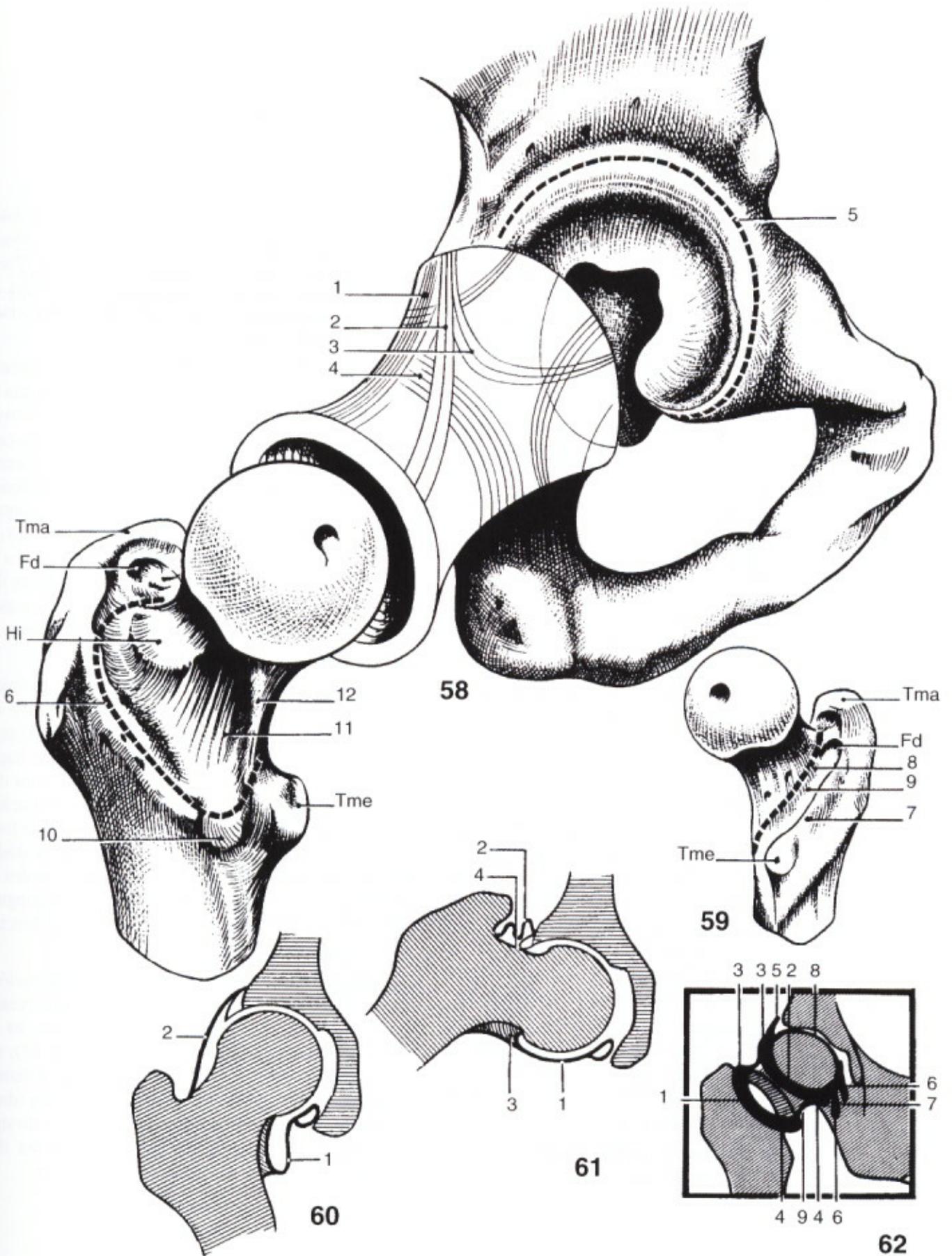
- la línea de inserción cruza, oblicuamente, los bordes superior e inferior del cuello. Por abajo, pasa por arriba de la fosita pretrocantíniana (10), y 1,5 cm por arriba y por delante del trocánter menor (Tme). Las fibras más profundas ascienden por la parte inferior del cuello para fijarse en el límite del cartilago de la cabeza. De esta forma elevan los pliegues sinoviales o *frenula capsulae* (11), el más saliente de todos forma el pliegue *pectíneo-foveal de Amantini* (12).

La utilidad de estos *frenula capsulae* se hace patente en los movimientos de abducción. De hecho, si en aducción (Fig. 60) la parte inferior de la cápsula (1) se distiende mientras que su parte superior (2) se tensa, durante la abducción (Fig. 61) la longitud de la parte inferior de la cápsula (1) sería insuficiente y limitaría el movimiento si las *frenula capsulae* (3), al desplegarse, no aportasen una holgura adicional. Se puede ver cómo la cápsula se repliega hacia arriba (2) mientras que el cuello se tropieza con la ceja cotiloidea a través del rodete (4) que se deforma y se aplasta: este mecanismo explica que el *rodete aumenta la profundidad del cótilo sin limitar el movimiento*.

En los movimientos de flexión extrema, la porción anterosuperior del cuello choca contra la ceja, lo que en algunos individuos deja en el cuello (Fig. 58) la marca de una huella ílfaca (Hi) localizada justo por debajo del límite del cartilago.

Infiltrando un producto opaco en la cavidad articular se puede obtener, radiológicamente, una **artrografía de la cadera** (Fig. 62), poniendo de manifiesto algunos detalles de la cápsula y del rodete.

El *anillo de Weber* o *zona orbicular* (9) forma un retracción evidente que divide la cavidad articular en dos compartimentos: *el compartimento externo* (1) y *el compartimento interno* (2). Ambos constituyen en su porción superior los *pliegues superiores* (3) y en su porción inferior los *pliegues inferiores* (4). En la porción superior del compartimento interno se ramifica un espolón, cuyo vértice se orienta en dirección a la ceja cotiloidea: se trata del *pliegue supralímbico* (5) (compárese con la Fig. 53); de su porción inferior se desprenden dos pequeños "islotos" redondeados separados por un profundo "golfo"; son los dos *pliegues acetabulares* (6) y la huella de parte del *ligamento redondo* (7). Finalmente, entre la cabeza y el cótilo se dibuja la *interlínea articular* (8).



LOS LIGAMENTOS DE LA CADERA

(las explicaciones son comunes)

La cápsula de la articulación coxofemoral está reforzada por potentes ligamentos en sus caras anterior y posterior:

En la *cara anterior* (Fig. 63) se hallan dos ligamentos:

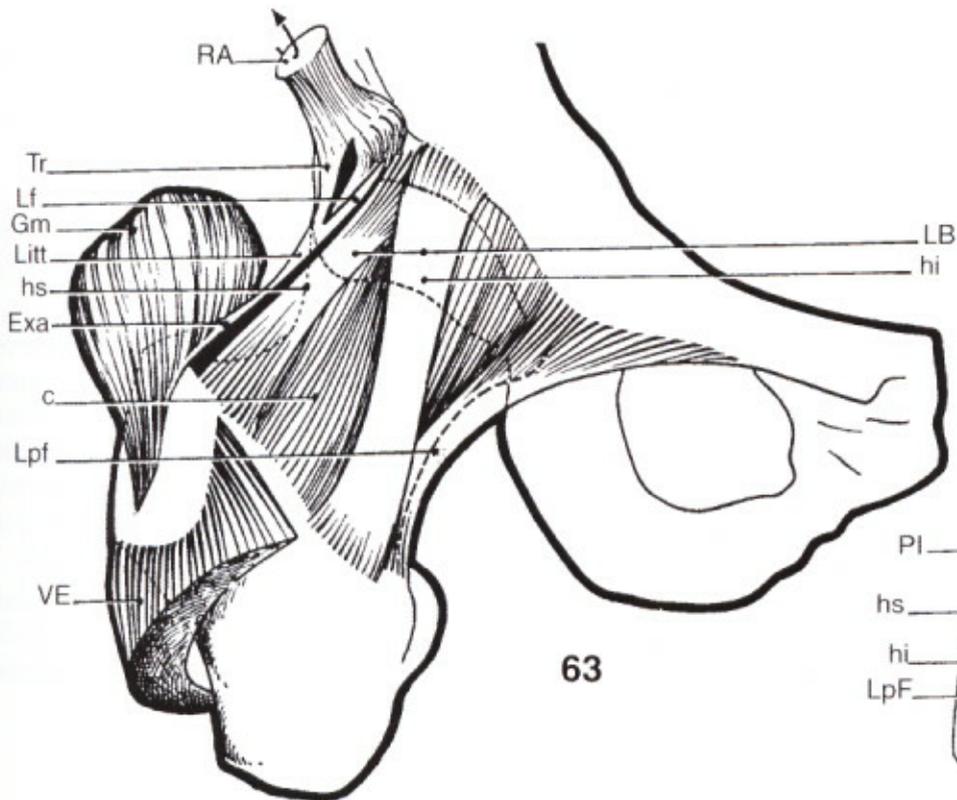
- el **ligamento iliofemoral** o ligamento de Bertin (LB), abanico fibroso cuyo vértice se inserta en el borde anterior del hueso ilíaco por debajo de la espina ilíaca anteroinferior (donde se inserta el recto anterior: RA) y cuya base se adhiere al fémur, a lo largo de toda la línea intertrocanterea anterior. Este abanico es más delgado en su porción media (c), mientras que sus dos bordes están engrosados por:
 - el *haz superior o iliopretocantéreo* (hs), el más fuerte de los ligamentos de la articulación (8 a 10 mm de espesor), que se termina por fuera en el tubérculo pretocantéreo y en la parte superior de la línea intertrocanterea. Está reforzada, por arriba, por el *ligamento iliopretocantéreo* (Litt), el cual, según Rouvière, está formado por la unión del tendón recurrente del recto anterior (Tr) y de una lámina fibrosa que surge de la ceja cotiloidea (Lf). La cara profunda del glúteo menor (Gm) desprende una expansión aponeurótica (Exa) que se fusiona con la parte externa del ligamento iliopretocantéreo;
 - el *haz inferior o iliopretocantíniano* (hi), cuyo origen se confunde con el del precedente, se inserta más abajo, en la parte inferior de la línea intertrocanterea anterior.
- el **ligamento pubofemoral** (Lpf) se inserta arriba, en la parte anterior de la

eminencia iliopectínea y el labio anterior de la corredera infrapúbica, donde sus fibras se entrecruzan con la inserción del músculo pectíneo. Por abajo, se fija en la parte anterior de la fosa preotocantíniana.

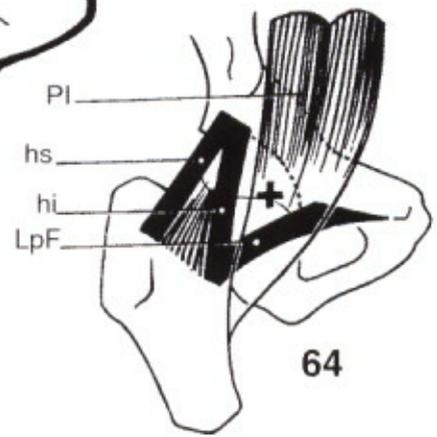
En conjunto (Fig. 64), estos dos ligamentos forman en la cara anterior de la articulación una N tumbada (Welcker) o, todavía mejor, una Z cuyo trazo superior (hs), el haz iliopretocantéreo, es casi horizontal, cuyo trazo medio (hi), el haz iliopretocantíniano, es casi vertical y cuyo trazo inferior (Lpf), el ligamento pubofemoral, es horizontal. Entre el ligamento pubo-femoral y el ligamento de Bertin (+), la cápsula más delgada corresponde a la bolsa serosa que la separa del tendón del psoas ilíaco (PI); a veces, la cápsula está perforada a este nivel, lo que hace que la cavidad articular y la bolsa serosa del psoas ilíaco se comuniquen.

En la *cara posterior* (Fig. 65) existe un único ligamento, el **ligamento isquiofemoral** (Lif): su inserción interna ocupa la parte posterior de la ceja y del rodete cotiloideo; sus fibras se dirigen hacia arriba y hacia fuera, cruzando la cara posterior del cuello (h) para fijarse en la cara interna del trocánter mayor por delante de la fosa digital; en esta fosa finaliza el obturador externo cuyo tendón se desliza (flecha blanca) por una corredera que bordea la inserción capsular; también se pueden distinguir (Fig. 66) algunas fibras (i) que se dirigen directamente a la zona orbicular (j).

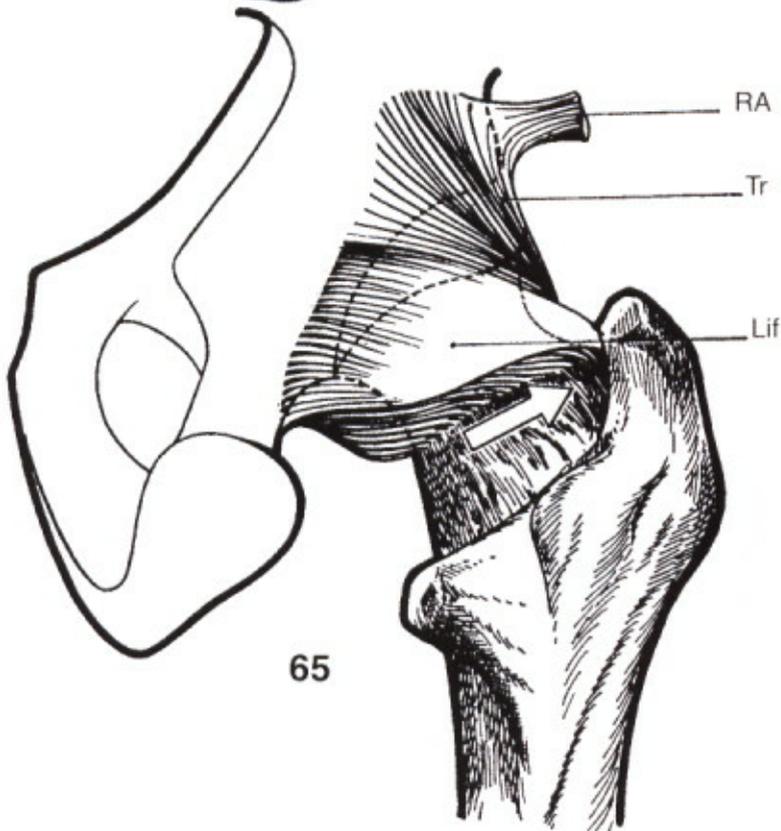
En el paso de cuadrupedia a bipedestación, donde la pelvis se extiende sobre el fémur (véase pág. 28), todos los ligamentos se enrollan, en el mismo sentido, alrededor del cuello (Fig. 67): en una cadera derecha vista desde su cara externa, giran en el sentido de las agujas de un reloj (dirigiéndose del hueso ilíaco hacia el fémur), esto significa que la *extensión los enrolla* alrededor del cuello en tanto que la *flexión los desenrolla*.



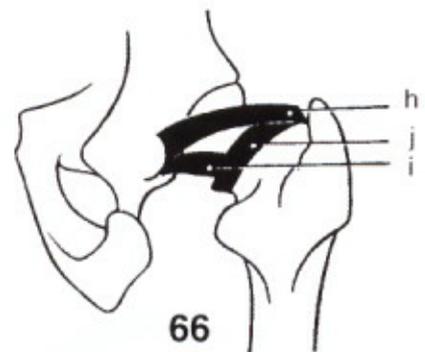
63



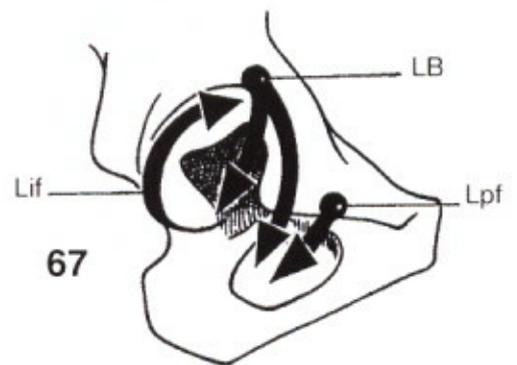
64



65



66



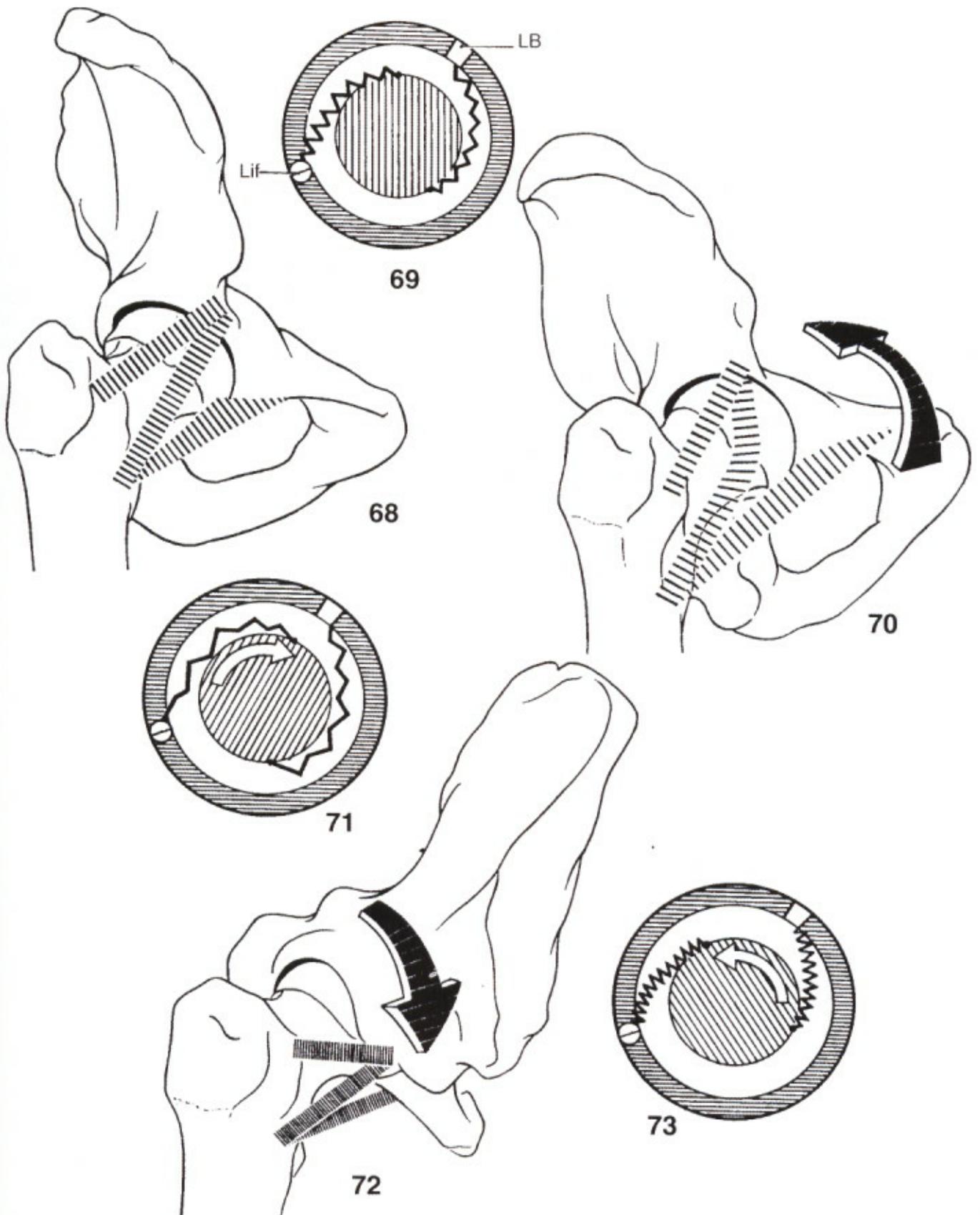
67

FUNCIÓN DE LOS LIGAMENTOS EN LA FLEXOEXTENSIÓN

En la posición de **alineación normal** (representada en la Fig. 68) los ligamentos están *moderadamente tensos*. Esto está esquematizado en el diagrama (Fig. 69), en el cual la corona representa el cótilo y el círculo central representa la cabeza y el cuello femoral: los ligamentos, que aparecen representados por muelles, están dispuestos entre la corona y el círculo central, y también se pueden ver los ligamentos de Bertin (B) e isquiofemoral (Lif) (el ligamento pubofemoral no se ha representado en la figura para no sobrecargar el dibujo).

En la **extensión de cadera** (Fig. 70) *todos los ligamentos se tensan* (Fig. 71), puesto que se enrollan en el cuello femoral. Sin embargo, de entre todos ellos, el *haz iliopretocantéreo* del ligamento de Bertin es el que más se tensa, debido a su posición casi vertical (Fig. 70); por lo tanto, es éste principalmente el que limita la retroversión pélvica.

En la **flexión de cadera** (Fig. 72) ocurre todo lo contrario (Fig. 73): *todos los ligamentos se distienden*, tanto el isquiofemoral como el pubofemoral como el iliofemoral.

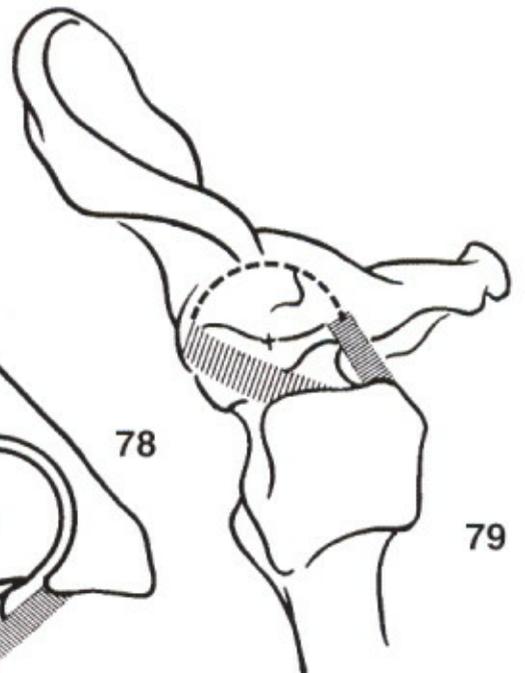
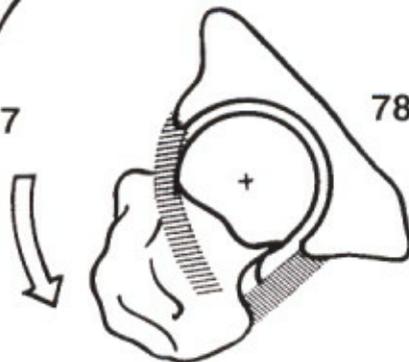
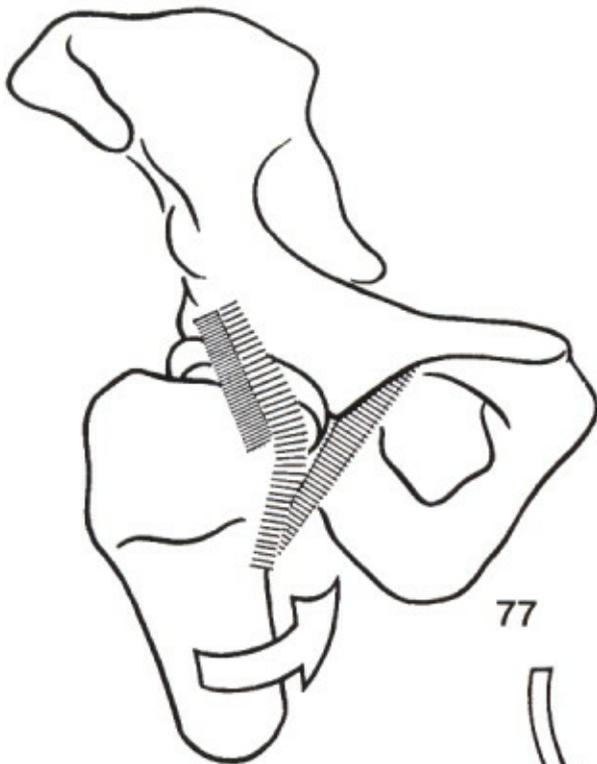
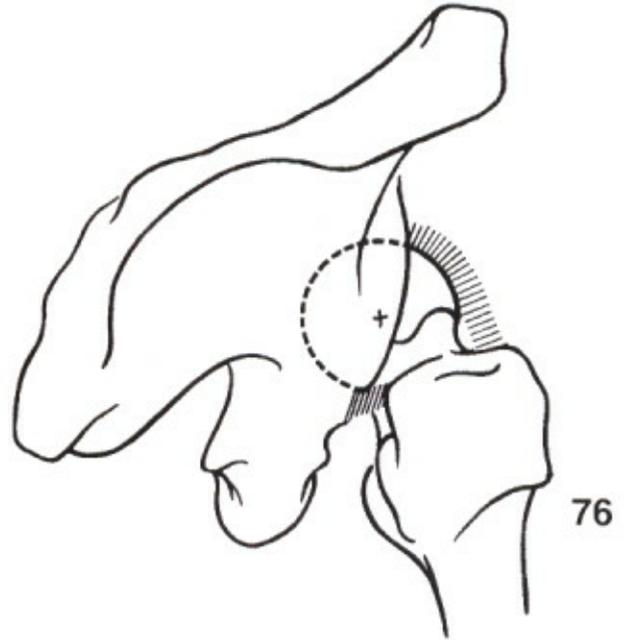
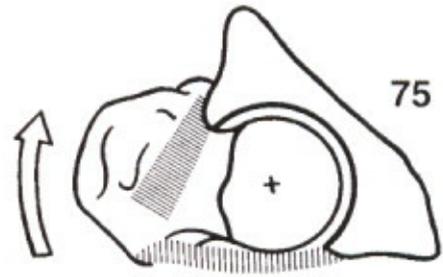
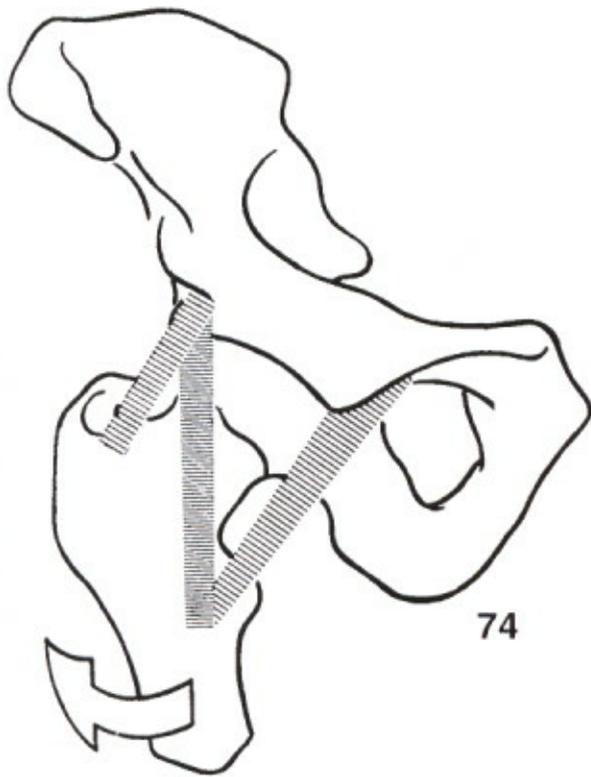


FUNCIÓN DE LOS LIGAMENTOS EN LA ROTACIÓN EXTERNA-ROTACIÓN INTERNA

Cuando la cadera realiza una **rotación externa** (Fig. 75) la línea intertrocanterea anterior se aleja de la ceja cotiloidea; de forma que *todos los ligamentos anteriores* de la cadera están tensos, y que, por tanto, la tensión es máxima en los haces cuya dirección es horizontal, es decir el **haz iliopretrocantéreo** y el **ligamento pubofemoral**. Esta puesta en tensión de los ligamentos anteriores se observa tanto en un corte horizontal visto

desde arriba (Fig. 75) como en una vista postero-superior de la articulación (Fig. 76); demostrando que la rotación externa *distiende el ligamento isquiofemoral*.

Por el contrario, en la **rotación interna** (Figura 77), todos los ligamentos anteriores se distienden y en particular el haz iliopretrocantéreo y el ligamento pubofemoral, mientras que *el ligamento isquiofemoral se tensa* (Figs. 78 y 79).



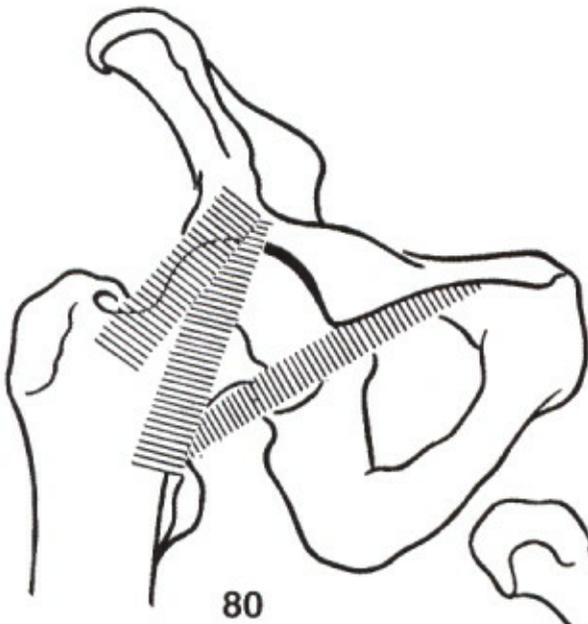
FUNCIÓN DE LOS LIGAMENTOS EN LA ADUCCIÓN-ABDUCCIÓN

En la posición de alineación normal (Fig. 80), en la que los ligamentos anteriores están moderadamente tensos, es sencillo constatar que:

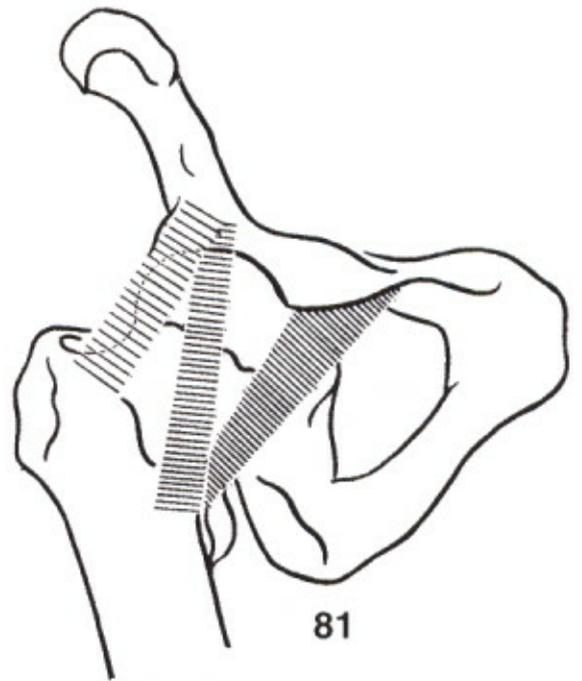
- **en los movimientos de aducción** (Fig. 81), el haz iliopretrocantéreo se tensa y el ligamento pubofemoral se distiende. En cuanto al haz iliopretrocantiano, se tensa ligeramente;
- **en los movimientos de abducción** (Fig. 82)

sucede lo contrario: el ligamento pubofemoral se tensa considerablemente mientras que el haz iliopretrocantéreo se distiende, al igual que el haz iliopretrocantiano, pero este último en menor grado.

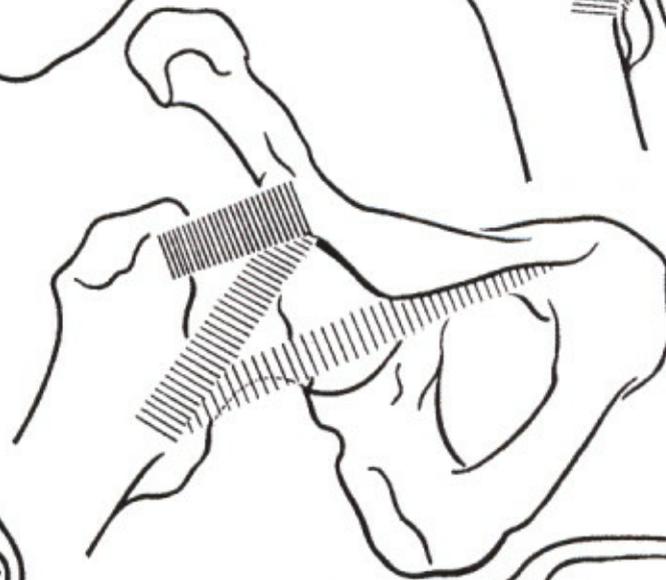
En cuanto al **ligamento isquiofemoral**, únicamente visible en una vista posterior, *se distiende durante la aducción* (Fig. 83) y *se tensa durante la abducción* (Fig. 84).



80



81



82



83



84

FISIOLÓGIA DEL LIGAMENTO REDONDO

El ligamento redondo representa una *reliquia anatómica* y desempeña un papel bastante inadvertido en la limitación de los movimientos de la cadera.

En la posición de **alineación normal** (Fig. 85: corte verticofrontal) está ligeramente tenso y su inserción femoral ocupa en el trasfondo (Fig. 86: diagrama del trasfondo cotiloideo con las distintas posiciones de la fosa del ligamento redondo) su posición media (1), un poco por debajo y por detrás del centro (+).

En la **flexión de la cadera** (Fig. 87), el ligamento redondo se dobla sobre sí mismo y la fosa (Fig. 86) acaba situándose por arriba y por delante del centro del trasfondo (2). Por lo tanto, el ligamento redondo no interviene lo más mínimo en la limitación de la flexión.

En la **rotación interna** (Fig. 88: corte horizontal, vista superior), la fosa se desplaza hacia la parte posterior y la inserción femoral del ligamento contacta con la parte posterior de la media luna articular (3). El ligamento permanece ligeramente tenso.

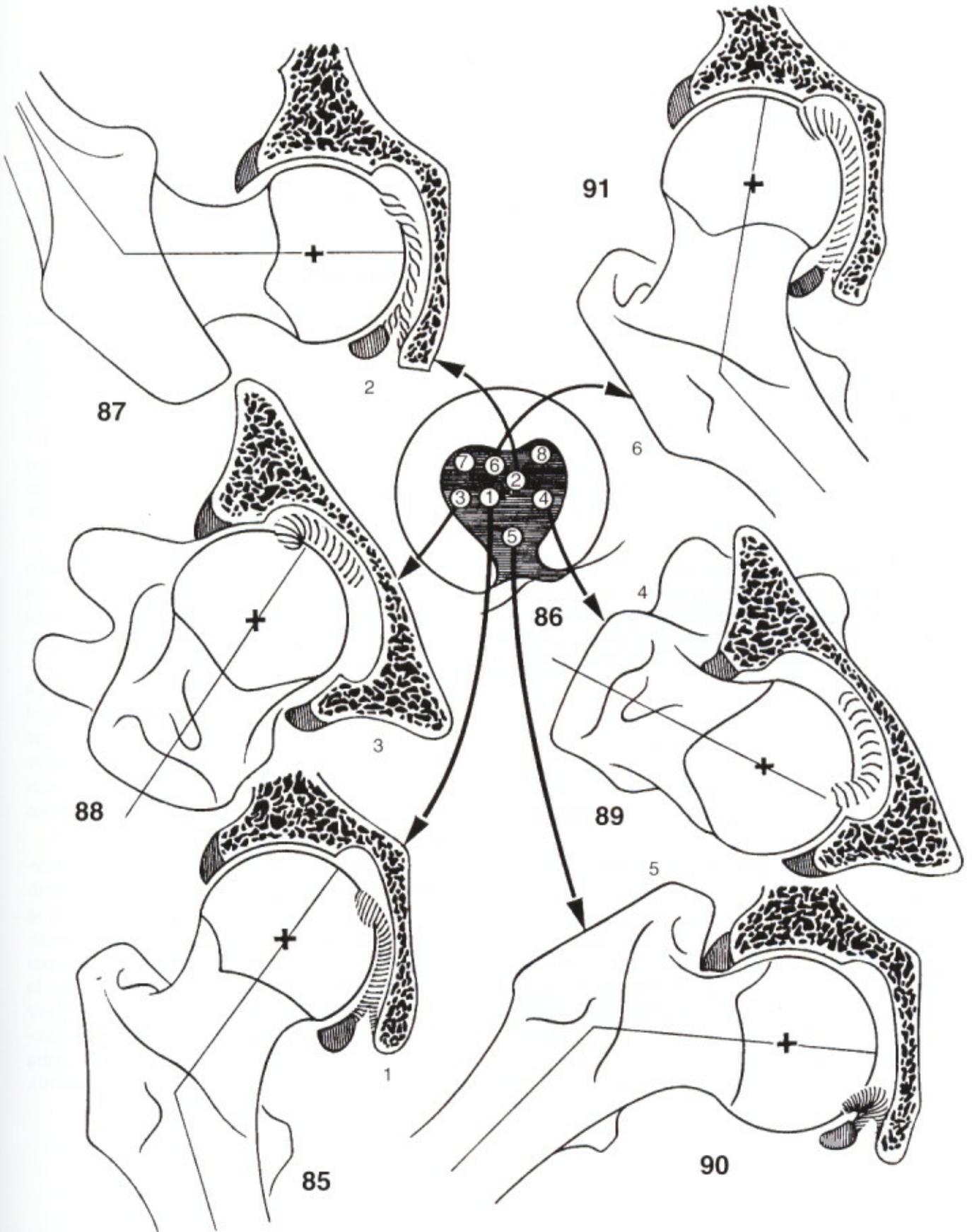
En la **rotación externa** (Fig. 89), la fosa se desplaza hacia delante y el ligamento contacta con la parte anterior de la media luna articular (4). De nuevo, el ligamento no aparece más que ligeramente tenso. Obsérvese el tope de la cara pos-

terior del cuello en la ceja cotiloidea representado por el rodete desplazado y aplastado.

En la **abducción** (Fig. 90), la fosa desciende en dirección a la escotadura isquiopúbica (5) y el ligamento se halla plegado sobre sí mismo. El rodete está aplastado entre el borde superior del cuello y la ceja cotiloidea.

Finalmente, la **aducción** (Fig. 91) desplaza la fosa hacia arriba (6) contactando con el límite superior del trasfondo. Ésta es la única posición en la que el ligamento está realmente *tenso*. La parte inferior del cuello empuja ligeramente tanto el rodete como el ligamento transverso.

Así, parece que el trasfondo cotiloideo representa el *emplazamiento en todas las posiciones posibles de la fosa del ligamento redondo*, incluidas las escotaduras posterior (7) y anterior (8): de hecho, en ellas se localiza la fosa durante los movimientos de aducción-extensión-rotación interna (7) y aducción-flexión-rotación externa (8). Entre ambas escotaduras la parte prominente y redondeada del cartílago corresponde a la posición en la que la aducción está más limitada, en el plano frontal por el obstáculo que representa el miembro inferior. Por lo tanto, el perfil interno de la media luna articular no se debe al azar sino que representa la *línea de las posiciones extremas de la fosa del ligamento redondo*.



FACTORES DE COAPTACIÓN DE LA COXOFEMORAL

Al contrario de la articulación escapulo humeral, a la que la **gravedad** tiende a dislocar, la articulación de la cadera se beneficia de la **misma**, al menos en la posición de alineación normal (Fig. 92): en la medida en que el techo del cótilo recubre la cabeza femoral, ésta se encaja en el cótilo mediante la fuerza de reacción (flecha blanca ascendente) que se opone al peso del cuerpo (flecha blanca descendente).

Se sabe que la cavidad cotiloidea ósea representa, tan sólo, una hemiesfera; por lo tanto, no existe lo que en mecánica se denomina *par de acoplamiento*: desde un punto de vista mecánico, el cótilo óseo no puede retener, debido a su forma hemisférica, la cabeza femoral. No obstante, el **rodete cotiloideo** prolonga la superficie del cótilo proporcionándole más profundidad, de modo que la totalidad de la *cavidad cotiloidea sobrepase la hemiesfera* (flechas negras), creando un par de acoplamiento fibroso: *el rodete retiene la cabeza* con ayuda de la **zona orbicular** de la cápsula cuyo corte está señalado con flechitas blancas, y que ciñe el cuello.

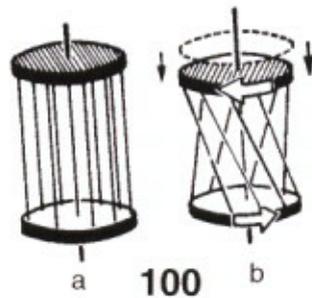
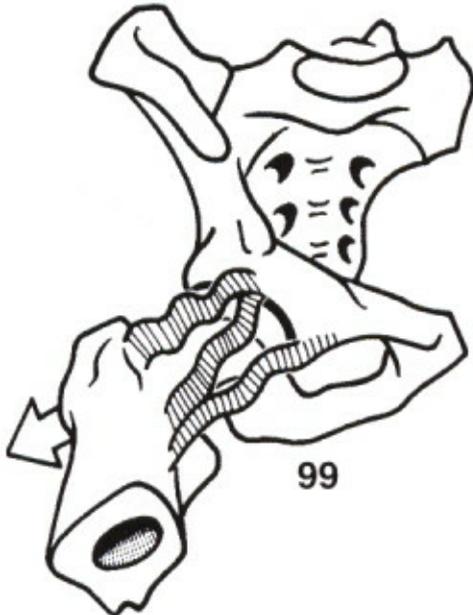
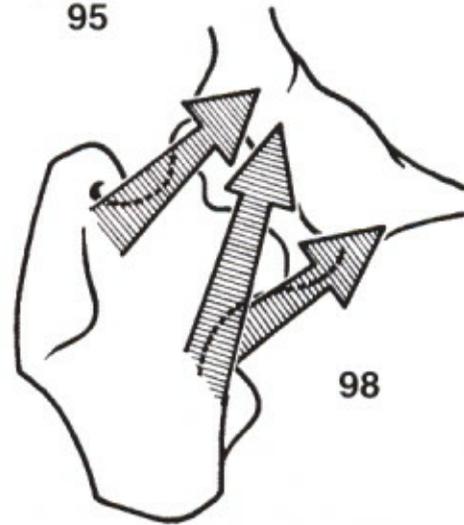
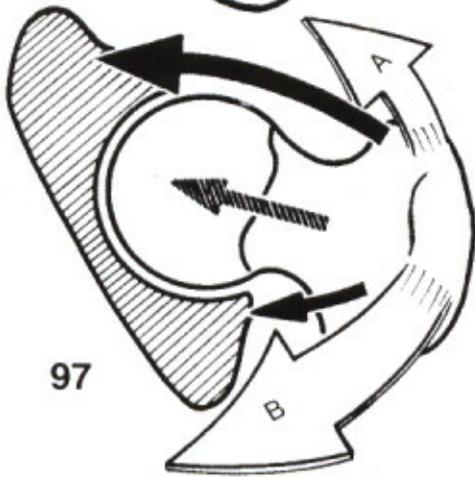
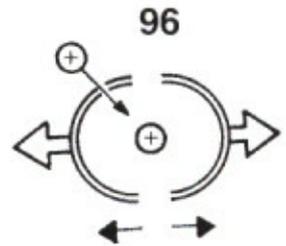
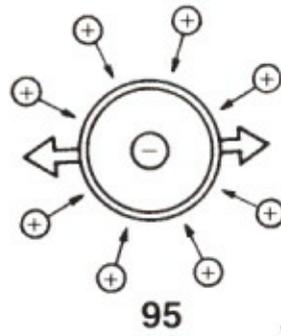
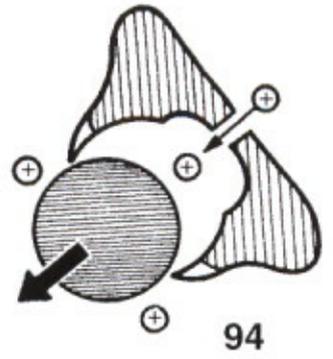
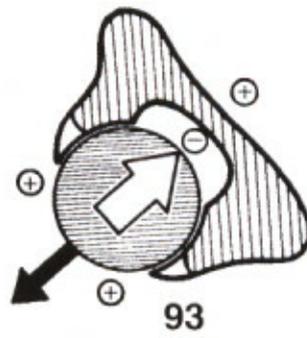
La **presión atmosférica** es un factor importante en la coaptación de la cadera, tal como ha demostrado el *experimento de los hermanos Weber*. De hecho, constataron que si se seccionaban todas las partes blandas que unen el hueso ilíaco al fémur (incluida la cápsula), la cabeza femoral no salía espontáneamente del cótilo, y que, incluso, se precisaba una gran fuerza (Fig. 93) para conseguir extraerla de su emplazamiento. Sin embargo (Fig. 94), si se realizara un pequeño orificio en el fondo del cótilo, la cabeza femoral y el miembro inferior caerían por su propio peso. El experimento contrario, que consistía en taponar el orificio después de haber reintegrado la cabeza en el cótilo, demostraba que, como al principio, la cabeza permanecía en el cótilo.

Este experimento es comparable con la clásica *experiencia de los hemisferios de Magdebourg*, en la cual es imposible separar los hemisferios cuando se ha hecho el vacío en su interior (Fig. 95), mientras que es muy fácil separarlos cuando se ha dejado penetrar aire a través de un grifo (Fig. 96).

Los ligamentos y los músculos desempeñan un *papel esencial* en la sujeción de las superficies articulares. Es necesario recalcar (Fig. 97: corte horizontal) que existe un determinado "equilibrio" entre sus respectivas funciones: en la cara anterior de la articulación no hay demasiados músculos (flecha blanca A), pero los ligamentos son muy potentes (flecha negra), mientras que en la cara posterior sucede todo lo contrario: los músculos (B) predominan.

También es necesario recalcar que la acción de los ligamentos es diferente *según la posición de la cadera*: en alineación normal o en extensión (Fig. 98), los ligamentos están tensos y la coaptación ligamentosa es eficaz; sin embargo, en flexión (Fig. 99) los ligamentos están distendidos (véase pág. 38) y la cabeza no está coaptada en el cótilo con la misma fuerza. Es fácil entender este mecanismo mediante un modelo (Fig. 100): entre dos círculos de madera se tensan hilos paralelos (a), de forma que cuando se hace girar uno de los círculos con respecto al otro (b) se aproximan.

Por lo tanto, *la posición de flexión de la cadera* es, debido a la relajación ligamentosa, *una posición inestable para la articulación*. Cuando se añade aducción, como en la posición de sedestación con las piernas cruzadas (Fig. 101), basta con un golpe relativamente poco importante en la dirección del eje del fémur (flecha) para provocar una luxación posterior de la cadera con o sin fractura del borde posterior del cótilo (golpe contra cuadro de mandos en los accidentes de automóvil).



FACTORES MUSCULARES Y ÓSEOS DE LA ESTABILIDAD DE LA CADERA

Los músculos tienen una función esencial en la estabilidad de la cadera, a condición de que sean transversales. De hecho (Fig. 102), los músculos *cuya dirección es parecida a la del cuello* sujetan la cabeza al cótilo; esto es rigurosamente cierto en el caso de los pelvitrocantéreos (aquí están representados el piramidal (Pm) y el obturador externo (Obe)); lo mismo ocurre con los glúteos, sobre todo el glúteo menor y el glúteo mediano (GM), cuyo componente de coaptación (flecha negra) no solo es muy importante, sino que gracias a su potencia desempeñan una función primordial, por lo que se les denomina los *músculos sujetadores de la cadera*.

Sin embargo, los *músculos que tienen una dirección longitudinal*, como es el caso de los aductores (Ad), tienden a luxar la cabeza femoral por arriba del cótilo (lado derecho de la Fig. 102) sobre todo si el techo del cótilo está aplanado; esta malformación del cótilo se puede observar en las luxaciones congénitas de cadera y se puede identificar con facilidad en una *radiografía anteroposterior de la pelvis* (Fig. 103): normalmente el ángulo de Hilgenreiner, localizado entre la línea horizontal que pasa por los cartílagos en Y (denominado "línea de las Y") y la línea tangente al techo del cótilo, es de 25° en el recién nacido y de 15° al final de su primer año; cuando este ángulo sobrepasa los 30° se puede afirmar que existe una malformación congénita del cótilo. La luxación se puede diagnosticar por el ascenso del núcleo cefálico por encima de la línea de las Y (signo de Putti) y por la inversión del ángulo de Wiberg (véase Fig. 36). Cuando existe una malformación del cótilo, la acción luxante de los aductores (4') está más acentuada cuando la pierna está en aducción (Fig. 102), sin embargo, el componente de luxación de los aductores disminuye con la abducción (Fig. 104) de forma que *acaban siendo coaptadores en abducción máxima*.

La orientación del cuello femoral interviene, considerablemente, en la estabilidad de la cadera, considerando su orientación tanto en el plano frontal como en el plano horizontal. Ya se ha visto (pág. 24), que en el plano frontal, el eje del cuello del fémur forma un *ángulo de inclinación de 120-125°* con el eje diafisario (a, Fig. 105: diagrama de la cadera vista de frente); en la luxación congénita de cadera existe una apertura del ángulo de inclinación (coxa valga) que puede alcanzar los 140° (b); durante la aducción (c), el eje del cuello estará, pues, "adelantado" 20° en relación a su posición normal: una aducción de 30° en el caso de una cadera patológica (P) corresponderá, por lo tanto, a una aducción de 50° en una cadera normal; sin embargo, como se ha podido ver anterior-

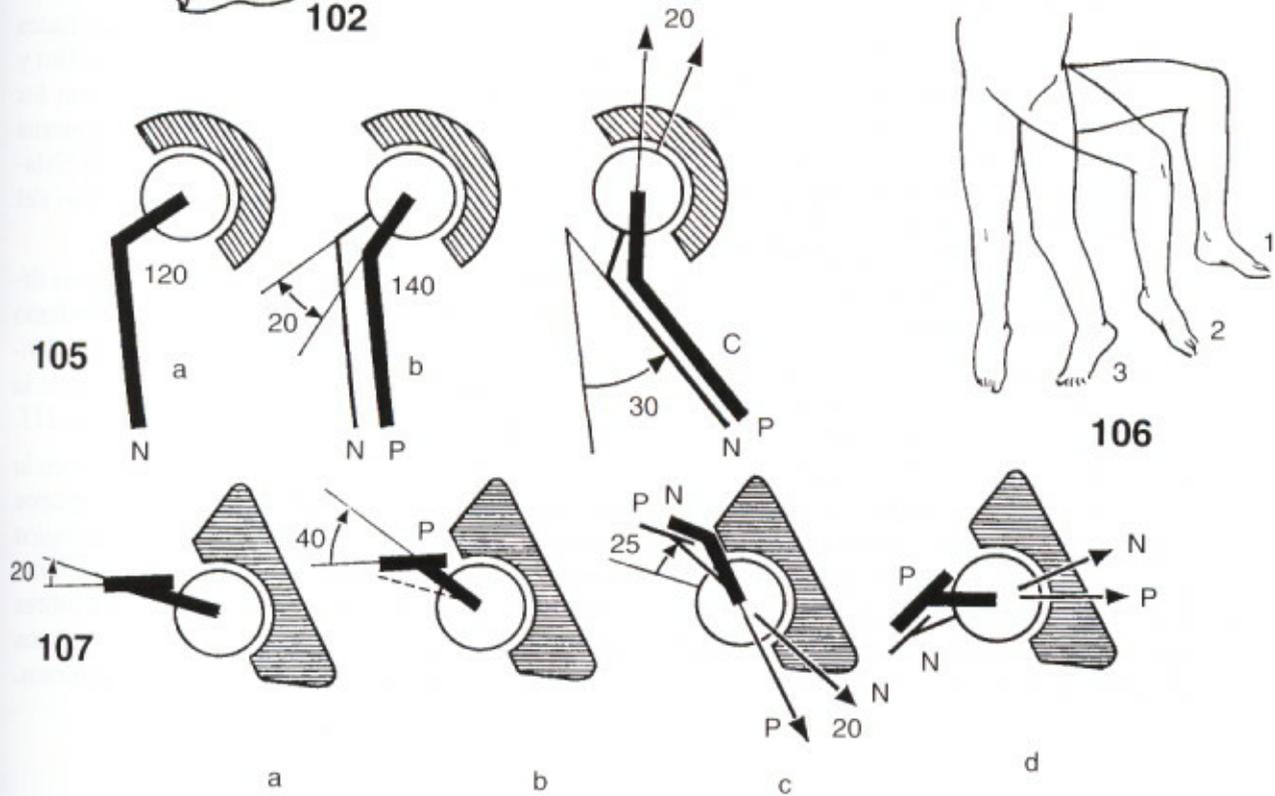
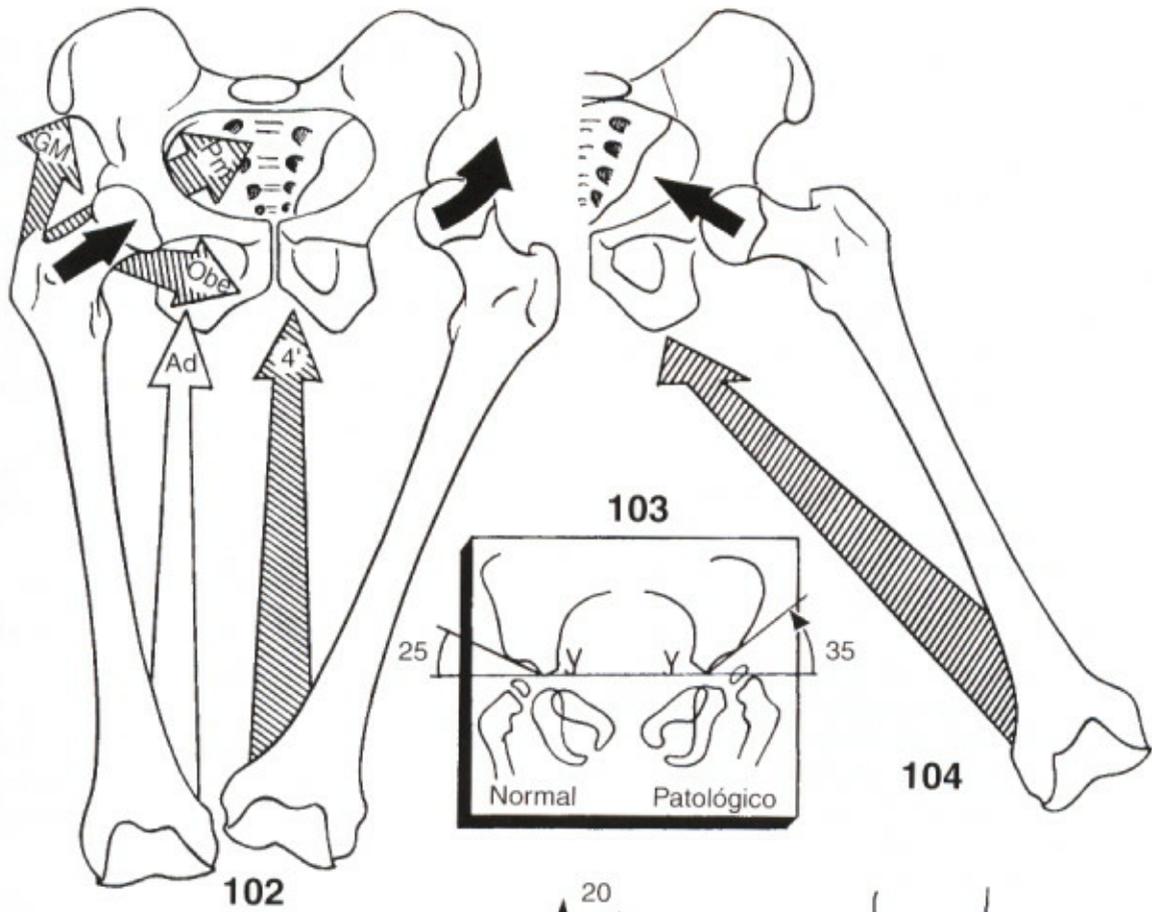
mente, una aducción de este tipo refuerza el componente de luxación de los aductores. **La coxa valga favorece la luxación patológica.** Por el contrario, esta cadera malformada estará estabilizada por una posición en abducción, lo que explica las posiciones utilizadas para el tratamiento ortopédico de la luxación congénita de cadera, cuya primera maniobra consiste en una abducción de 90° (Fig. 106).

En el plano horizontal (Fig. 107: diagrama de la cadera vista superior), el valor medio del *ángulo de declinación es de 20°* (a), debido a la orientación divergente del cuello y del cótilo en la posición de bipedestación, tal como se vio anteriormente (pág. 26), la parte anterior de la cabeza femoral no está cubierta por el cótilo; si el cuello está todavía más orientado hacia delante por un aumento, por ejemplo, de 40° del ángulo de declinación (b), se dice que existe una *anteversión del cuello* y la cabeza se halla todavía más expuesta a la luxación anterior. De hecho, en una rotación externa de 25° (c), el eje de un cuello normal aún "cae" en el cótilo (N), mientras que el eje del cuello en anteversión (P), situado 20° por delante del cuello normal, "cae" en la ceja cotiloidea: la cadera está preparada para una luxación anterior. **La anteversión del cuello favorece la luxación patológica.** Por el contrario, la retroversión del cuello femoral es un factor de estabilidad, al igual que la rotación interna (d); esto explica por qué la posición 3 de reducción ortopédica de la luxación congénita (Fig. 106) se establece en alineación normal y *rotación interna*.

Estos factores arquitectónicos y musculares son muy importantes en **la estabilidad de las prótesis**. En una artroplastia total de la cadera, el cirujano debe vigilar específicamente:

- la orientación correcta del cuello: no demasiada anteversión, sobre todo si opera por vía anterior y viceversa;
- la orientación correcta del cótilo protésico que, como el cótilo natural, debe "mirar" hacia abajo (Fig. 106) (inclinación máxima sobre la horizontal: 45-50°) y ligeramente hacia delante (15°);
- el restablecimiento de una "longitud fisiológica" del cuello femoral, es decir un brazo de palanca normal de los glúteos, que desempeñan una función esencial en la estabilidad de las prótesis.

También se debe tener en cuenta la importancia de la elección de la vía de abordaje, que deberá perturbar lo menos posible el equilibrio muscular.



LOS MÚSCULOS FLEXORES DE LA CADERA

Los músculos flexores de la cadera son aquellos *situados por delante del plano frontal que pasa por el centro de la articulación* (Fig. 108), todos ellos pasan por *delante del eje de flexo-extensión XX'* incluido en este plano frontal.

Los músculos flexores de la cadera son muchos, pero los más importantes son (Fig. 109) éstos:

- el **psoas** (Ps) y el **ilíaco** (I), cuyos tendones, unidos, se fijan en el trocánter menor tras reflejarse en la eminencia iliopectínea. Es el más potente de todos los flexores y en todo caso el que tiene un recorrido más largo (las fibras más superiores del psoas se insertan en D12). Aunque su tendón pase por dentro del eje anteroposterior, numerosos autores discuten su acción aductora; esta ausencia de aducción se podría explicar por el hecho de que el vértice del trocánter menor se proyecta sobre el eje mecánico del miembro inferior (véase Fig. 48). Sin embargo, en favor de su acción aductora se puede constatar, en el esqueleto, que en flexión-aducción-rotación externa la distancia entre el trocánter menor y la eminencia iliopectínea es menor. El psoas ilíaco también es rotador externo;
- el **sartorio** (Sa) es, sobre todo, flexor de cadera y actúa como accesorio en la abducción y rotación externa (Fig. 110); también participa en la rodilla (flexión-rotación interna; véase pág. 152). Su potencia (2 kgm) no es nada despreciable, puesto que las 9/10 partes de la misma se emplean en la flexión;
- el **recto anterior** (RA) es un potente flexor (5 kgm), aunque su acción en la cadera depende del grado de flexión de la rodilla: a más flexión de ésta, mayor eficacia del recto anterior en la cadera (véase pág. 148). Interviene, sobre todo, en los movimientos que asocian la extensión de rodilla con la flexión de cadera, como en la fase de oscilación de la marcha cuando el miembro inferior avanza (Fig. 111);

- el **tensor de la fascia lata** (TFL), además de su acción estabilizadora de la pelvis (véase página 58) y su potente acción de abducción, posee un gran componente de flexión.

Algunos músculos poseen, de modo accesorio, un componente de flexión sobre la cadera, acción coadyuvante que no se debe menospreciar; son los que a continuación se exponen:

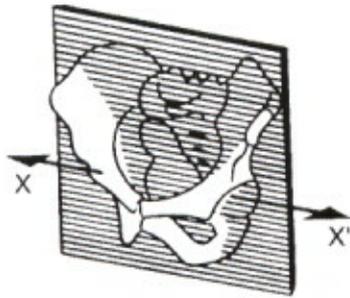
- el **pectíneo** (Pec) sobre todo aductor, al igual que
- el **aductor mediano** (AM), que flexiona hasta un determinado punto (véase pág. 68),
- el **recto interno** (Ri) y, por último,
- los haces más anteriores de los **glúteos menor** (Gm) y **mediano** (GM).

Todos los flexores de cadera tienen, como acciones secundarias, componentes de aducción-abducción o de rotación externa-interna, de forma que desde este punto de vista se pueden clasificar en dos grupos:

En el *primer grupo* se incluyen los haces anteriores de los glúteos menor y mediano (Gm y GM) y el tensor de la fascia lata (TFL): son *los flexores-abductores-rotadores internos* (pierna derecha de la figura 109), cuya contracción aislada o predominante determina el movimiento del jugador de fútbol (Fig. 112).

En el *segundo grupo* se incluyen el psoas ilíaco (PI), el pectíneo (Pec) y el aductor mediano (AM), que realizan el movimiento de *flexión-aducción-rotación externa* (pierna izquierda de la figura 109), como en el futbolista de la figura 113.

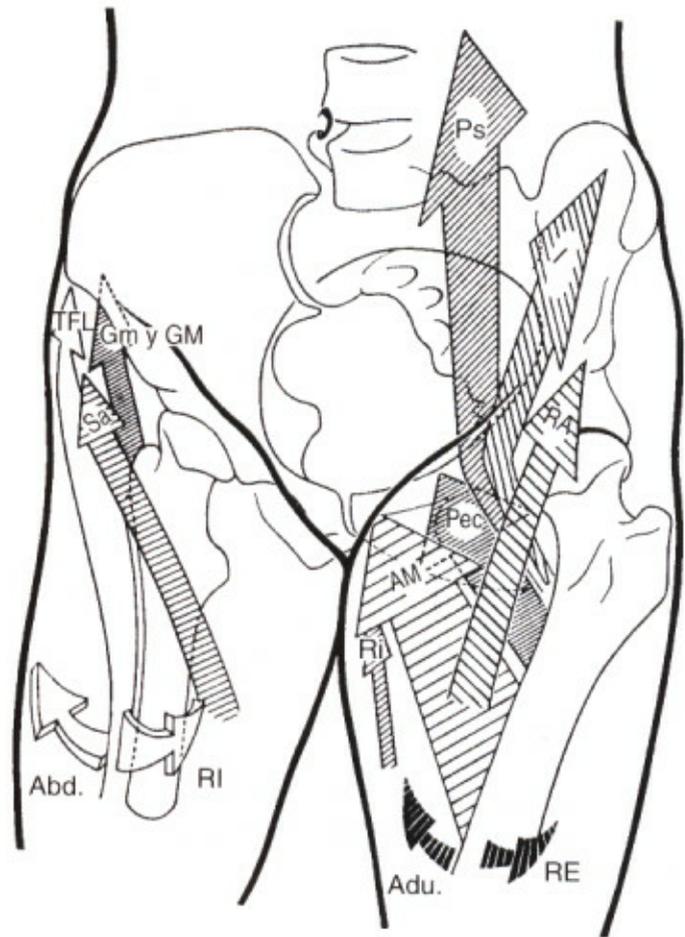
Durante la flexión directa, como ocurre en la marcha (Fig. 111), es necesario que ambos grupos realicen una *contracción antagonista-sinérgica equilibrada*. La flexión-aducción-rotación interna (Fig. 114) necesita que predominen los aductores y el tensor de la fascia lata, así como los glúteos menor y mediano en calidad de rotadores internos.



108



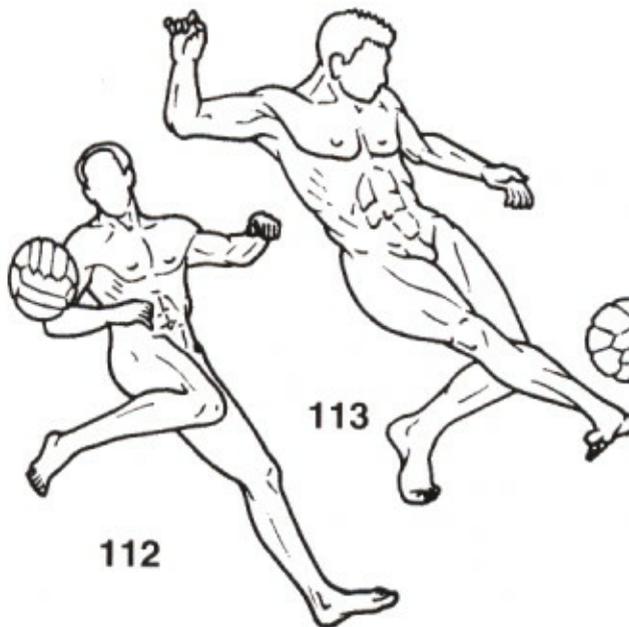
110



109



111



112

113



114

LOS MÚSCULOS EXTENSORES DE LA CADERA

Los músculos extensores de la cadera están situados *por detrás del plano frontal que pasa por el centro de la articulación* (Fig. 115), plano que contiene el eje transversal XX' de flexoextensión.

Se distinguen **dos grandes grupos de músculos extensores** según se inserten en el extremo superior del fémur o alrededor de la rodilla (Fig. 116).

En el *primer grupo*, el más importante es el **glúteo mayor** (G y G'), es el músculo más potente del cuerpo (34 kgm para una longitud de 15 cm), también es el de mayor tamaño (66 cm² de sección) y, por supuesto, el más fuerte (238 kg). Su acción la complementan los haces más posteriores de los glúteos *mediano* (GM) y *menor* (Gm). Estos músculos son, además, rotadores externos (véase pág. 64).

En el *segundo grupo* se incluyen fundamentalmente los **músculos isquiotibiales**: porción larga del bíceps femoral (B), semitendinoso (ST) y semimembranoso (SM), cuya potencia total no es más que de 22 kgm (es decir, 2/3 de la del glúteo mayor). Se trata de músculos biarticulares y su *eficacia en la cadera depende en gran medida de la posición de la rodilla*: el bloqueo de la rodilla en extensión favorece su acción de extensora sobre la cadera; existe, por lo tanto, una relación de antagonismo-sinergia entre los isquiotibiales y el cuadríceps (sobre todo el recto anterior). Parte de los aductores deben incluirse entre estos músculos extensores (véase pág. 62) y específicamente el tercer aductor (A'), cuya *función accesoria* es la extensión de cadera.

Los músculos extensores de cadera poseen *acciones secundarias* dependiendo de su posición con respecto al eje anteroposterior YY' de abducción-aducción:

- aquéllos cuyo trayecto pasa *por arriba del eje YY'* determinan una abducción simultánea a la extensión, como en el movimiento de danza de la figura 117: son los haces más posteriores de los glúteos menor (Gm) y mediano (GM) y los haces más elevados del glúteo mayor (G');
- aquéllos cuyo trayecto pasa *por debajo del eje YY'* son tanto extensores como

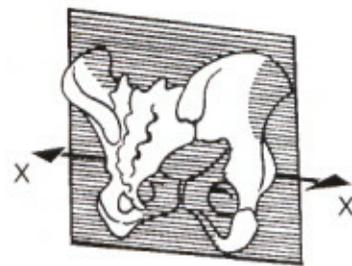
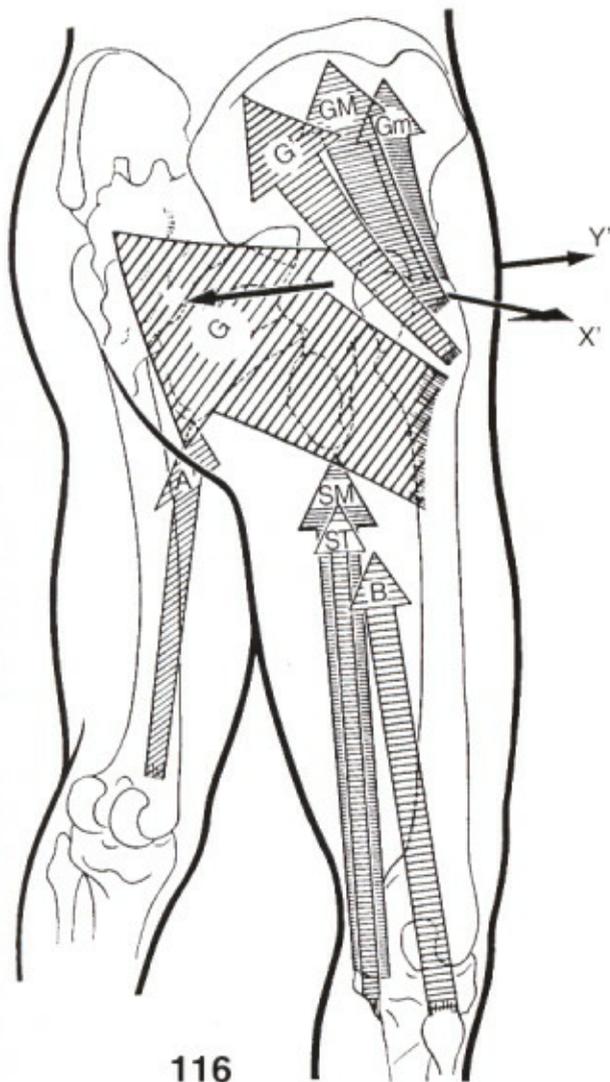
aductores, como se muestra en la figura 118: son los isquiotibiales, los aductores (los que están situados por detrás del plano frontal) y la mayor parte del glúteo mayor (G).

Cuando se quiere obtener un *movimiento de extensión directa* (Fig. 119), es decir sin componente de abducción ni de aducción, es necesario que estos dos grupos musculares intervengan en contracción antagonista-sinérgica equilibrada.

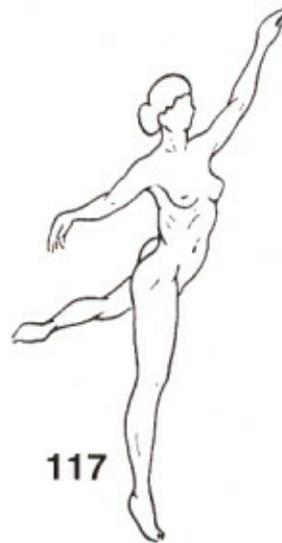
Los extensores de cadera tienen una función esencial en la **estabilización de la pelvis en sentido anteroposterior** (Fig. 120).

- cuando la pelvis bascula hacia atrás (a), es decir en el sentido de la extensión, la estabilidad se consigue únicamente mediante la tensión del ligamento de Bertin (LB) -que limita la extensión (véase pág. 38)-;
- existe una posición (b) donde el centro de gravedad (C) se localiza exactamente por arriba del centro de la cadera: ni los flexores ni los extensores intervienen, pero el equilibrio es inestable;
- cuando la pelvis bascula hacia delante (c), el centro de gravedad (C) pasa por delante de la línea de las caderas y los isquiotibiales (IT) son los primeros en iniciar la acción para enderezarla;
- en los esfuerzos de extensión en una pelvis muy basculada (d) el glúteo mayor (G) se contrae enérgicamente, al igual que los isquiotibiales, cuya eficacia aumenta si la rodilla está en extensión (posición de bipedestación, tronco inclinado hacia delante, manos tocando los pies).

Durante la marcha normal, los isquiotibiales realizan la extensión, el *glúteo mayor no interviene*. No pasa lo mismo al correr, saltar o caminar cuesta arriba, donde el glúteo mayor no sólo es indispensable sino que su función desempeña un papel principal.



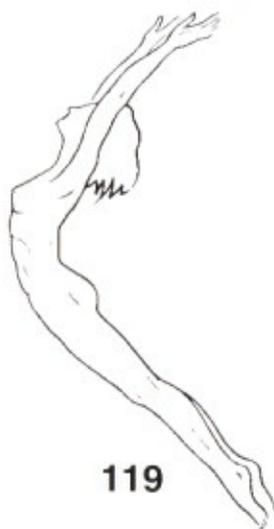
115



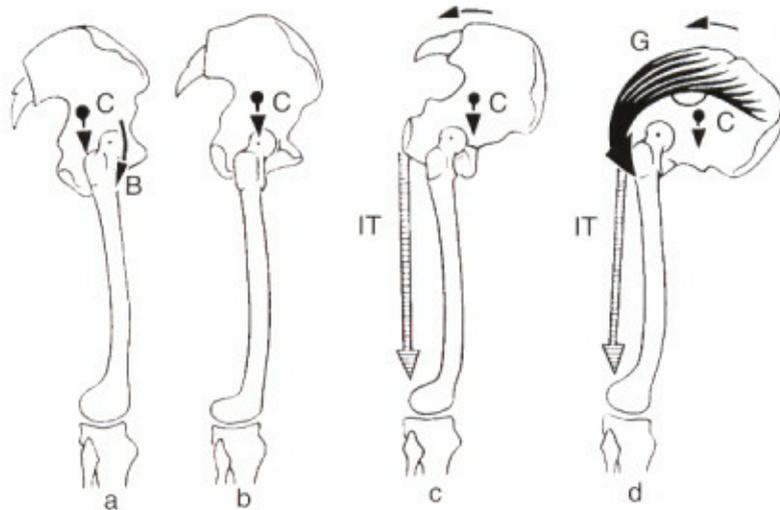
117



118



119



120

LOS MÚSCULOS ABDUCTORES DE LA CADERA

Son músculos **generalmente situados por fuera del plano sagital que pasa por el centro de la articulación** (Fig. 121) y cuyo trayecto discurre por fuera y por arriba **del eje anteroposterior YY'** de abducción-aducción incluido en este plano.

El principal músculo abductor de la cadera es el **glúteo mediano (GM)**: con sus 40 cm² de superficie de sección y 11 cm de longitud, despliega una potencia de 16 kgm. Es de una gran eficacia, puesto que su dirección es casi perpendicular a su brazo de palanca OT (Fig. 122). También se puede constatar que desempeña una función esencial junto al glúteo menor, en la estabilidad transversal de la pelvis (véase pág. 58).

El **glúteo menor (Gm)** es principalmente abductor (Fig. 123), su sección de 15 cm² y su longitud de 9 cm le confieren una potencia tres veces menor que la del glúteo mediano (4,9 kgm).

El **tensor de la fascia lata (TFL)** es un potente abductor con la cadera en alineación normal; su potencia es aproximadamente la mitad de la del glúteo mediano (7,6 kgm), aunque su brazo de palanca es mucho más largo. También estabiliza la pelvis.

El **glúteo mayor (G)** sólo es abductor a través de sus haces más superiores (en su mayor parte, este músculo es aductor) y su porción más

superficial, que forma parte del deltoides glúteo (Fig. 127).

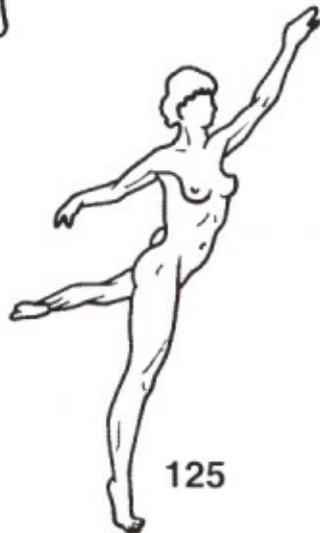
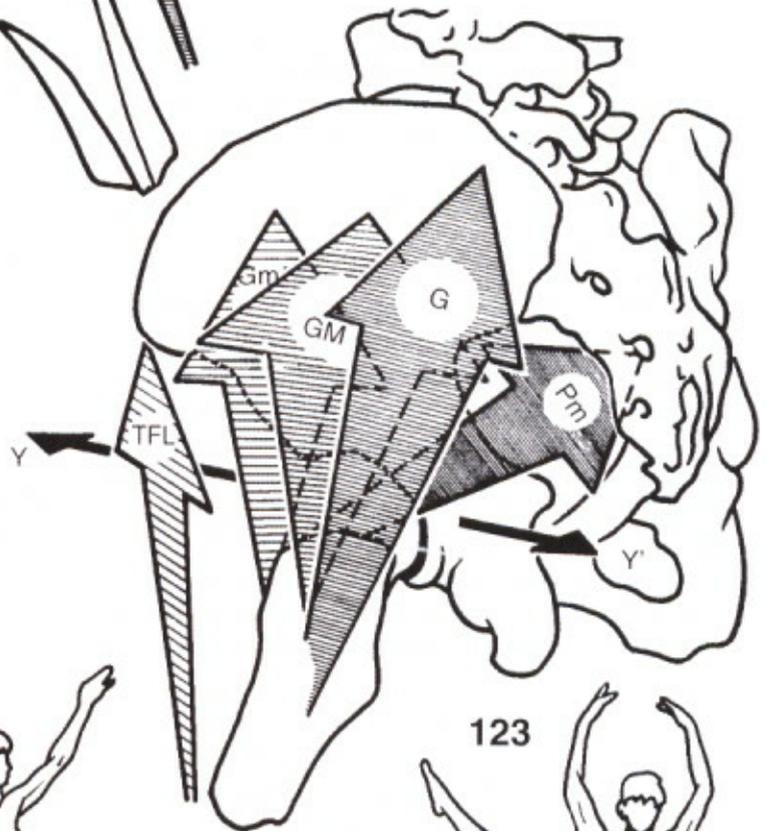
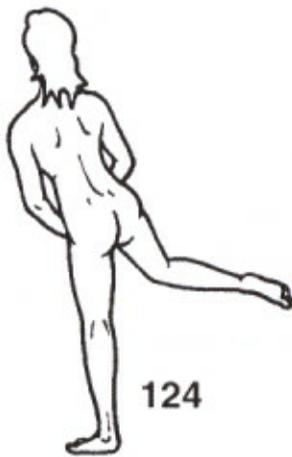
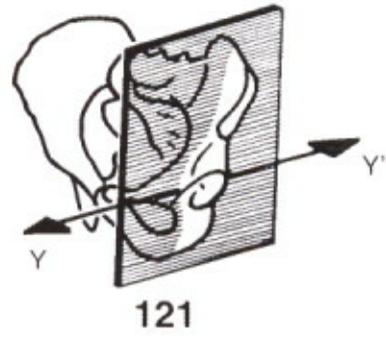
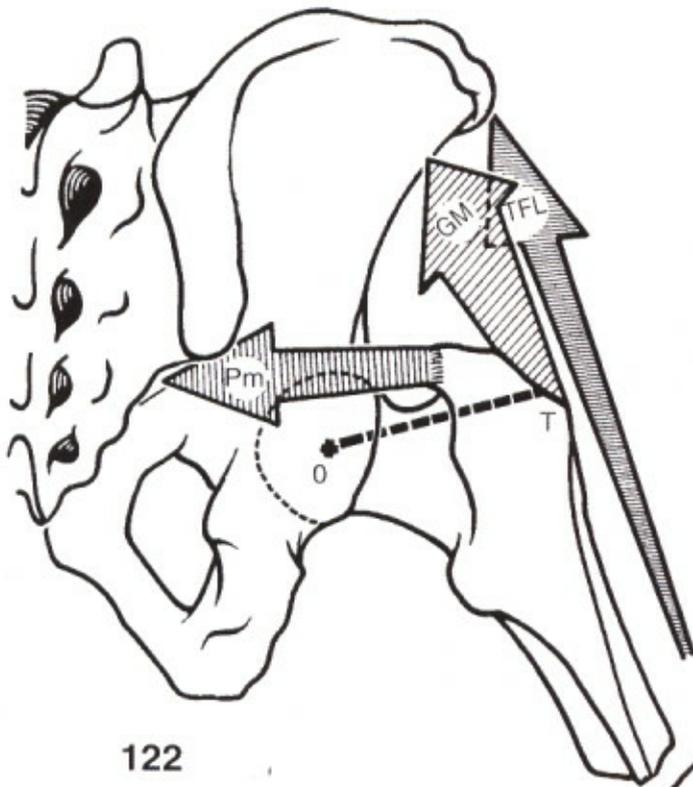
El **piramidal** de la pelvis (Pm) posee una acción abductora innegable aunque difícil de apreciar experimentalmente debido a su profunda localización.

De acuerdo con sus funciones secundarias en la flexoextensión y abducción-aducción, se pueden clasificar los músculos abductores en dos grupos.

En el *primer grupo* se incluyen todos los músculos abductores situados por delante del plano frontal que pasa por el centro de la articulación: el tensor de la fascia lata, casi la totalidad de los haces anteriores de los glúteos mediano y menor. Estos músculos determinan, por su contracción aislada o predominante, un movimiento de **abducción-flexión-rotación interna** (Fig. 124).

En el *segundo grupo* se incluyen los haces posteriores de los glúteos menor y mediano (los situados por detrás del plano frontal), así como los haces abductores del glúteo mayor. Estos músculos determinan, por su contracción aislada o predominante, un movimiento de **abducción-extensión-rotación externa** (Fig. 125).

Para obtener una **abducción directa** (Fig. 126), es decir sin ningún componente parásito, es necesario que ambos grupos realicen una *contracción antagonista-sinérgica equilibrada*.



LA ABDUCCIÓN

(continuación)

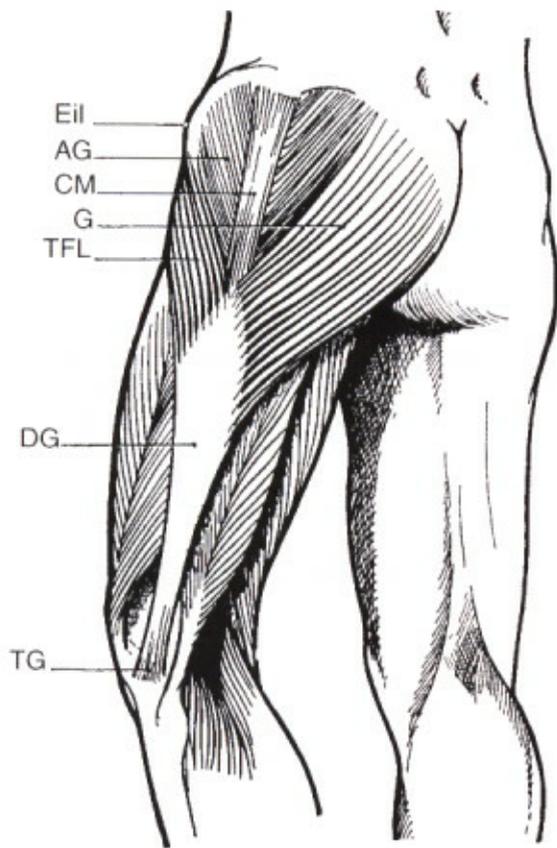
El **deltoides glúteo** (Farabeuf) constituye un amplio abanico muscular (Fig. 127) en la cara externa de la pierna, a la altura de la cadera. Su denominación se debe a su *forma triangular* con una punta inferior y a su analogía tanto anatómica como funcional con el deltoides braquial. Sin embargo, no está formado por una capa muscular continua, sino por dos cuerpos musculares que ocupan los bordes anterior y posterior del triángulo; por delante, el *tensor de la fascia lata* (TFL), que se inserta en la espina ilíaca anterior y superior (Eil), se dirige oblicuamente hacia abajo y hacia atrás; por detrás, la *porción superficial del glúteo mayor* (G), que se fija en el tercio posterior de la cresta ilíaca y cresta sacra, para dirigirse hacia abajo y hacia delante. Ambos músculos finalizan con un desdoblamiento del borde anterior y del borde posterior de la cintilla iliofemoral o cintilla de Maissiat (CM), engrosamiento longitudinal de la fascia lata (porción externa de la aponeurosis crural); de este modo, a partir de la inserción del tensor y del glúteo superficial, esta cintilla se convierte en el tendón terminal del deltoides glúteo (DG) que se fijará en la cara externa de la tuberosidad tibial externa, en el tubérculo de Gerdy (TG). Entre el tensor y el glúteo mayor, la aponeurosis glútea (AG) recubre al glúteo mediano. Naturalmente, las dos porciones musculares del deltoides glúteo se pueden contraer de forma aislada, pero cuando actúan de manera equilibrada la tracción sobre el tendón se efectúa en el eje longitudinal y el deltoides glúteo realiza una abducción pura.

La eficacia de los glúteos mediano y menor está *condicionada por la longitud del cuello femoral* (Fig. 128). De hecho, suponiendo que la cabeza femoral esté "colocada" directamente sobre la diáfisis, la amplitud total de la abducción aumentaría considerablemente, pero el brazo de palanca OT' del glúteo mediano sería casi tres veces más corto, lo que dividiría por tres su potencia muscular. De esta forma se puede "explicar" racionalmente el montaje de la cabeza femoral en "voladizo" (véase pág. 30), solución

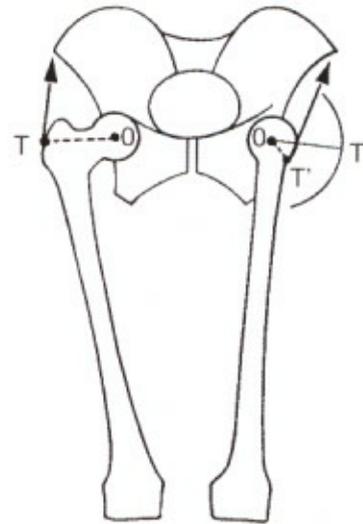
mecánica más frágil que limita más rápidamente la abducción, pero que refuerza la acción del glúteo mediano, indispensable para la estabilidad transversal de la pelvis.

La acción del glúteo mediano (Fig. 129) sobre el brazo de palanca del cuello femoral varía de acuerdo con el grado de abducción: en la posición de alineación normal de la cadera (a), la fuerza del músculo F no es perpendicular al brazo de palanca OT_1 ; de forma que se puede descomponer en un vector f'' dirigido hacia el centro de la articulación y por lo tanto centrípeto, componente coaptador del glúteo mediano (Fig. 102) y un vector perpendicular f' , y por lo tanto tangencial, que representa la *fuerza eficaz* del músculo al comienzo de la abducción. Por esto, a medida que la abducción aumenta (b), el vector f'' tiende a disminuir, mientras que el vector f' aumenta. Por consiguiente, el *glúteo mediano es cada vez menos coaptador y más abductor*. Su máxima eficacia se desarrolla en abducción de 35° aproximadamente: en este momento, la dirección de su fuerza es perpendicular al brazo de palanca OT_2 y f' se confunde con F —toda la fuerza del músculo se utiliza para realizar la abducción. El músculo se ha acortado una longitud T_1T_2 , que representa aproximadamente un tercio de su longitud: pero todavía conserva un sexto de la misma.

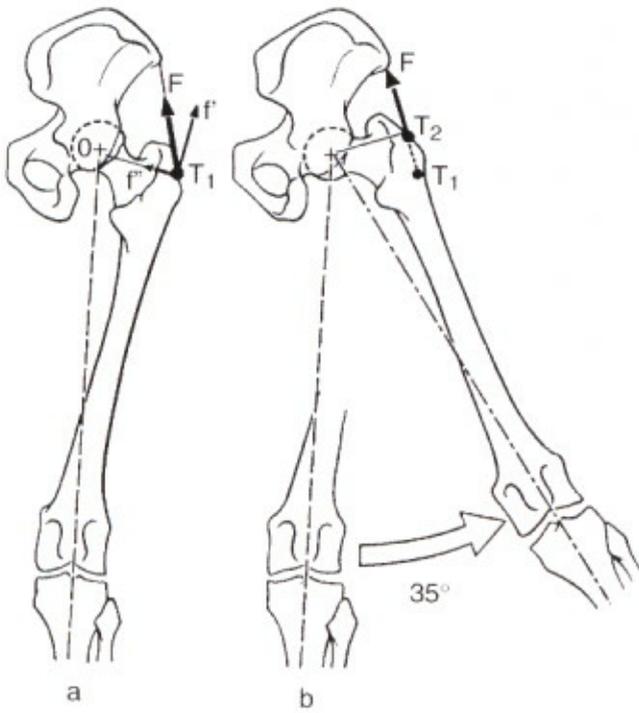
La acción del tensor de la fascia lata (Fig. 130) se puede analizar del mismo modo (a). Su fuerza F aplicada en la espina ilíaca C_1 se descompone en dos vectores: f_1'' centrípeto y f_1' tangencial que hace bascular la pelvis. A medida que la abducción se consolida (b) el componente f_2' aumenta, pero nunca podrá ser igual a la fuerza global F del músculo. Por otra parte, es fácil ver en este esquema que el acortamiento C_1C_2 del músculo representa una fracción mínima de su longitud total, desde la espina al tubérculo: esto explica que el cuerpo muscular sea corto en relación a la longitud del tendón, puesto que sabemos que la longitud máxima de un músculo no sobrepasa la mitad de la longitud de sus fibras contráctiles.



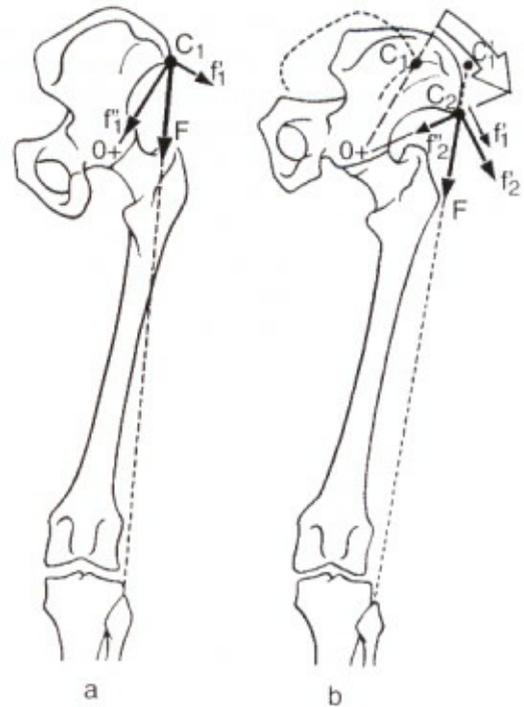
127



128



129



130

EL EQUILIBRIO TRANSVERSAL DE LA PELVIS

Cuando la pelvis está en **apoyo bilateral** (Figura 131), su equilibrio transversal está asegurado por la acción simultánea y bilateral de aductores y abductores. Cuando estas acciones antagonistas están equilibradas (a), la pelvis es estable en una posición simétrica, como en la posición de "¡Firmes!" por ejemplo.

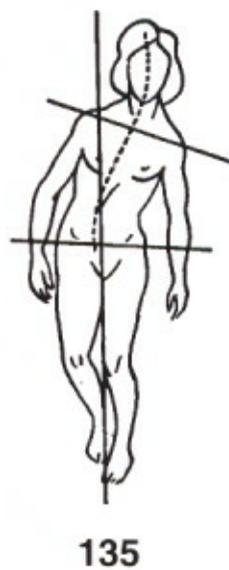
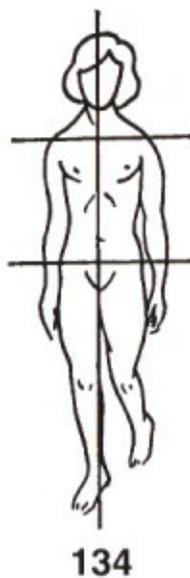
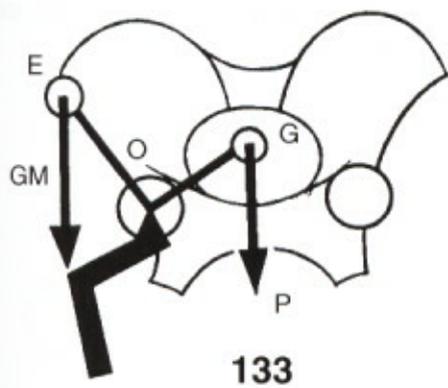
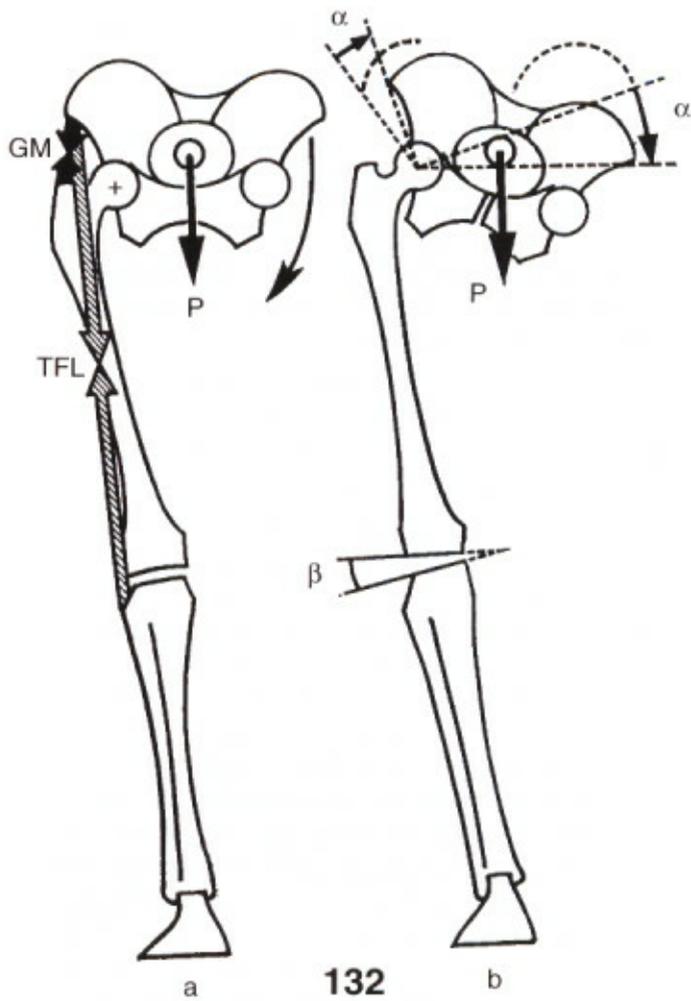
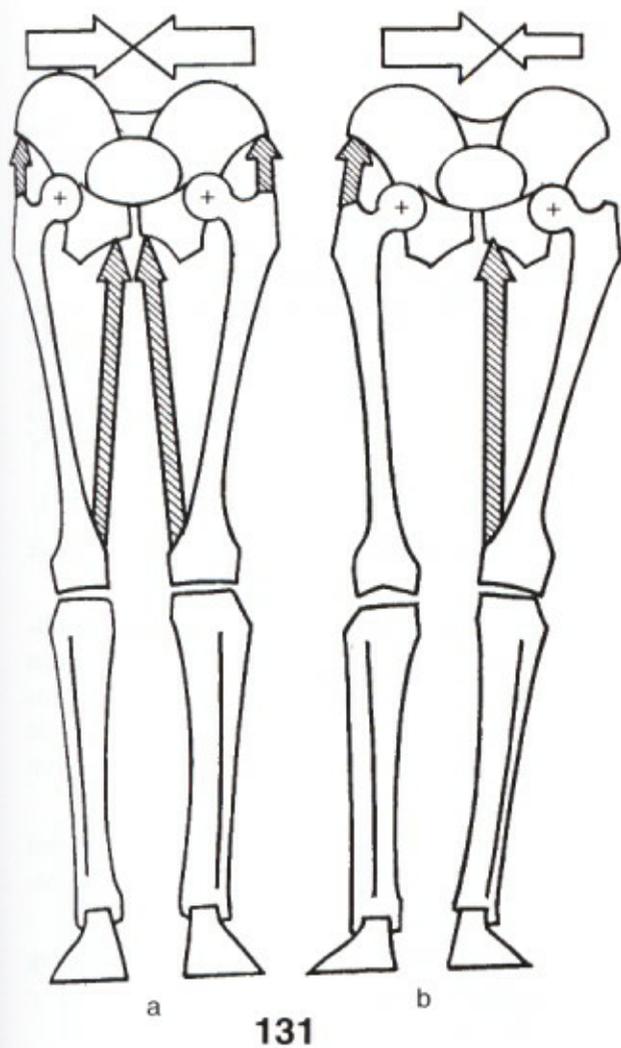
Si por un lado los abductores tiran, mientras que por el otro predominan los aductores (b), la pelvis se desplazará lateralmente hacia el lado donde predominan los aductores; si no se restablece el equilibrio muscular se producirá la caída lateral.

Cuando la pelvis está en **apoyo unilateral** (Figura 132), el equilibrio transversal se asegura únicamente mediante la acción de los abductores del lado del apoyo: solicitado por el peso del cuerpo P aplicado al centro de gravedad, la pelvis tiende a bascular en torno a la cadera que carga. En este caso se puede considerar la cintura pélvica como un brazo de palanca de primer género (Fig. 133), cuyo punto de apoyo está constituido por la cadera que carga O, la resistencia por el peso del cuerpo P aplicado al centro de gravedad G y la potencia por la fuerza del glúteo mediano GM aplicada a la fosa ilíaca anterosuperior. Para que la línea de las caderas permanezca horizontal en apoyo unilateral es necesario que la fuerza del glúteo mediano sea suficiente para equilibrar el peso del cuerpo, teniendo en cuenta la desigualdad de los brazos de palanca OE y OG. En este equilibrio de la pelvis, los glúteos mediano y

menor no están solos, cuentan con la poderosa ayuda del tensor de la fascia lata TFL (Fig. 132).

Si uno de estos músculos se debilita (Fig. 132, b), la acción de la gravedad ya no está contrarrestada y se ve cómo la pelvis se "inclina" del lado opuesto de un ángulo α que aumenta según la importancia de la parálisis. El tensor de la fascia lata no sólo estabiliza la pelvis sino también la rodilla: como se demostrará más adelante (véase pág. 118), es un verdadero ligamento lateral externo **activo**, su debilidad puede, por lo tanto y a la larga, favorecer un bostezo externo de la interlínea articular de la rodilla (ángulo β).

La estabilización de la pelvis a través de los glúteos mediano y menor y el tensor de la fascia lata es indispensable para una marcha normal (Fig. 134). De hecho, durante el apoyo unilateral, la línea de la pelvis, representada por la línea biilíaca, permanece horizontal y sensiblemente paralela a la línea de los hombros. Si se paralizan los músculos del lado del apoyo unilateral (Fig. 135), la pelvis bascula hacia el lado opuesto, lo que provocaría la caída si el tronco no se trasladara en bloque hacia el lado del apoyo junto con una inclinación inversa de la línea de los hombros. Esta actitud característica del apoyo unilateral, asociada a la basculación de la pelvis hacia el lado opuesto y la inclinación de la parte superior del tronco, constituye el signo de Duchenne-Trendelenbourg, diagnóstico de la parálisis o debilidad de los glúteos menor y mediano.



LOS MÚSCULOS ADUCTORES DE LA CADERA

Los músculos aductores de la cadera se **localizan generalmente por dentro del plano sagital que pasa por el centro de la articulación** (Fig. 136). En todo caso, la dirección de estos músculos pasa **por debajo y por dentro** del eje anteroposterior YY' de abducción-aducción, situado en dicho plano sagital.

Los músculos aductores son particularmente **numerosos y potentes**. En una vista posterior (Fig. 137), forman un amplio abanico que se extiende por todo el fémur:

- el músculo **aductor mayor** (A) es el más potente (13 kgm); su configuración tan particular (Fig. 138) se debe a que sus fibras más internas de la rama isquiopúbica se insertan en la porción superior del fémur y las más externas en el isquión, terminan más abajo, en la línea áspera. Por consiguiente, sus haces superior (2) y medio (1) forman una corredera de concavidad posteroexterna que se puede ver gracias a la transparencia del haz superior y a la desarticulación de la cadera con rotación externa del fémur. En la concavidad de ambos haces (recuadro representando el corte indicado por la flecha) se halla tenso el tercer haz, el inferior, denominado también tercer aductor (A'), que forma un cuerpo muscular distinto.

Esta disposición de las fibras musculares tiene como resultado la reducción del alargamiento relativo que se

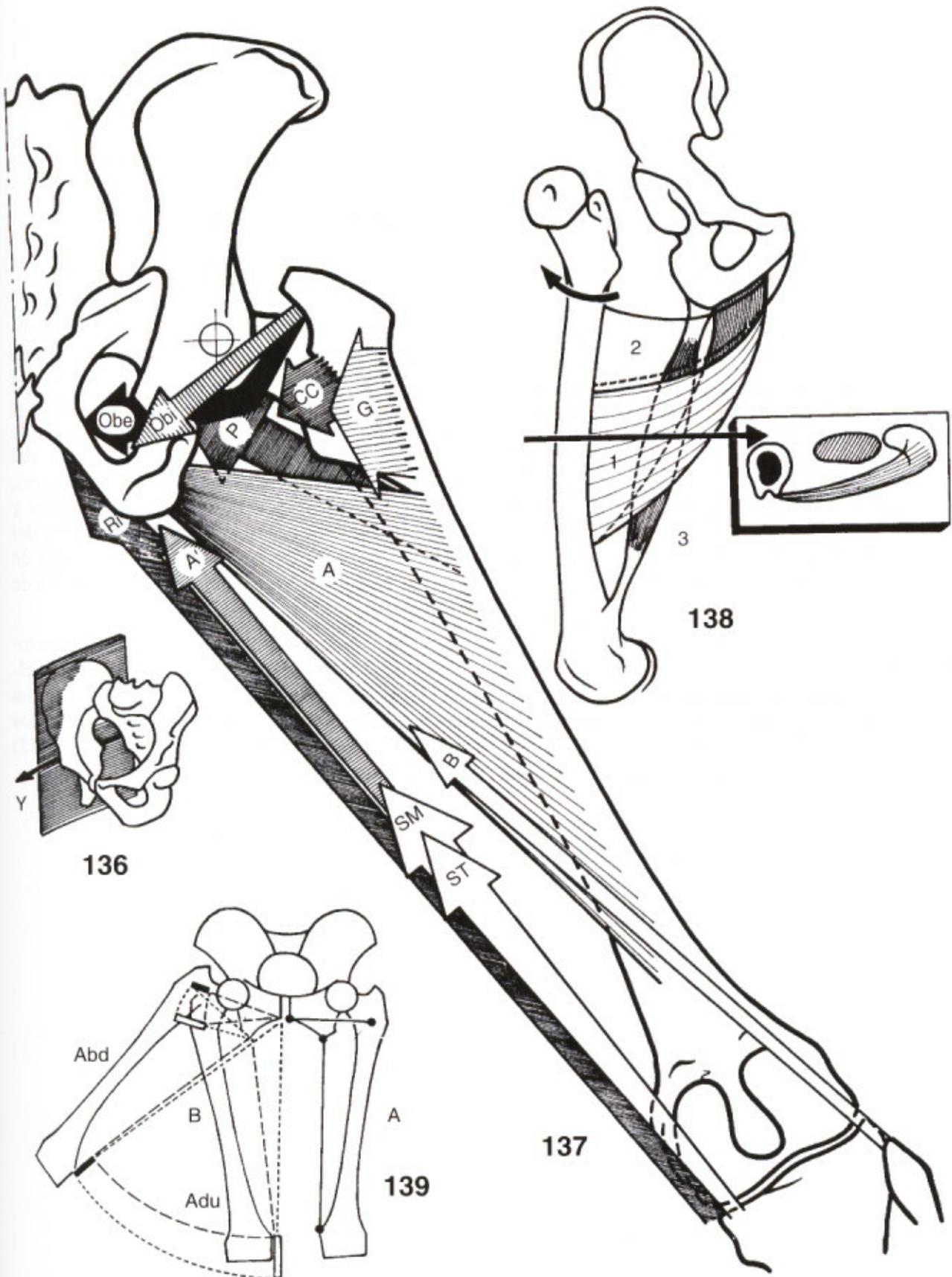
produce en la abducción, por lo tanto, permite una mayor amplitud de abducción conservando la eficacia del músculo, tal como muestra la figura 139:

en el lado A, la dirección real de las fibras;

en el lado B, la dirección real de las fibras (trazos) y la dirección "simplificada" (punteado):

las fibras más internas y más bajas, las fibras más externas y más altas (disposición inversa a la real). Estas dos posiciones están representadas en aducción (adu) y abducción (abd). El alargamiento de las fibras entre la abducción y la aducción, tanto en la disposición real (trazo negro) como en la disposición "inversa o simplificada" (trazo blanco), aparece claramente.

- el **recto interno** (Ri) compone el borde interno del abanico muscular;
- el **semimembranoso** (SM) y **semitendinoso** (ST) y **la porción larga del bíceps femoral** (B), aunque sean músculos isquiotibiales esencialmente extensores de cadera y flexores de rodilla, tienen un importante componente aductor,
- el **glúteo mayor** (G) es aductor en su casi totalidad (todos sus haces pasan por debajo del eje YY');
- el **cuadrado crural** (CC) es aductor y rotador externo;
- al igual que el **pectíneo** (P);
- el **obturador interno** (Obi) ayudado por los géminos pélvicos (sin representar) y
- el **obturador externo** (Obe) poseen un componente de aducción.



LOS MÚSCULOS ADUCTORES DE LA CADERA

(continuación)

El esquema frontal de los aductores (Fig. 140) muestra:

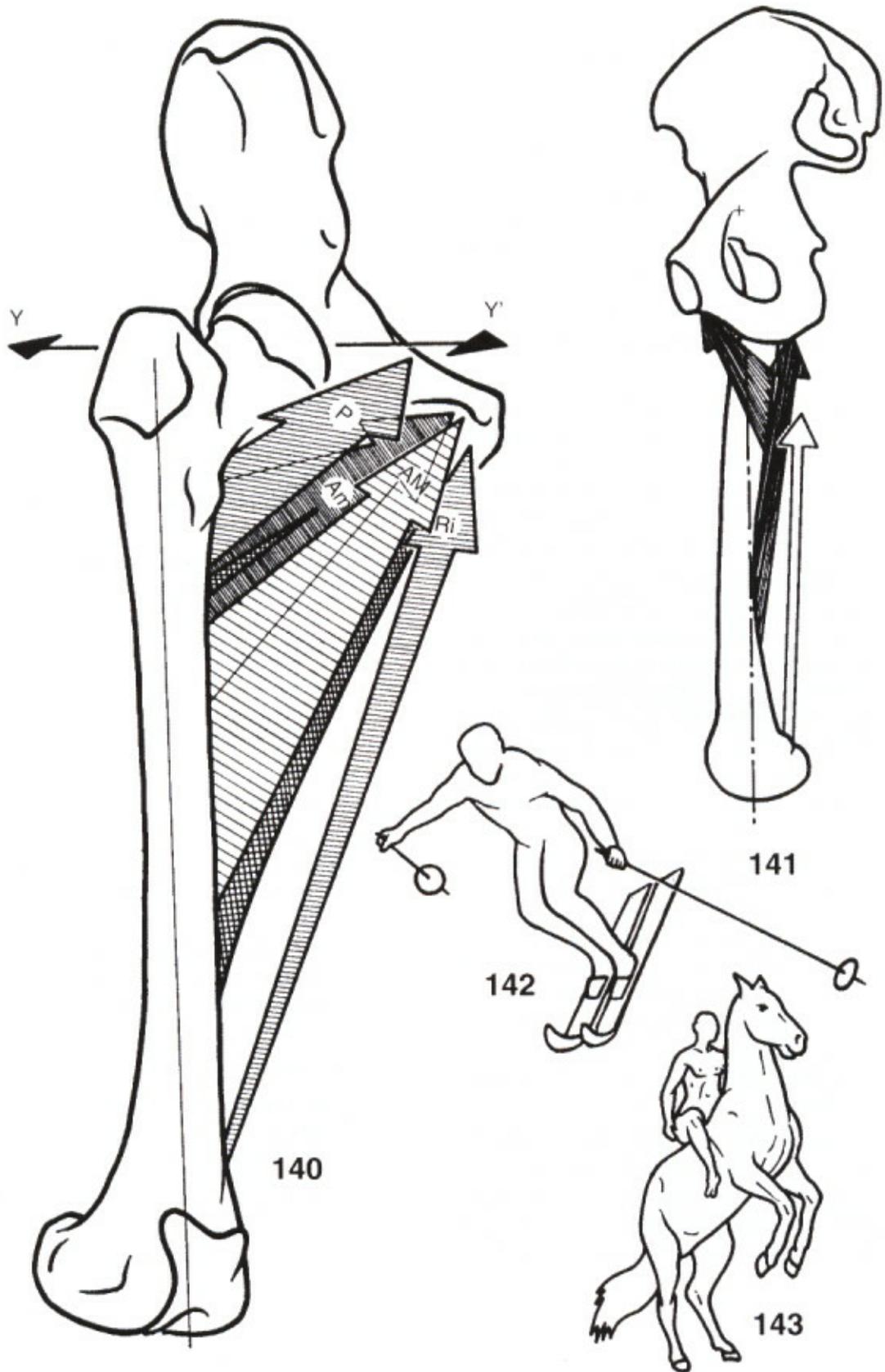
- el **aductor mediano** (AM), cuya potencia (5 kgm) alcanza a duras penas la mitad de la del aductor mayor;
- el **aductor menor** (Am), cuyos dos haces están recubiertos por el aductor mediano, por abajo, y el pectíneo (P), por arriba;
- el **recto interno** (Ri) limita, por dentro, el compartimento *de los aductores*.

Junto a su acción principal, los aductores poseen componentes de flexoextensión y de rotación axial.

Su **función en la flexoextensión** (Fig. 141, vista interna) depende de la localización de su inserción superior. Cuando esta inserción se encuentra en la rama isquiopúbica, *por detrás* del

plano frontal que pasa por el centro de la articulación (línea de puntos y rayas), actúan como extensores; es el caso específico de los haces inferiores del aductor mayor, el tercer aductor y, por supuesto, de los isquiotibiales. Cuando la inserción superior se localiza *por delante* del plano frontal, los aductores son también flexores, es el caso del pectíneo, de los aductores menor y mediano, del haz superior del aductor mayor y del recto interno. Sin embargo, este componente de flexoextensión depende también de la posición de partida de la cadera (véase pág. 68).

Como se expuso anteriormente, los aductores son indispensables para el equilibrio de la pelvis en apoyo unilateral; además, desempeñan un papel esencial en ciertas actitudes o movimientos deportivos, como la práctica del esquí (Fig. 142) o de la equitación (Fig. 143).



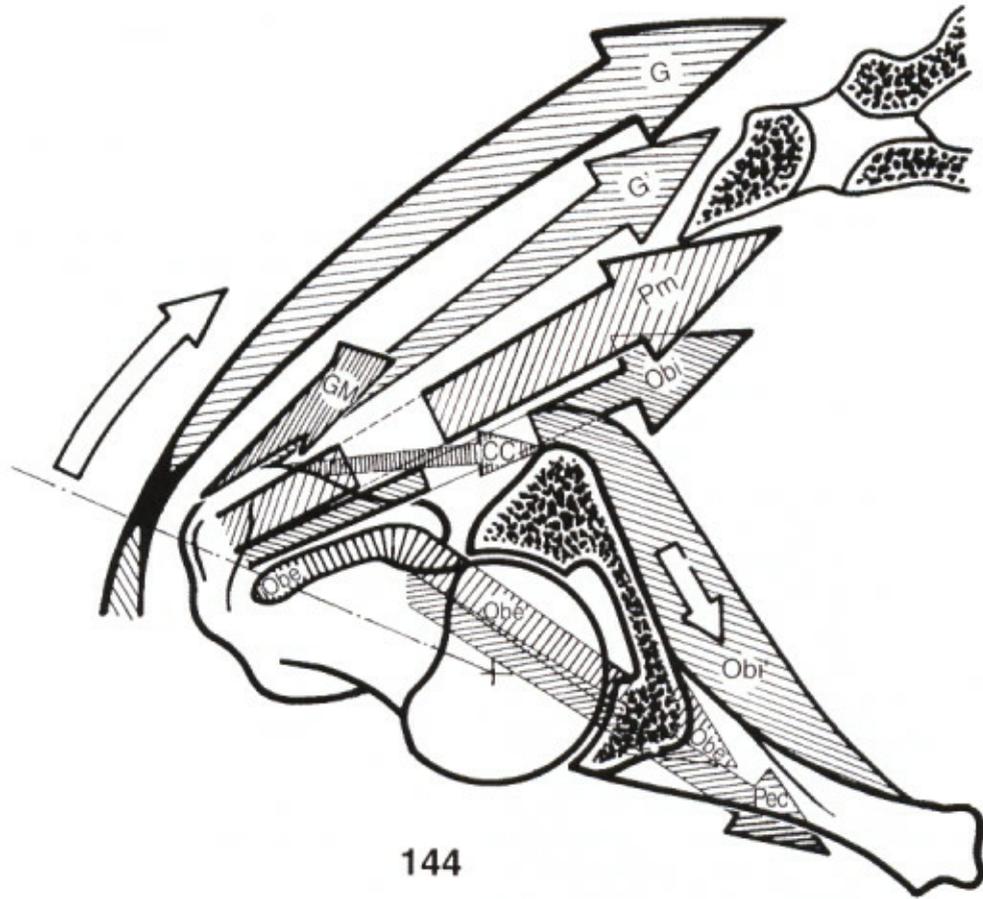
LOS MÚSCULOS ROTADORES EXTERNOS DE LA CADERA

Los rotadores externos de la cadera son **numerosos y potentes**. Su trayecto cruza por detrás del eje vertical de la cadera. Esta característica aparece claramente en un corte horizontal de la pelvis que, practicado ligeramente por arriba del centro de la articulación (Fig. 144, vista superior), muestra el conjunto de los rotadores externos. Éstos son:

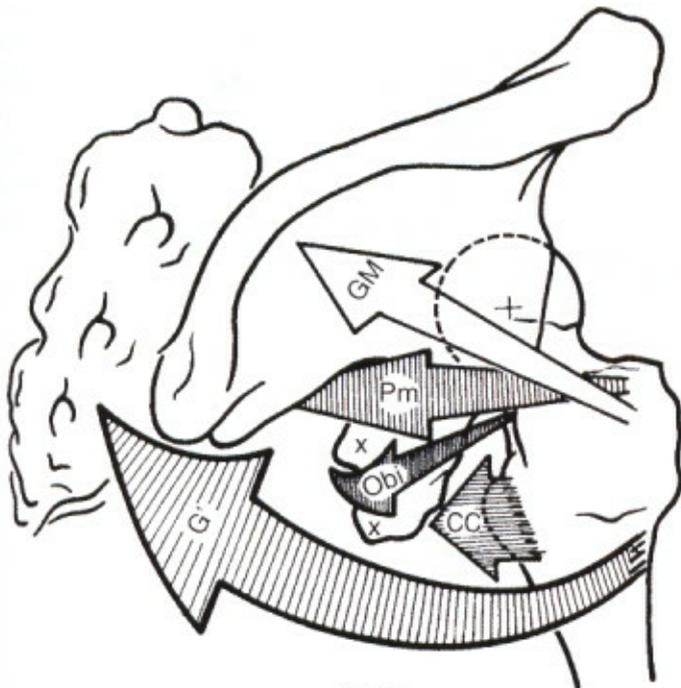
- los **pelvi-trocantéreos**, que desempeñan el papel principal:
 - el **piramidal de la pelvis** (Pm), que se fija en el borde superior del trocánter mayor, se dirige hacia dentro y atrás, penetra en la escotadura ciática mayor (Fig. 145: vista posterosuperior) para insertarse en la cara anterior del sacro;
 - el **obturador interno** (Obi), que sigue primero un trayecto sensiblemente paralelo al piramidal, pero pronto se refleja en ángulo recto en el borde posterior del hueso ilíaco, por debajo de la espina ciática (Fig. 145). La segunda parte de su trayecto (Obi') es endopélvica y le conduce hasta sus inserciones en el borde interno del agujero obturador. En la primera parte de su trayecto le acompañan los **gémicos pélvicos**, pequeños músculos que se extienden a lo largo de sus bordes superior e inferior y se insertan (Fig. 145) en las proximidades de la espina ciática (+) y de la tuberosidad isquiática (+) respectivamente. Finalizan en la cara interna del trocánter mayor por medio de un tendón común con el del obturador interno. Su acción es idéntica;
 - el **obturador externo** (Obe) se inserta en el fondo de la fosita digital, en la cara interna del trocánter mayor, a continuación su tendón rodea la cara posterior del cuello femoral y la cara inferior de la

articulación, sus fibras carnosas se fijan en la cara externa del contorno del agujero obturador. En conjunto, se enrolla alrededor del cuello y para poder verlo en su totalidad es necesario flexionar al máximo la pelvis sobre el fémur (Fig. 146: vista posteroinferoexterna de la pelvis, con la cadera flexionada). De esta forma se pueden entender dos características de su acción: es sobre todo rotador externo con la cadera flexionada (véase la página siguiente) y es ligeramente flexor de la cadera debido a su disposición, enrollado en torno al cuello;

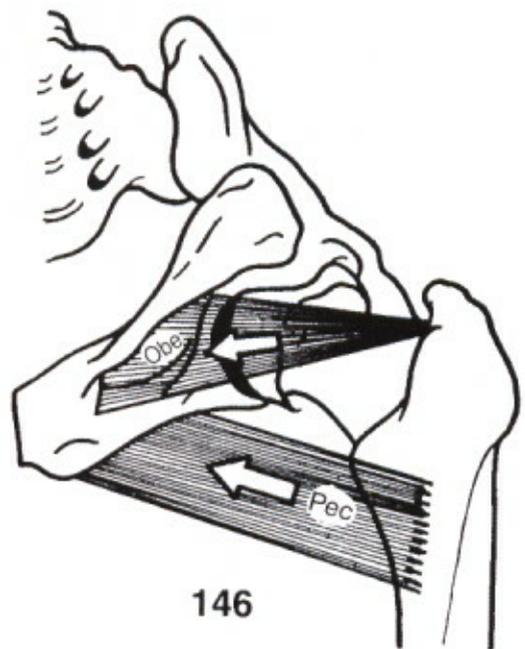
- **algunos músculos aductores** son también rotadores externos:
 - el **cuadrado crural** (CC), que se extiende desde la línea intertrocantérea posterior (Fig. 145) hasta la tuberosidad isquiática. Además, es extensor o flexor dependiendo de la posición de la cadera (Fig. 153);
 - el **pectíneo** (Pec), que se expande desde la línea media de trifurcación de la línea áspera (Fig. 146) hasta la rama horizontal del pubis, es aductor, flexor y rotador externo;
 - los **haces más posteriores del aductor mayor** poseen un componente de rotación externa, al igual que los isquiotibiales (Fig. 147);
- los **glúteos**:
 - el glúteo mayor en su totalidad, tanto su porción superficial (G) como su porción profunda (G');
 - los haces posteriores del glúteo menor y, sobre todo, el glúteo mediano (GM) (Figs. 144 y 145).



144



145



146

LOS MÚSCULOS ROTADORES DE LA CADERA

El corte horizontal (Fig. 147) practicado ligeramente por debajo de la cabeza femoral (en punteado) muestra *el componente de rotación de los isquiotibiales y aductores*. La proyección horizontal de *la porción larga del bíceps femoral* (B), del semitendinoso, del semimembranoso y del *tercer aductor* (flecha blanca A) e incluso de los aductores *mediano* (AM) y *menor* pasa por detrás del eje vertical: por lo tanto dichos músculos son rotadores externos cuando el miembro inferior gira alrededor de su eje mecánico longitudinal (Fig. 48), es decir, con la rodilla extendida, y la cadera y el pie a modo de pivote. Además es necesario recalcar que en la rotación interna (RI) el recorrido de parte de los aductores pasa por delante del eje vertical, por lo que se convierten en rotadores internos.

Los **rotadores internos** son menos numerosos que los externos y su potencia es tres veces menor (54 kgm los rotadores internos frente a los 146 kgm de los rotadores externos). La trayectoria de estos músculos *pasa por delante del eje vertical* de la cadera. El corte horizontal (Fig. 148) muestra los tres rotadores internos de la cadera:

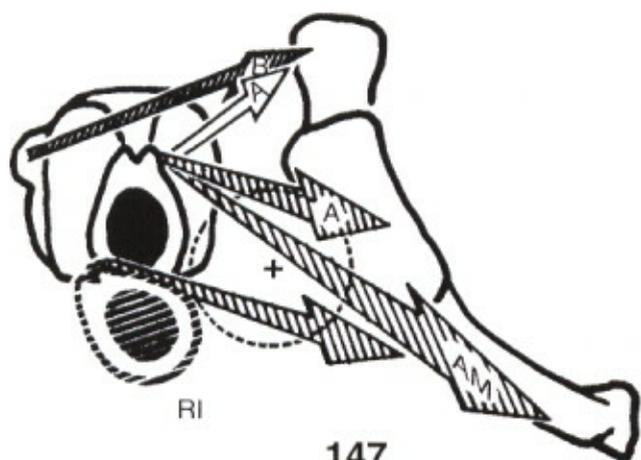
- el **tensor de la fascia lata** (TFL), que se dirige hacia la espina ilíaca anterosuperior (Eil);
- el **glúteo menor** (Gm), rotador interno en su casi totalidad;
- el **glúteo mediano** (GM), únicamente en

cuanto a sus haces anteriores.

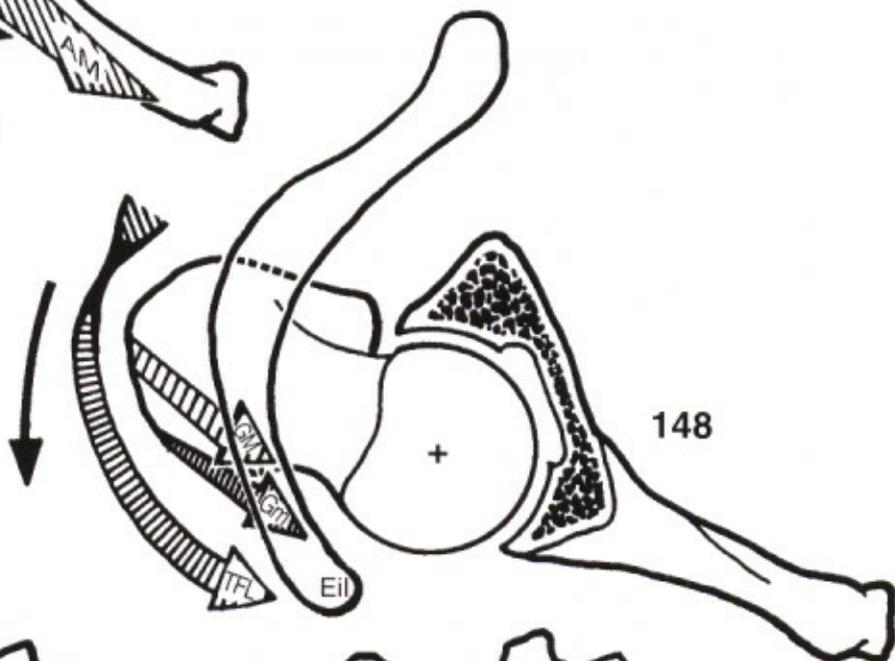
En una rotación interna de 30 a 40° (Fig. 149), el trayecto del *obturador externo* (Obe) y del pectíneo se proyecta exactamente por debajo del centro de la articulación; estos dos músculos ya no son pues rotadores externos. Los glúteos menor y mediano continúan actuando como rotadores internos.

Sin embargo, si la rotación interna continúa (Fig. 150), el obturador externo y el pectíneo se convierten en rotadores internos, ya que ahora su trayecto pasa por delante del eje vertical, mientras que el tensor de la fascia lata y los glúteos menor y mediano se convierten en *rotadores externos*. Esto no es válido más que cuando la rotación interna alcanza su máxima amplitud; éste es un ejemplo de la inversión de las acciones musculares en función de la posición de la articulación.

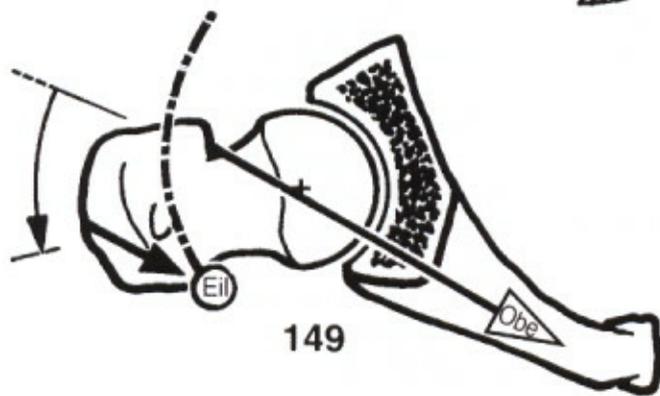
Esta *inversión de las acciones musculares* se debe a un *cambio en la orientación de las fibras musculares*, cuya vista en perspectiva anterosuperoexterna (Fig. 151) demuestra que con la cadera en máxima rotación interna los músculos obturador externo y pectíneo (flechas rayadas) pasan por delante del eje vertical (línea de puntos y rayas), mientras que los glúteos menor y mediano (flechas negras) toman una dirección oblicua hacia arriba y hacia detrás.



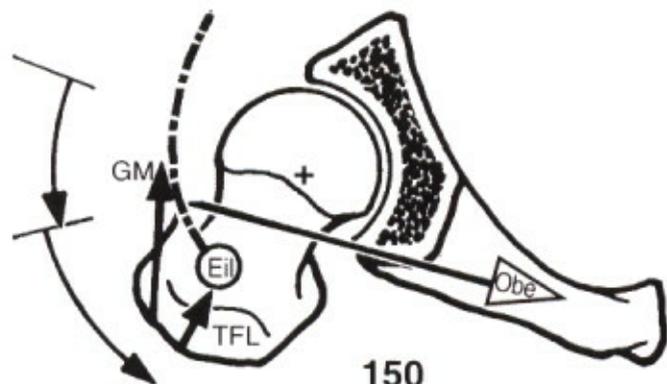
147



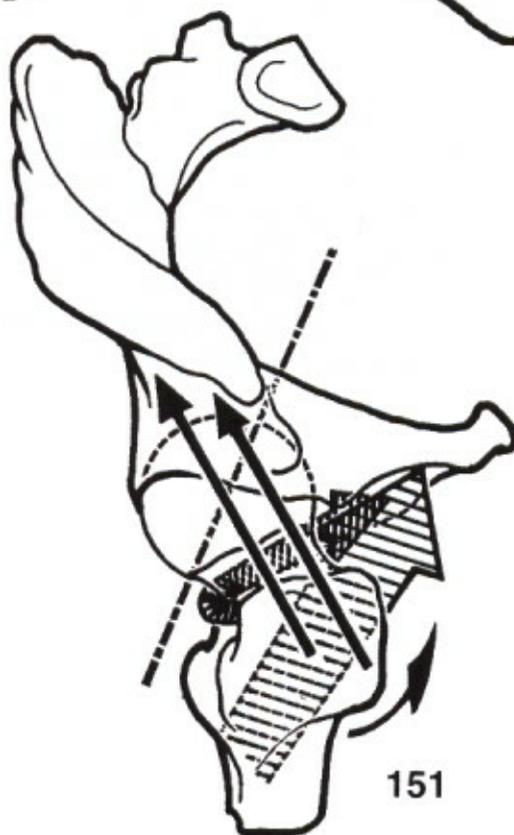
148



149



150



151

LA INVERSIÓN DE LAS ACCIONES MUSCULARES

Los músculos motores de una articulación con tres grados de libertad no poseen la misma acción, dependiendo de la posición de la articulación; las acciones secundarias pueden cambiar e incluso invertirse. El ejemplo más típico es la **inversión del componente de flexión de los aductores** (Fig. 152): a partir de una posición de alineación normal (0°), todos los aductores se convierten en flexores excepto los haces posteriores del aductor mayor y, en particular, del "tercer aductor" (A') que es y continúa siendo extensor hasta una extensión de -20° . Pero el componente de flexión sólo persiste mientras no se sobrepase la inserción superior de cada músculo: así, el aductor mediano (AM) es flexor hasta los $+50^\circ$, pero a partir de $+70^\circ$ se convierte en extensor. Del mismo modo, el aductor menor es flexor hasta los $+50^\circ$, tras los cuales se transforma en extensor; en cuanto al recto interno, el límite de la flexión es de $+40^\circ$. En este esquema se refleja claramente que sólo los flexores pueden llevar el movimiento de flexión hasta el límite: para $+120^\circ$ el tensor de la fascia lata (TFL) agota su longitud (se ha acortado la distancia aa' que es igual a la mitad de la longitud de sus fibras), en cuanto al psoas (Ps), también alcanza el límite de su eficacia, ya que su tendón tiende a "despegarse" de la eminencia iliopectínea (el esquema permite comprender "por qué" el trocánter está situado tan atrás: el tendón del psoas posee así una longitud adicional equivalente al grosor de la diáfisis femoral).

Con respecto al **cuadrado crural**, la inversión del componente de flexión también está clara

(Figura 153: el hueso ilíaco, transparente, permite ver el fémur y el trayecto del cuadrado crural): en extensión (E), el cuadrado crural es flexor, mientras que en flexión (F) se convierte en extensor, el punto de transición corresponde a la posición de alineación normal.

La propia eficacia de los músculos depende, en gran medida, de la *posición de la articulación*. La flexión previa (Fig. 154) pone en tensión los músculos extensores de la cadera: en una flexión de 120° , el alargamiento pasivo del glúteo mayor corresponde a una longitud FF' que en algunas fibras alcanza el 100%, por su parte el alargamiento de los isquiotibiales corresponde a una longitud JJ' próxima al 50% de su longitud en alineación normal, pero a condición de que la rodilla permanezca en extensión. Esto explica la posición de partida de los corredores (Fig. 155): máxima flexión de cadera, seguida de una extensión de rodilla (segundo tiempo que aquí no se ha representado), que pone los extensores de cadera en un estado de tensión favorable a la potencia del impulso de salida. Esta tensión de los isquiotibiales es la que limita la flexión de la cadera cuando la rodilla está extendida.

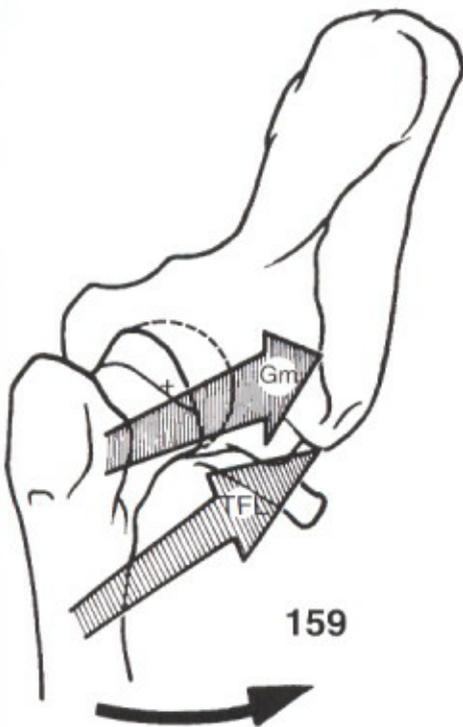
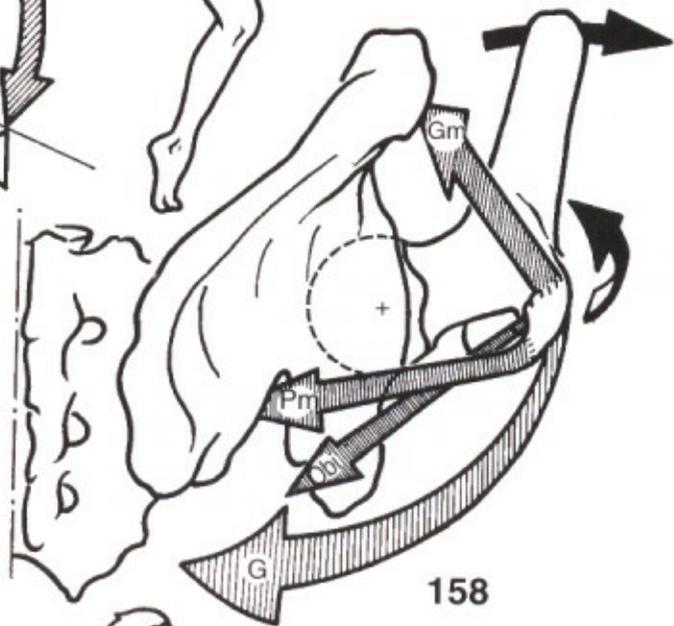
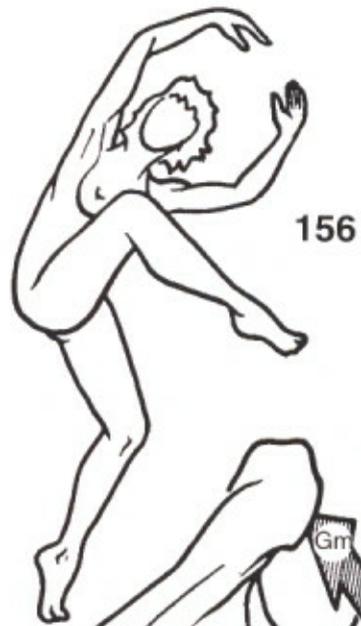
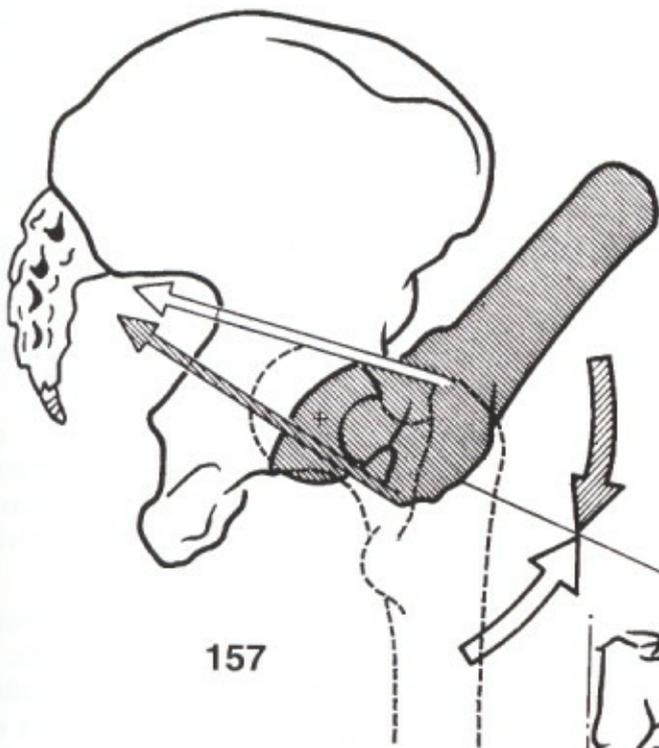
El esquema (Fig. 154) muestra, además, que desde la posición de alineación normal a la posición de extensión a -20° , la variación de la longitud JJ'' de los isquiotibiales es relativamente escasa: esto confirma el concepto de que la eficacia óptima de los isquiotibiales es en la posición de semiflexión.

LA INVERSIÓN DE LAS ACCIONES MUSCULARES

(continuación)

En la posición de flexión acentuada de la cadera (Fig. 156), el piramidal modifica sus acciones (Fig. 157: vista externa): mientras que en alineación normal es rotador externo-*flexor*-abductor (flecha blanca), en flexión acentuada se convierte (flecha rayada) en rotador interno-*extensor*-abductor, la transición entre estas dos zonas de acción se sitúa próxima a la flexión de 60°, en la que no es más que abductor. En flexión siempre acentuada (Fig. 158: vista posteroexterna de la cadera flexionada), no

sólo el piramidal (Pm) es abductor, sino que también el obturador interno se comporta como tal (Obi), al igual que la totalidad del glúteo mayor (G), de esta forma, la acción de estos músculos permite, con las caderas flexionadas a 90°, separar las rodillas una de otra. El glúteo menor (Gm) es un rotador interno evidente y se convierte en aductor (Fig. 159), al igual que el tensor de la fascia lata (TFL); siendo el movimiento global realizado, de flexión-aducción-rotación interna (Fig. 160).



INTERVENCIÓN SUCESIVA DE LOS ABDUCTORES

Dependiendo del grado de flexión de la cadera, la pelvis, en **apoyo unilateral**, está estabilizada por distintos músculos abductores.

Con la cadera en extensión (Fig. 161), el centro de gravedad cae por detrás de la línea de las caderas y no se puede realizar la báscula posterior de la pelvis debido a la tensión del ligamento de Bertin (véase también página 38) y la contracción del tensor de la fascia lata que, al mismo tiempo, es flexor de cadera: por lo tanto, el tensor corrige a la vez la báscula lateral y la báscula posterior de la pelvis.

Cuando la pelvis está algo menos basculada hacia atrás (Fig. 162), el centro de gravedad sigue cayendo por detrás de la línea de las caderas y el glúteo menor empieza a actuar: no se debe olvidar

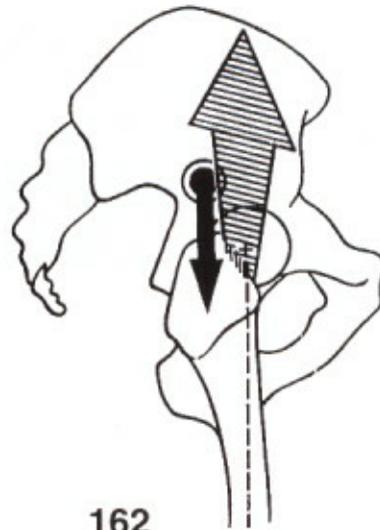
que este músculo también es abductor-flexor, como el tensor.

Cuando la pelvis está en equilibrio en el plano anteroposterior (Fig. 163), el centro de gravedad cae en la línea de las caderas, y en este caso será el glúteo mediano el que estabilice la pelvis lateralmente.

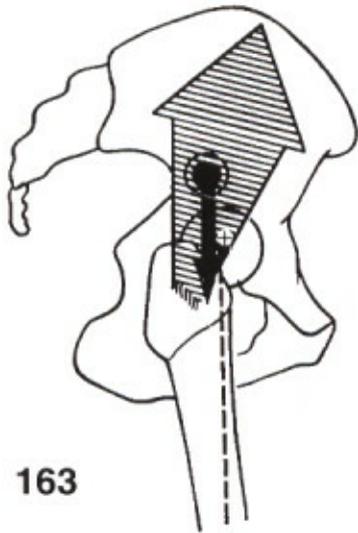
A partir del momento en el que la pelvis bascula hacia delante, el glúteo mayor interviene, a éste se le suman sucesivamente el piramidal (Fig. 164), el obturador interno (Fig. 165) y el cuadrado crural (Fig. 166), a medida que la flexión del tronco aumenta: estos músculos son *a la vez abductores* —con la cadera en flexión— y *extensores*, lo que les permite corregir la báscula de la pelvis, simultáneamente, en los dos planos.



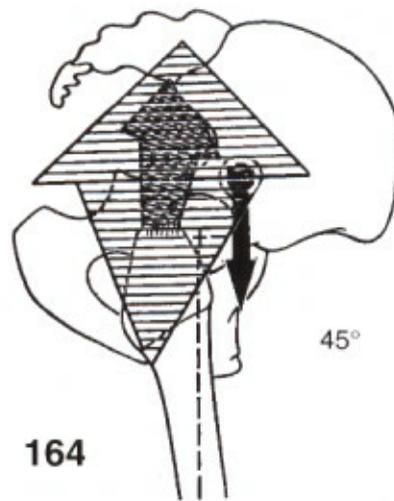
161



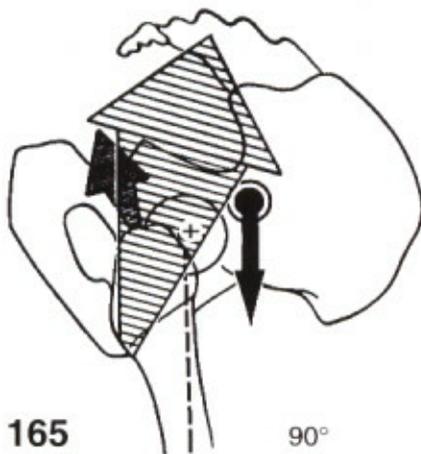
162



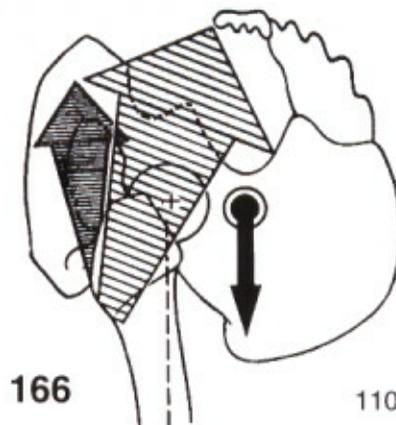
163



164



165



166

110°

CAPÍTULO II

LA RODILLA

La rodilla es la articulación *intermedia* del miembro inferior. *Principalmente*, es una articulación de **un solo grado de libertad** –la flexo-extensión–, que le permite aproximar o alejar, en mayor o menor medida, el extremo del miembro a su raíz o, lo que viene a ser lo mismo, regular la distancia del cuerpo con respecto al suelo. *La rodilla trabaja, esencialmente, en compresión* bajo la acción de la gravedad.

De manera accesoria, la articulación de la rodilla posee **un segundo grado de libertad**: la rotación sobre el eje longitudinal de la pierna, que *sólo aparece cuando la rodilla está flexionada*.

Desde el punto de vista mecánico, la articulación de la rodilla es un caso sorprendente, ya que debe conciliar **dos imperativos contradictorios**:

- poseer una *gran estabilidad* en extensión máxima, posición en la que la rodilla hace

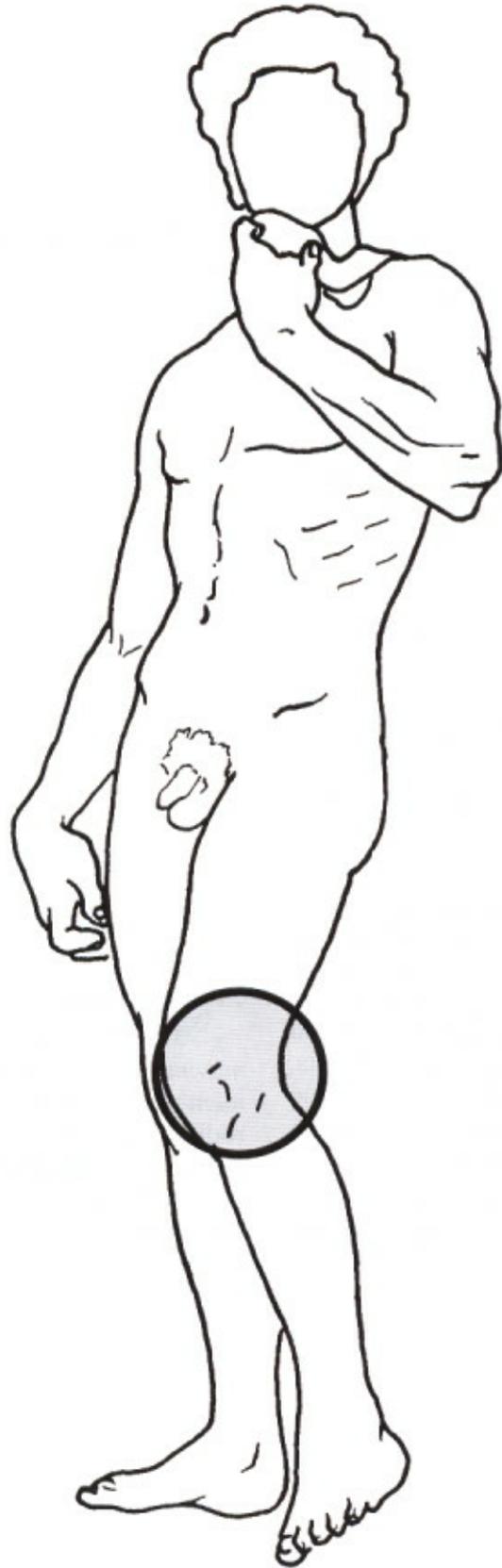
esfuerzos importantes debido al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca;

- adquirir una *gran movilidad* a partir de cierto ángulo de flexión, movilidad necesaria en la carrera y para la orientación óptima del pie en relación a las irregularidades del terreno.

La rodilla resuelve esas contradicciones gracias a dispositivos mecánicos extremadamente ingeniosos; sin embargo, el poco acoplamiento de las superficies, condición necesaria para una buena movilidad, la expone a esguinces y luxaciones.

En flexión, posición de inestabilidad, la rodilla está expuesta al máximo a lesiones ligamentosas y meniscales.

En extensión es más vulnerable a las fracturas articulares y a las rupturas ligamentosas.



LOS EJES DE LA ARTICULACIÓN DE LA RODILLA

El primer grado de libertad está condicionado por el *eje transversal XX'* (Fig. 1, vista interna y 2: vista externa de la rodilla semiflexionada), alrededor del cual se efectúan movimientos de flexoextensión en un plano sagital. Dicho eje *XX'*, incluido en un plano frontal, atraviesa horizontalmente los cóndilos femorales.

Teniendo en cuenta la forma "en voladizo" del cuello femoral (Fig. 3), el eje de la diáfisis femoral no está situado, exactamente, en la prolongación del eje del esqueleto de la pierna, y forma con este último un ángulo obtuso, abierto hacia dentro, de 170-175°: se trata del *valgus fisiológico de la rodilla*.

Sin embargo, los tres centros articulares de la cadera (H), de la rodilla (O) y del tobillo (C) están alineados en una misma recta HOC, que representa *el eje mecánico del miembro inferior*. En la pierna, este eje se confunde con el eje del esqueleto; sin embargo, en el muslo, el eje mecánico HO forma un ángulo de 6° con el eje del fémur.

Por otra parte, el hecho de que las caderas estén más separadas entre sí que los tobillos hace que *el eje mecánico del miembro inferior sea ligeramente oblicuo hacia abajo y adentro*, formando un ángulo de 3° con la vertical. Este ángulo será más abierto cuanto más amplia sea la pelvis, como es el caso de la mujer. Esto explica por qué el valgus fisiológico de la rodilla está *más acentuado en la mujer* que en el hombre.

Al ser horizontal, el eje de flexoextensión *XX'*, no constituye la bisectriz (Ob) del ángulo de

valgus: se miden 81° entre *XX'* y el eje del fémur, y 93° entre *XX'* y el eje de la pierna. De lo cual se deduce que, en máxima flexión, el eje de la pierna no se sitúa exactamente detrás del eje del fémur, *sino por detrás y un poco hacia dentro*, lo que desplaza el talón hacia el plano de simetría: la flexión máxima hace que *el talón contacte con la nalga, a la altura de la tuberosidad isquiática*.

El segundo grado de libertad consiste en la rotación alrededor del *eje longitudinal YY'* de la pierna (Figs. 1 y 2), con *la rodilla en flexión*. La estructura de la rodilla hace esta rotación imposible cuando **la articulación está en máxima extensión**; el eje de la pierna se confunde entonces con el eje mecánico del miembro inferior y la rotación axial ya no se localiza en la rodilla, sino en la cadera que la suple.

En la figura 1 se ha dibujado un eje *ZZ'* anteroposterior y perpendicular a los dos precedentes. Este eje no presupone un tercer grado de libertad; cuando la rodilla está flexionada, cierta holgura mecánica permite **movimientos de lateralidad** de 1 a 2 cm en el tobillo; pero en extensión completa, estos movimientos de lateralidad desaparecen totalmente: si los hubiera, deben considerarse *patológicos*.

Sin embargo, es necesario saber que los *movimientos de lateralidad aparecen normalmente tan pronto se flexiona* mínimamente la rodilla; para saber si son patológicos, es **indispensable compararlos con los del otro lado**, con la condición indispensable de que la rodilla esté sana.

