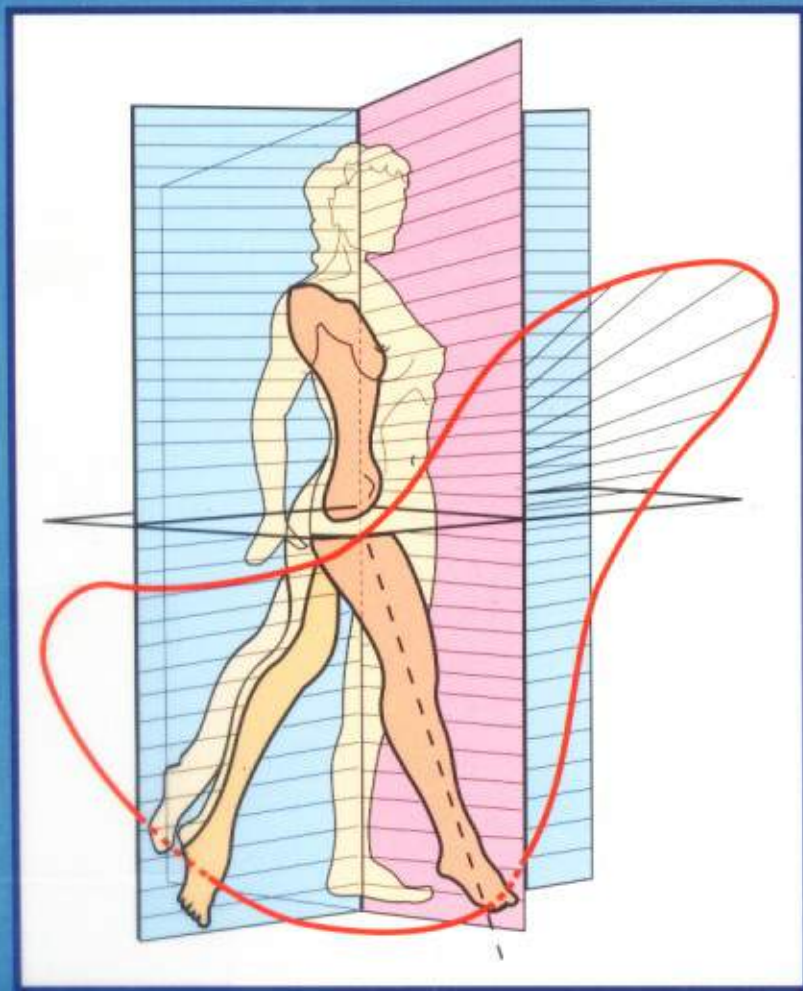


A. I. KAPANDJI

Fisiología Articular

5ª edición



2

Miembro Inferior

EDITORIAL MEDICA
panamericana


MALOINE

BC-CG

612.75

K171

v. 2 c. 1

85969

5a. ed

A. I. KAPANDJI

Ex-interno de los Hospitales de Paris

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

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

25-1103

Fab. la Man gaoz

467.960(3v)

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

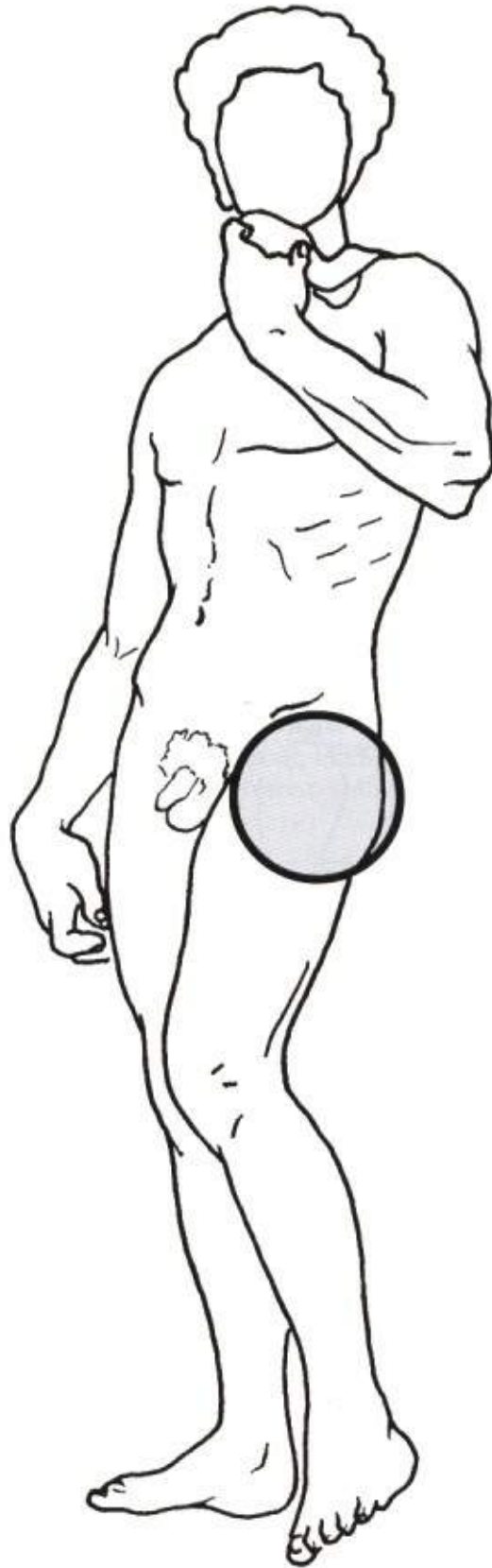
Los movimientos de rotación longitudinal y de lateralidad del pie.....	178
Las superficies articulares de la subastragalina.....	180
Congruencia e incongruencia de la subastragalina	182
El astrágalo, un hueso singular.....	184
Los ligamentos de la articulación subastragalina.....	186
La mediotarsiana 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 heterocínético 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



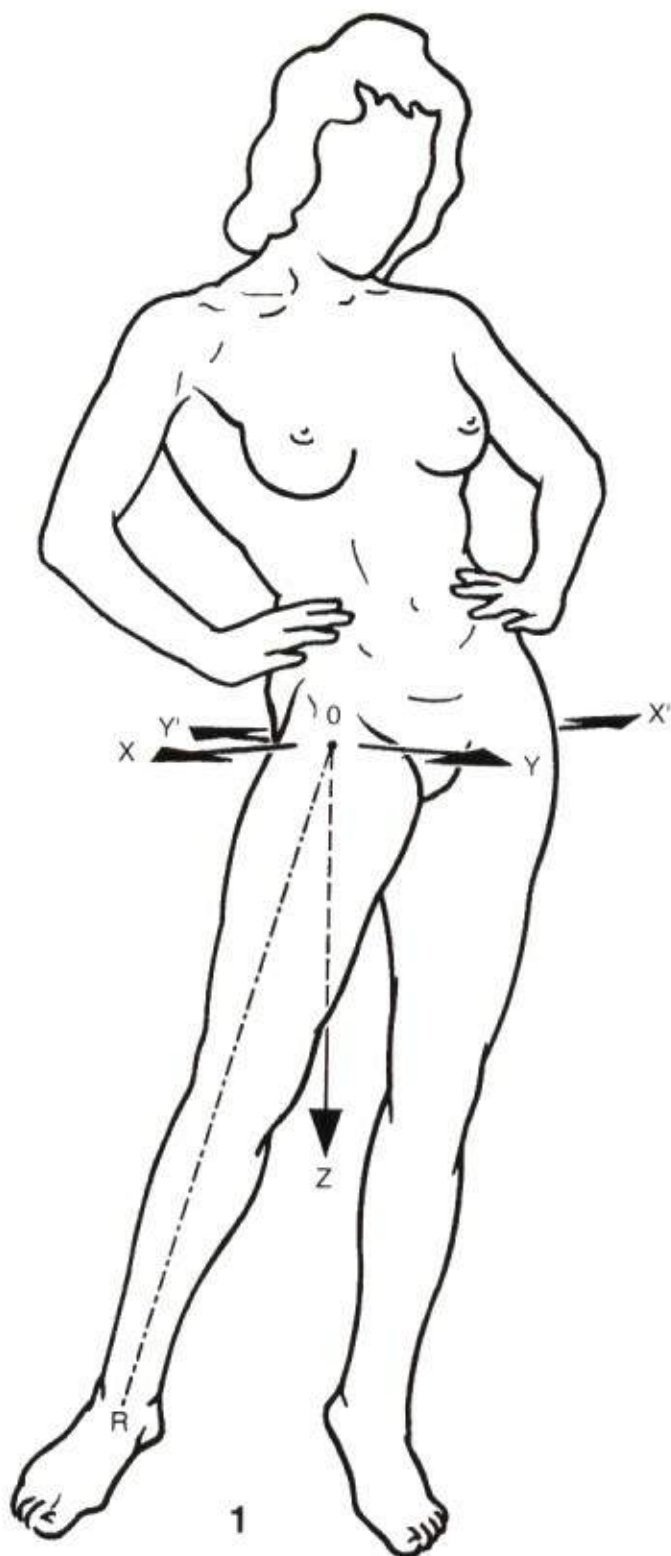
La cadera es la *articulación proximal* del miembro inferior: situada en su raíz, su función es orientarlo en *todas las direcciones del espacio*, para lo cual posee tres ejes y tres grados de libertad (Fig. 1):

- 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.

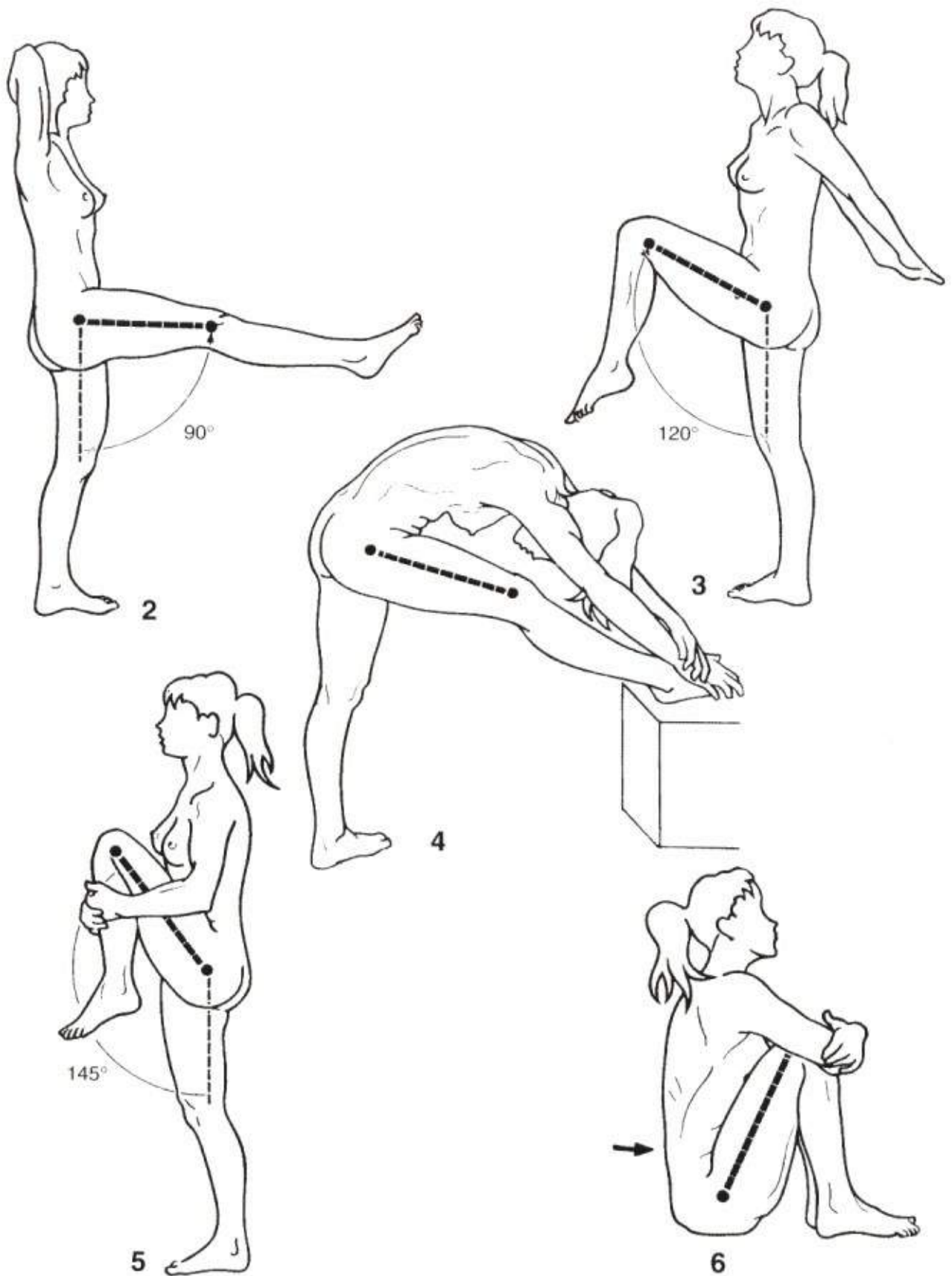
La amplitud de la flexión varía según distintos factores:

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).

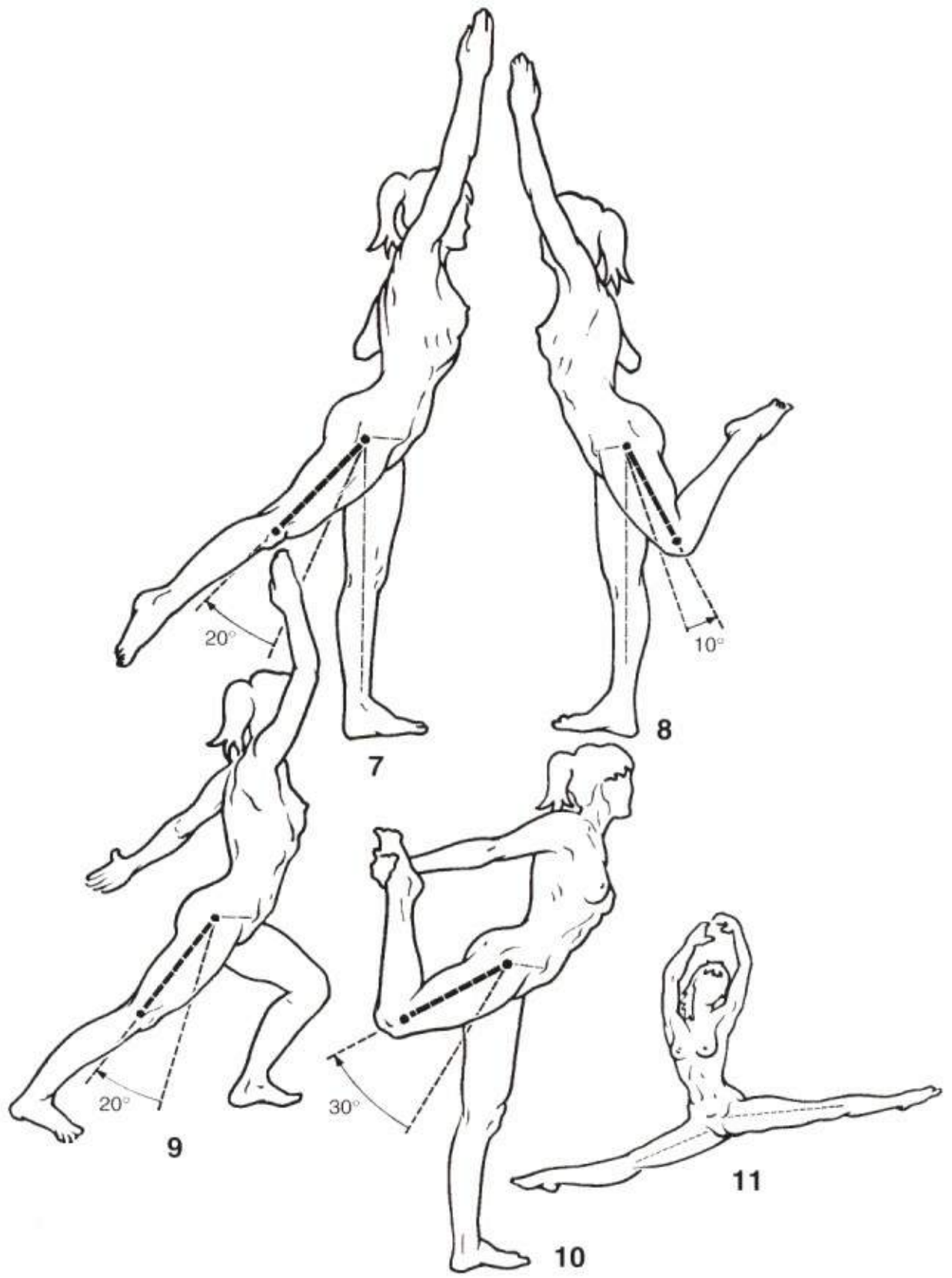
La extensión activa es de menor amplitud que la extensión pasiva. Cuando la rodilla está extendida (Fig. 7) la extensión es mayor (20°) que cuando está flexionada (Fig. 8), esto se debe a que los músculos isquiotibiales pierden totalmente su eficacia como extensores de cadera, puesto que han utilizado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

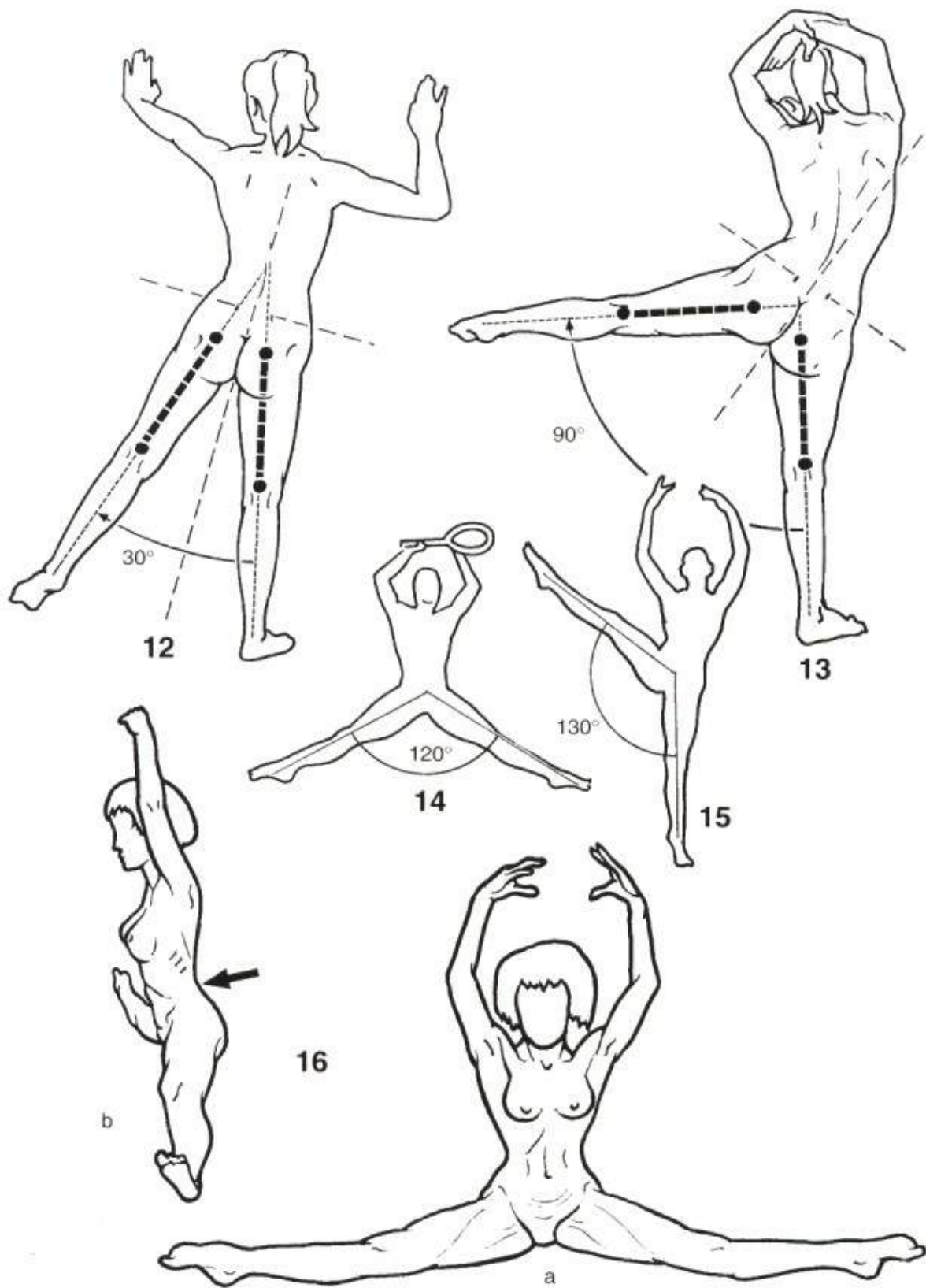
Si teóricamente es factible realizar la abducción de una sola cadera, *en la práctica la abducción de una cadera se acompaña de una abducción idéntica de la otra cadera*. Esto ocurre a partir de los 30° (Fig. 12), amplitud en la que se inicia una basculación de la pelvis mediante la inclinación de la 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.

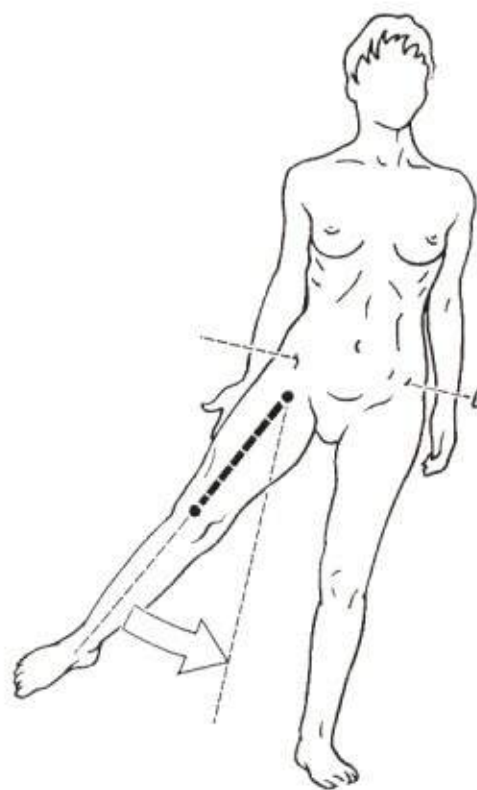
También existen movimientos de **aducción combinados con extensión de cadera** (Fig. 18) y **movimientos de aducción combinados con flexión de cadera** (Fig. 19).

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

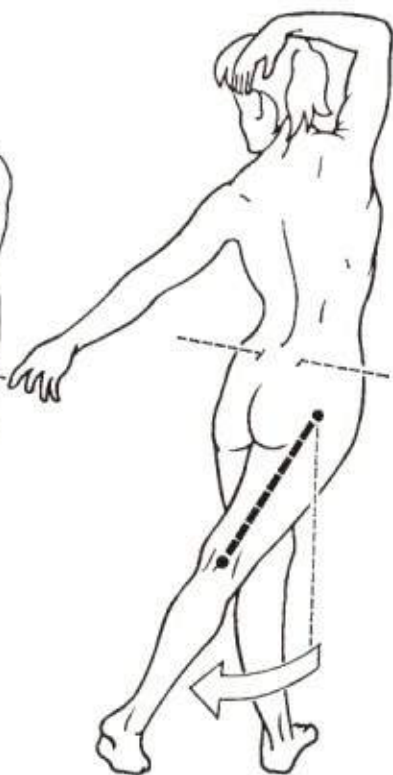
incurvación del raquis. Recalcar que a partir del momento en el que los pies se separan –y esto es necesario para asegurar el equilibrio del cuerpo– el ángulo de aducción de una cadera no es exactamente el mismo que el ángulo de abducción de la otra cadera (Fig. 21): su diferencia es el ángulo formado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

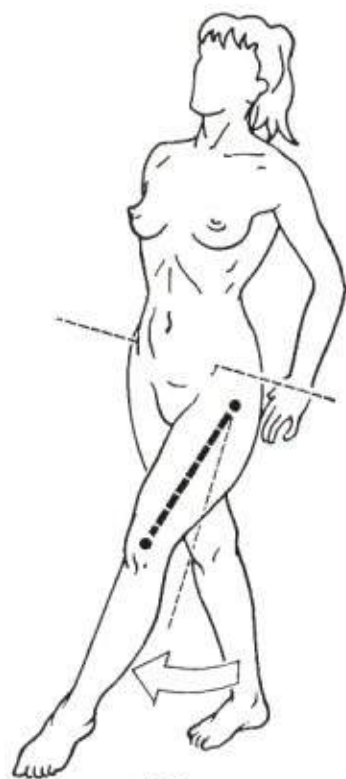
De entre todos estos movimientos de aducción combinada, hay uno que efectúa una posición bastante frecuente (Fig. 22): la sedestación con las piernas cruzadas. En este caso, la aducción se asocia a la flexión y rotación externa de cadera y es la posición más *inestable* para la cadera (véase pág. 46).



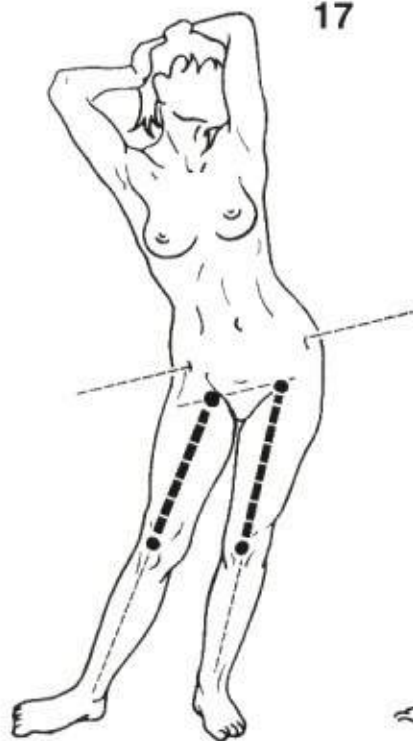
17



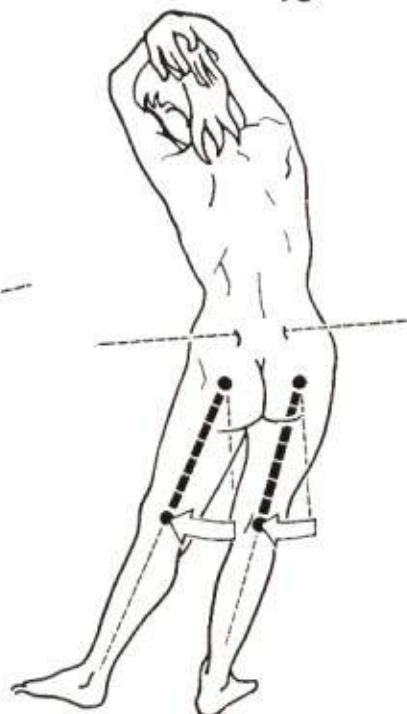
18



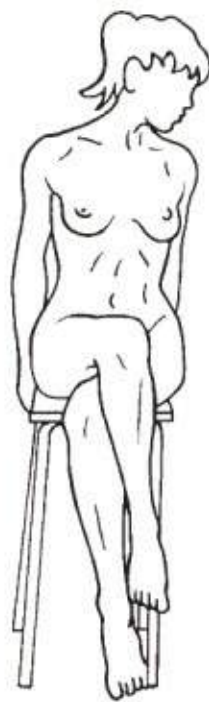
19



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.

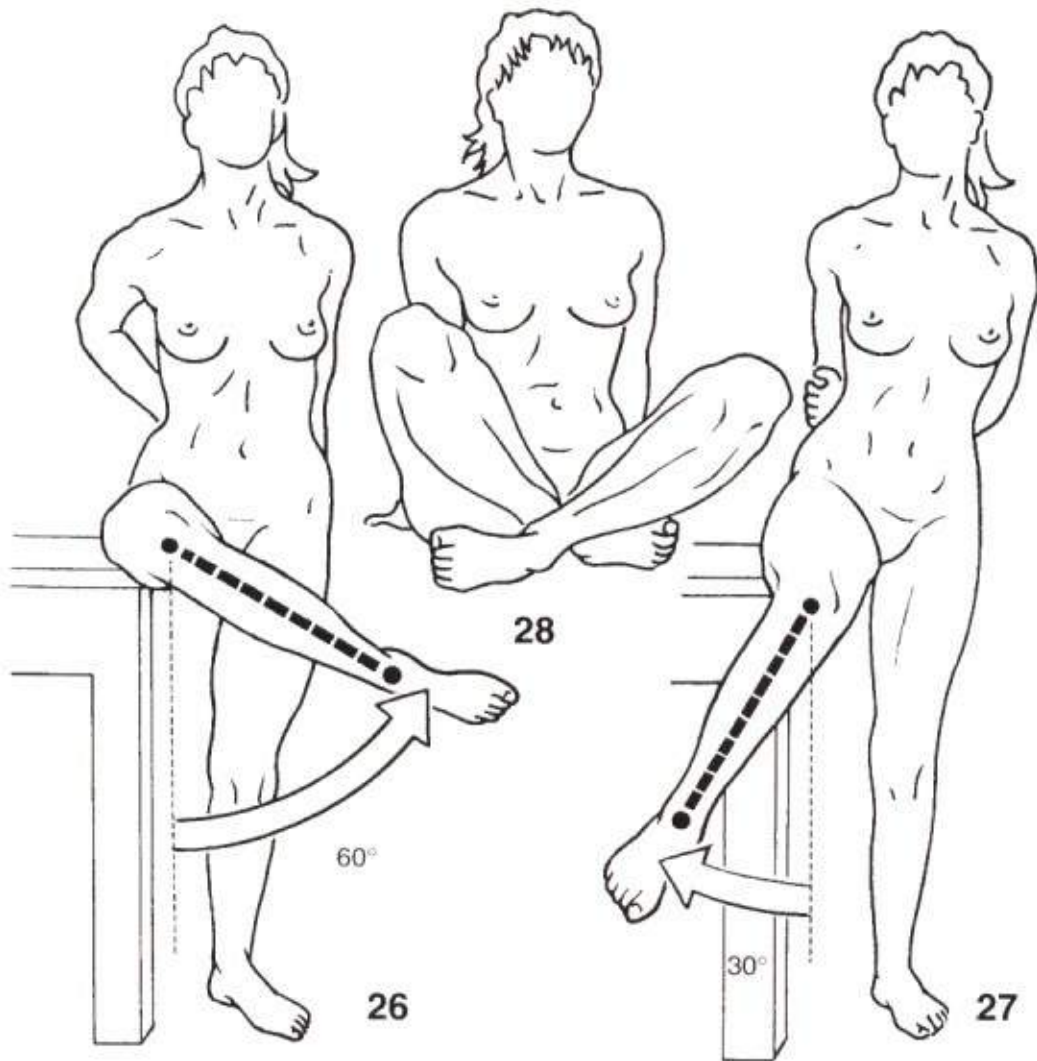
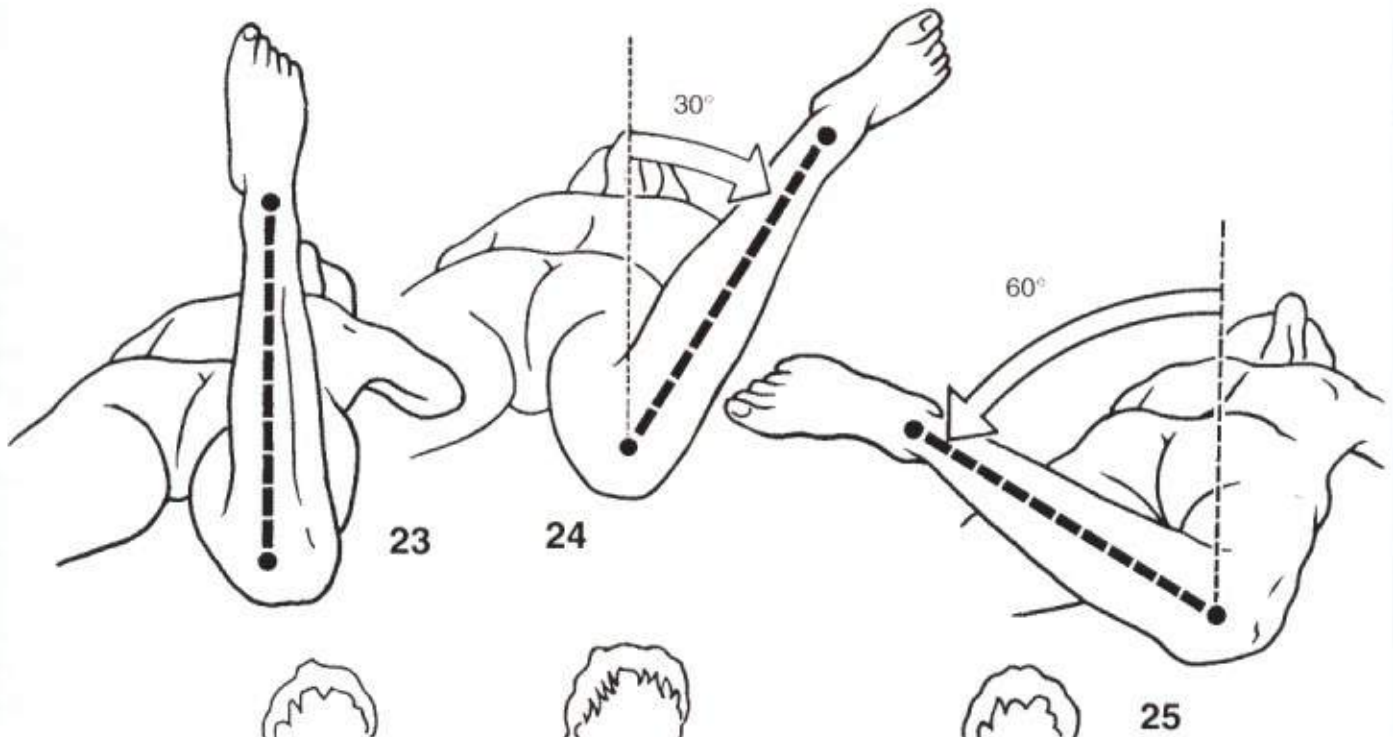
En *decúbito prono*, la **posición de referencia** (Fig. 23) se obtiene cuando la rodilla flexionada en ángulo recto está *vertical*. A partir de esta posición, cuando la pierna se dirige *hacia fuera*, se mide la **rotación interna** (Fig. 24), cuya amplitud máxima es de 30 a 40°. Cuando la pierna se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

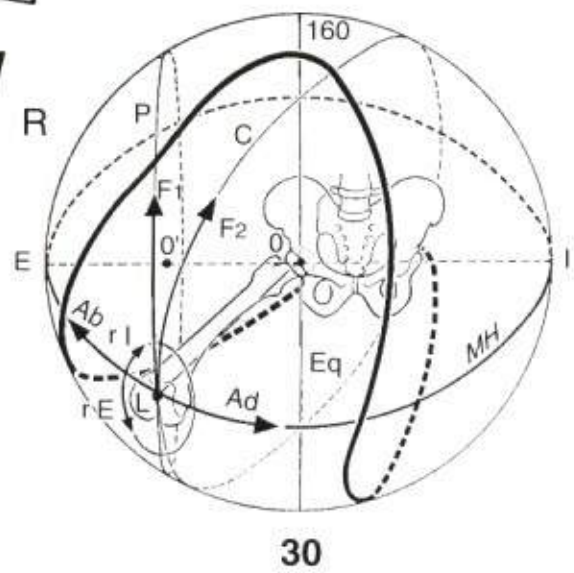
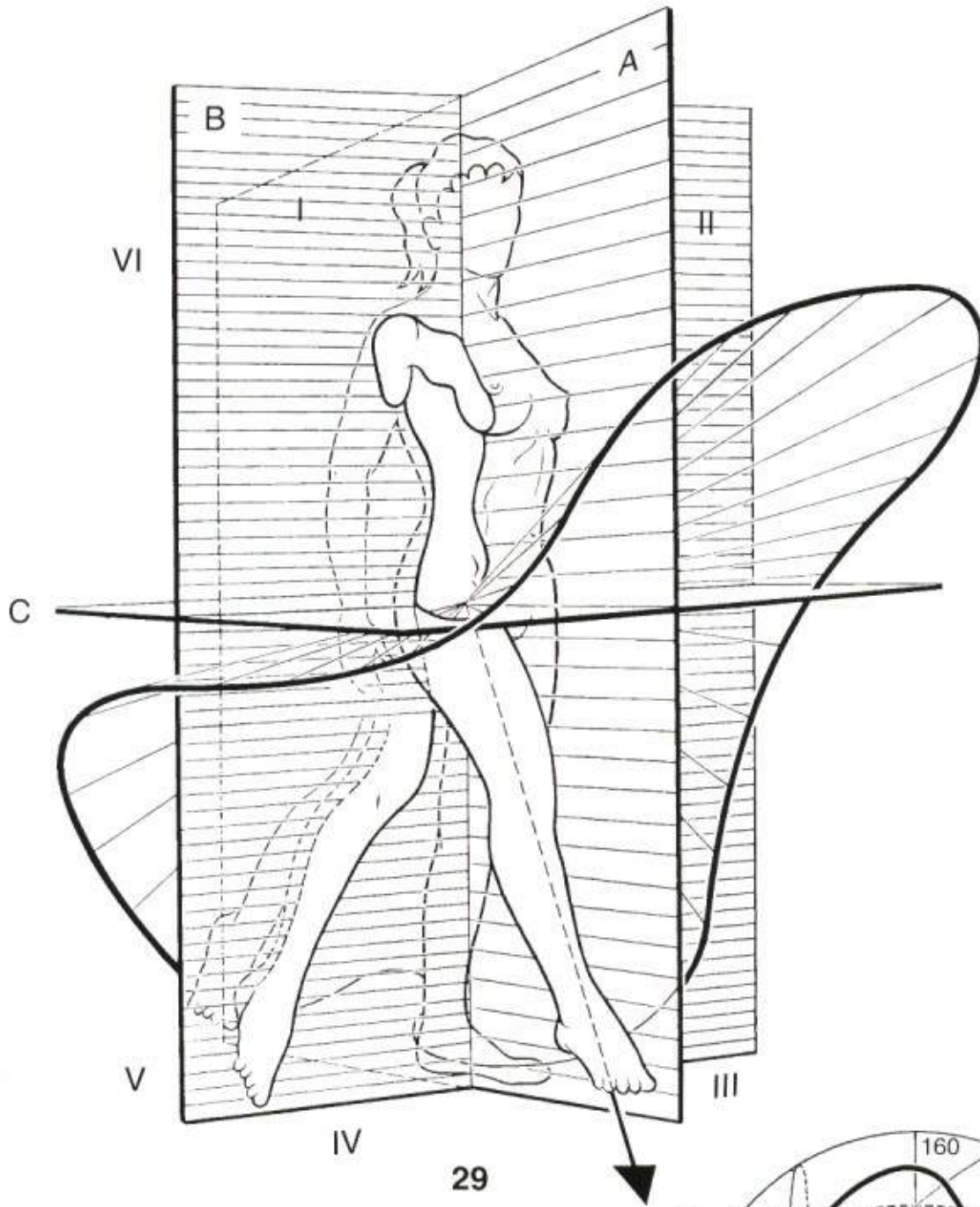
Obsérvese cómo la trayectoria contornea el miembro en carga; si este último se desviase, la

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):

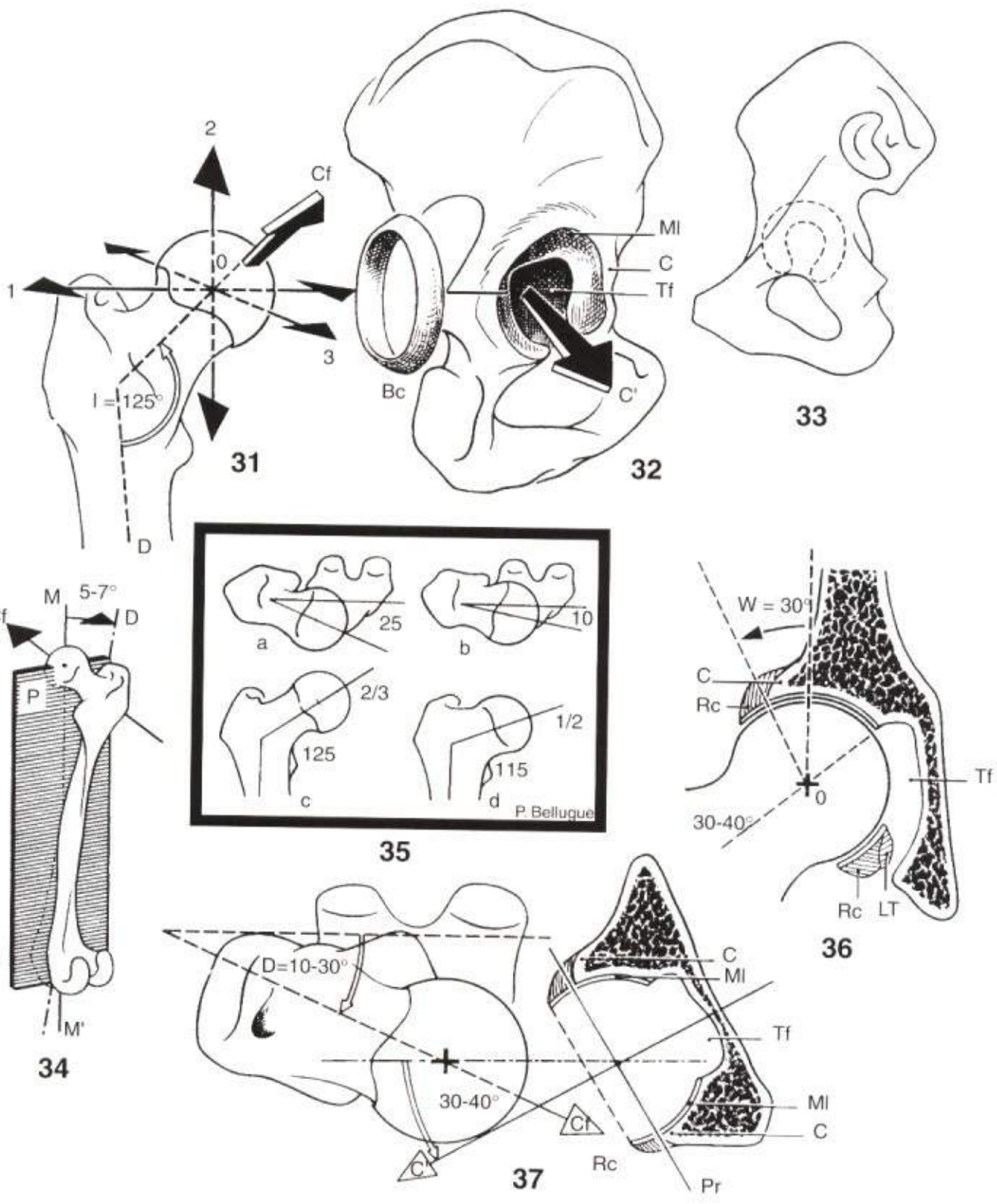
- un tipo "longilíneo" donde la cabeza representa más de los 2/3 de una esfera y los ángulos cervico-diafisarios son máximos (I = 125°, D = 25°). La diáfisis femoral es delgada y la pelvis pequeña y alta. Una morfología como ésta favorece grandes amplitudes articulares y corresponde a una adaptación 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.

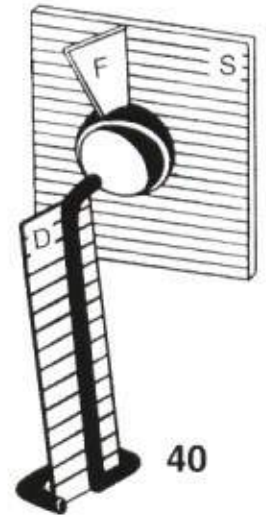
En el esqueleto (Fig. 41), la coincidencia de las superficies articulares puede conseguirse mediante los mismos movimientos de flexión, abducción y rotación externa: la cabeza se encaja totalmente en el cótilo. Esta posición de la cadera corresponde a la *situación de cuadrupedia* (Fig. 42), que es, 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.



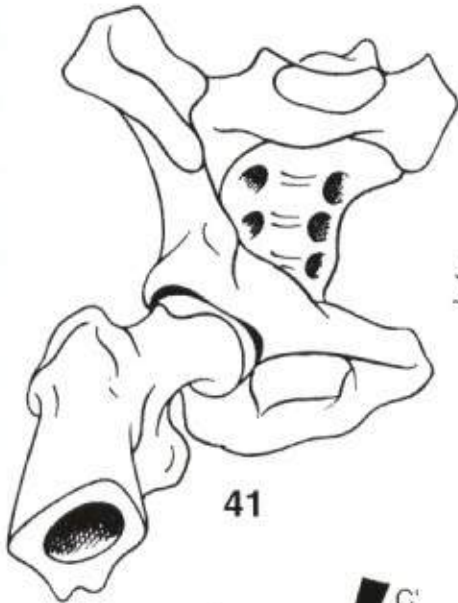
38



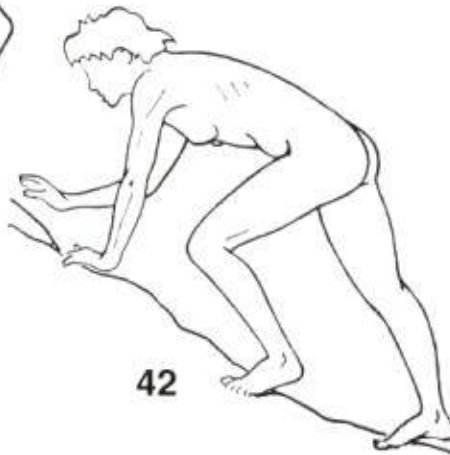
39



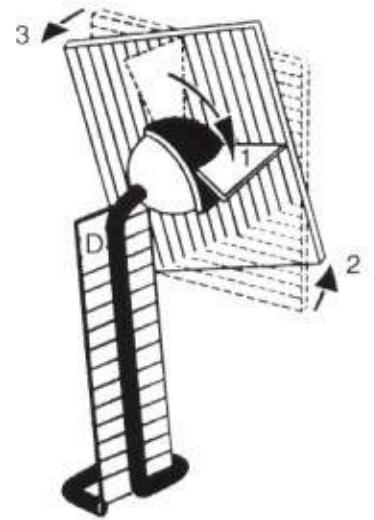
40



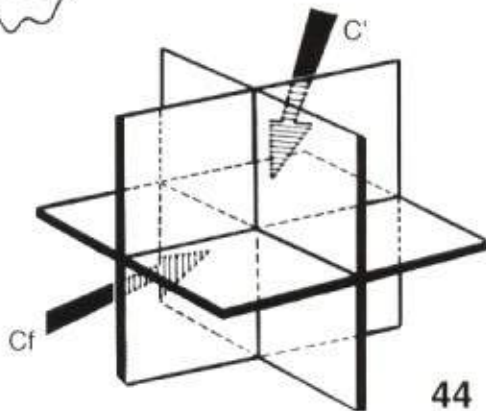
41



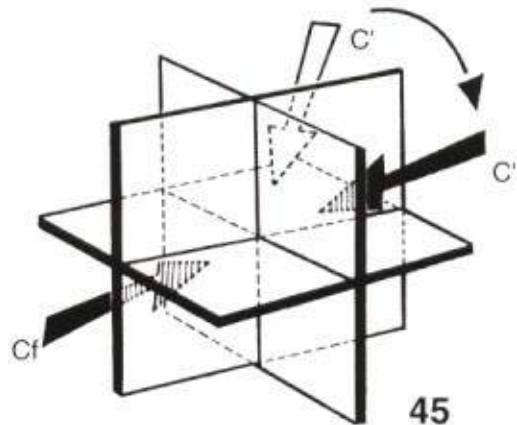
42



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 grña (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 toma 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 *espinia 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 *espinia 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 espinia innominada (Ei) y en la espinia ciática (Ec) se insertan en la rama horizontal del pubis, completando de esta manera el anillo pélvico.

