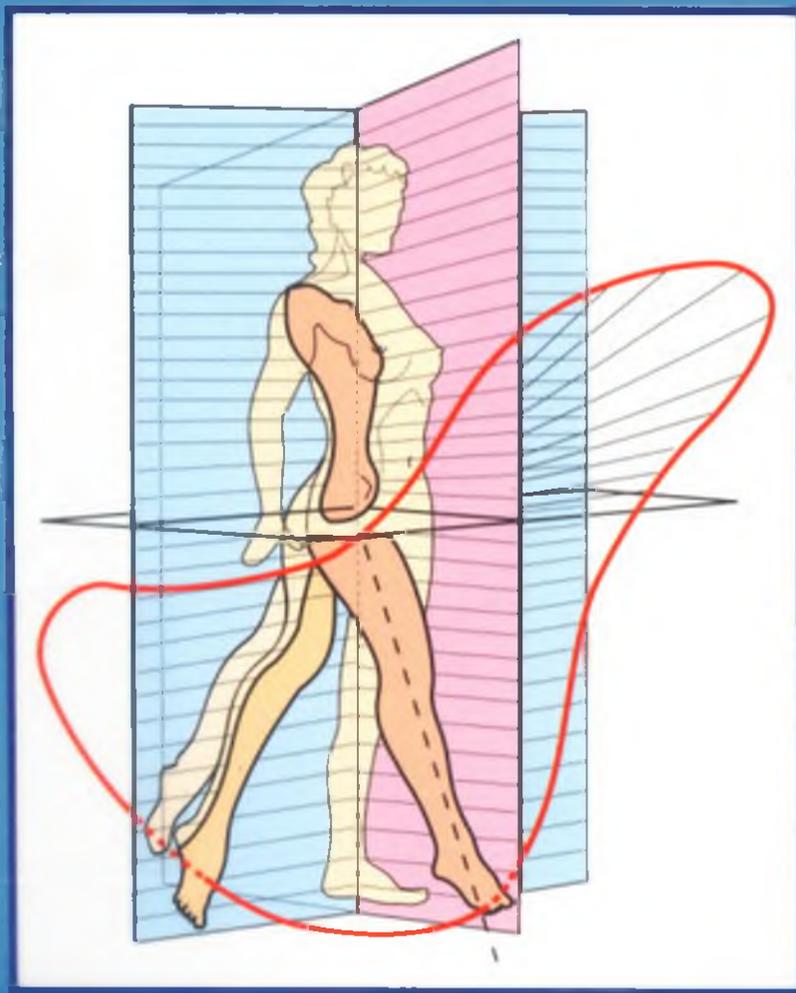


A. I. KAPANDJI

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 clinica - Auxiliar de los Hospitales de Paris

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

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

FISIOLOGÍA ARTICULAR

ESQUEMAS COMENTADOS DE MECÁNICA HUMANA

<http://booksmedicos.org>

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

Fisio. humana

867.900(30)

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 femororrotulianos.....	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 tibiotalariana	164
Los ligamentos de la tibiotalariana.....	166
Estabilidad anteroposterior del tobillo y factores limitantes de la flexoextensión	168
Estabilidad transversal de la tibiotalariana	170
Las articulaciones peroneotibiales.....	172
Fisiología de las articulaciones peroneotibiales	174

EL PIE

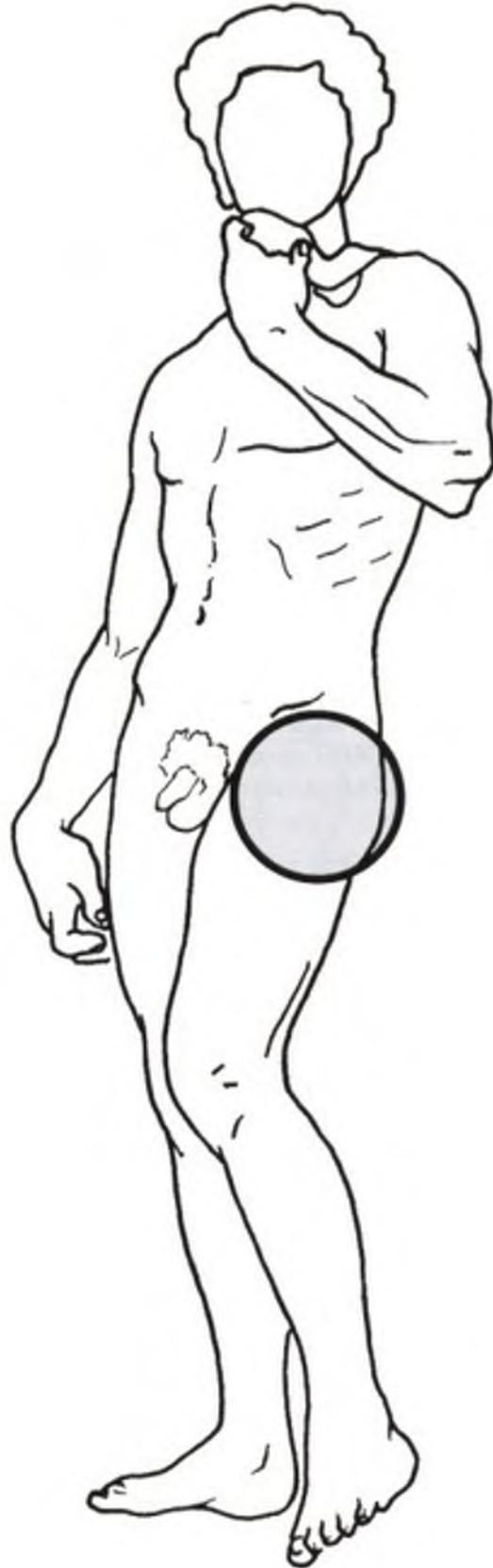
Los movimientos de rotación longitudinal y de lateralidad del pie	178
Las superficies articulares de la subastragalina.....	180
Congruencia e incongruencia de la subastragalina	182
El astrágalo, un hueso singular.....	184
Los ligamentos de la articulación subastragalina.....	186
La mediotarsiana y sus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



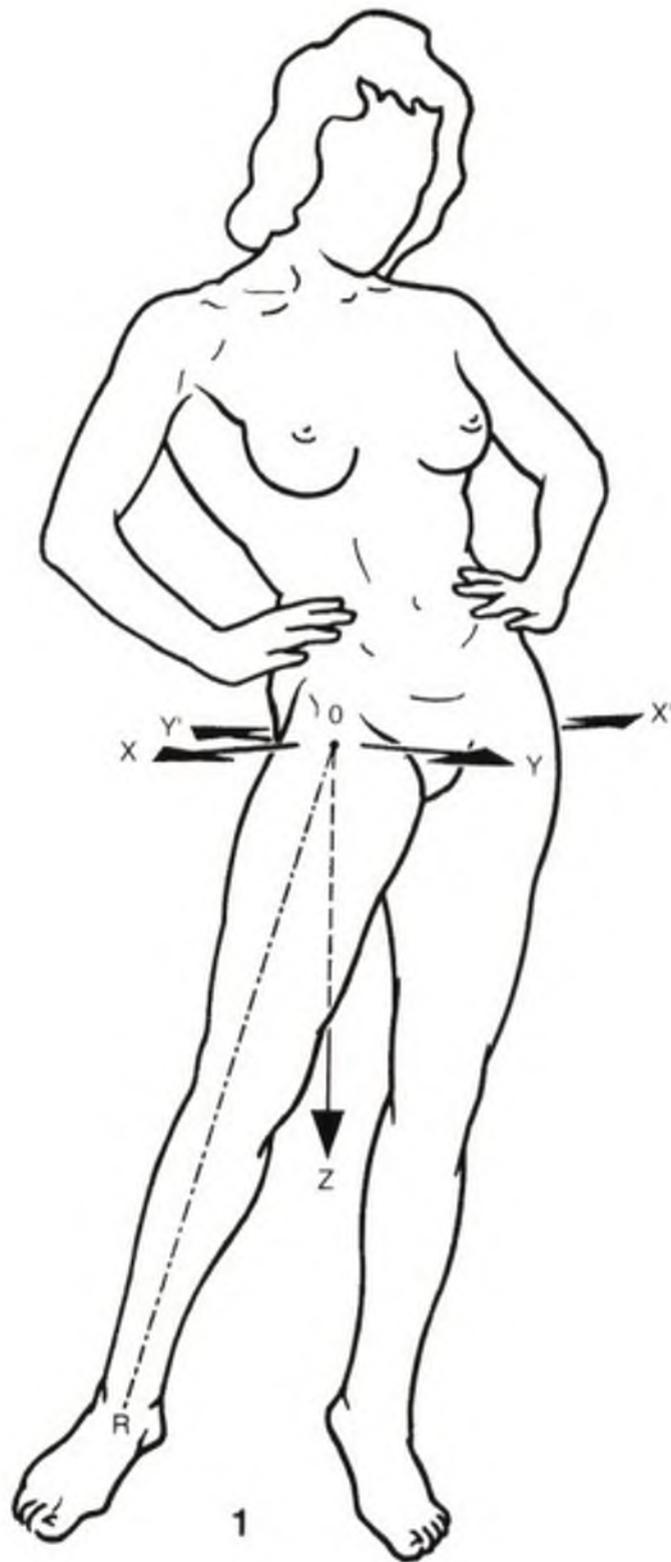
La cadera es la *articulación proximal* del miembro inferior: situada en su raíz, su función es orientarlo en *todas las direcciones del espacio*, para lo cual posee tres ejes y tres grados de libertad (Fig. 1):

- 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 fricción, 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.

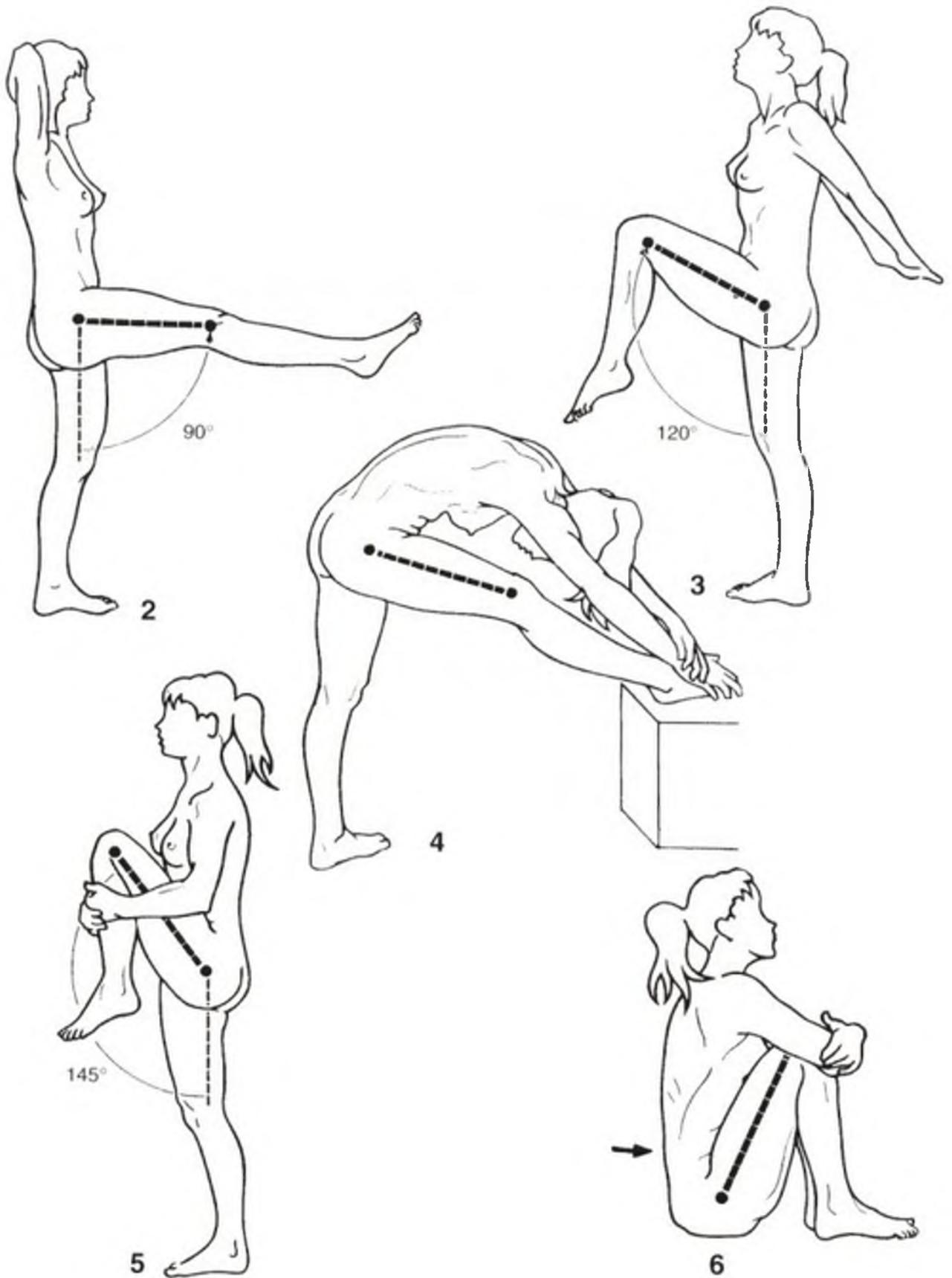
La amplitud de la flexión varía según distintos factores:

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 *horrando 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).

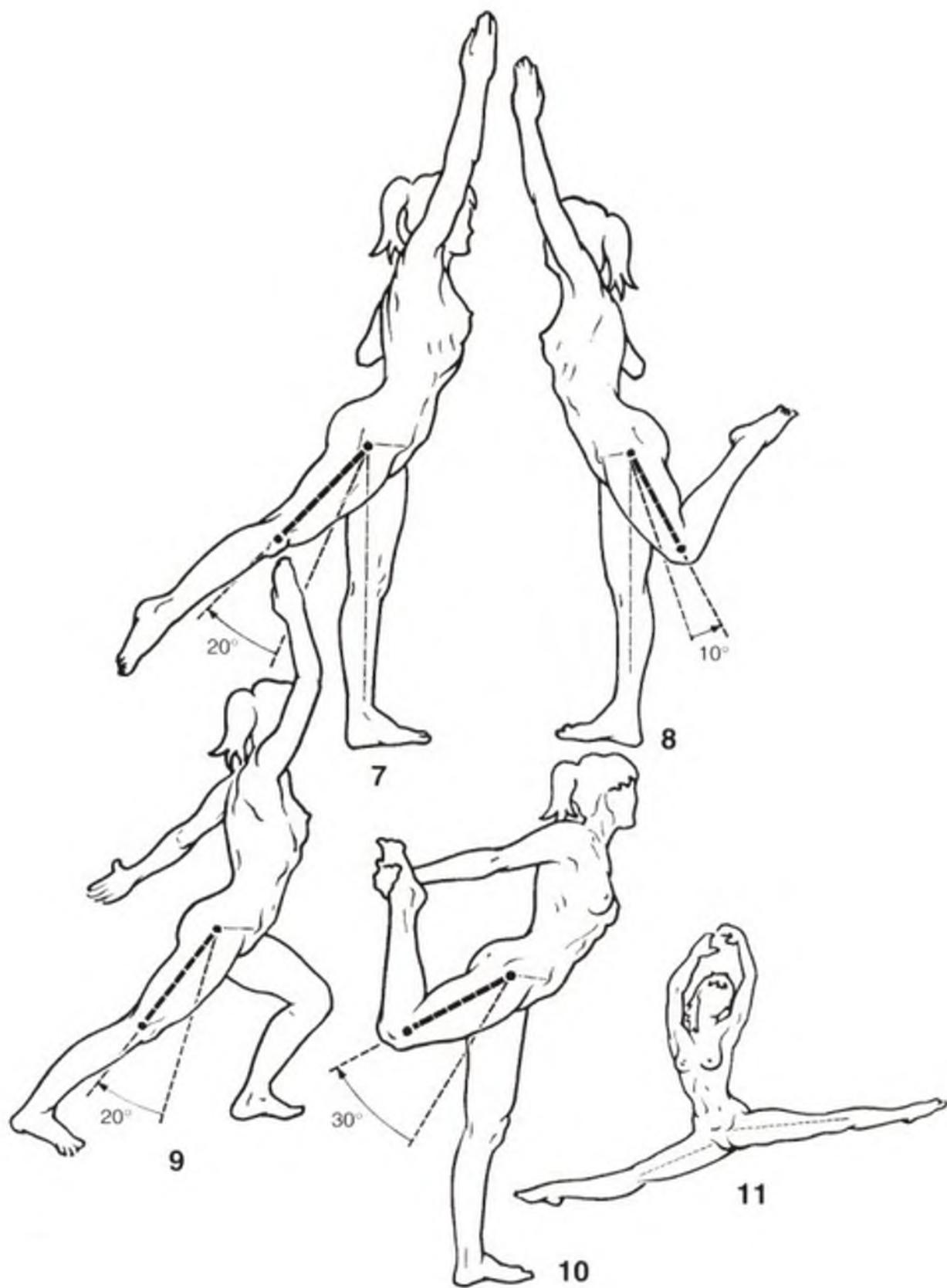
La **extensión activa** es de menor amplitud que la extensión pasiva. Cuando la rodilla está extendida (Fig. 7) la extensión es mayor (20°) que cuando está flexionada (Fig. 8), esto se debe a que los músculos isquiotibiales pierden totalmente su eficacia como extensores de cadera, puesto que han utilizado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

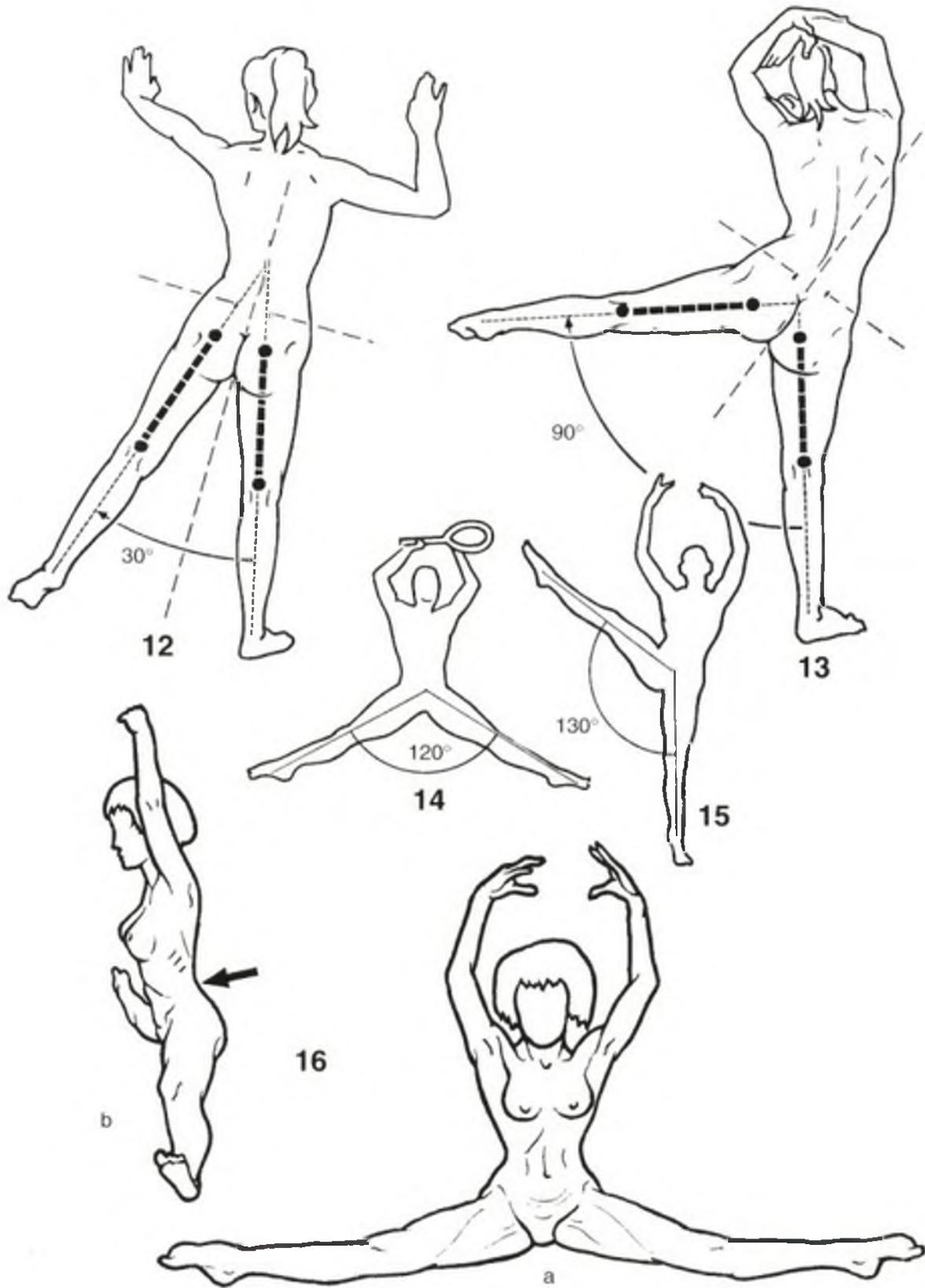
Si teóricamente es factible realizar la abducción de una sola cadera, *en la práctica la abducción de una cadera se acompaña de una abducción idéntica de la otra cadera*. Esto ocurre a partir de los 30° (Fig. 12), amplitud en la que se inicia una basculación de la pelvis mediante la inclinación de la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

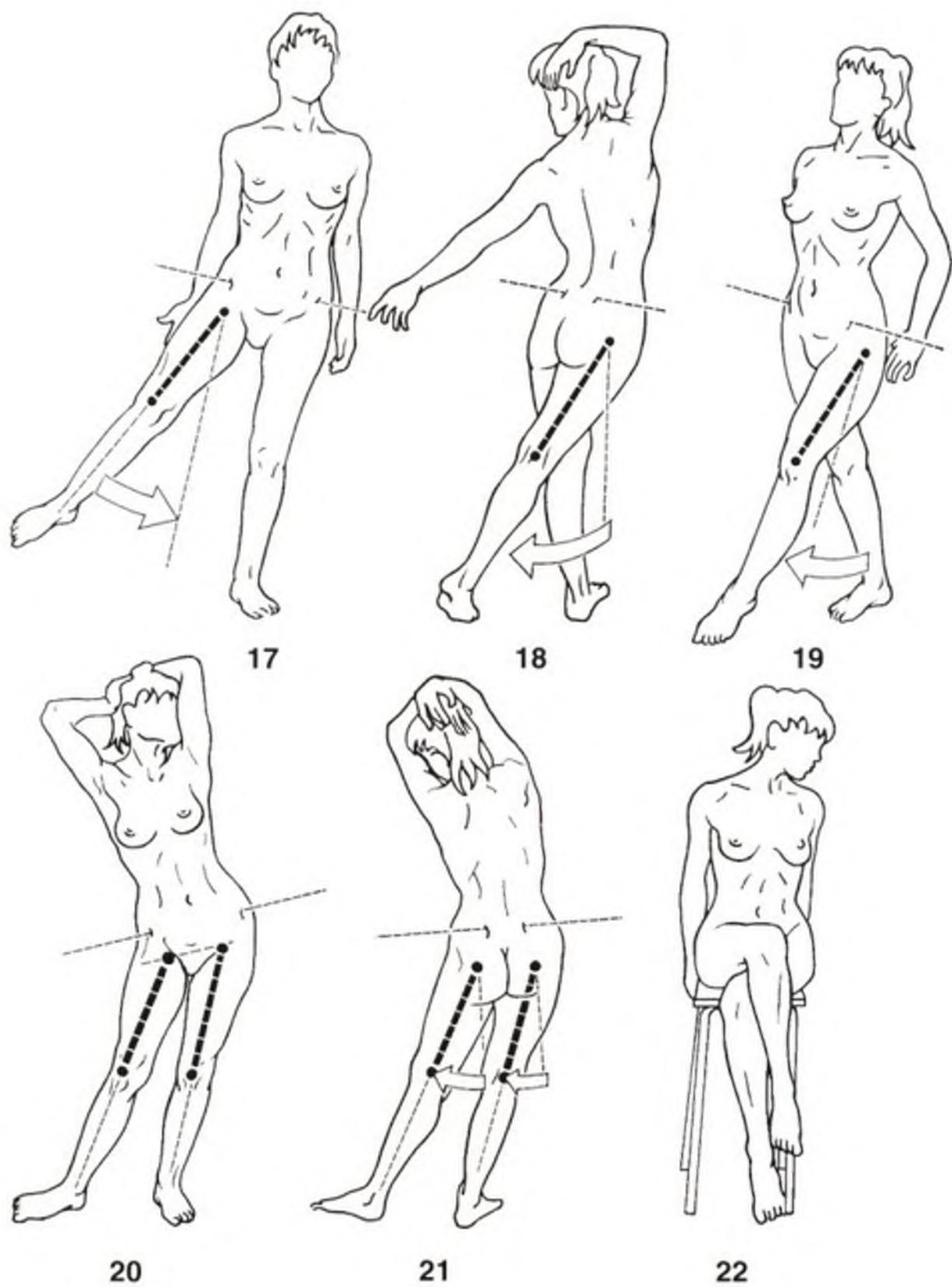
También existen movimientos de **aducción combinados con extensión de cadera** (Fig. 18) y **movimientos de aducción combinados con flexión de cadera** (Fig. 19).

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).



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.

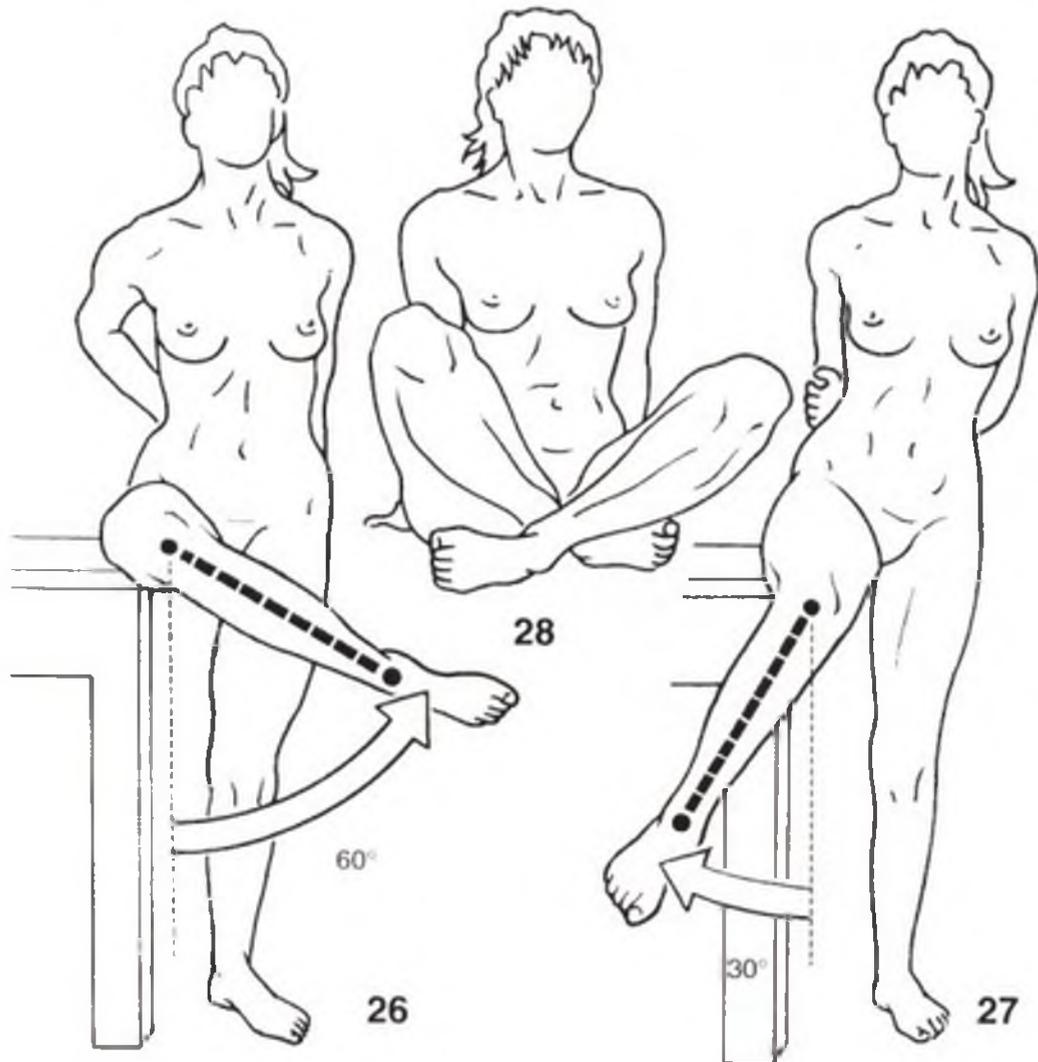
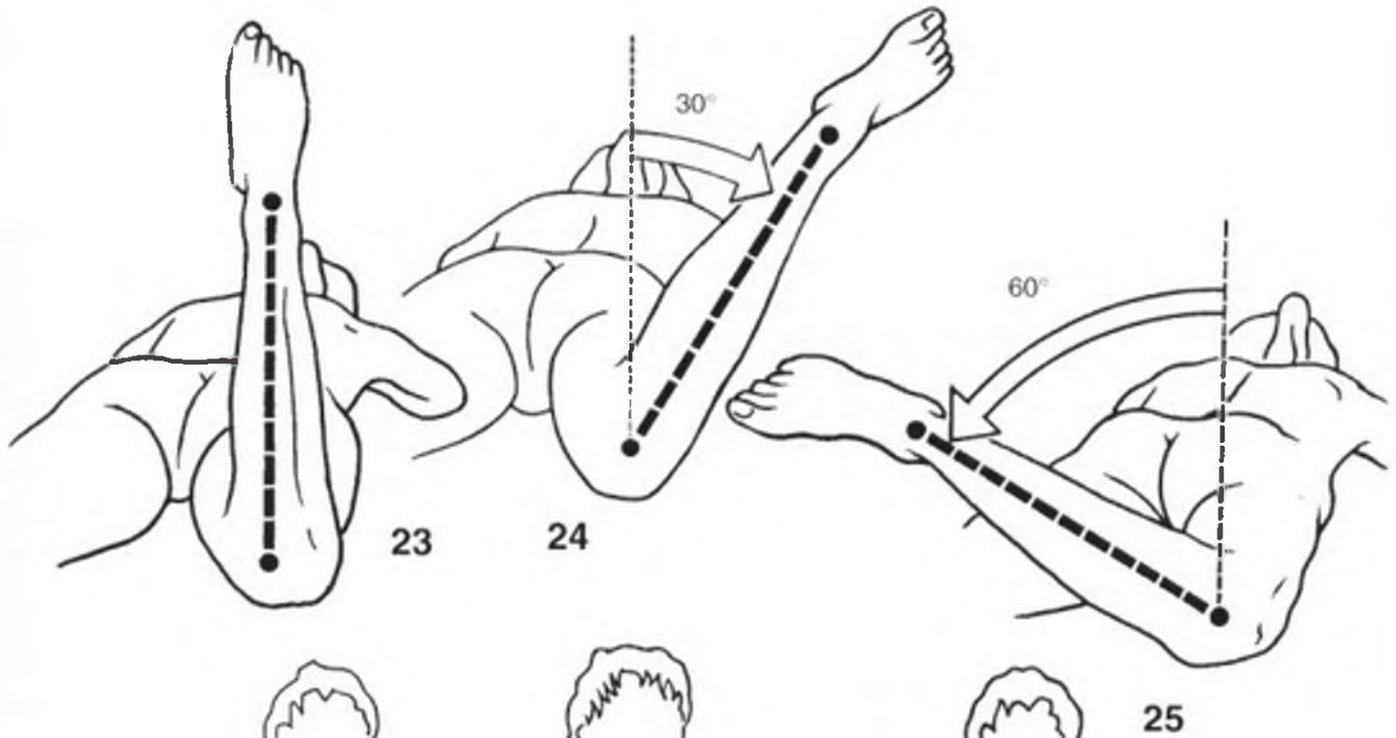
En *decúbito prono*, la **posición de referencia** (Fig. 23) se obtiene cuando la rodilla flexionada en ángulo recto está *vertical*. A partir de esta posición, cuando la pierna se dirige *hacia fuera*, se mide la **rotación interna** (Fig. 24), cuya amplitud máxima es de 30 a 40°. Cuando la pierna se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

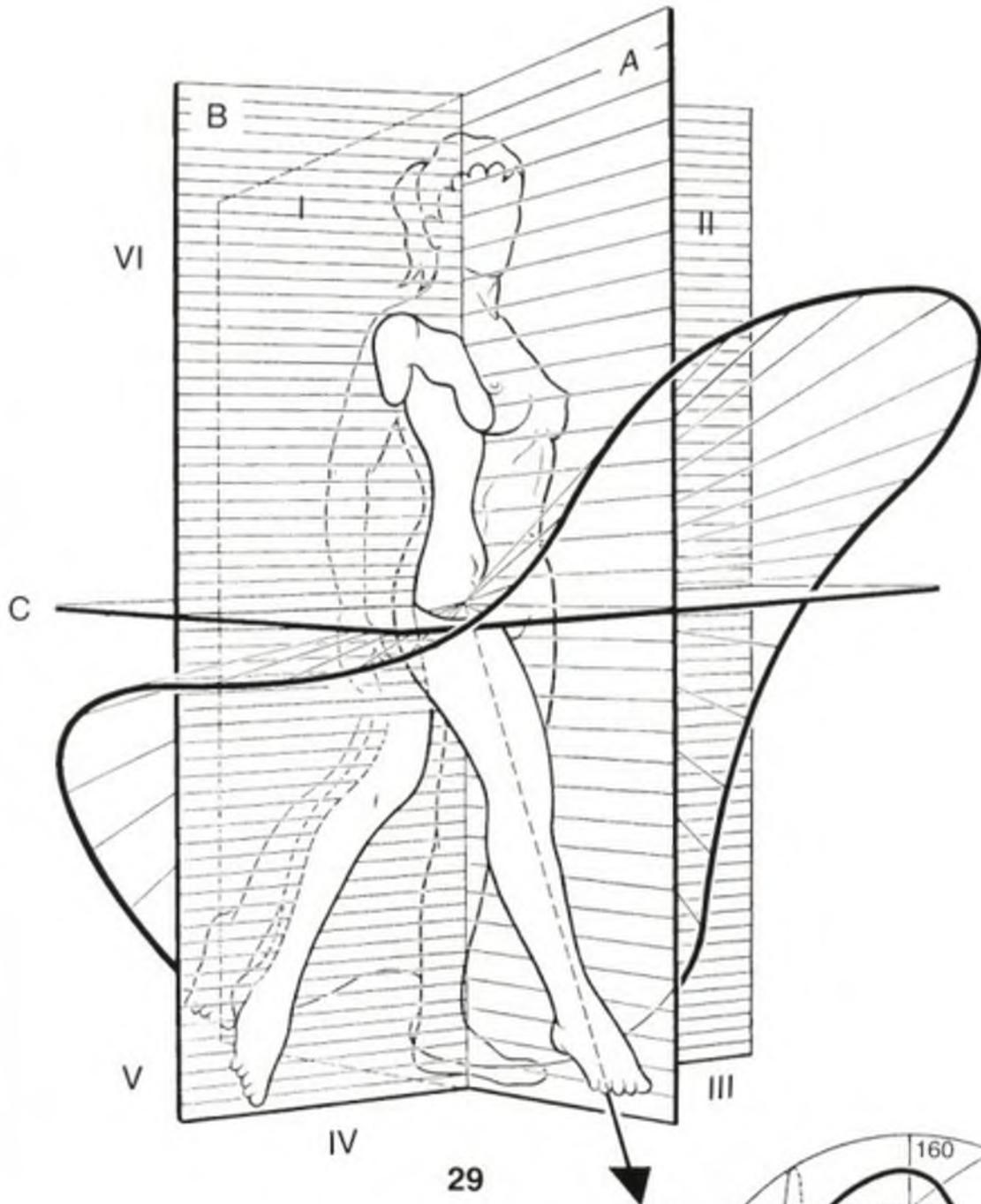
Obsérvese cómo la trayectoria contornea el miembro en carga; si este último se desviase, la

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*.

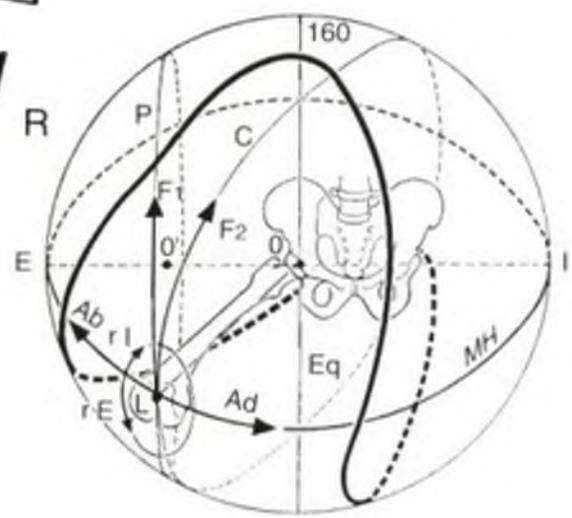
Strasser propuso proyectar esta trayectoria sobre una esfera (Fig. 30) cuyo centro O lo ocupa el centro de la articulación coxofemoral, cuyo radio OL está formado por el fémur y en la que el eje de los polos El es horizontal. En la citada esfera se pueden señalar las amplitudes máximas gracias a un sistema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



29



30

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):

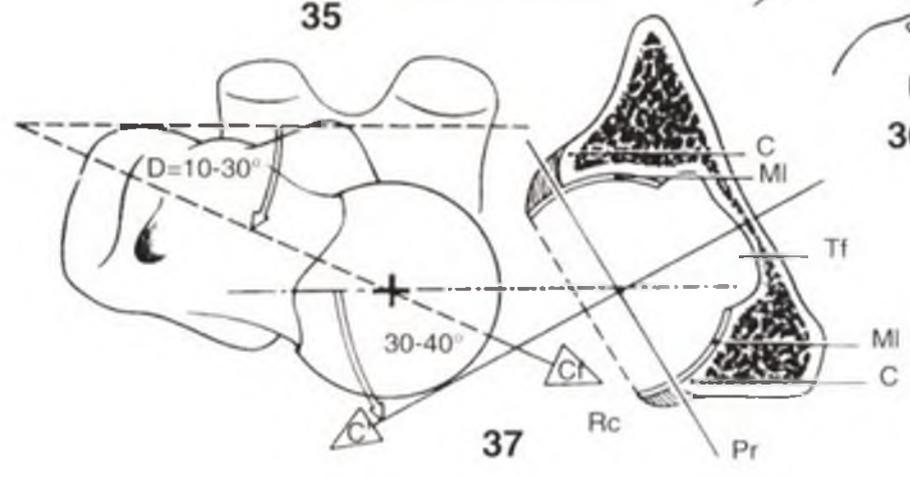
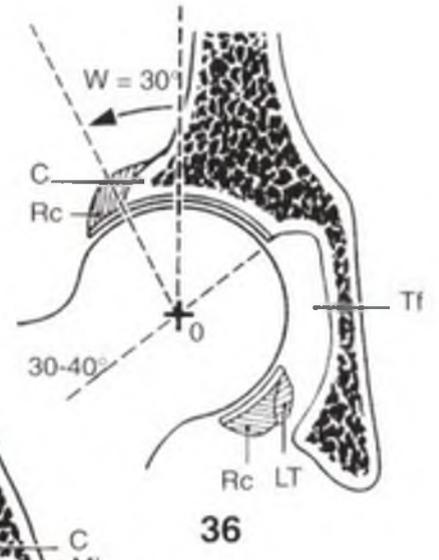
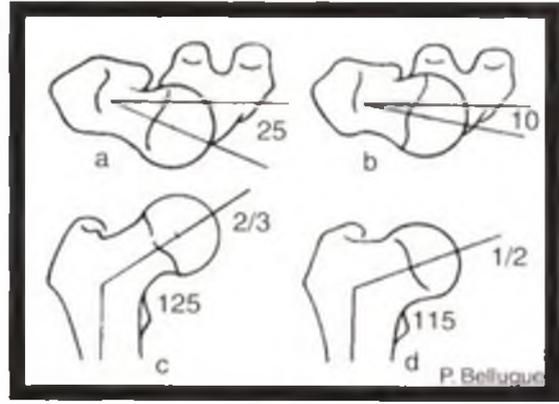
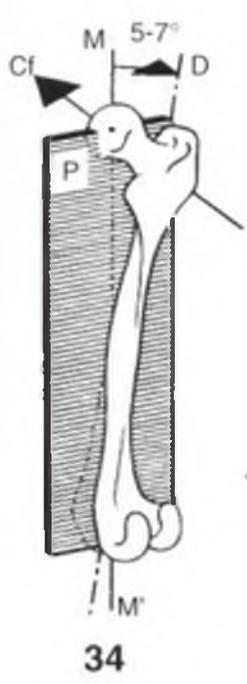
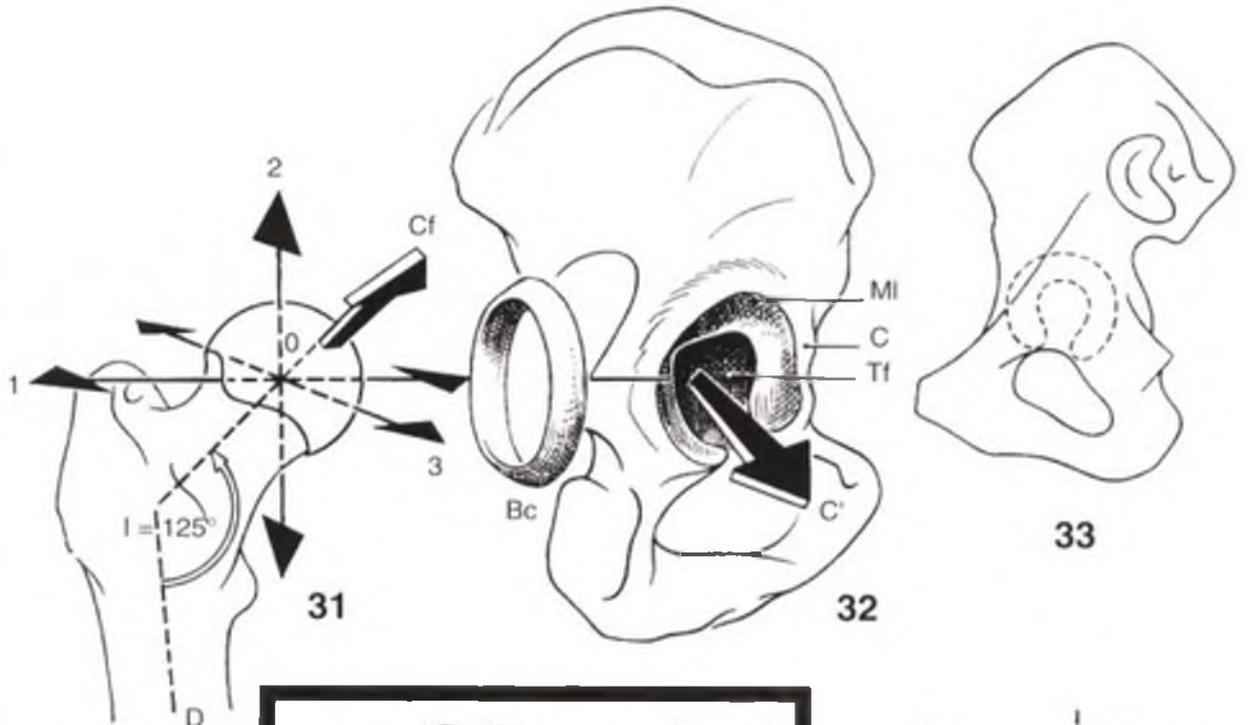
- un tipo "longilíneo" donde la cabeza representa más de los 2/3 de una esfera y los ángulos cervico-diafisarios son máximos (I = 125°, D = 25°). La diáfisis femoral es delgada y la pelvis pequeña y alta. Una morfología como ésta favorece grandes amplitudes articulares y corresponde a una adaptación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



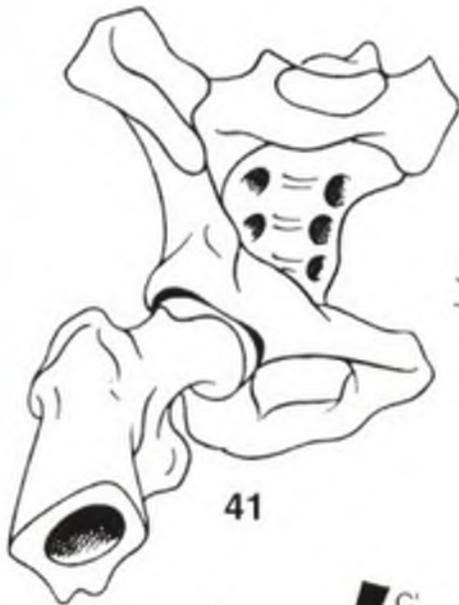
38



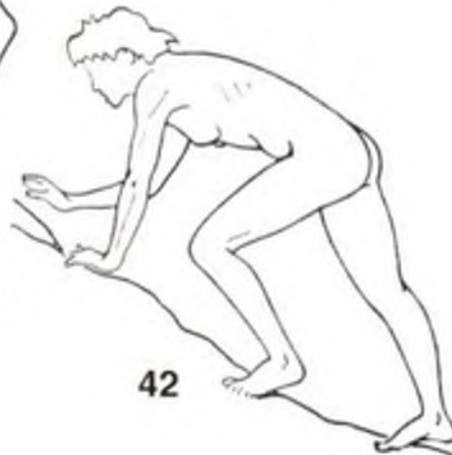
39



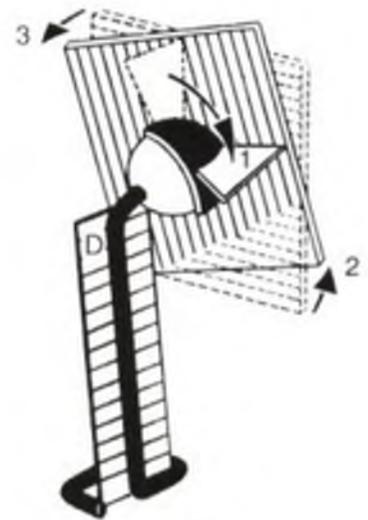
40



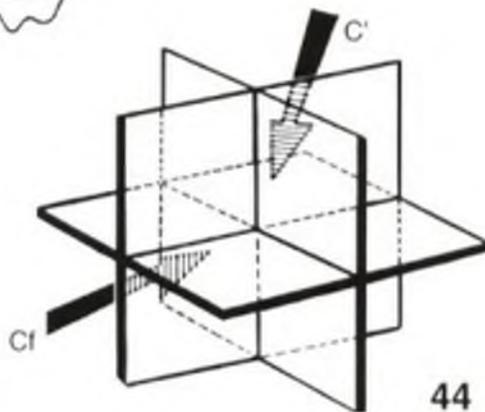
41



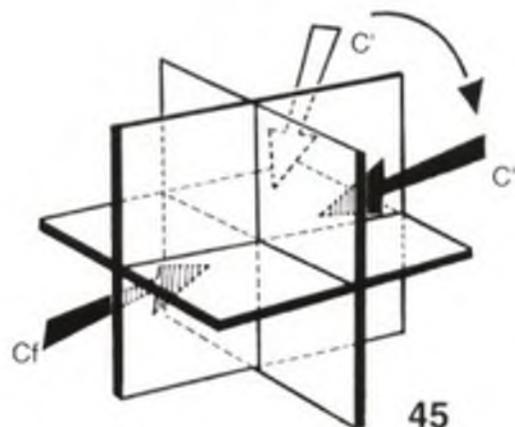
42



43



44



45

ARQUITECTURA DEL FÉMUR Y DE LA PELVIS

La cabeza, el cuello y la diálisis 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 diálisis 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 diálisis 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 diálisis 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 gnía (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 diálisis: es el *haz trocántereo*;
 - el *segundo* (4), de menor importancia, formado por fibras verticales paralelas a la cortical externa del trocánter mayor.

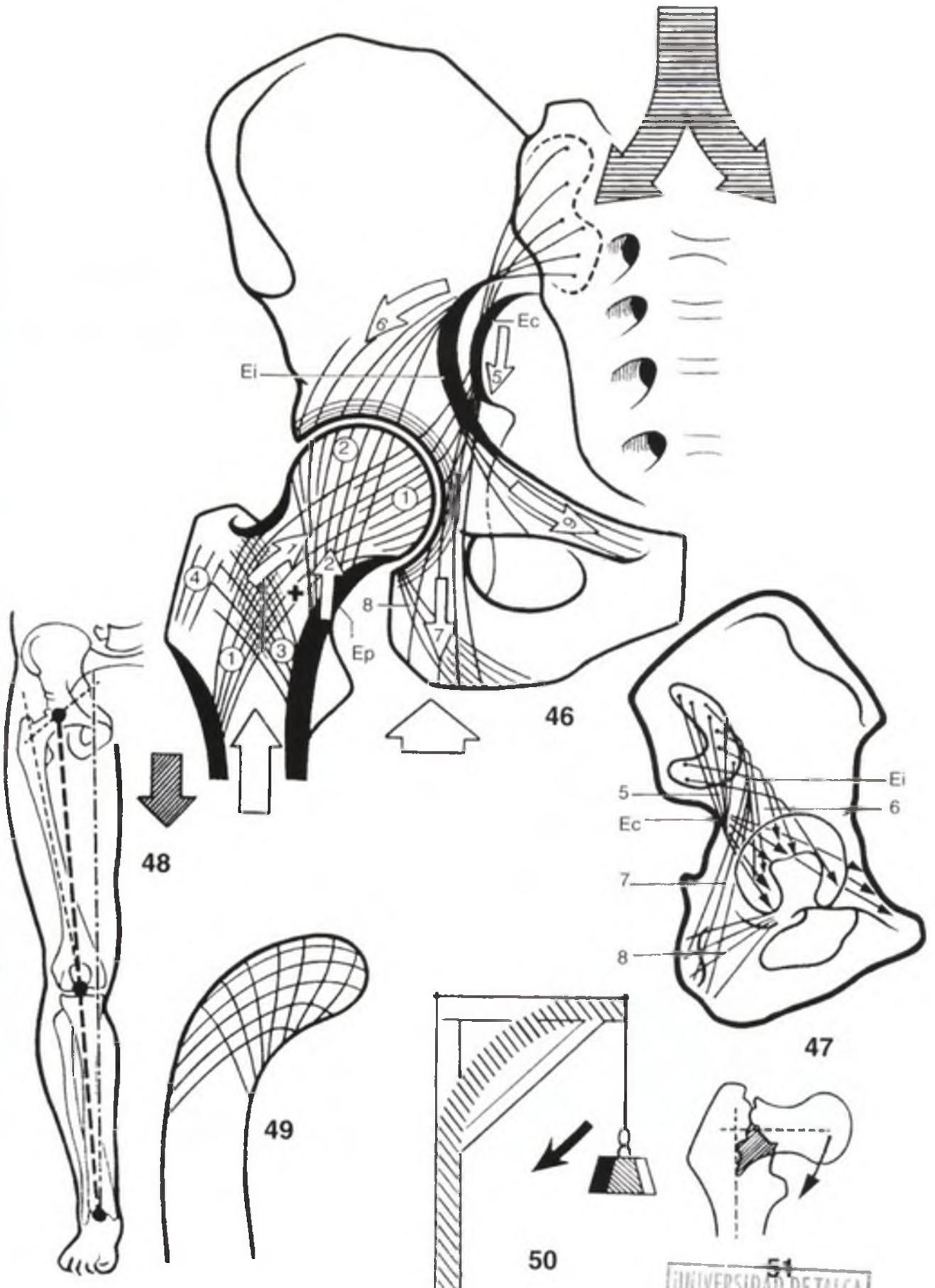
Hay que recalcar **tres puntos**:

- 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 sacrocófiloideas* 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 *esпина 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 *esпина 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 cófiloidea (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 (Re)** 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 Re. 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 perilím-bico (Pp)*.

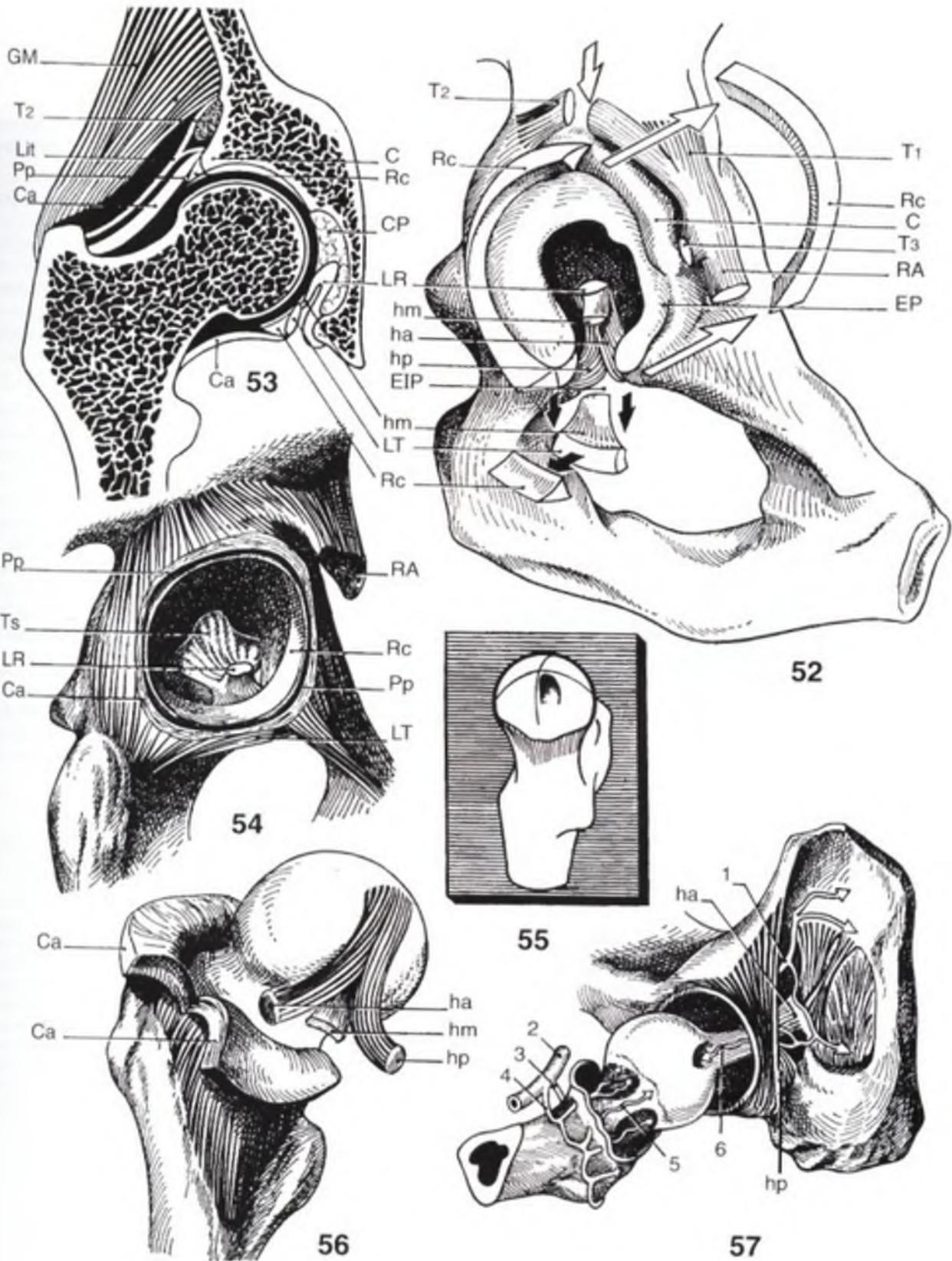
El **ligamento redondo (LR)** es una cintilla aplanada fibrosa (Fig. 56), de 30-35 mm de largo, que se extiende desde la escotadura isquiopúbica (Fig. 52) a la cabeza femoral y se aloja en el trasfondo del cótilo (Fig. 53). *Su inserción en la cabeza femoral (Fig. 55)* se sitúa en la parte superior de 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)*.



LA CÁPSULA ARTICULAR DE LA CADERA

La cápsula de la cadera tiene forma de **manguito cilíndrico** (Fig. 58) que se extiende desde el hueso ilíaco 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 ilíaco, 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 ilíaca 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 ilioltendinopetrocantéreo (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):

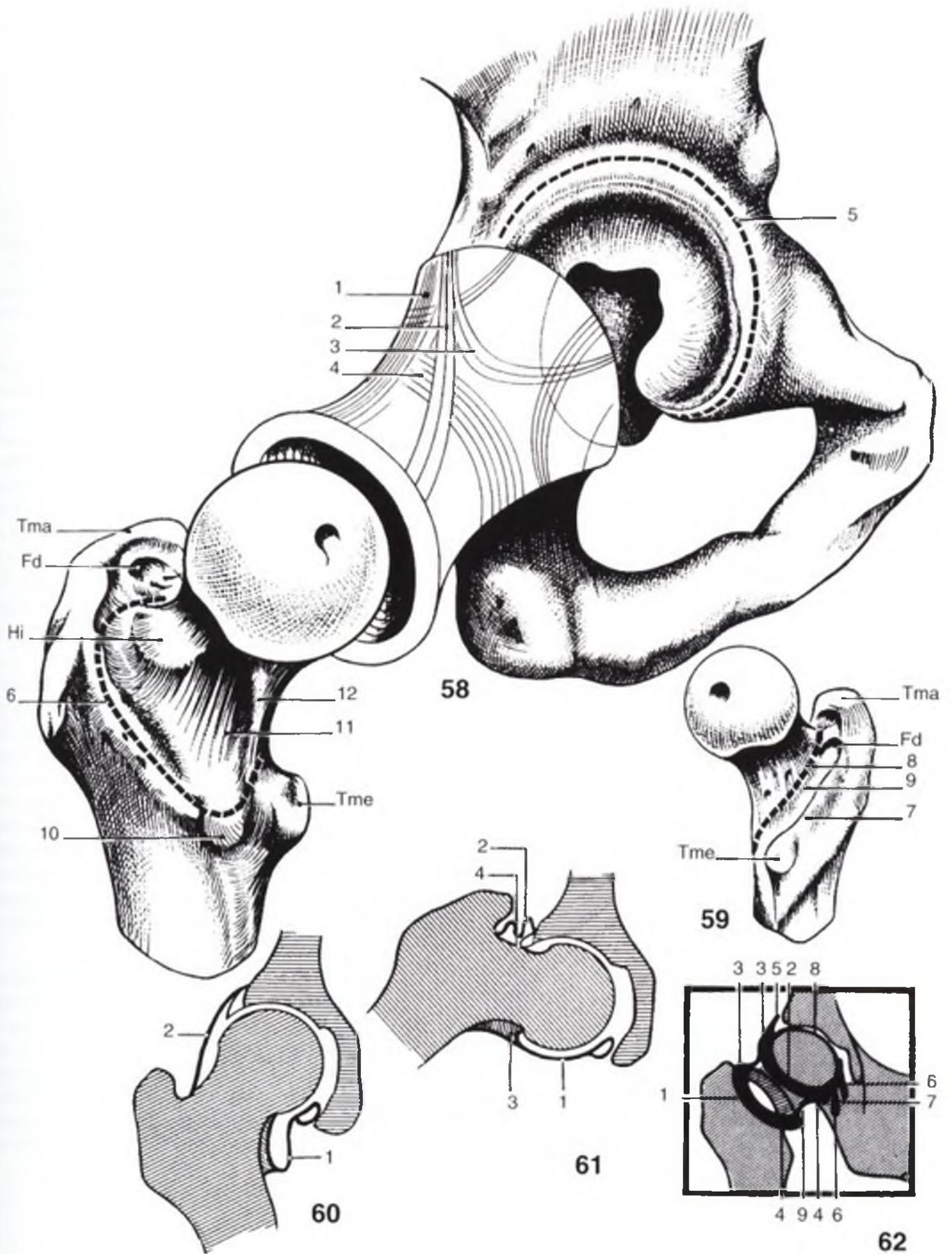
- la línea de inserción cruza, oblicuamente, los bordes superior e inferior del cuello. Por abajo, pasa por arriba de la fosita pretrocantimiana (10), y 1,5 cm por arriba y por delante del trocánter menor (Tme). Las fibras más profundas ascienden por la parte inferior del cuello para fijarse en el límite 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 aumente 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 ilíaca (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 supralimbo* (5) (compárese con la Fig. 53); de su porción inferior se desprenden dos pequeños "islotes" 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:

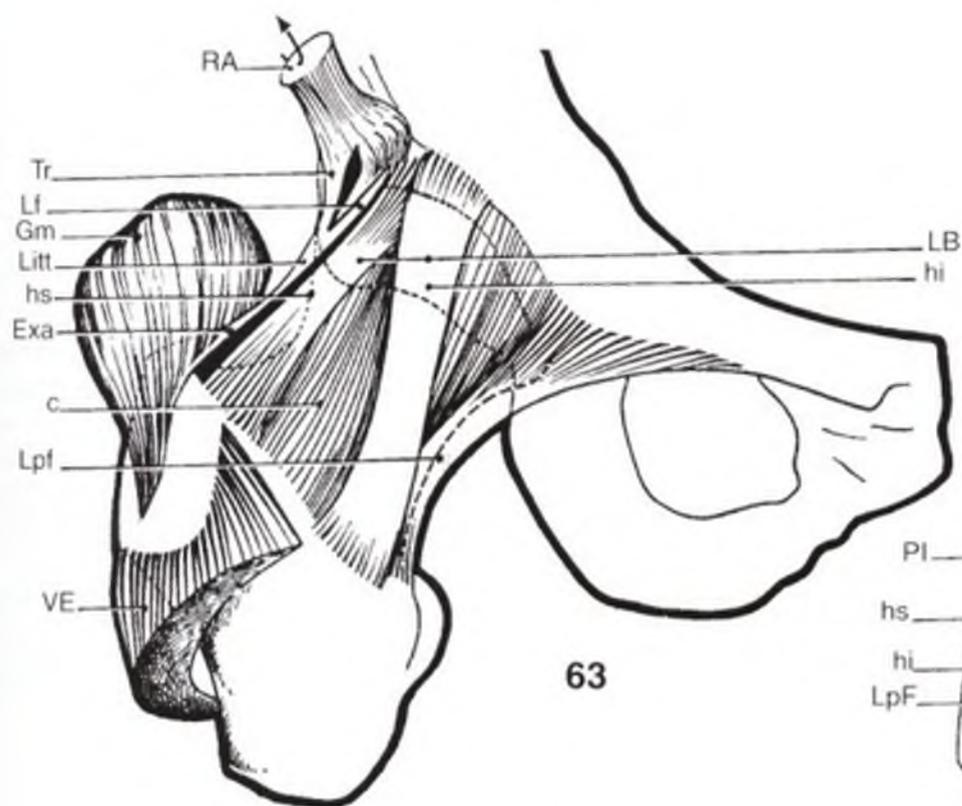
- el **ligamento iliofemoral** o ligamento de Bertin (LB), abanico fibroso cuyo vértice se inserta en el borde anterior del hueso ilíaco por debajo de la espina ilíaca anteroinferior (donde se inserta el recto anterior: RA) y cuya base se adhiere al fémur, a lo largo de toda la línea intertrocanterea anterior. Este abanico es más delgado en su porción media (c), mientras que sus dos bordes están engrosados por:
 - el *haz superior o iliopretrocantéreo* (hs), el más fuerte de los ligamentos de la articulación (8 a 10 mm de espesor), que se termina por fuera en el tubérculo pretrocantéreo y en la parte superior de la línea intertrocanterea. Está reforzada, por arriba, por el *ligamento iliotendinotrocantéreo* (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 iliopretrocantéreo;
 - el *haz inferior o iliopretocantiniiano* (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 ilipectínea 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 preto-cantiniiana.

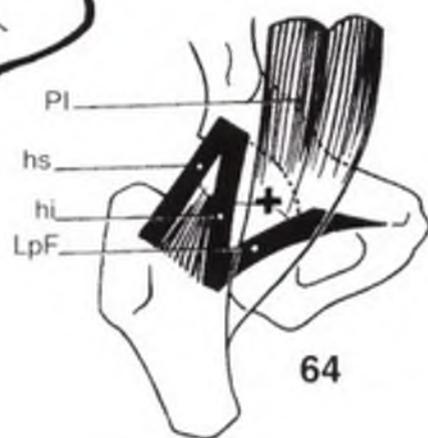
En conjunto (Fig. 64), estos dos ligamentos forman en la cara anterior de la articulación una N tumbada (Welcker) o, todavía mejor, una Z cuyo trazo superior (hs), el haz iliopretrocantéreo, es casi horizontal, cuyo trazo medio (hi), el haz iliopretrocantiniiano, es casi vertical y cuyo trazo inferior (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).

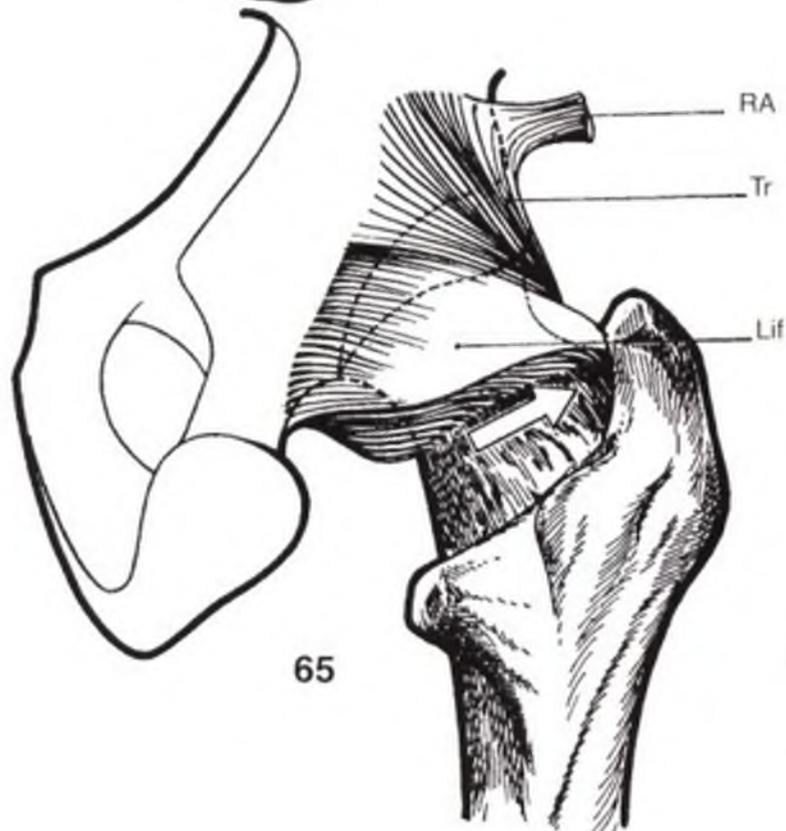
En el paso de cuadrupedia a bipedestación, donde la pelvis se extiende sobre el fémur (véase pág. 28), todos los ligamentos se enrollan, en el mismo sentido, alrededor del cuello (Fig. 67): en una cadera derecha vista desde su cara externa, giran en el sentido de las agujas de un reloj (dirigiéndose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



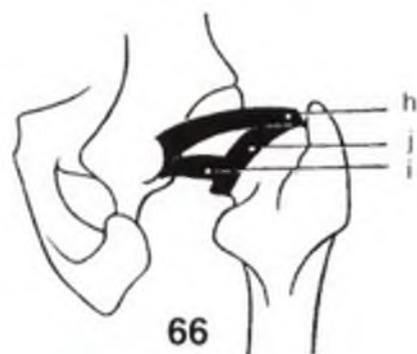
63



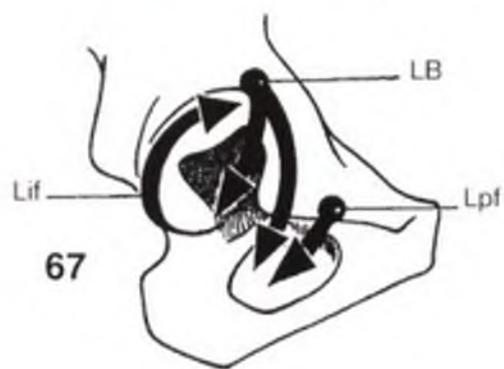
64



65



66



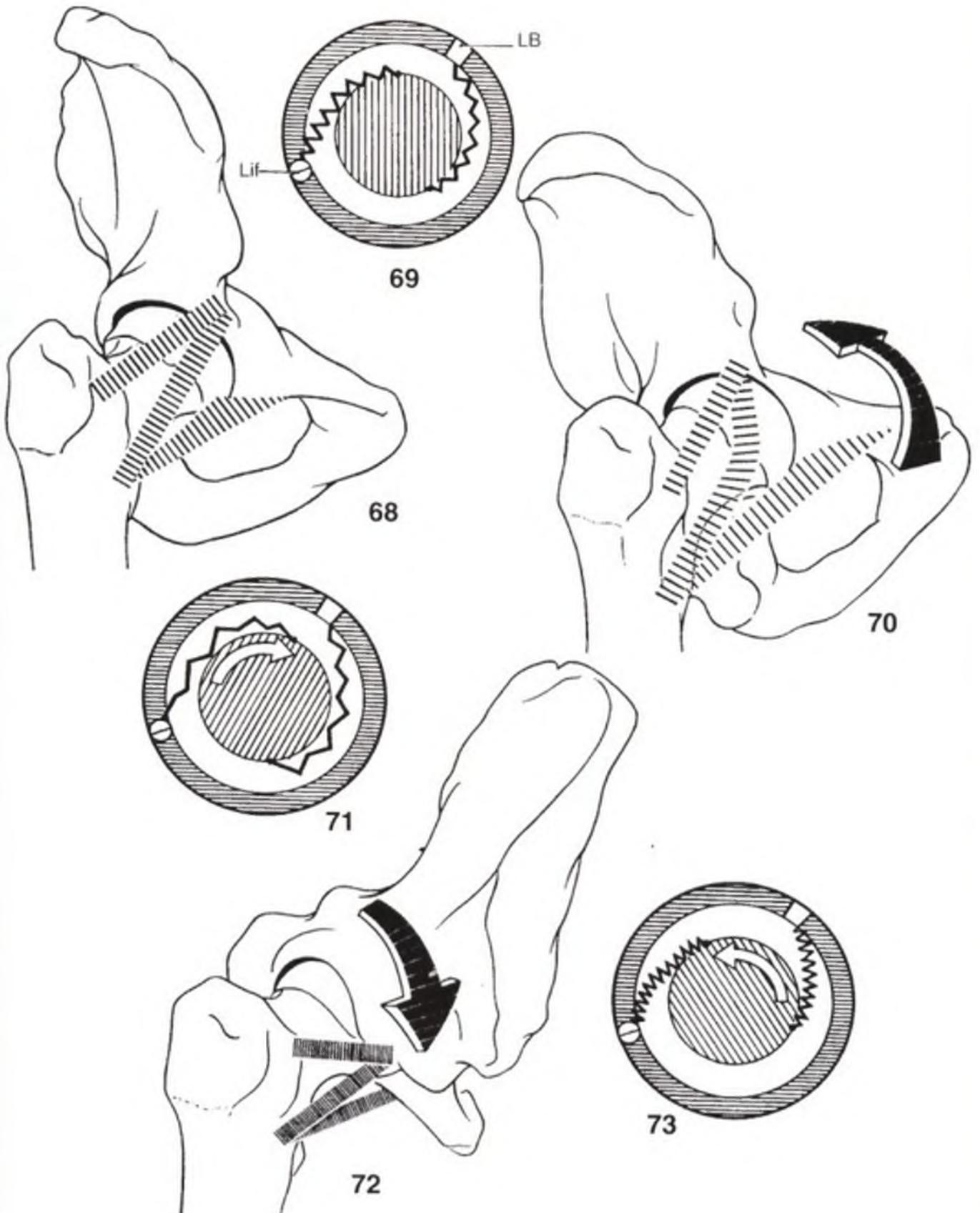
67

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.

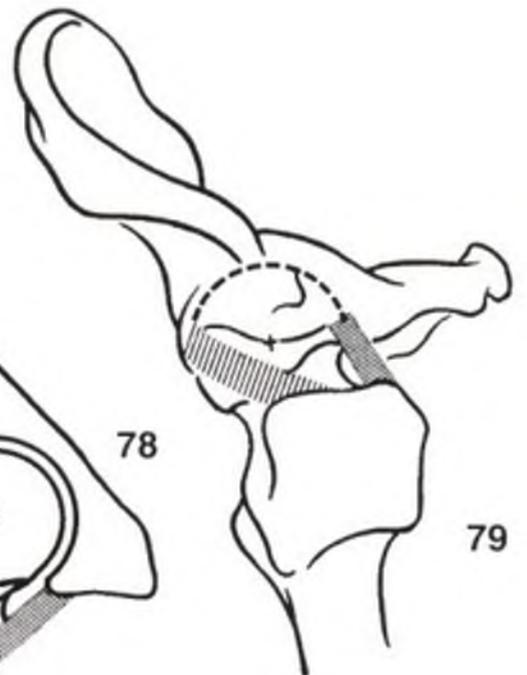
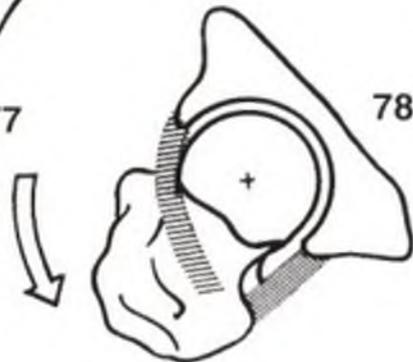
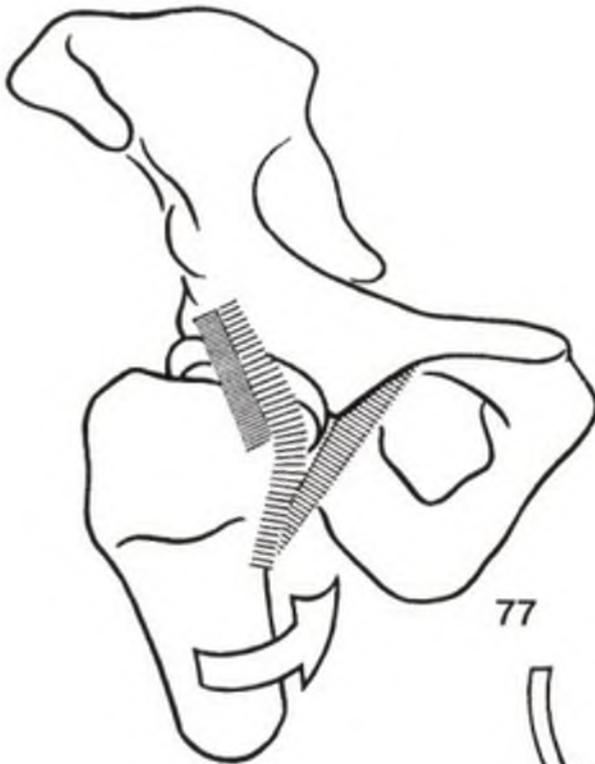
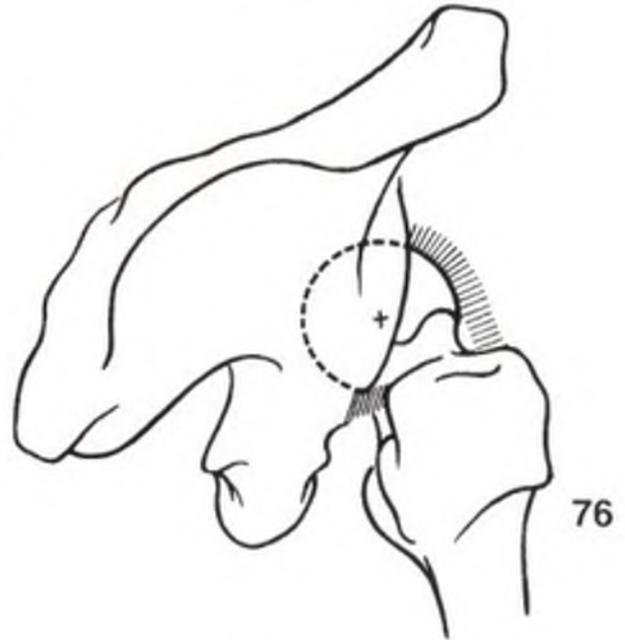
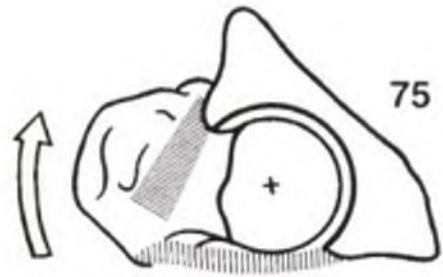
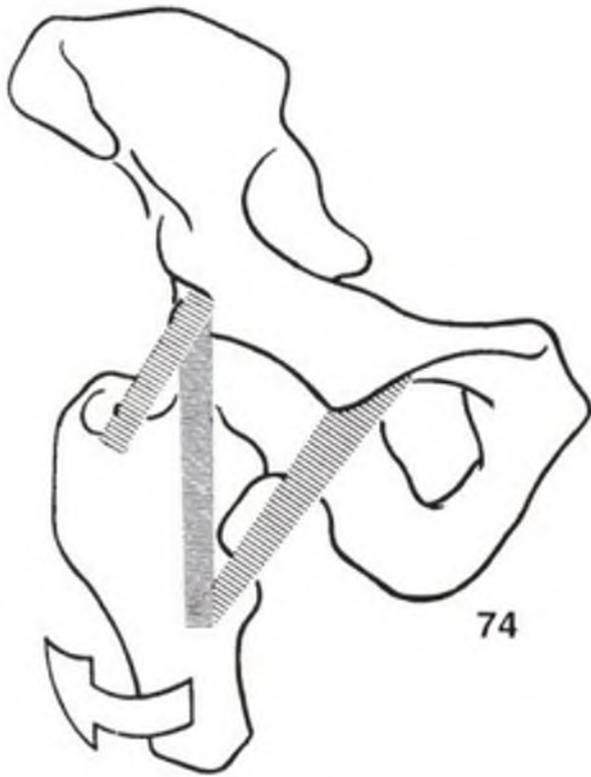


FUNCIÓN DE LOS LIGAMENTOS EN LA ROTACIÓN EXTERNA-ROTACIÓN INTERNA

Cuando la cadera realiza una **rotación externa** (Fig. 75) la línea intertrocanterea anterior se aleja de la ceja cotoideia; 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).



79

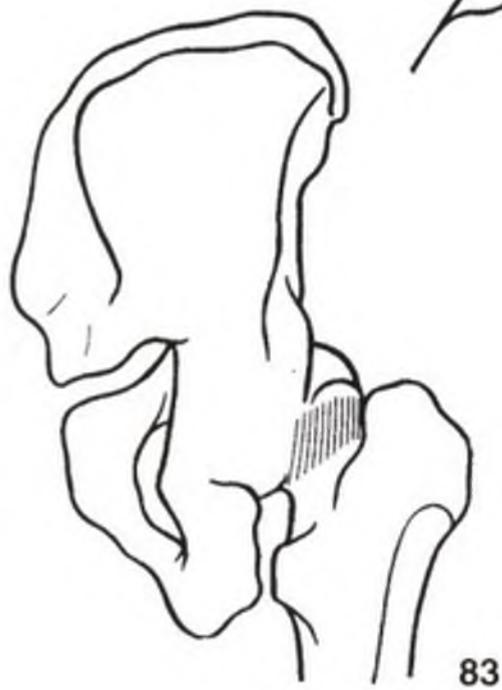
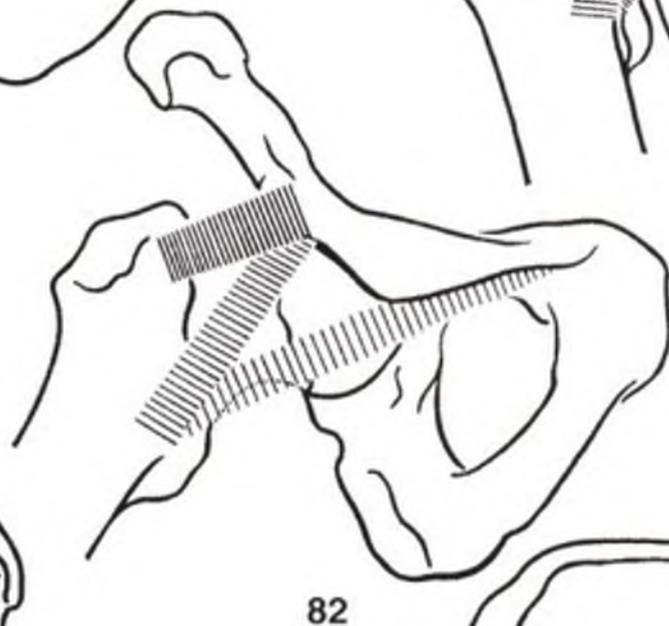
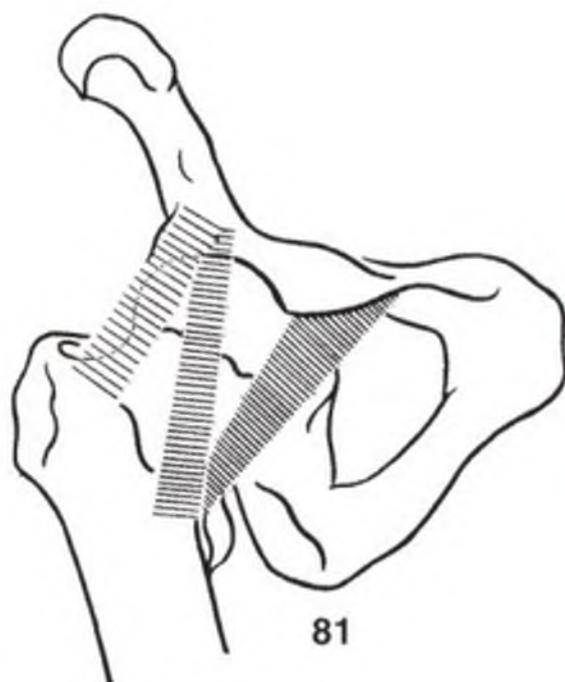
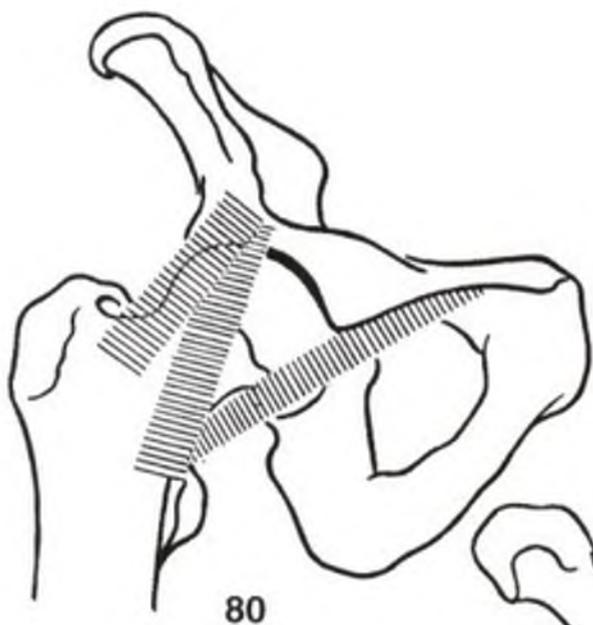
FUNCIÓN DE LOS LIGAMENTOS EN LA ADUCCIÓN-ABDUCCIÓN

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).



FISIOLOGÍA 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.

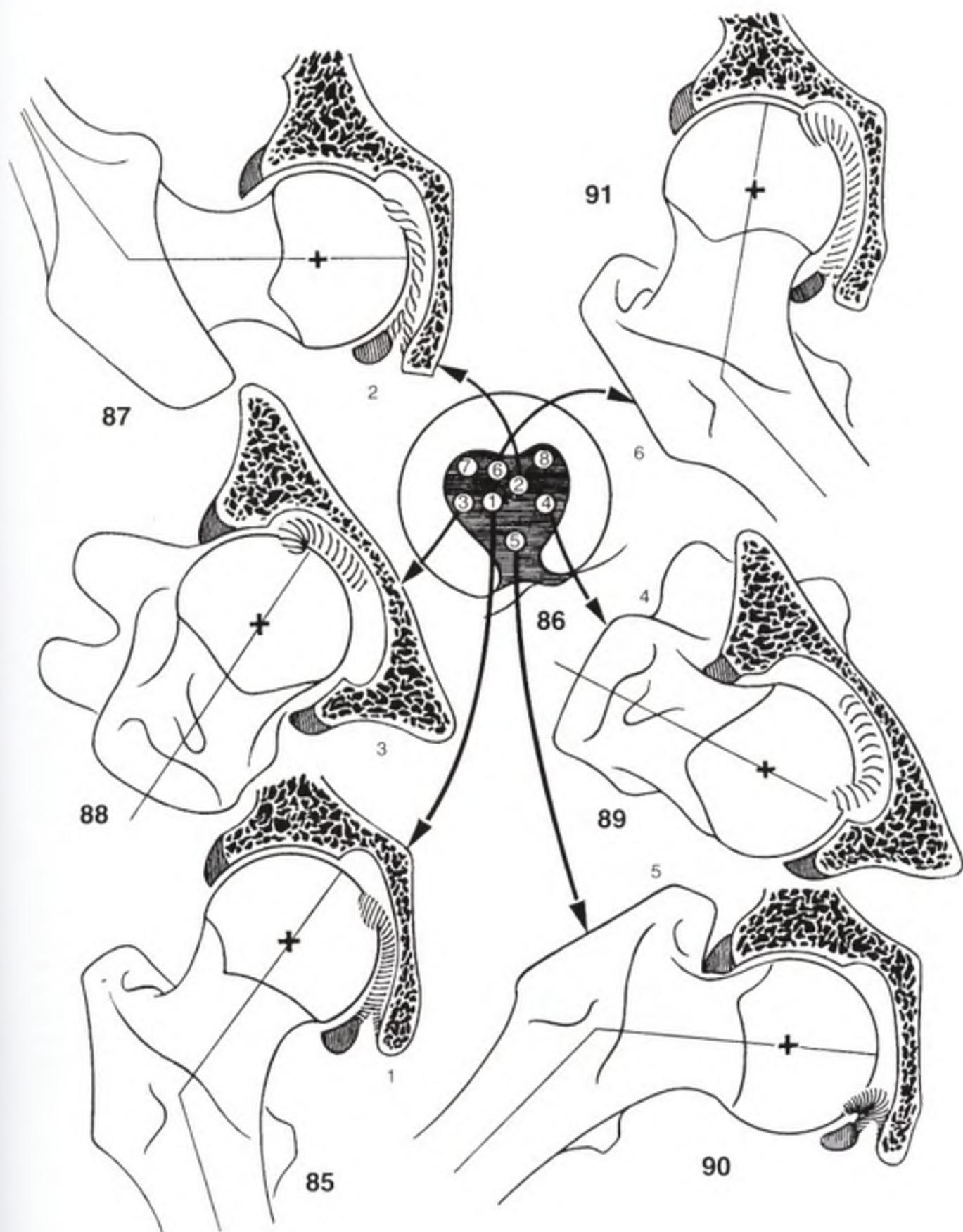
En la **rotación externa** (Fig. 89), la fosa se desplaza hacia delante y el ligamento contacta con la parte anterior de la media luna articular (4). De nuevo, el ligamento no aparece más que ligeramente tenso. Obsérvese el tope de la cara pos-

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 escapulohumeral, 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.

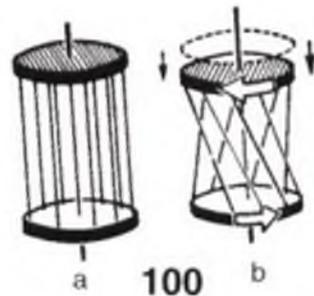
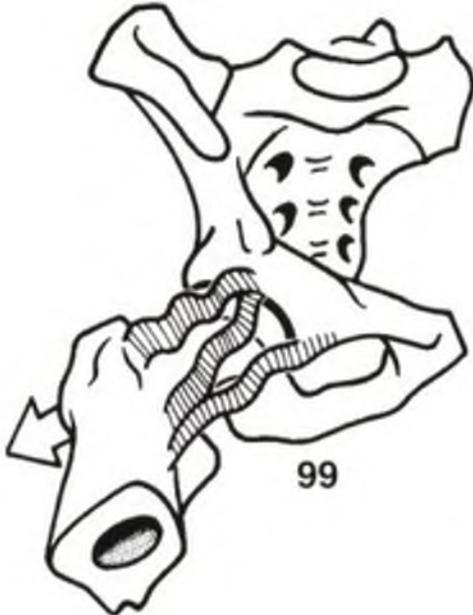
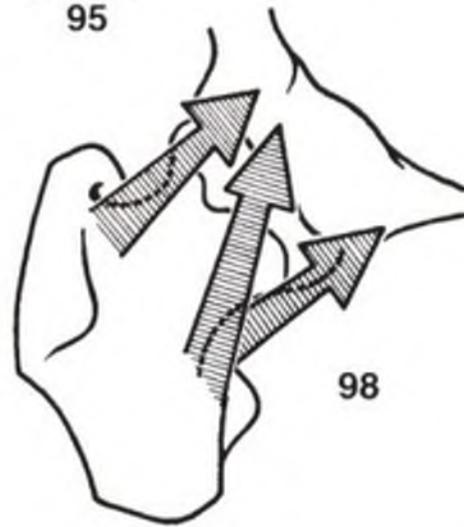
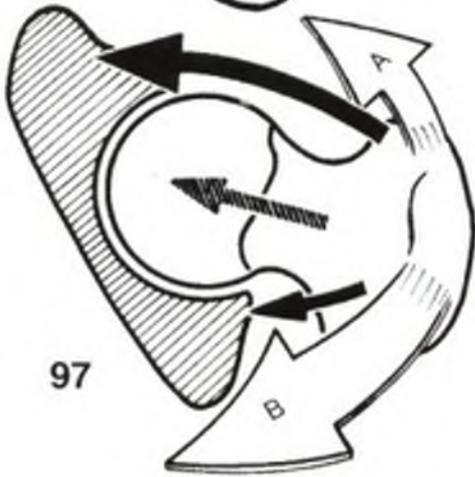
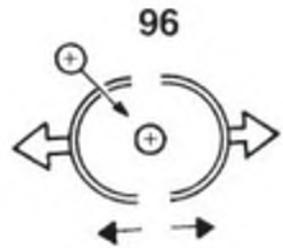
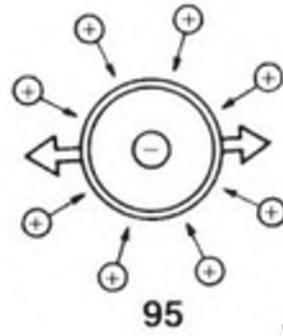
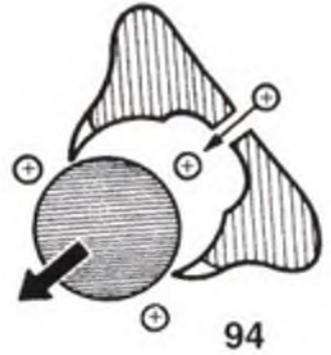
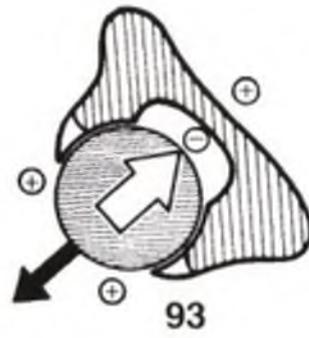
La **presión atmosférica** es un factor importante en la coaptación de la cadera, tal como ha demostrado el *experimento de los hermanos Weber*. De hecho, constataron que si se seccionaban todas las partes blandas que unen el hueso ilíaco al fémur (incluida la cápsula), la cabeza femoral no salía espontáneamente 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 (Ob); 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 dialisario (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-

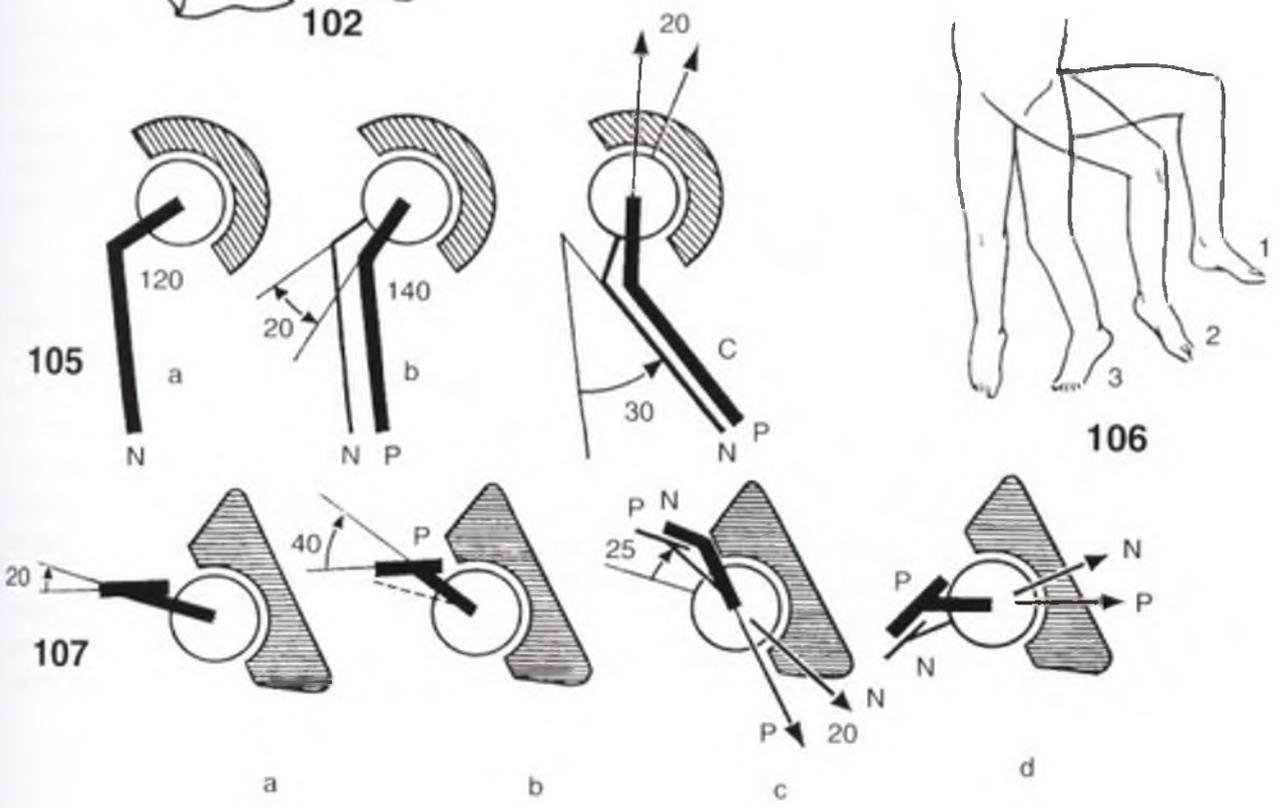
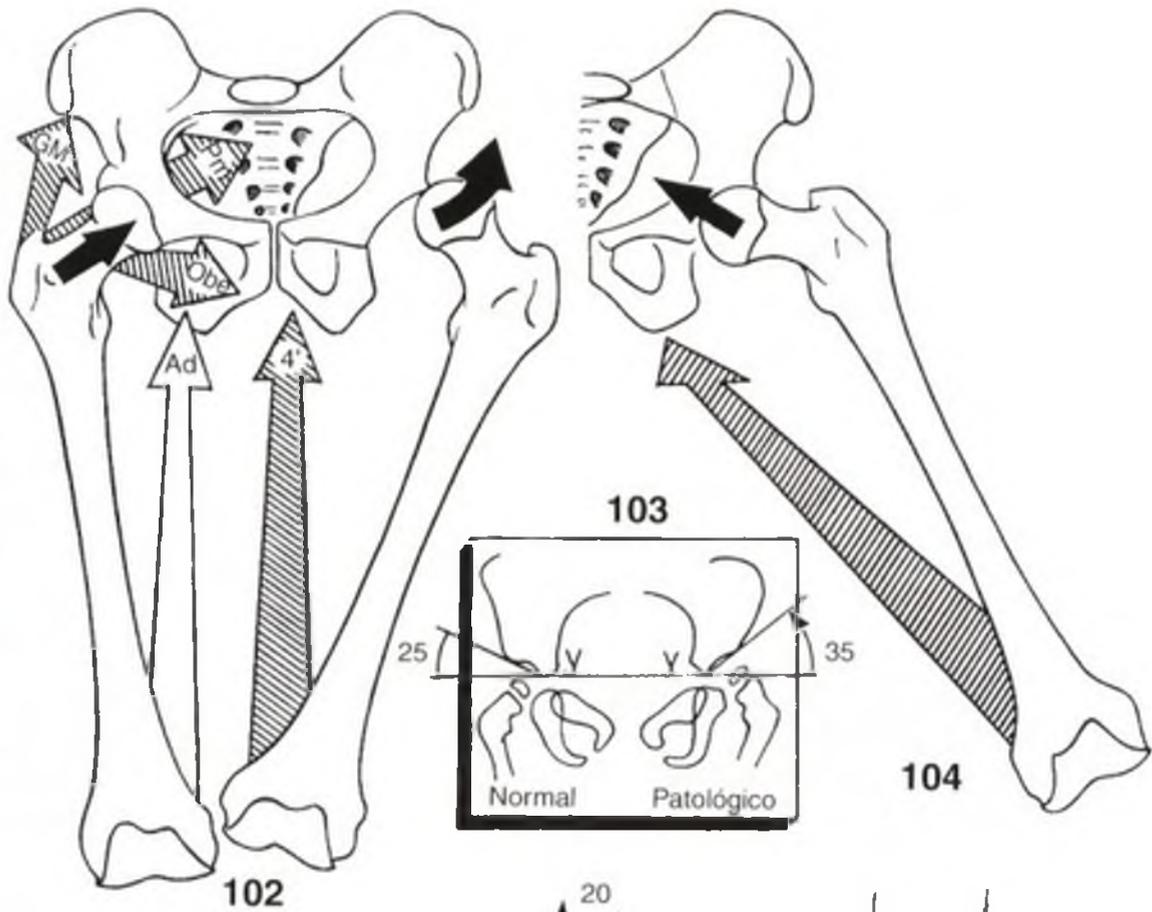
mente, una aducción de este tipo refuerza el componente de luxación de los aductores. **La coxa valga favorece la luxación patológica**. Por el contrario, esta cadera malformada estará estabilizada por una posición en abducción, lo que explica las posiciones utilizadas para el tratamiento ortopédico 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 hipedestación, 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 **psaos** (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 psaos 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 psaos 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:

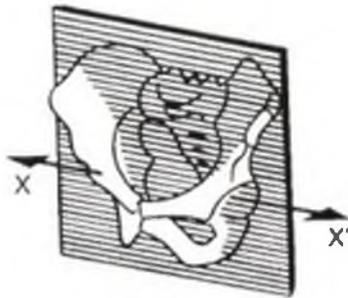
- el **pectíneo** (Pec) sobre todo aductor, al igual que
- el **aductor mediano** (AM), que flexiona hasta un determinado punto (véase pág. 68).
- el **recto interno** (Ri) y, por último,
- los haces más anteriores de los **glúteos menor** (Gm) y **mediano** (GM).

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 psaos 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.

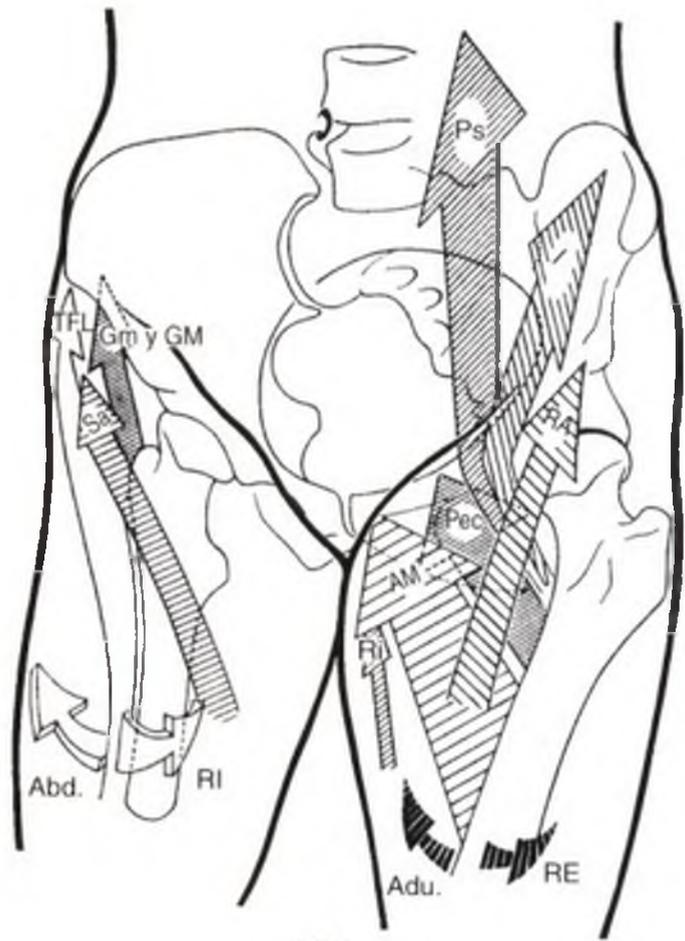
Durante la flexión directa, como ocurre en la marcha (Fig. 111), es necesario que ambos grupos realicen una *contracción antagonista-sinérgica equilibrada*. La flexión-aducción-rotación interna (Fig. 114) necesita que predominen los aductores y el tensor de la fascia lata, así como los glúteos menor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



108



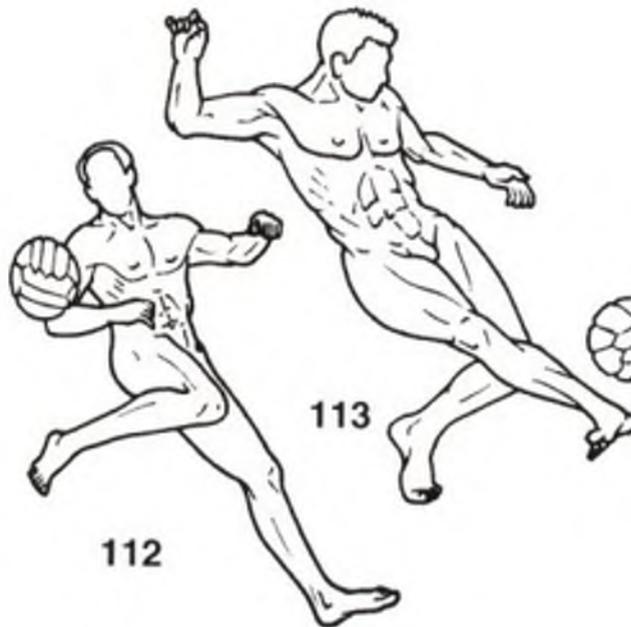
110



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

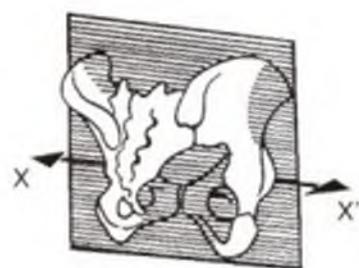
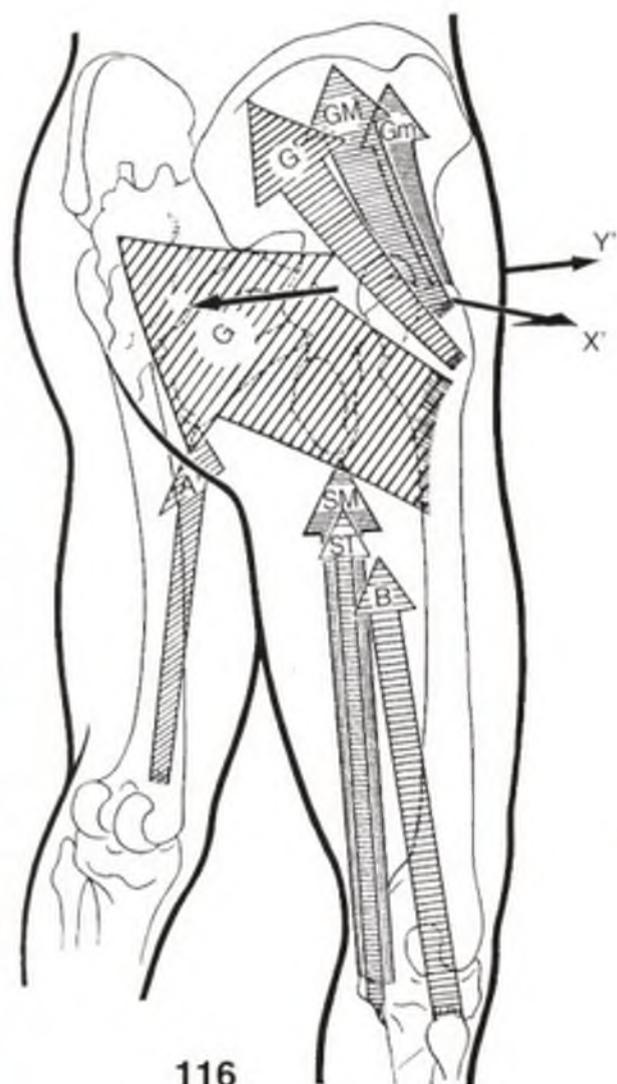
aductores, como se muestra en la figura 118: son los isquiotibiales, los aductores (los que están situados por detrás del plano frontal) y la mayor parte del glúteo mayor (G).

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



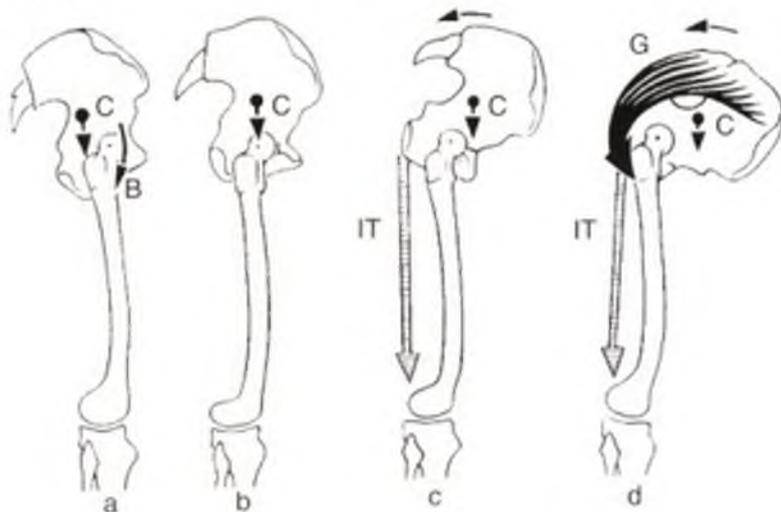
117



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 deltoidees glúteo (Fig. 127).

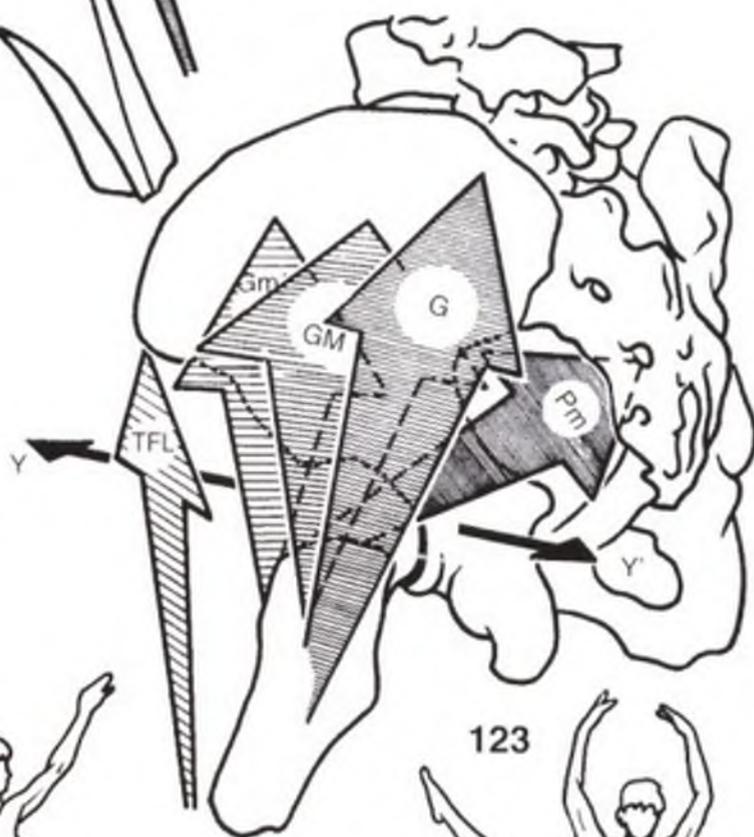
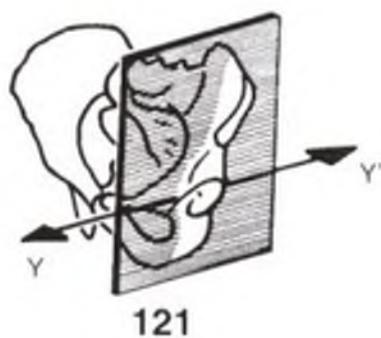
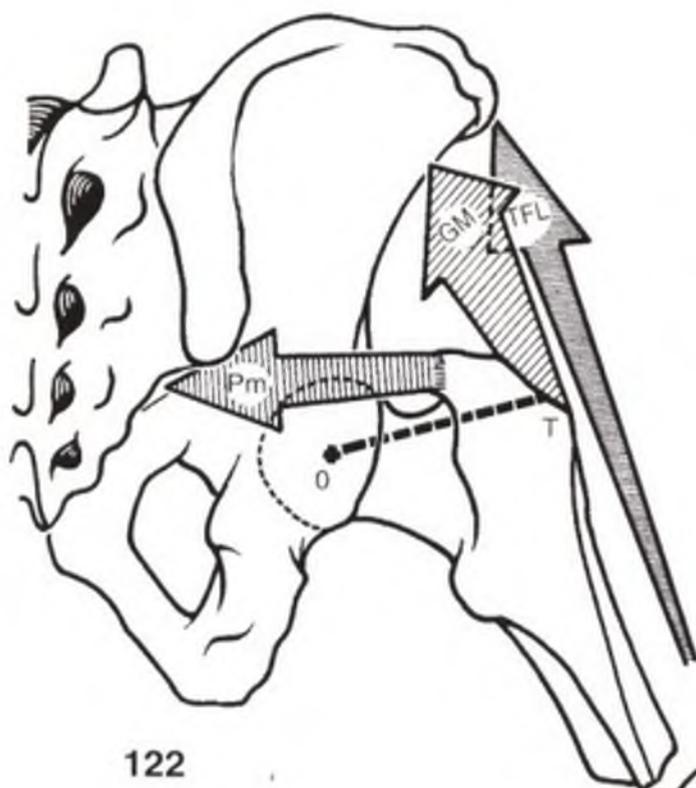
El **piramidal de la pelvis** (Pm) posee una acción abductora innegable aunque difícil de apreciar experimentalmente debido a su profunda localización.

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)

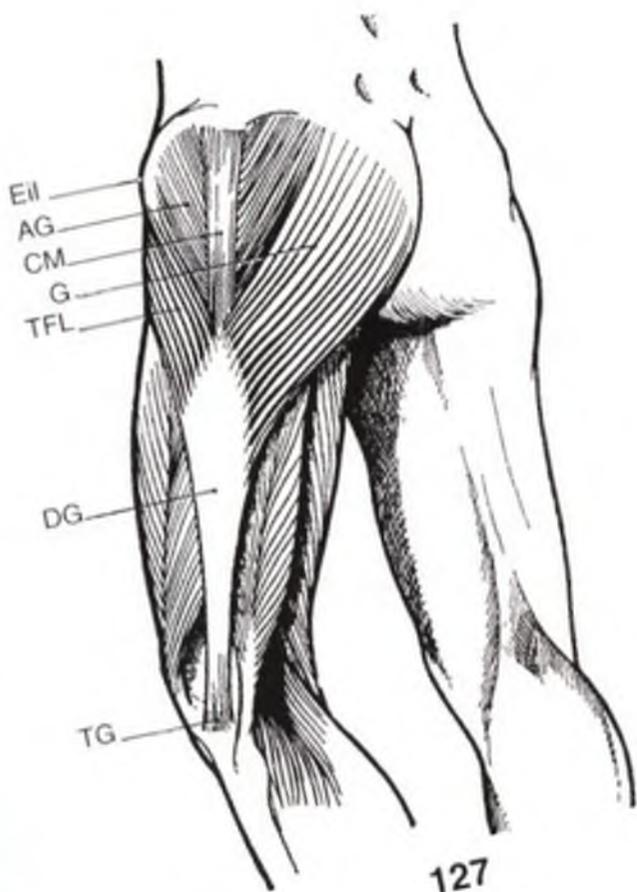
El **deltoides glúteo** (Farabeuf) constituye un amplio abanico muscular (Fig. 127) en la cara externa de la pierna, a la altura de la cadera. Su denominación se debe a su *forma triangular* con una punta inferior y a su analogía tanto anatómica como funcional con el deltoides braquial. Sin embargo, 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 diálisis, 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

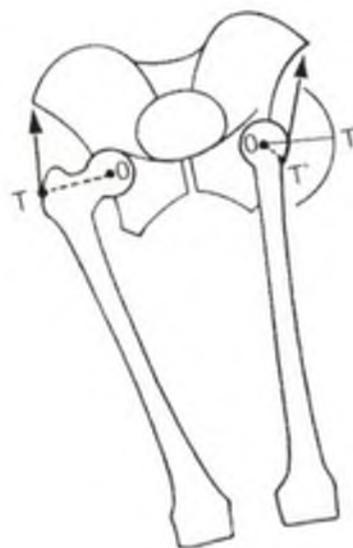
mecánica más frágil que limita más rápidamente la abducción, pero que refuerza la acción del glúteo mediano, indispensable para la estabilidad transversal de la pelvis.

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.

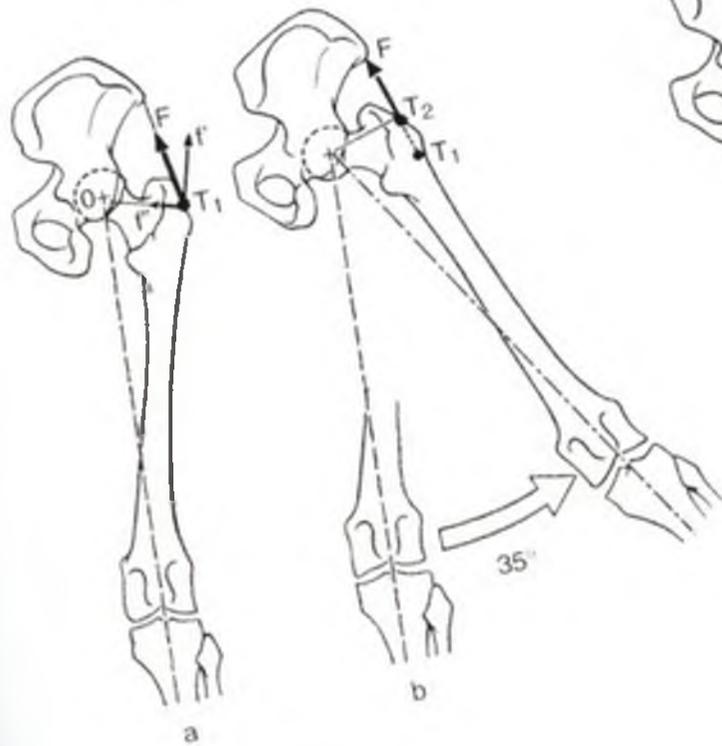
La **acción del tensor de la fascia lata** (Fig. 130) se puede analizar del mismo modo (a). Su fuerza F aplicada en la espina ilíaca C_1 se descompone en dos vectores: f_1'' centrípeto y f_1' tangencial que hace bascular la pelvis. A medida que la abducción se consolida (b) el componente f_1' aumenta, 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.

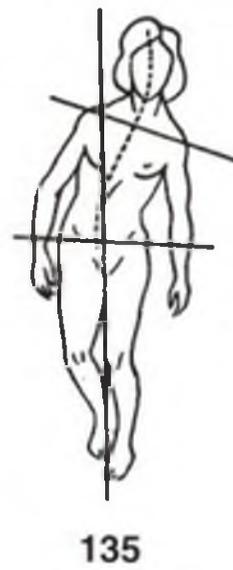
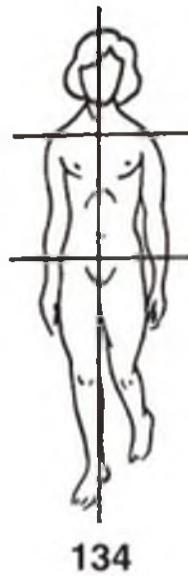
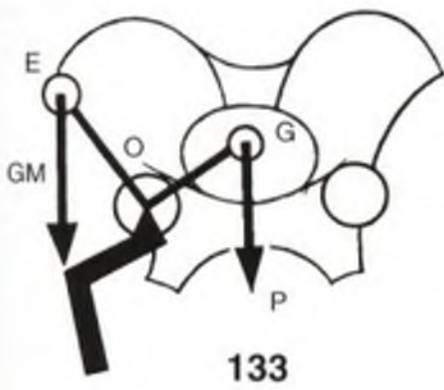
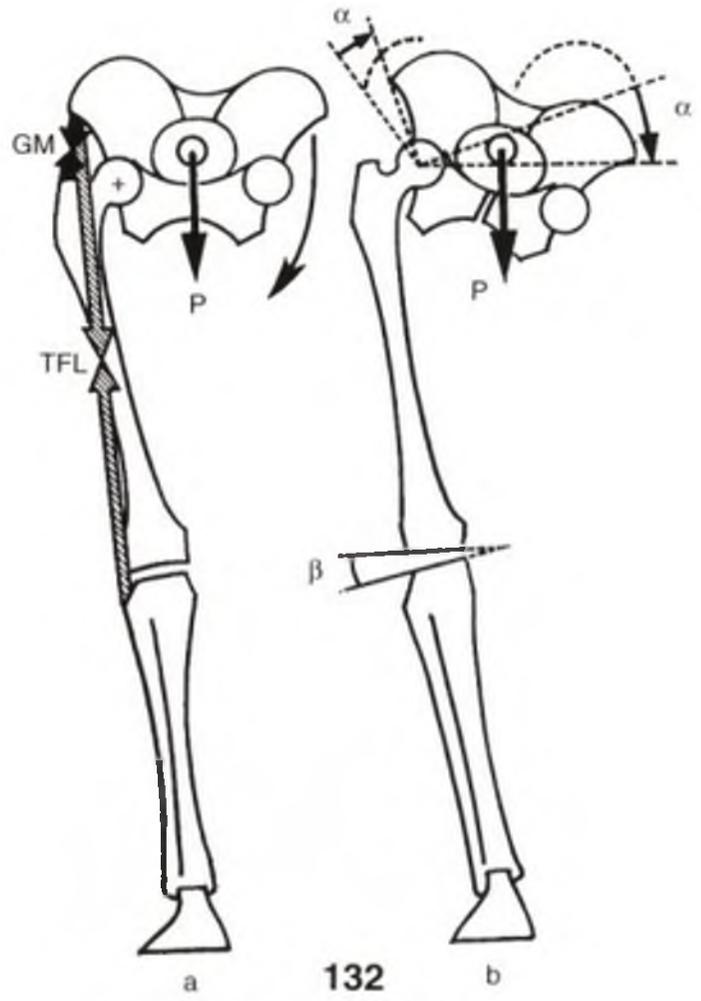
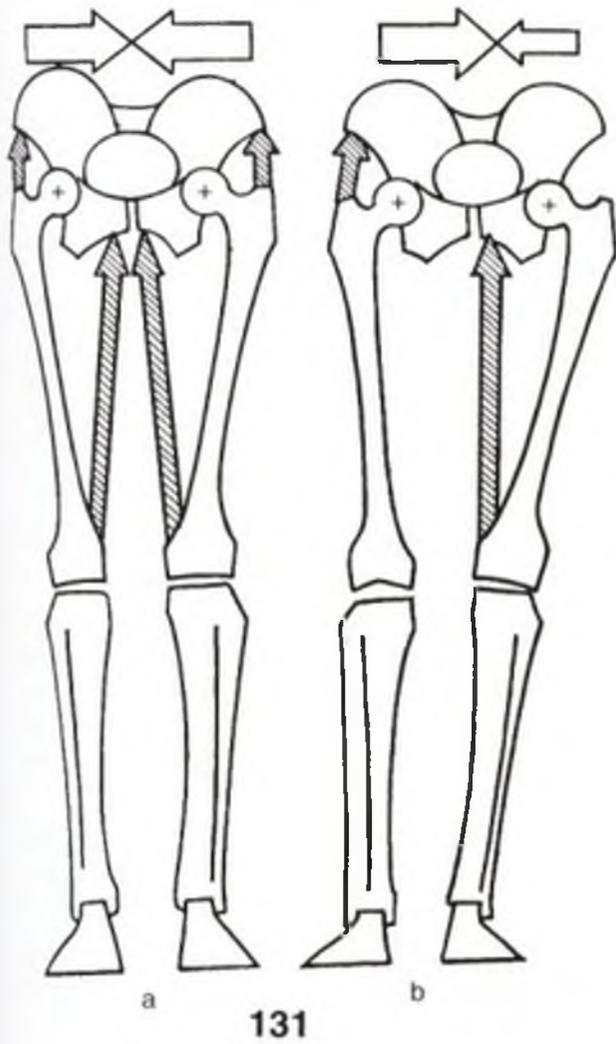
Si por un lado los abductores tiran, mientras que por el otro predominan los aductores (b), la pelvis se desplazará lateralmente hacia el lado donde predominan los aductores; si no se restablece el equilibrio muscular se producirá la caída lateral.

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.



131

132

133

134

135

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

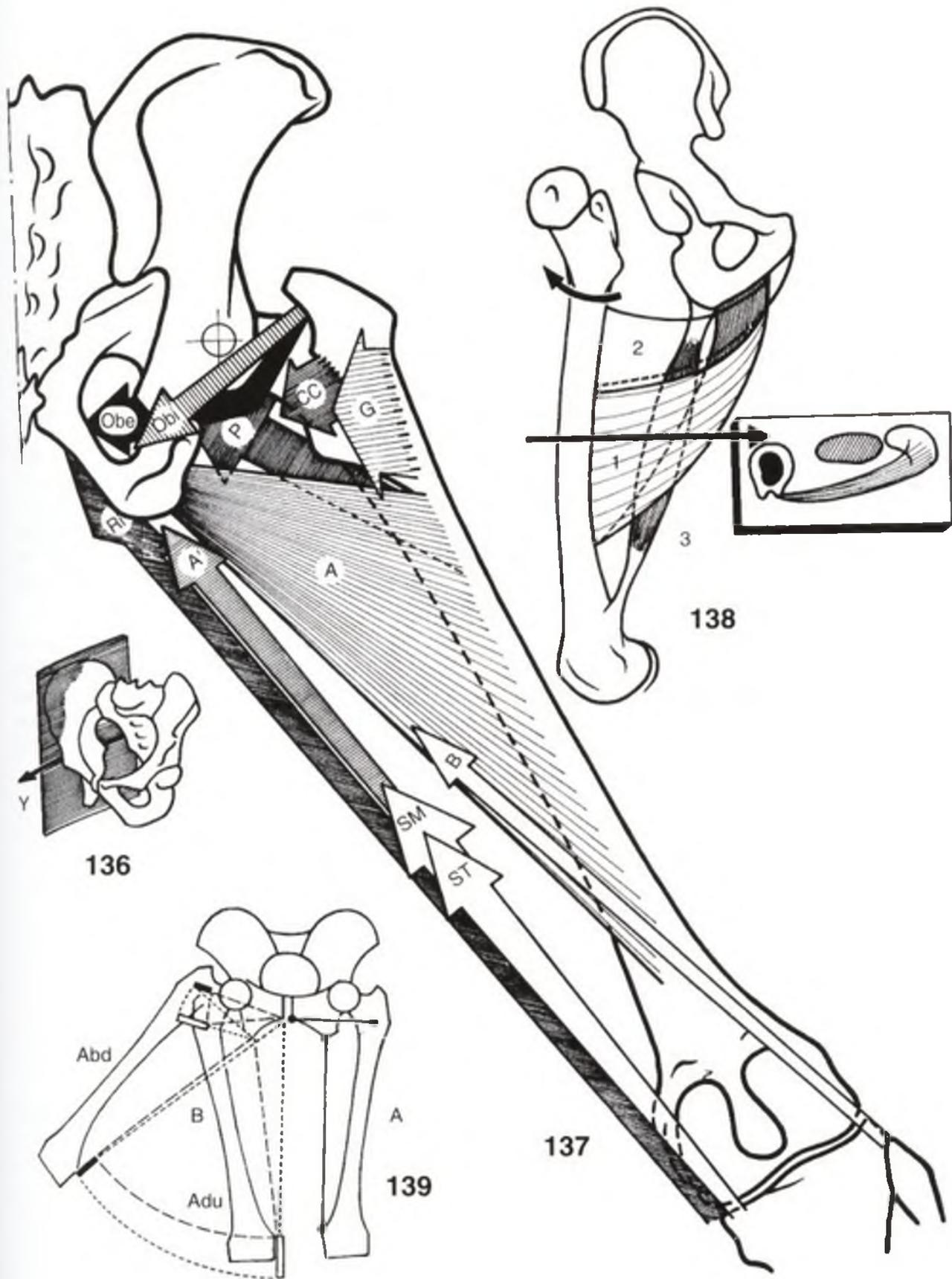
produce en la abducción, por lo tanto, permite una mayor amplitud de abducción conservando la eficacia del músculo, tal como muestra la figura 139:

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:

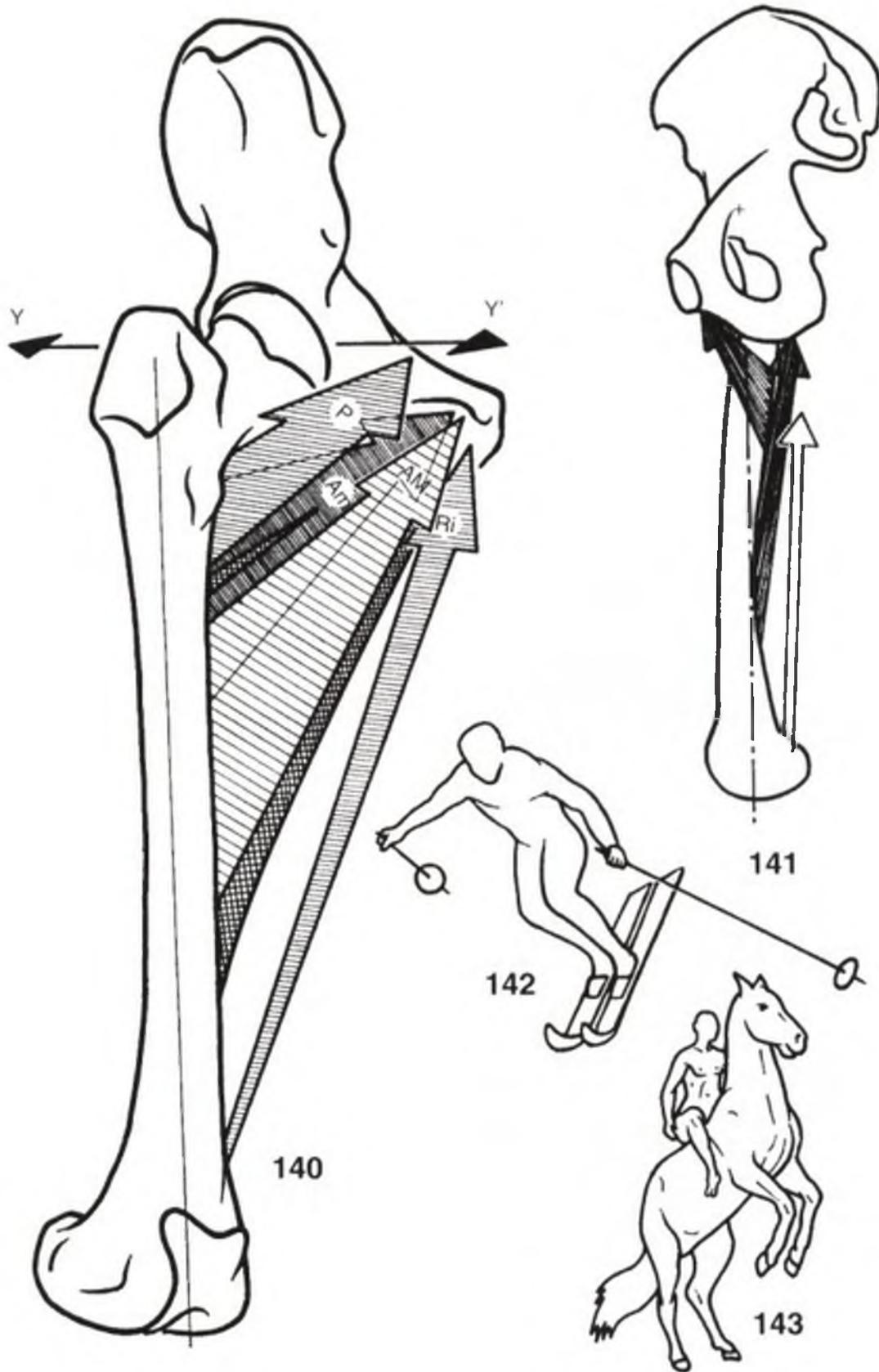
- el **aductor mediano (AM)**, cuya potencia (5 kgm) alcanza a duras penas la mitad de la del aductor mayor;
- el **aductor menor (Am)**, cuyos dos haces están recubiertos por el aductor mediano, por abajo, y el pectíneo (P), por arriba;
- el **recto interno (Ri)** limita, por dentro, el compartimento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

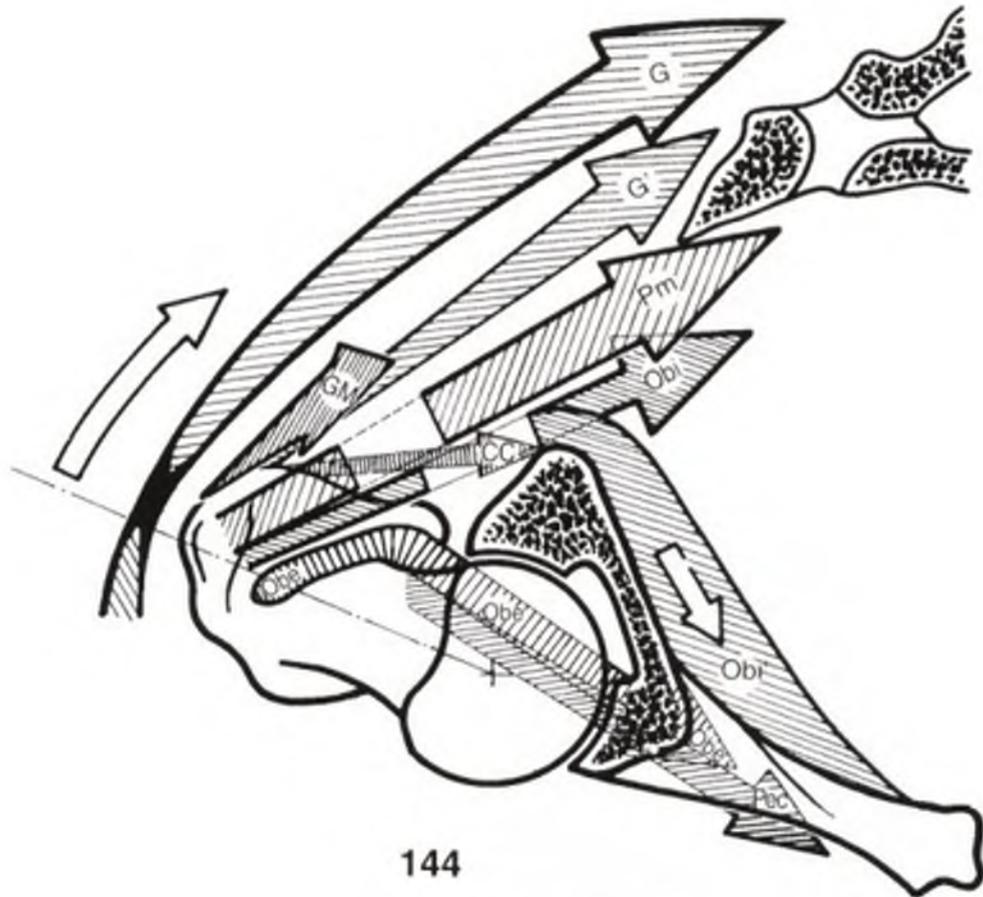
Como se expuso anteriormente, los aductores son indispensables para el equilibrio de la pelvis en apoyo unilateral; además, desempeñan un papel esencial en ciertas actitudes o movimientos deportivos, como la práctica del esquí (Fig. 142) o de la equitación (Fig. 143).



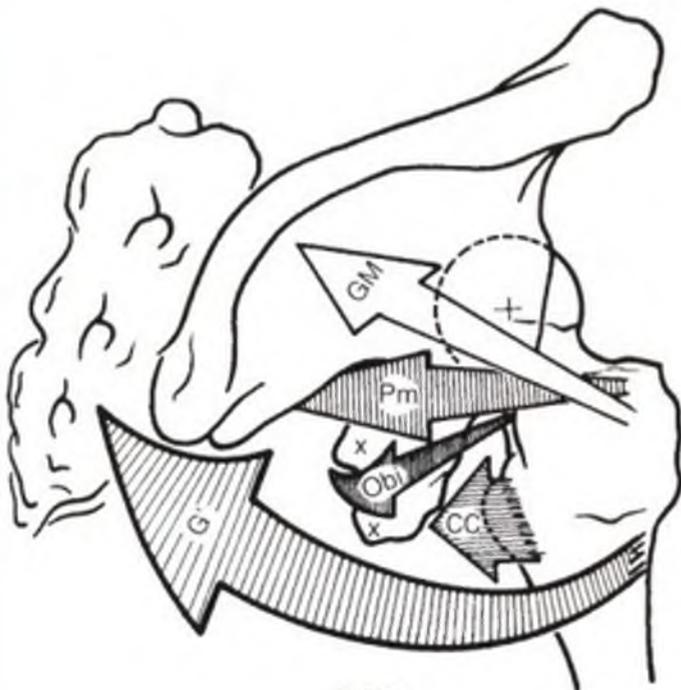
LOS MÚSCULOS ROTADORES EXTERNOS DE LA CADERA

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:

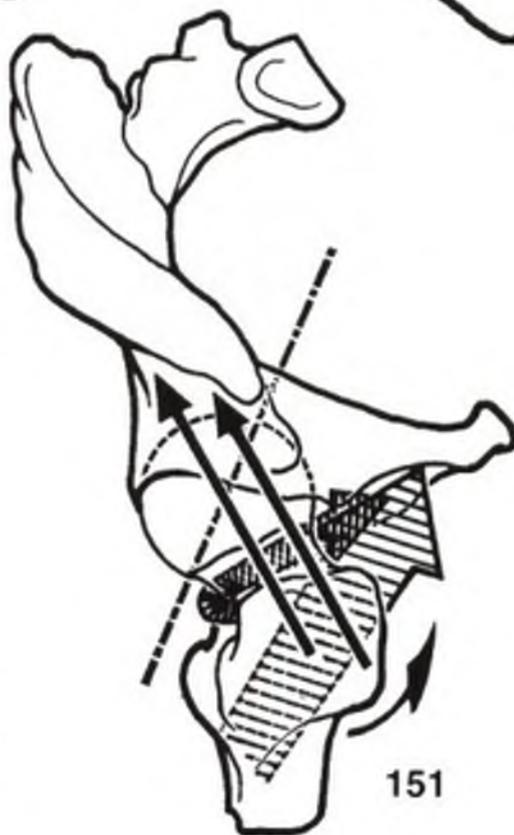
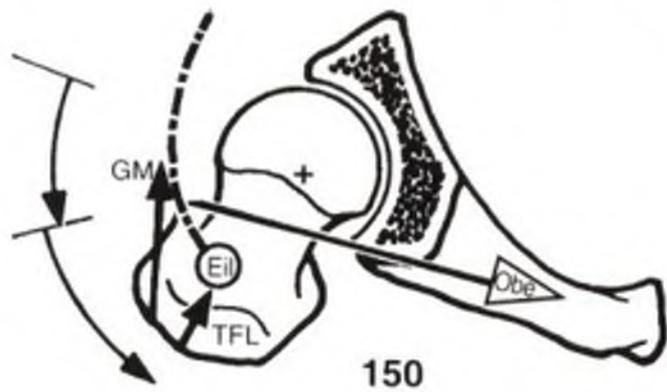
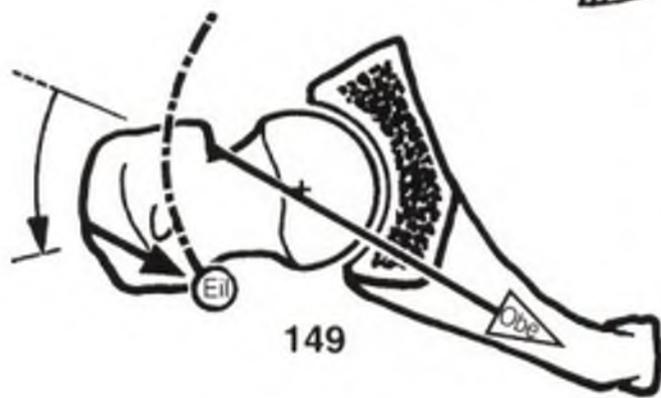
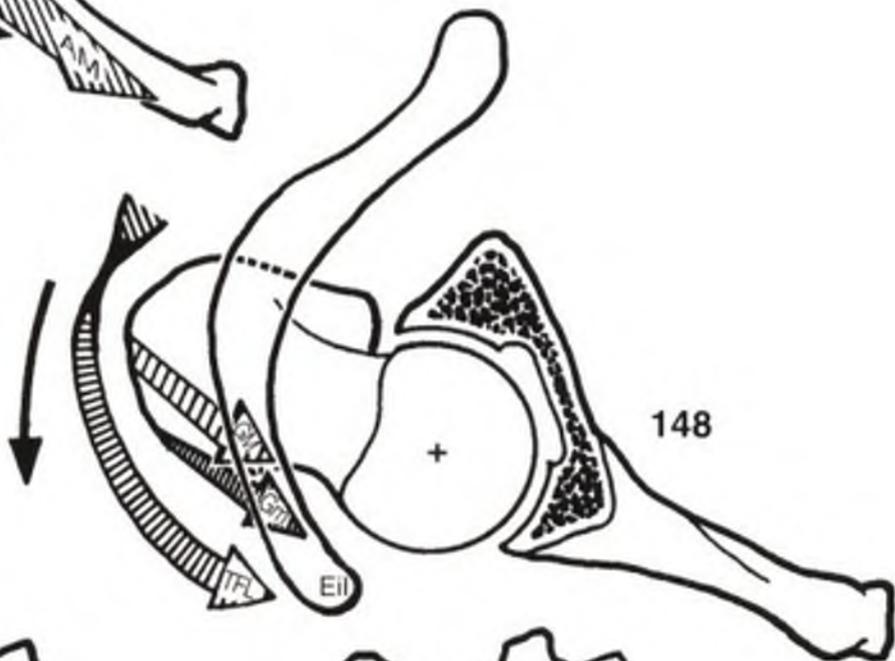
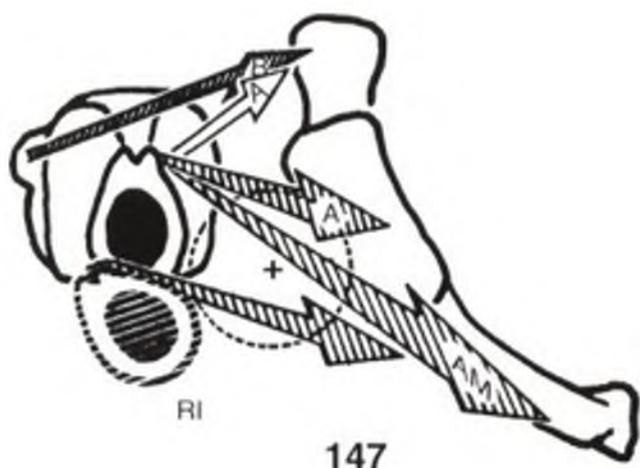
- el **tensor de la fascia lata** (TFL), que se dirige hacia la espina ilíaca anterosuperior (Eil);
- el **glúteo menor** (Gm), rotador interno en su casi totalidad;
- el **glúteo mediano** (GM), únicamente en

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.



LA INVERSIÓN DE LAS ACCIONES MUSCULARES

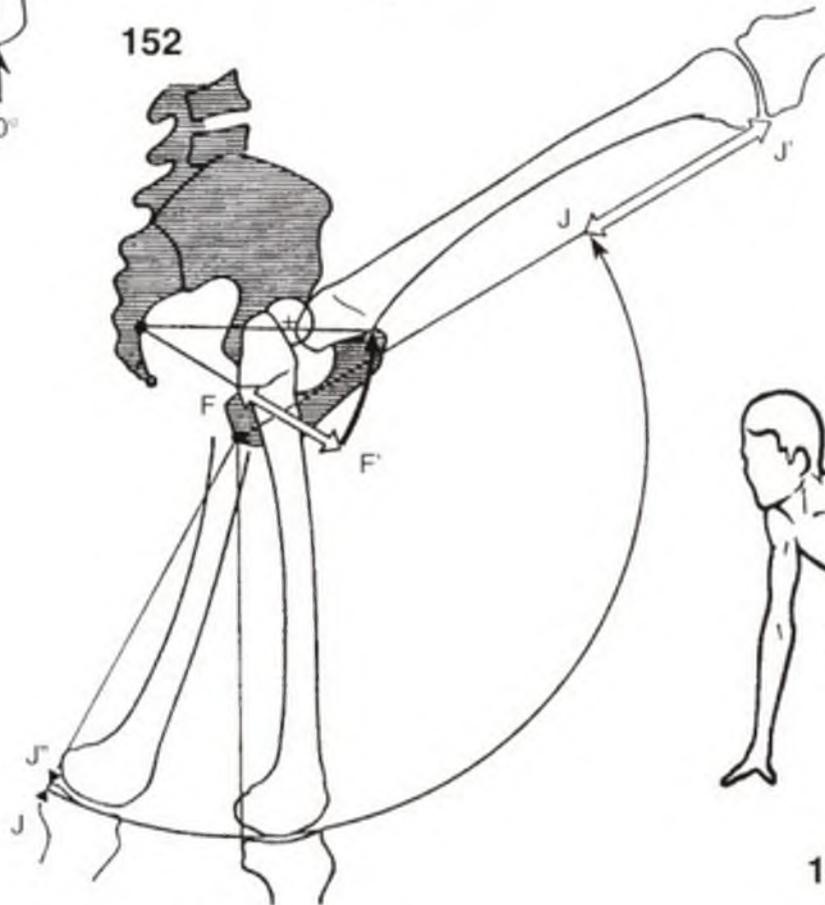
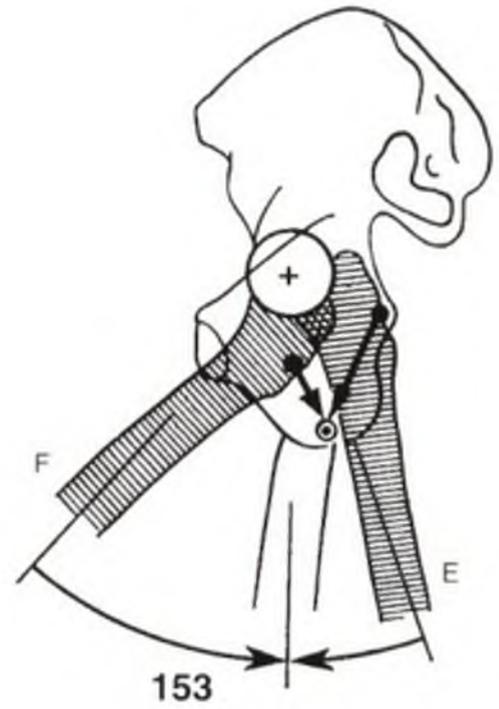
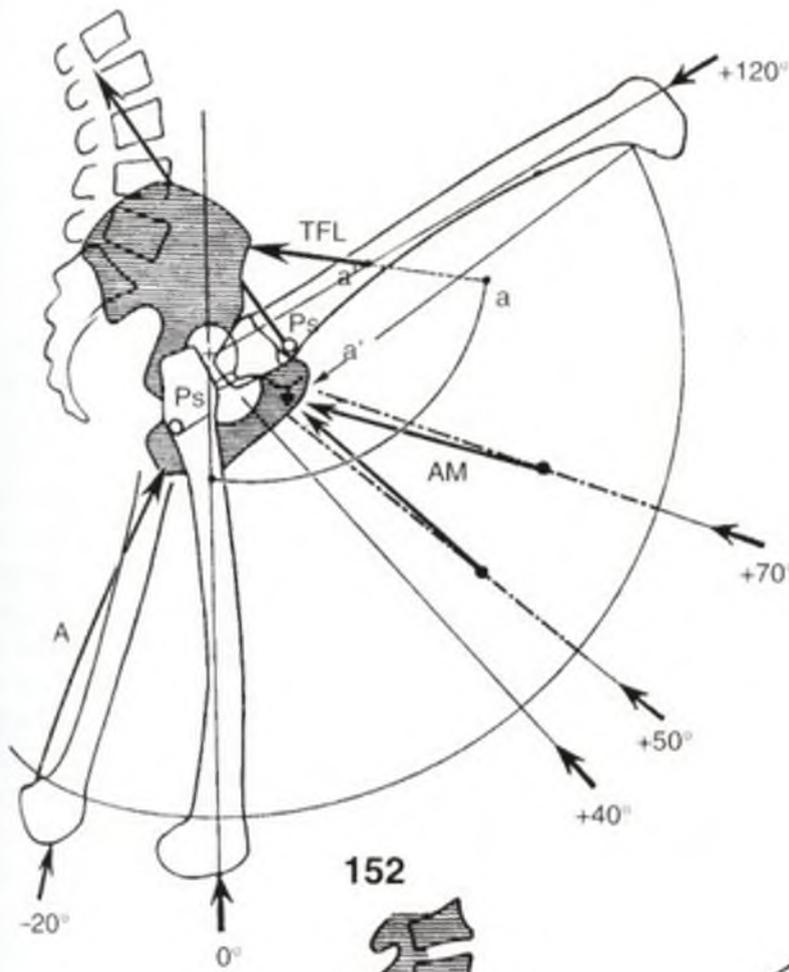
Los músculos motores de una articulación con tres grados de libertad no poseen la misma acción, dependiendo de la posición de la articulación; las acciones secundarias pueden cambiar e incluso invertirse. El ejemplo más típico es la **inversión del componente de flexión de los aductores** (Fig. 152): 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 diálisis femoral).

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

(Figura 153: el hueso iliaco, 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.



154

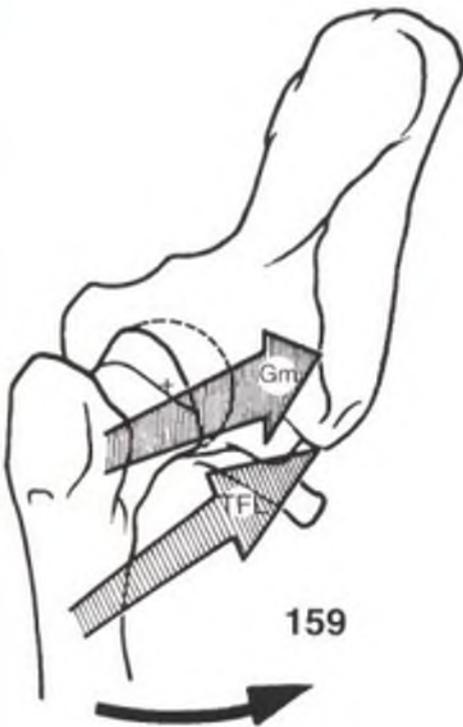
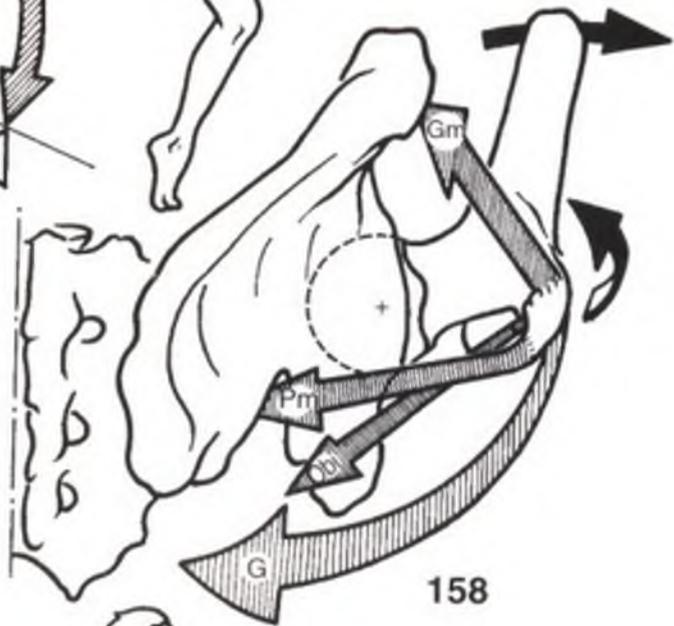
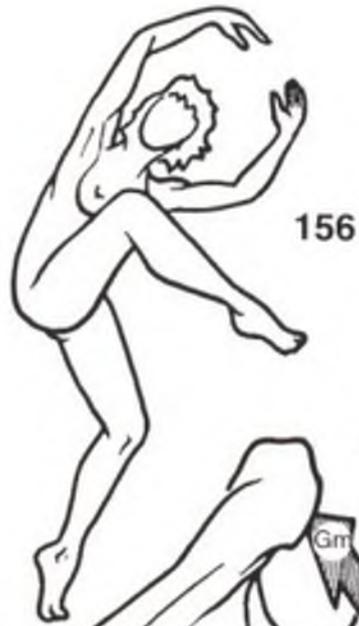
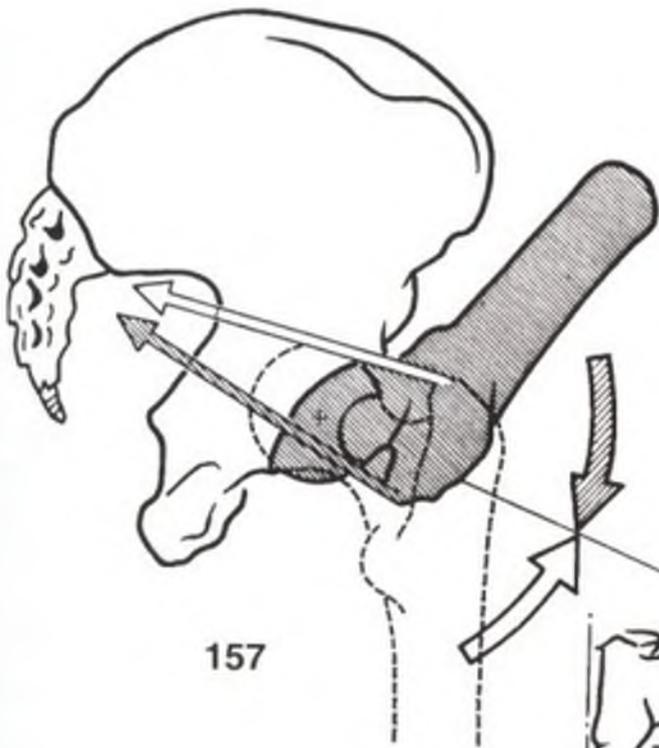
155

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

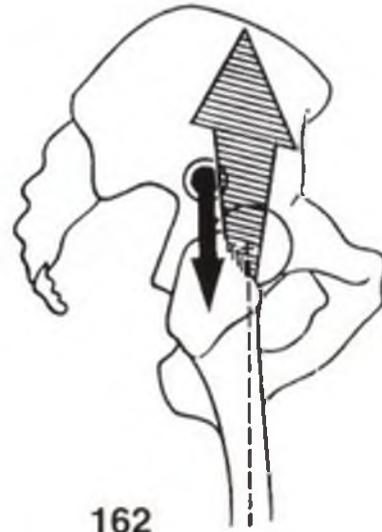
que este músculo también es abductor-flexor, como el tensor.

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.

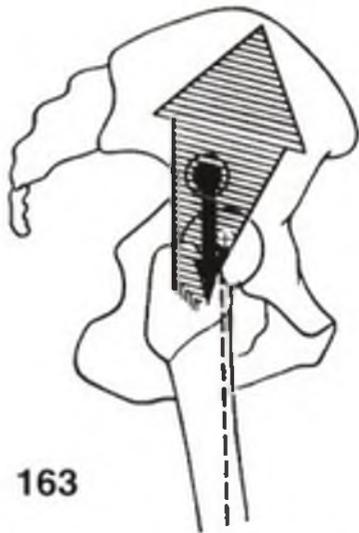
A partir del momento en el que la pelvis bascula hacia delante, el glúteo mayor interviene, a éste se le suman sucesivamente el piramidal (Fig. 164), el obturador interno (Fig. 165) y el cuadrado crural (Fig. 166), a medida que la flexión del tronco aumenta: estos músculos son *a la vez abductores* —con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



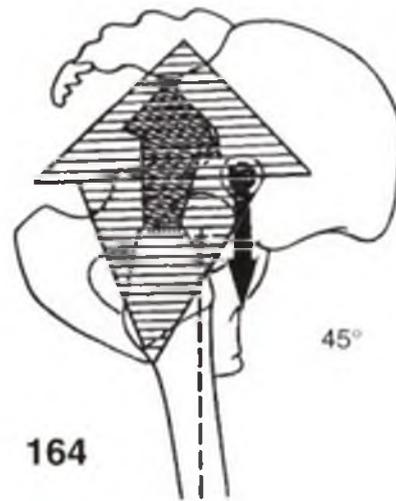
161



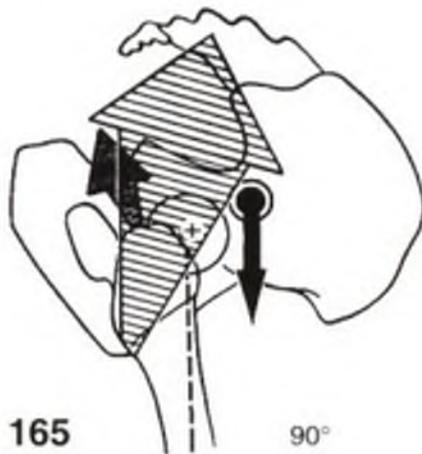
162



163

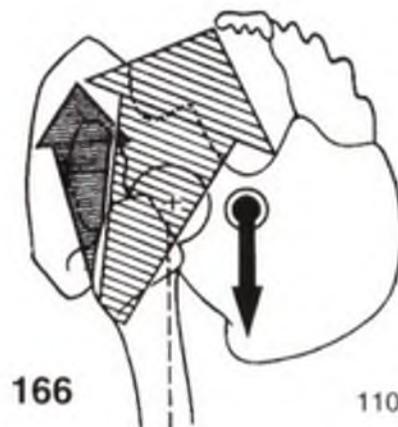


164



165

90°



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

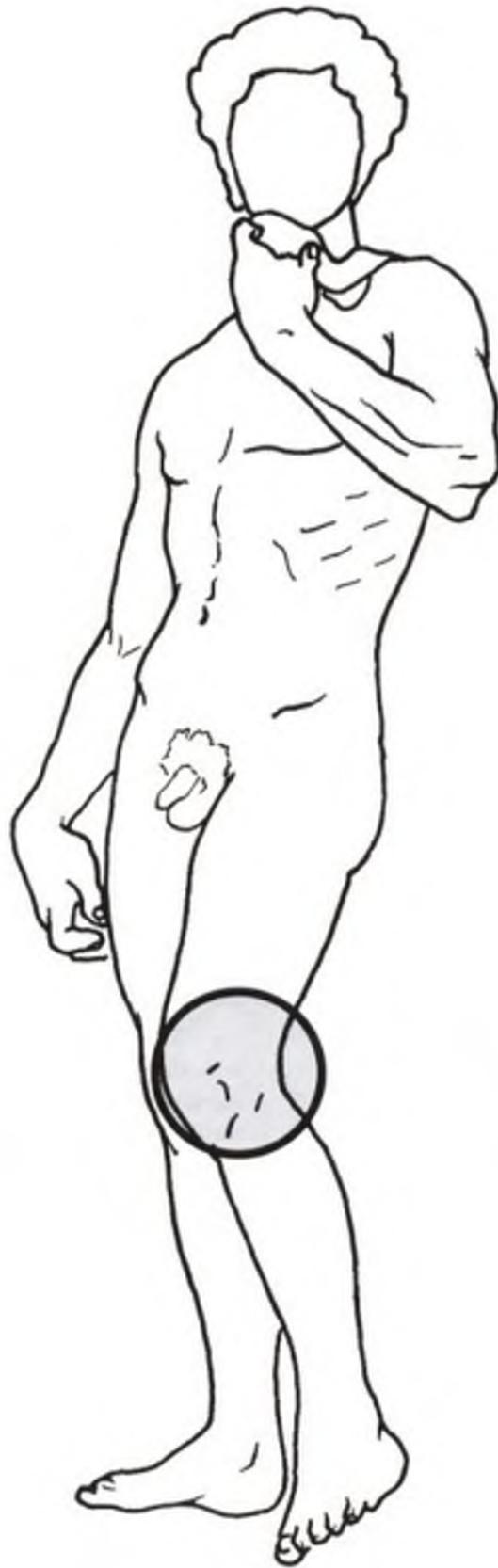
esfuerzos importantes debido al peso del cuerpo y a la longitud de los brazos de palanca;

- 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.

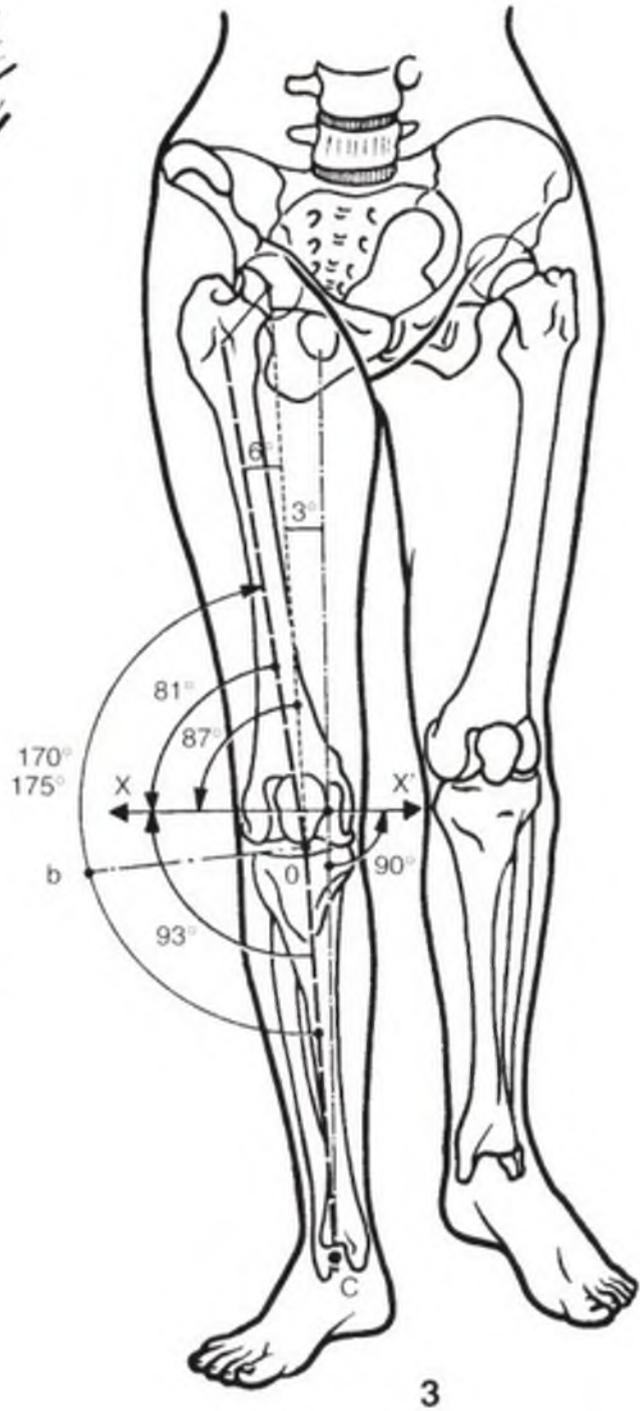
Al ser horizontal, el eje de flexoextensión XX' , no constituye la bisectriz (Ob) del ángulo de

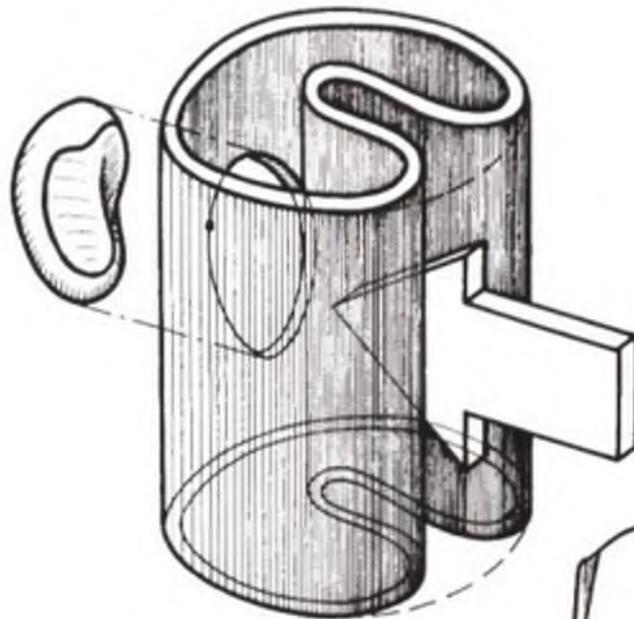
valgus: se miden 81° entre XX' y el eje del fémur, y 93° entre XX' y el eje de la pierna. De lo cual se deduce que, en máxima flexión, el eje de la pierna no se sitúa exactamente detrás del eje del fémur, *sino por detrás y un poco hacia dentro*, lo que desplaza el talón hacia el plano de simetría: la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

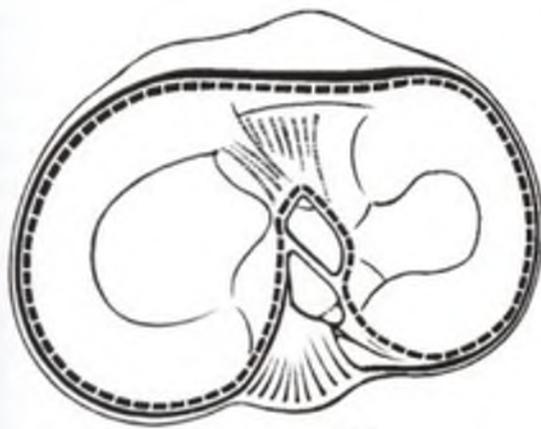
En la figura 1 se ha dibujado un eje ZZ' anteroposterior y perpendicular a los dos precedentes. Este eje no presupone un tercer grado de libertad: cuando la rodilla está flexionada, cierta holgura mecánica permite **movimientos de lateralidad** de 1 a 2 cm en el tobillo; pero en extensión completa, estos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

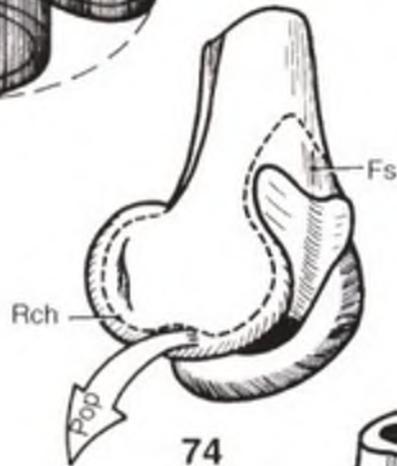




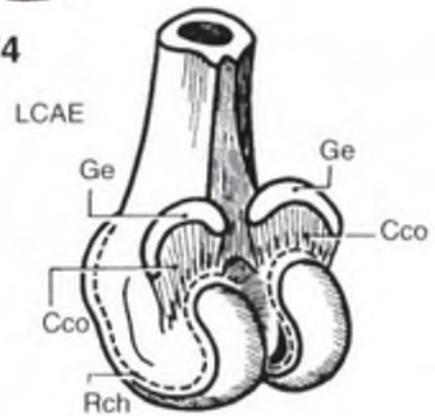
72



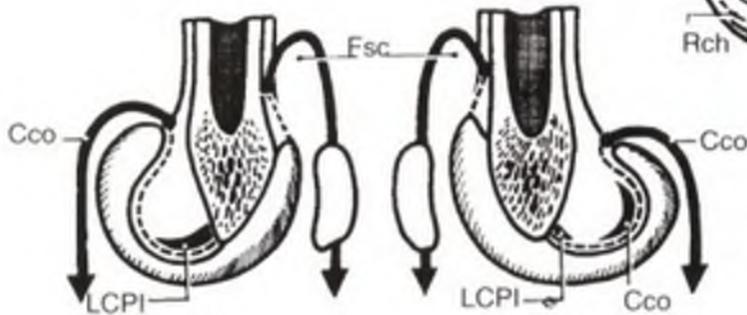
73



74



75



76

77

EL LIGAMENTO ADIPOSO, LAS PLICAS, LA CAPACIDAD ARTICULAR

Entre la superficie preespinal de la meseta tibial, la cara posterior del ligamento rotuliano y la parte inferior de la tróclea femoral existe un espacio muerto (Fig. 78), ocupado por el paquete adiposo de la rodilla que equivale a una franja voluminosa de grasa. Este paquete (1) tiene forma de *pirámide cuadrangular*, cuya base descansa en la cara posterior (2) del ligamento rotuliano (3) y sobresale de la parte anterior de la superficie preespinal. Su cara superior (4) está reforzada por un cordón celulo-graso que se extiende desde la punta de la rótula al fondo de la escotadura intercondílea (Figs. 78 y 79): es el *ligamento adiposo* (5). A los lados (Fig. 79, la rodilla está abierta por delante y la rótula separada), el paquete adiposo se prolonga hacia arriba a lo largo de la mitad inferior de los bordes laterales de la rótula mediante unos rodets grasos: los *pliegues alares* (6). El paquete adiposo actúa como "tapaagujeros" en la parte anterior de la articulación; en la flexión, está comprimido por el ligamento rotuliano y sobresale a cada lado de la punta de la rótula.

El ligamento adiposo es el vestigio del *septo medio*, que en el embrión divide en dos la articulación hasta la edad de cuatro meses. En el adulto existe normalmente (Fig. 78) un hiato entre el ligamento adiposo y el tabique medio constituido por los cruzados (flecha I). Las mitades externa e interna de la articulación se comunican a través de dicho hiato y también por un espacio situado por arriba del ligamento (flecha II) y por detrás de la rótula. A veces, el septo medio persiste en el adulto y la comunicación sólo se establece por arriba del ligamento adiposo.

Esta formación también se denomina **plica infrapatellaris** o ligamento mucoso. El sistema de las **plicas** se compone (Fig. 83) de *tres pliegues sinoviales*, inconstantes pero muy frecuentes: según Dupont, presentes en el 85% de las rodillas. En la actualidad, se los conoce muy bien gracias a la **artroscopia**:

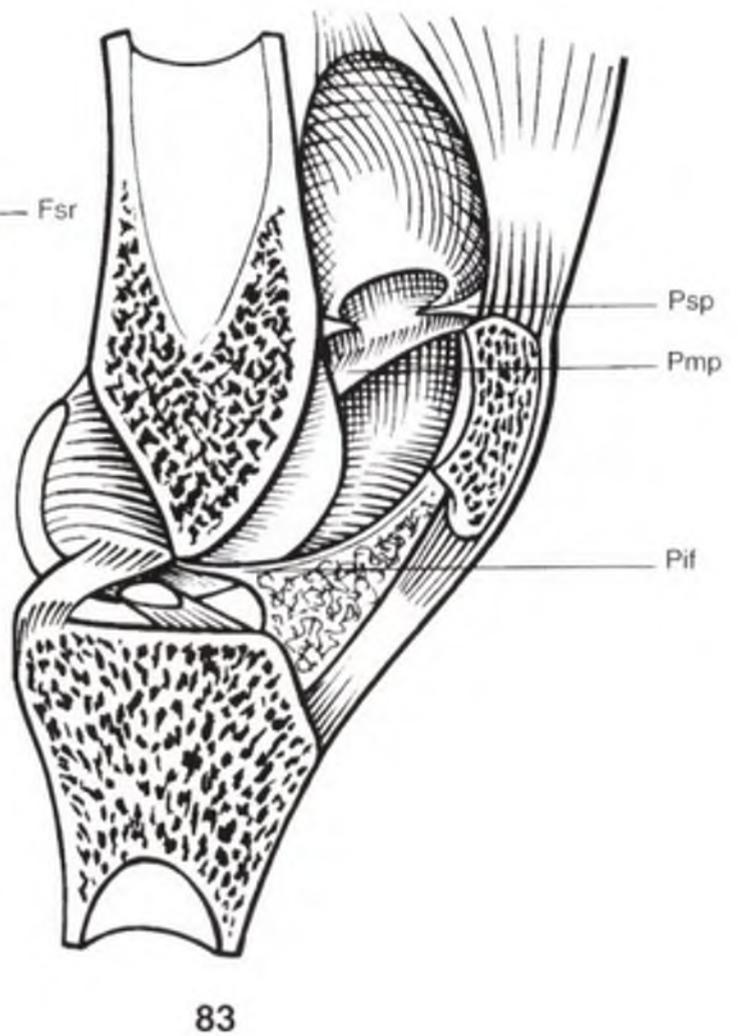
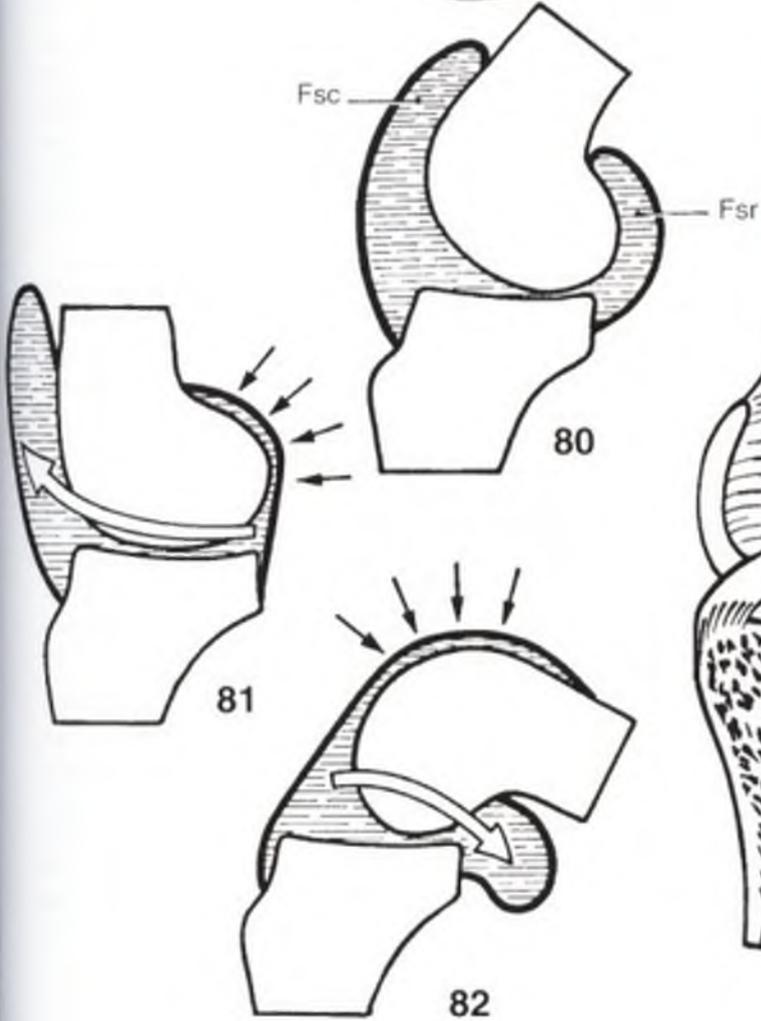
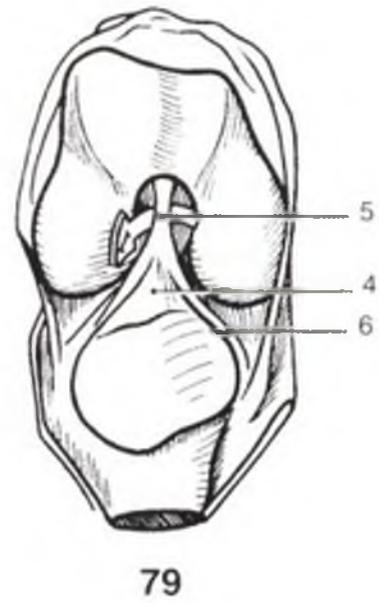
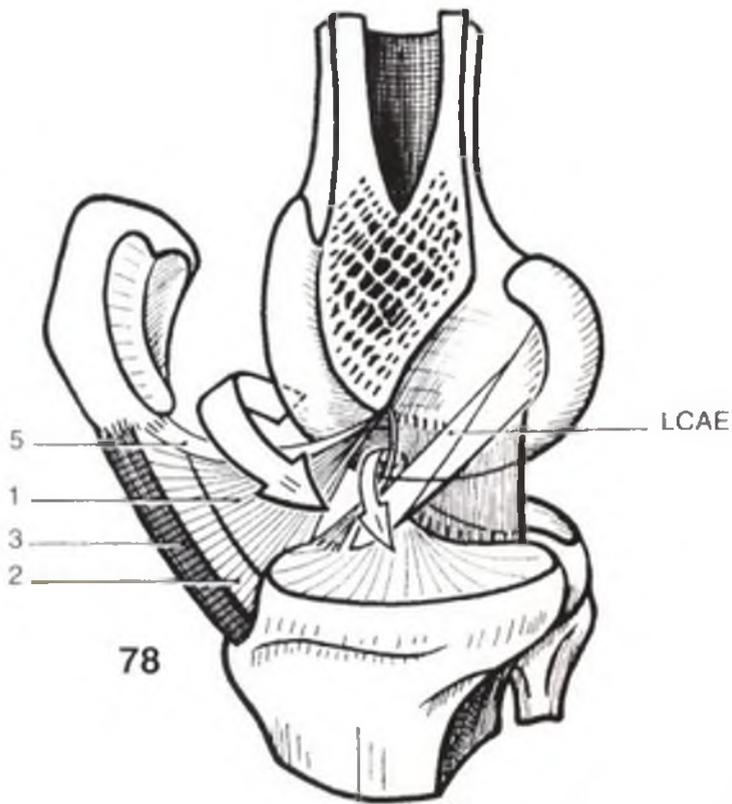
- la **plica infrapatellaris** (Pif), que prolonga el paquete adiposo infrarrotuliano, existe en el 65,5% de los casos;
- la **plica suprapatellaris** (Psp), en un 55% de los casos; constituye un tabique transversal más o menos completo, por arriba de la rótula, pudiendo separar el fondo de saco

subcuadricipital de la cavidad articular; no es patológica más que cuando tapona completamente el fondo de saco, pudiendo provocar entonces un cuadro de "hidrartrosis suspendida".

- la **plica mediopatellaris** (Pmp) existe en el 24% de los casos; puede constituir un tabique incompleto, extendido horizontalmente desde el borde interno de la rótula al fémur, como un "anaquel" (*shelf* de los autores americanos). Puede provocar dolor cuando su borde libre llega a irritar, por frotación, el borde interno del cóndilo interno. Los problemas desaparecen de inmediato por resección artroscópica.

La **capacidad articular** presenta variaciones de importancia, tanto normales como patológicas. Un derrame patológico —hidrartrosis o hemartrosis— puede aumentarla considerablemente (Fig. 80), a condición de que el derrame sea *progresivo*: el líquido se acumula en los fondos de saco subcuadricipitales (Fsc) y laterorrotulianos, así como por detrás y por debajo de las cáscaras condíleas, en los fondos de saco retrocondíleos (Fsr). *Según la posición de la rodilla, la distribución del líquido varía: en extensión* (Fig. 81), los fondos de saco retrocondíleos están comprimidos por los gemelos en tensión y el líquido se *desplaza hacia delante* acumulándose en los fondos de saco subcuadricipital y laterorrotuliano; *en flexión* (Fig. 82), son los fondos de saco anteriores los que están comprimidos por el cuádriceps en tensión y el líquido se *desplaza entonces hacia atrás*. Entre la flexión y extensión máximas, existe una *posición denominada "de capacidad máxima"* (Fig. 80), en la cual la presión del líquido intraarticular es menor; se trata de la posición de semiflexión que adoptan, de forma espontánea, los pacientes con derrame articular, ya que es la menos dolorosa.

En condiciones normales, la cantidad de líquido sinovial —o *sinovia*— es *escasa* (apenas unos centímetros cúbicos). Sin embargo, los movimientos de flexo-extensión aseguran el barrido permanente de las superficies articulares por la sinovia, lo que contribuye a la buena nutrición del cartílago y, sobre todo, a que las zonas de contacto se mantengan lubricadas.



LOS MENISCOS INTERARTICULARES

La no concordancia de las superficies articulares (véase pág. 90) se compensa por la interposición de los **meniscos** o **fibrocartílagos** semilunares, cuya forma es fácil de comprender (Fig. 84): cuando se coloca una esfera (S) sobre un plano (P), ésta no contacta con el plano más que a través del punto tangencial. Si se quiere aumentar la superficie de contacto entre ambas, basta con interponer un anillo que represente el volumen comprendido entre el plano, la esfera y el cilindro (C) tangencial a la esfera. Dicho anillo (espacio de color gris), tiene la misma forma que un menisco, *triangular cuando se secciona*, con sus **tres caras** (Fig. 85, los meniscos han sido desplazados por arriba de las glenoides):

- *superior* (1) cóncava, en contacto con los cóndilos,
- *periférica* (2) cilíndrica, sobre la que se fija la cápsula (representada por las rayas verticales) por su cara profunda;
- *inferior* (3) casi plana, situada en la periferia de la glenoide interna (GI) y de la glenoide externa (GE).

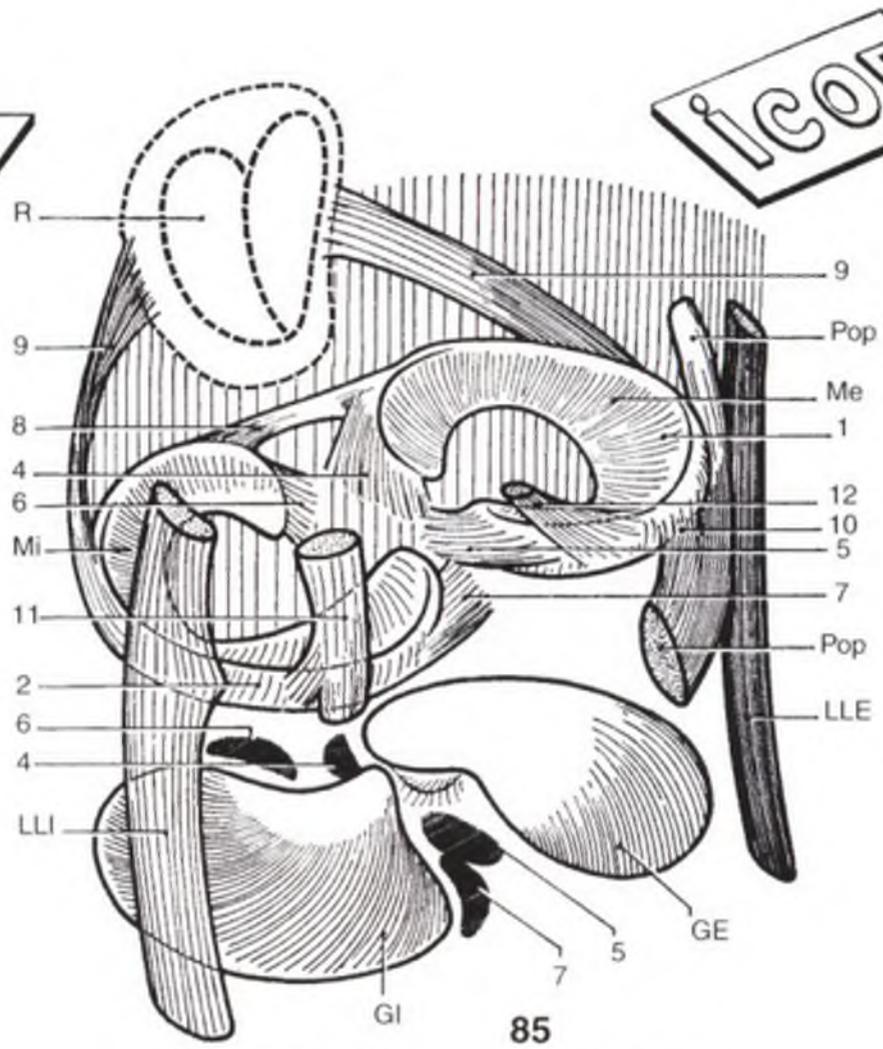
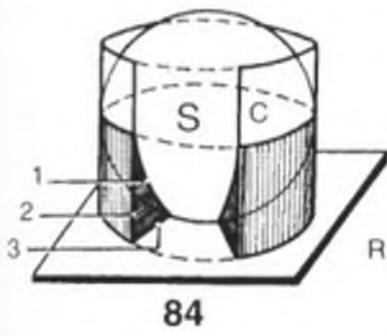
Estos anillos están interrumpidos a la altura de las espinas tibiales de forma que se asemejan a una media luna, con un cuerno anterior y otro posterior. Los cuernos del menisco externo están más próximos entre sí que los del interno, además, el *menisco externo forma un anillo casi completo* —tiene forma de O— mientras que *el interno se parece más a una media luna* —tiene forma de C—. Como norma mnemotécnica es sencillo recordar la palabra CltrOEn, para tener siempre presente la forma de los meniscos.

Los meniscos no están libres entre las dos superficies articulares, sino que mantienen *conexiones muy importantes desde el punto de vista funcional*:

- ya se vio la inserción de la *cápsula* (Fig. 86) en la cara periférica;
- cada cuerno se fija en la *meseta tibial*, a la altura de la superficie preespinal (cuernos anteriores) y retroespinal (cuernos posteriores):
 - el cuerno anterior del menisco externo (4), por delante mismo de la espina externa;
 - el cuerno posterior del mismo menisco (5), por detrás mismo de la espina externa;

- el cuerno posterior del menisco interno (7), en el ángulo posteroexterno de la superficie retroespinal;
- el cuerno anterior del mismo menisco (6), en el ángulo anteroexterno de la superficie preespinal;
- los dos cuernos anteriores se unen mediante el *ligamento yugal* (8) o transverso, adherido a la rótula a través de los tractos del paquete adiposo;
- los *alergones meniscorrotulianos* (9), fibras que se extienden desde ambos bordes de la rótula (R) hacia las respectivas caras laterales de los meniscos;
- el *ligamento lateral interno* (LLI) fija sus fibras más posteriores en el borde interno del menisco interno;
- sin embargo, el *ligamento lateral externo* (LLE) está separado de su menisco por el *tendón del poplíteo* (Pop), que envía una *expansión fibrosa* (10) al borde posterior del menisco externo: constituyendo lo que algunos denominan el **punto del ángulo posteroexterno o PAPE** y que se describirá más adelante cuando se traten las **defensas periféricas de la rodilla**;
- el *tendón del semimembranoso* (11) también envía una expansión fibrosa al borde posterior del *menisco interno*: constituyendo simétricamente el **punto del ángulo posteroexterno o PAPI**;
- por último, fibras distintas del ligamento cruzado posteroexterno se fijan en el cuerno posterior del menisco externo para formar el *ligamento meniscofemoral* (12). También existen fibras del ligamento cruzado anteroexterno que se fijan en el *cuerno anterior del menisco interno* (Fig. 152).

Los cortes frontales (Fig. 86) y sagitales internos (Fig. 87) y externos (Fig. 88) muestran cómo los meniscos *se interponen entre los cóndilos y las glenoides*, salvo en el centro de cada glenoide y en las espinas tibiales, y cómo los meniscos delimitan dos espacios en la articulación: el espacio suprameniscal y el espacio inframeniscal (Fig. 86).



LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS MENISCOS EN LA FLEXOEXTENSIÓN

Como se vio (pág. 94) anteriormente, el punto de contacto entre los cóndilos y las glenoides retrocede sobre las glenoides en el caso de la flexión y avanza en el caso de la extensión; los meniscos siguen este movimiento, como se puede constatar perfectamente en una preparación anatómica en la que sólo se han conservado los ligamentos y los meniscos. *En extensión* (Fig. 89), *la parte posterior de las glenoides está al descubierto*, sobre todo la glenoide externa (Ge). *En flexión* (Fig. 90), *los meniscos (Me y Mi) cubren la parte posterior de la glenoide*, sobre todo el menisco externo que desciende por la vertiente posterior de la glenoide externa.

Una vista superior de los meniscos sobre las glenoides muestra que a partir de la posición de extensión (Fig. 91), *los meniscos retroceden de manera desigual*: en flexión (Fig. 92), el menisco externo (Me) *ha retrocedido dos veces más* que el interno. De hecho, el recorrido del menisco interno es de 6 mm, mientras que el del externo es de 12 mm.

Los esquemas muestran, además, que al mismo tiempo que retroceden *los meniscos se deforman*. Esto se debe a que tienen dos puntos fijos, sus cuernos, mientras que el resto es móvil. El menisco externo se deforma y se desplaza más que el interno, puesto que las inserciones de sus cuernos están más próximas.

Ciertamente, *los meniscos desempeñan un papel importante como medios de unión elásticos transmisores de las fuerzas de compresión* entre la tibia y el fémur (flechas negras, Figs. 94 y 95); es necesario recalcar que, en extensión, los cóndilos tienen en las glenoides su mayor radio de curva (Fig. 93) y los meniscos están perfectamente intercalados entre las superficies articulares. Estos dos elementos *favorecen la transmisión de fuerzas de compresión* en la extensión máxima de la rodilla. Sin embargo, en el caso de la flexión, los cóndilos tienen en las glenoides su menor radio de curva (Fig. 96) y los meniscos pierden parcialmente el contacto con los cóndilos (Fig. 98); estos dos elementos, junto con la distensión de los ligamentos laterales (véase pág. 114), *favorecen la movilidad en detrimento de la estabilidad*.

Tras haber definido los movimientos de los meniscos, se van a exponer los factores que intervienen en los mismos. Se pueden clasificar en *dos grupos*: los factores pasivos y los activos.

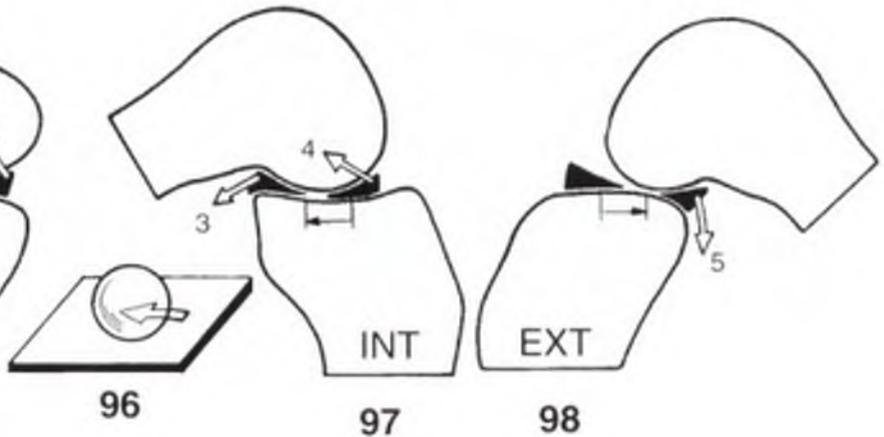
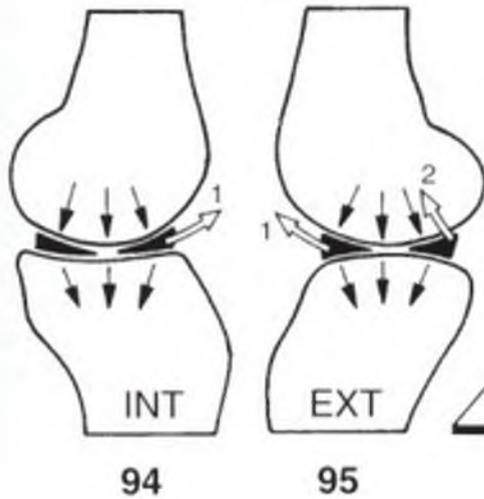
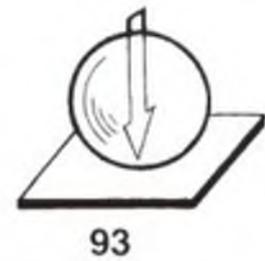
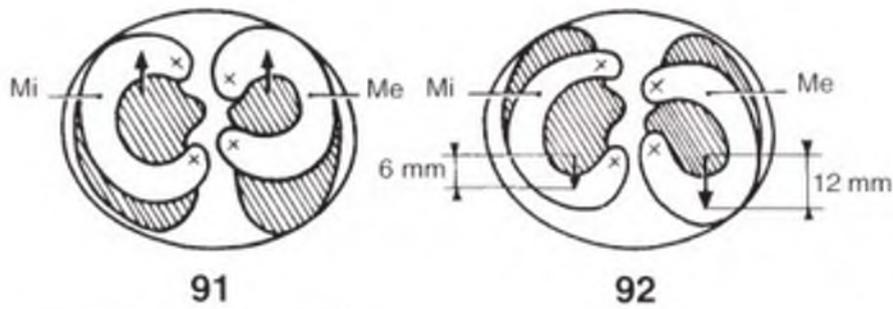
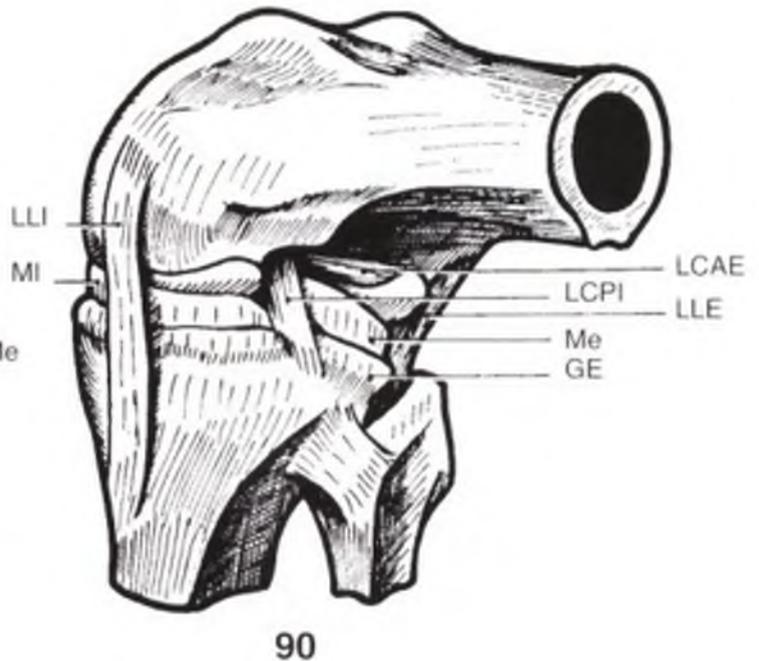
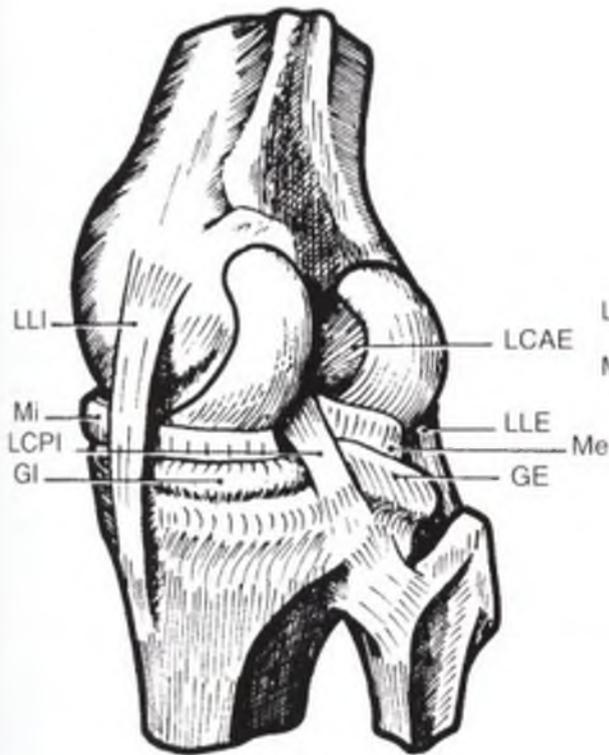
Sólo existe un factor pasivo del movimiento de traslación de los meniscos: los cóndilos empujan los meniscos hacia delante, como un hueso de cereza que

se escapa entre dos dedos. Este mecanismo, que puede parecer muy simple, se pone de manifiesto con facilidad cuando se moviliza una preparación anatómica en la que se han eliminado todas las conexiones de los meniscos, excepto las inserciones de los cuernos (Figs. 89 y 90): las superficies son muy deslizantes y la "esquina" del menisco se ve expulsada entre la "rueda" del cóndilo y el "suelo" de la glenoide (por lo tanto, se trata de una cuña del todo ineficaz).

Los factores activos son numerosos:

- **durante la extensión** (Figs. 94 y 95), los meniscos se desplazan hacia delante gracias a *los alerones meniscorrotulianos* (1) tensos por el ascenso de la rótula (véase pág. 112), que arrastra también al ligamento yugal. Además, el cuerno posterior del menisco externo (Fig. 95) se ve impulsado hacia delante debido a la tensión del *ligamento meniscofemoral* (2), simultánea a la tensión del ligamento cruzado postero-interno (véase pág. 134);
- **durante la flexión:**
 - el *menisco interno* (Fig. 97) es impulsado hacia atrás por la *expansión del semimembranoso* (3), que se inserta en su borde posterior, mientras que el cuerno anterior es impulsado por *las fibras del cruzado antero-externo* (4) que se dirigen hacia él;
 - el *menisco externo* (Fig. 98) es impulsado hacia atrás por la expansión del poplíteo (5).

La función de articulación de transmisión de fuerzas de compresión entre el fémur y la tibia se subestimó hasta que los primeros pacientes que habían sido objeto de una meniscectomía "de principio", comenzaron a padecer artrosis antes de la edad habitual, en comparación con los enfermos que no fueron intervenidos de meniscectomía. El advenimiento de la **artroscopia** ha supuesto un gran progreso, ya que, por una parte, ha permitido conocer mejor las lesiones meniscales dudosas en la artrografía, o los falsos positivos, que derivaban en una meniscectomía al "tuntún" (en la que se extirpaba el menisco para ver si estaba lesionado!), y, por otra parte, ha hecho posible la meniscectomía "a la carta", en la que sólo se extirpa la parte lesionada del menisco que provoca la alteración mecánica y que puede ser causa de una lesión de las superficies cartilaginosas. También ha permitido entender que *la lesión meniscal no es más que una parte del diagnóstico*, ya que con suma frecuencia es la lesión ligamentosa la que provoca a la vez una lesión meniscal y cartilaginosa.



LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS MENISCOS EN LA ROTACIÓN AXIAL. LESIONES MENISCALES

Durante los movimientos de rotación axial, los meniscos siguen *exactamente* los desplazamientos de los cóndilos sobre las glenoides (véase pág. 96). A partir de su posición en rotación neutra (Fig. 99), se puede observar cómo siguen caminos opuestos sobre las glenoides:

- **durante la rotación externa** (Fig. 100) de la tibia sobre el fémur, el menisco externo (Me) está impulsado hacia la parte anterior (1) de la glenoide externa, mientras que el menisco interno (Mi) se dirige hacia la parte posterior (2);
- **durante la rotación interna** (Fig. 101), el menisco interno (Mi) avanza (3) mientras que el externo (Me) retrocede (4).

También en este caso, los meniscos se desplazan a *la vez que se deforman*, en torno a sus puntos fijos, las inserciones de los cuernos. La amplitud total del desplazamiento del menisco externo es dos veces mayor que la del menisco interno.

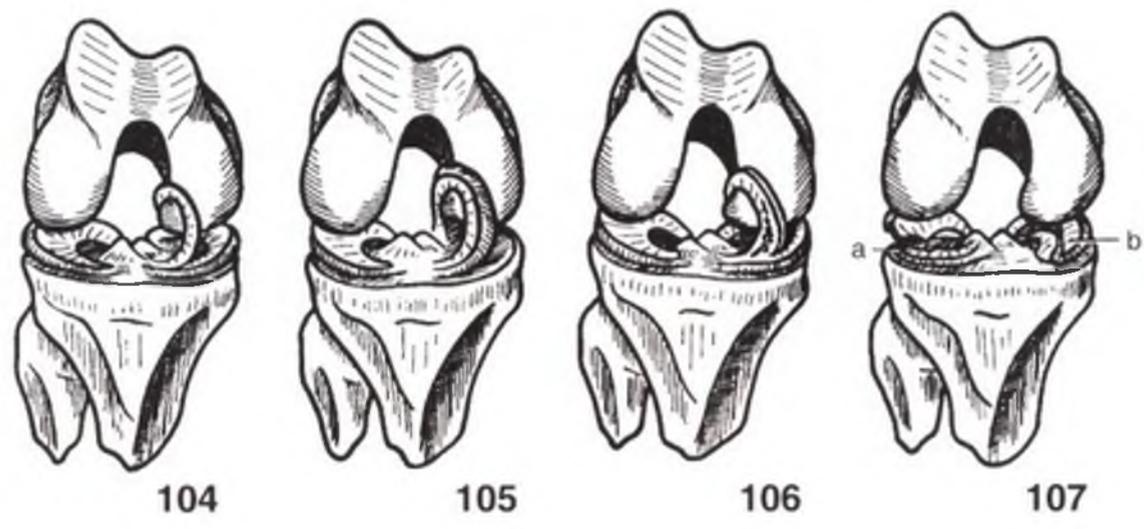
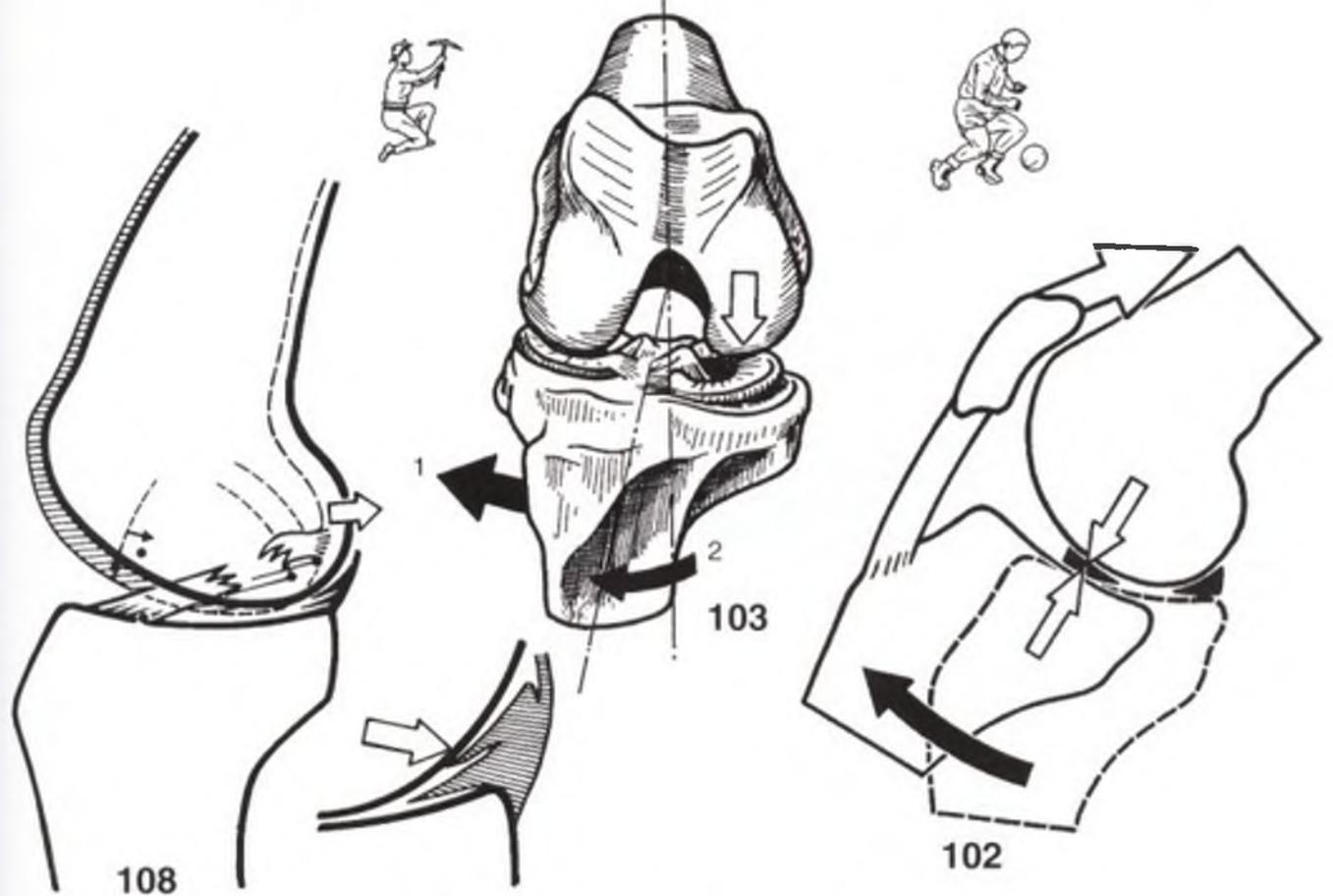
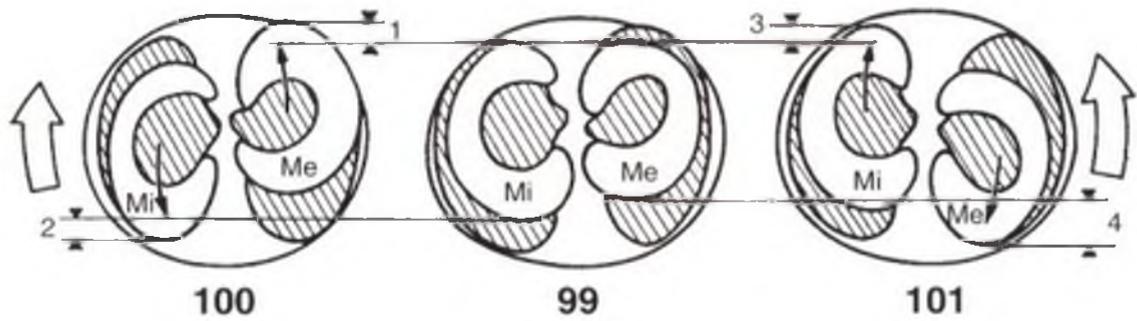
Los desplazamientos meniscales en la rotación axial son, ante todo, pasivos -arrastrados por los cóndilos-; no obstante, también existe un factor activo: *la tensión del alerón meniscorrotuliano*, debido al desplazamiento de la rótula con respecto a la tibia (véase pág. 112); esta tracción arrastra a uno de los meniscos hacia delante.

Los movimientos de la rodilla pueden ocasionar **lesiones meniscales** cuando éstos no siguen los desplazamientos de los cóndilos sobre las glenoides; se ven entonces "sorprendidos" en una posición anormal y acaban "aplastados entre el yunque y el martillo". Es el caso, por ejemplo, de un movimiento de **extensión brusca de la rodilla** (como cuando se da un puntapié a un balón); no hay tiempo para que uno de los meniscos se desplace hacia delante (Fig. 102), de forma que, cuanto más fuerte se extienda la rodilla más

encasillado quedará entre el cóndilo y la glenoide. Este mecanismo, muy frecuente en los futbolistas, explica (fig. 107), *las rupturas transversales* (a) o *las desinserciones del cuerno anterior* (b), que se repliega como "la punta de una tarjeta de visita". El otro mecanismo de lesiones meniscales se debe a la **distorsión de la rodilla** asociando (Fig. 103) un movimiento de *lateralidad externa* (1) y una *rotación externa* (2); de esta forma, el menisco interno se ve desplazado hacia el centro de la articulación, bajo la convexidad del cóndilo interno, el esfuerzo de enderezamiento le sorprende en la citada posición y queda pellizcado entre el cóndilo y la glenoide, produciendo una *fisura longitudinal* del menisco (Fig. 104), o una *desinserción capsular total* (Fig. 105), o, incluso, una *fisura compleja* (Fig. 106). En todas las lesiones longitudinales citadas, la parte central libre del menisco puede quedar levantada dentro de la escotadura intercondílea, formando un *menisco en "asa de cubo"*. Este tipo de lesión meniscal es muy frecuente en los futbolistas (durante las caídas sobre una pierna doblada) y en los mineros que se ven obligados a trabajar de cuclillas en las galerías estrechas de carbón.

Otro mecanismo de lesión meniscal es la ruptura de un ligamento cruzado, por ejemplo el LCAE (Fig. 108). El cóndilo interno ya no queda forzosamente retenido en la parte posterior, se desplaza "cizallando" el cuerno posterior del menisco interno, provocando una desinserción capsular posterior, o una fisura horizontal (véase el recuadro).

A partir del momento en el que un menisco se rompe, la parte lesionada ya no sigue los movimientos normales y se encasilla entre el cóndilo y la glenoide; en consecuencia, *se bloquea la rodilla en flexión*, tanto más acentuada cuanto más posterior sea la lesión meniscal: *la extensión completa resulta entonces imposible*.



LOS DESPLAZAMIENTOS DE LA RÓTULA SOBRE EL FÉMUR

El aparato extensor de la rodilla se desliza sobre la extremidad inferior del fémur como si se tratase de una cuerda en una polea (Fig. 109, a). La tróclea femoral y la escotadura intercondílea (Fig. 110) forman de hecho un canal vertical profundo (Fig. 109, b), en cuyo fondo se desliza la rótula. De esta forma, la fuerza del cuádriceps, dirigida oblicuamente hacia arriba y *ligeramente hacia fuera*, se convierte en una fuerza *estrictamente vertical*.

Por lo tanto, el movimiento normal de la rótula sobre el fémur durante la flexión es una traslación vertical a lo largo de la garganta de la tróclea y hasta la escotadura intercondílea (Fig. 111; según radiografías). Así, el desplazamiento de la rótula equivale *al doble de su longitud* (8 cm), y lo efectúa girando sobre un eje transversal; de hecho, su cara posterior, dirigida directamente hacia atrás en posición de extensión (A), se orienta directamente hacia arriba cuando la rótula, al final de su recorrido (B), se encaja, en la flexión extrema, debajo de los cóndilos. De forma que se trata de una **traslación** circunferencial.

Este desplazamiento tan importante sólo es posible porque la rótula está unida al fémur mediante conexiones de longitud suficiente. La cápsula articular forma tres fondos de saco profundos alrededor de la rótula (Fig. 111): por arriba, *el fondo de saco subcuadrícipital* (Fsc) y, a cada lado, los *fondos de saco laterorrotuliano* (Lr). Cuando la rótula se desliza bajo los cóndilos de A a B, los tres fondos de saco se despliegan: gracias a la profundidad del fondo de saco subcuadrícipital, la distancia XX' puede transformarse en XX'' (es decir, cuatro veces más); y gracias a la profundidad de los fondos de saco laterorrotulianos, la distancia YY' puede transformarse en YY'' (es decir, dos veces más).

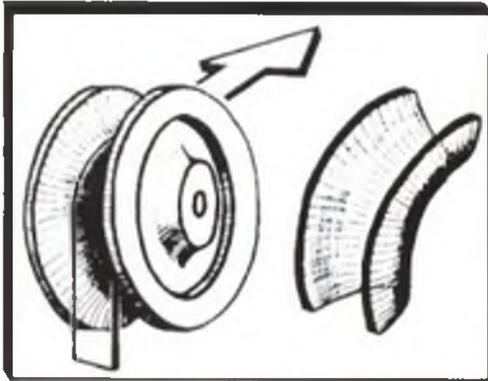
Cuando la inflamación une las dos láminas de los fondos de saco, éstos pierden toda su profundidad y la *rótula queda adherida al fémur* (XX' e YY' se vuelven inextensibles) y ya no

puede deslizarse por su canal; esta retracción capsular es una de las causas *de la rigidez de la rodilla en extensión* tras traumatismos o infecciones.

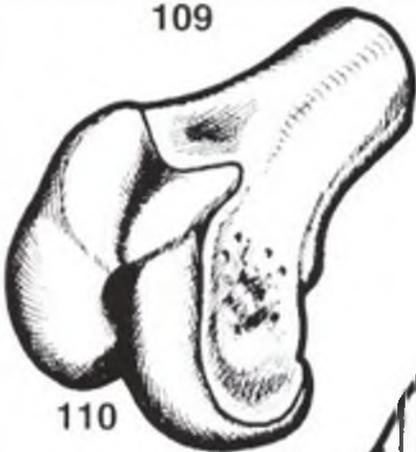
En su "descenso" la rótula va acompañada por el *ligamento adiposo* (Fig. 112), que pasa de la posición ZZ' a la posición ZZ'' , cambiando de esta forma la orientación 180° . Cuando la rótula "asciende", el fondo de saco subcuadrícipital se encajaría entre la rótula y la tróclea, si no tiraran de él hacia arriba algunas fibras separadas de la cara profunda del crural, y que forman el denominano *músculo subcrural* (Msc) o tensor del fondo de saco subcuadrícipital.

Normalmente, la rótula sólo se desplaza de arriba abajo y no transversalmente. De hecho, la rótula está muy bien acoplada (Fig. 113) en su ranura por el cuádriceps, acoplamiento que aumenta cuanto mayor es la flexión (a); al final de la extensión (b), esta fuerza de coaptación disminuye y en hiperextensión (c) incluso tiende a invertirse, es decir a despegar la rótula de la tróclea. En este momento (d), tiene tendencia *a desplazarse hacia fuera*, puesto que el tendón cuadrícipital y el ligamento rotuliano forman un *ángulo obtuso abierto hacia fuera*. Lo que impide realmente la luxación de la rótula hacia fuera es (Fig. 114) la carilla externa de la tróclea *mucho más prominente que la interna* (diferencia = e). Si debido a una malformación congénita (Fig. 115), la carilla externa está menos desarrollada (igual o menos prominente que la interna), la rótula ya no está lo suficientemente sujeta y se luxa hacia fuera durante la extensión completa. Éste es el mecanismo de la *luxación recidivante de rótula*.

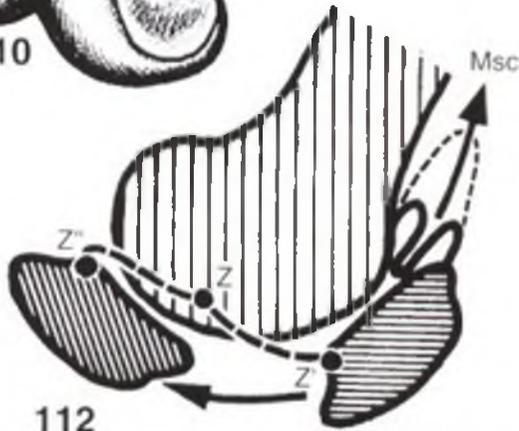
La torsión externa de la tibia bajo el fémur, al igual que el genu valgum, al cerrar el ángulo entre el tendón cuadrícipital y el ligamento rotuliano, aumentan el componente dirigido hacia fuera y favorecen la inestabilidad externa de la rótula. Éstos son, pues, factores de luxación y de subluxación externas, de condromalacia rotuliana y de la artrosis femorrotuliana externa.



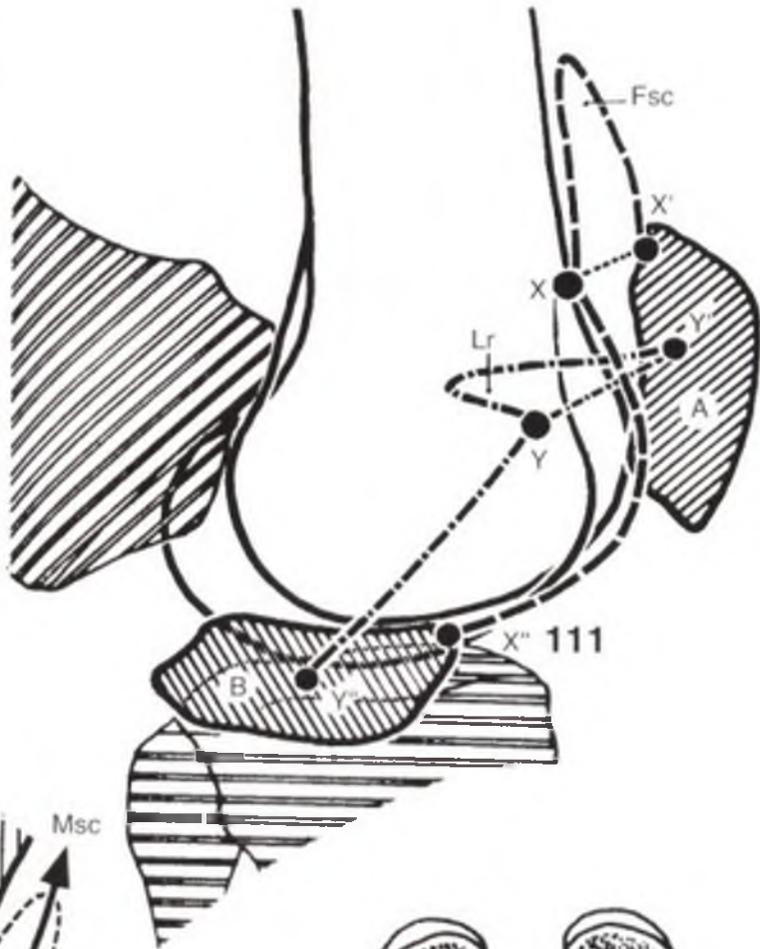
109



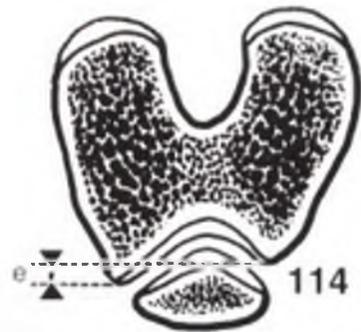
110



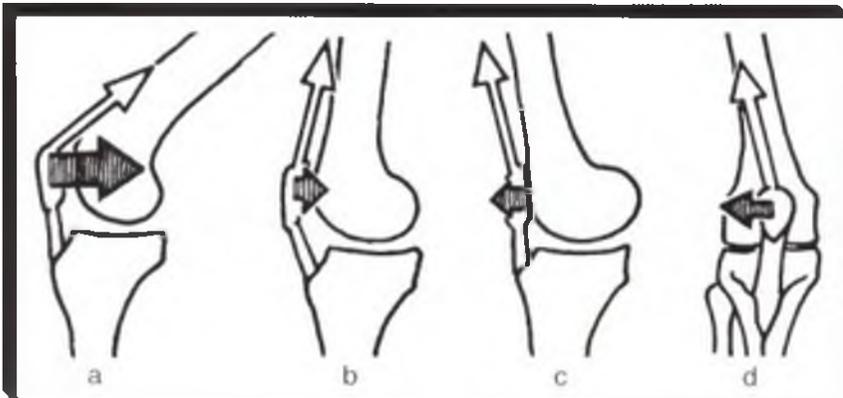
112



111



114



113



115

LOS NEXOS FEMORORROTULIANOS

La cara posterior de la rótula (Fig. 116) está envuelta de un cartilago muy grueso (4 a 5 mm), sobre todo a la altura de la cresta media: es el mayor espesor de cartilago de todo el organismo. Esto se puede explicar por las presiones considerables (300 kg, ¡sin hablar de los halterófilos!) que se ejercen a este nivel durante la contracción del cuádriceps sobre la rodilla flexionada, por ejemplo cuando se bajan escaleras o en la incorporación de la posición de cuclillas.

A un lado y otro de la cresta media existen dos carillas cóncavas en ambos sentidos:

- la **carilla externa**, en contacto con la superficie externa abombada de la tróclea,
- la **carilla interna**, en contacto con la superficie abombada interna;
- esta última carilla se **subdivide**, por una cresta oblicua poco prominente, en una carilla principal y una **carilla accesoria**, situada en el ángulo superointerno y que se articula con el borde interno de la escotadura intercondílea en la flexión máxima.

Durante su **desplazamiento vertical** a lo largo de la tróclea cuando se realiza una flexión (Fig. 117), la rótula contacta con la tróclea por su parte inferior en máxima extensión, por su parte media en flexión de 30° y por su parte superior y la carilla superoexterna en máxima flexión. Observando la topografía de las lesiones cartilagosas, es posible conocer el **ángulo crítico de flexión**, y viceversa, apuntando el **ángulo de flexión dolorosa** para prever la aparición de lesiones.

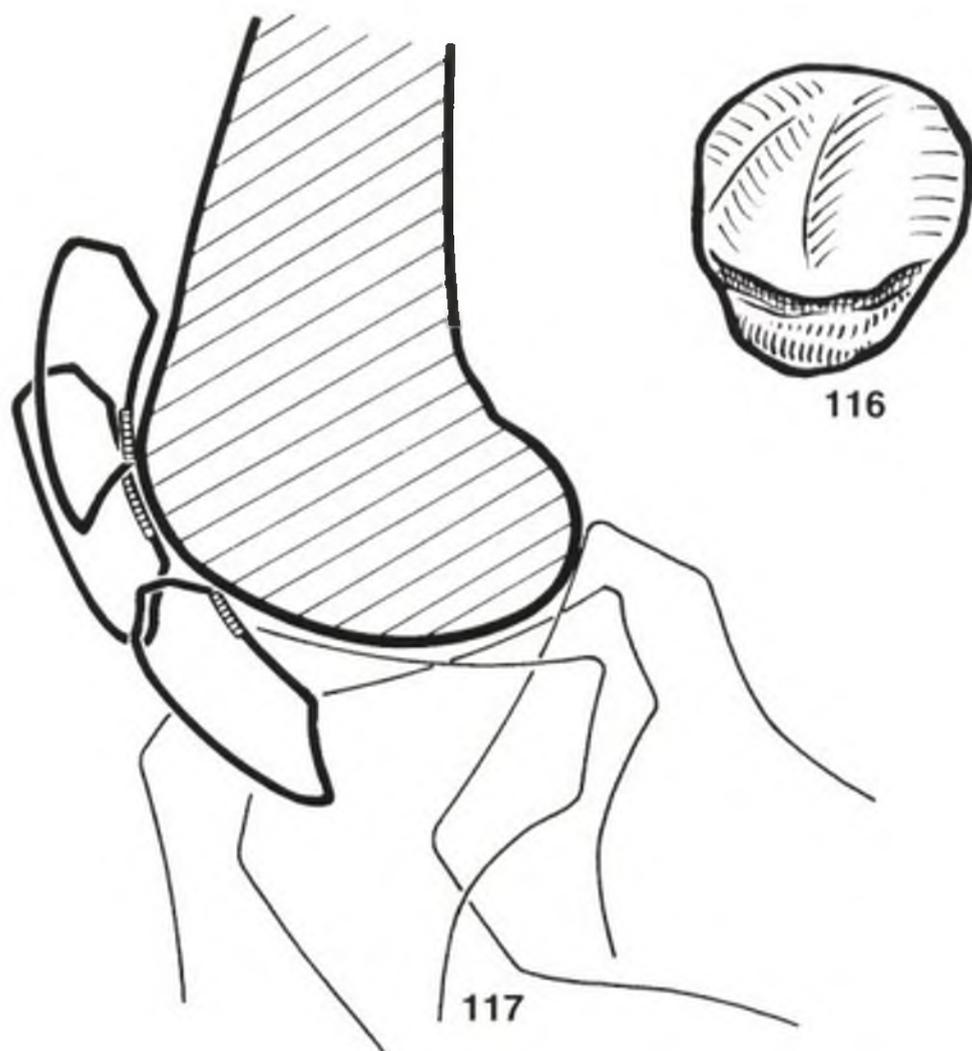
Hasta ahora, las conexiones de la articulación femorrotuliana se constataban con radiografías denominadas "en incidencia axial de la rótula" o también en "incidencia femorrotuliana", tomando la interlínea "en fila" (Fig. 118): en la misma placa se abarcan **ambas rótulas**, flexionando las rodillas a 30° (A), 60° (B) y 90° (C) sucesivamente, con el fin de explorar la articulación en toda su extensión.

Estas radiografías en incidencias femorrotulianas permiten apreciar:

- el **centrado de la rótula**, sobre todo en la placa con flexión de rodilla a 30° (A), por correspondencia entre la cresta rotuliana y la garganta troclear, y por el desbordamiento del ángulo externo de la rótula con respecto al límite de la convexidad externa; lo que permite diagnosticar una subluxación externa.
- la **disminución del grosor de la interlínea**, sobre todo en su parte externa, en comparación con el lado supuestamente sano y utilizando un compás de puntas duras: se puede observar una erosión cartilaginosa en las artrosis ya "avanzadas";
- la **densificación ósea subcondral en la carilla externa**, que representa un **síndrome de hiperpresión externa**,
- un **desplazamiento hacia fuera de la tuberosidad tibial anterior** con respecto a la garganta de la tróclea; este signo, sólo es apreciable en las radiografías con flexión de rodilla de 30° (A) y de 60° (B), representa una **torsión externa de la tibia** sobre el fémur en las subluxaciones y las hiperpresiones externas.

En la actualidad, gracias al **escáner**, se pueden realizar cortes de la articulación femorrotuliana en **máxima extensión** e incluso en hiperextensión, lo que era imposible con la radiografía; esto permite observar la subluxación externa de la rótula en el momento en el que la fuerza de coaptación es nula e incluso negativa, permitiendo así reconocer las **inestabilidades femorrotulianas menores**.

En lo referente a la **artroscopia**, permite diagnosticar las lesiones cartilagosas femorrotulianas que no aparecen en las placas en incidencia axial y los desequilibrios dinámicos.



118

LOS DESPLAZAMIENTOS DE LA RÓTULA SOBRE LA TIBIA

Se podría imaginar la rótula adherida a la tibia para formar un olécranon (Fig. 119) como en el codo. Esta disposición impediría cualquier movimiento de la rótula sobre la tibia y limitaría de modo notable su movilidad, impidiendo incluso cualquier movimiento de rotación axial.

De hecho, la rótula realiza **dos tipos de movimiento** sobre la tibia, según se trate de la flexoextensión o de la rotación axial.

En los **movimientos de flexoextensión** (Figura 120), la rótula se desplaza en el *plano sagital*. A partir de su posición en extensión (A), retrocede desplazándose a lo largo de un arco de circunferencia cuyo centro se sitúa en la tuberosidad anterior de la tibia (O) y cuyo radio es igual a la longitud del ligamento rotuliano. Al mismo tiempo, *bascula sobre sí misma unos 35°*, de forma que su cara posterior, que miraba hacia atrás, se ve orientada durante la flexión máxima (B) hacia atrás y abajo. De modo que, en relación a la tibia, experimenta un movimiento de **traslación circunferencial**. Este retroceso de la rótula se debe a *dos factores*: por un lado, el desplazamiento hacia atrás (D) del punto de contacto de los cóndilos en las glenoides y, por otro, la reducción de la distancia (R) de la rótula al eje de flexoextensión (+).

En los **movimientos de rotación axial** (Figuras 121, 122 y 123), los desplazamientos de la rótula con respecto a la tibia se realizan en el *plano frontal*. En **rotación neutra** (Fig. 121), la dirección del ligamento rotuliano es ligeramente oblicua hacia abajo y afuera. Durante la **rotación interna** (Fig. 122), el fémur gira en rotación externa con respecto a la tibia, desplazando la rótula *hacia fuera*: el ligamento rotuliano se hace oblicuo hacia abajo y adentro. Durante la **rotación externa** (Fig. 123), sucede lo contrario; el fémur arrastra la *rótula hacia dentro*, de forma que, el

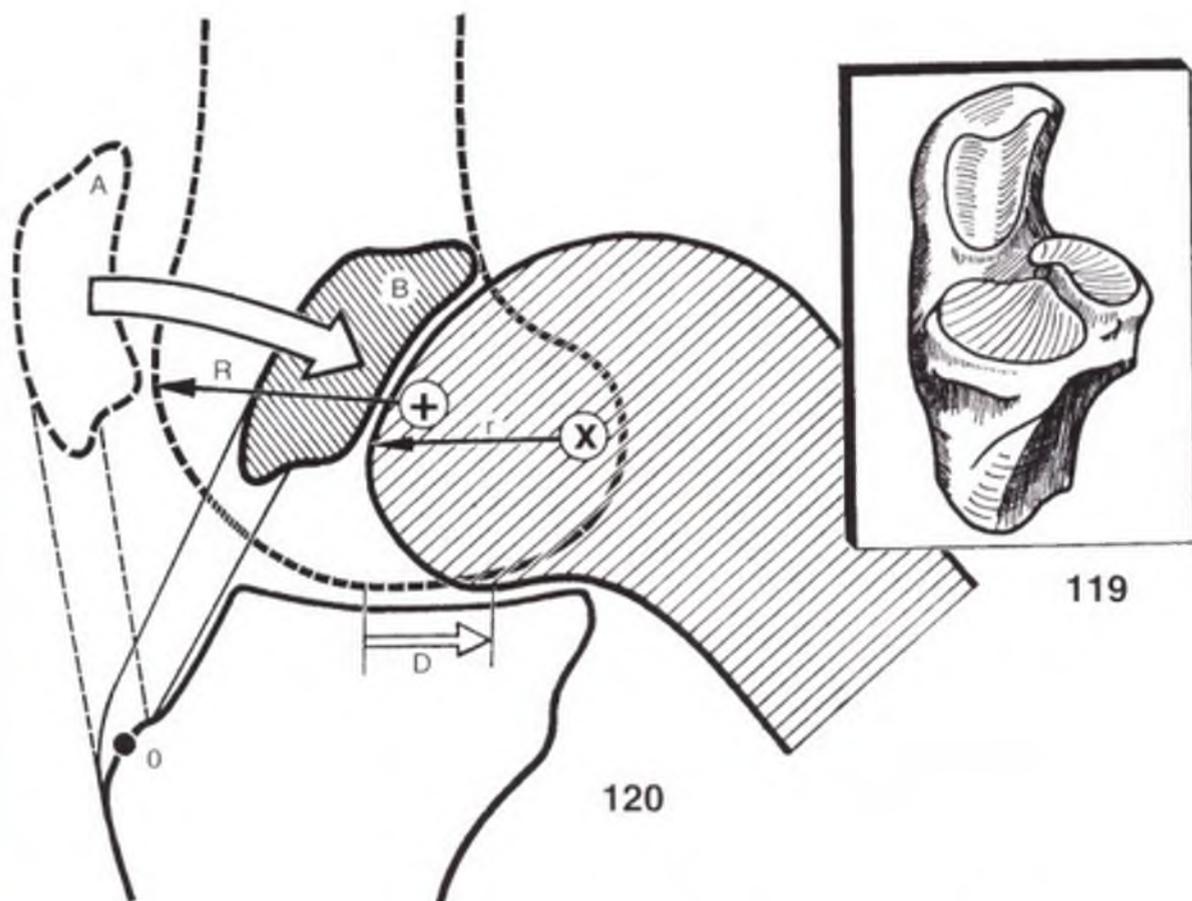
ligamento rotuliano queda oblicuo hacia abajo y afuera, aunque más oblicuo hacia fuera que en rotación neutra.

En consecuencia, los desplazamientos de la rótula en relación a la tibia son **indispensables** tanto para los movimientos de *flexoextensión* como para los de *rotación axial*.

Gracias a un modelo mecánico se ha podido demostrar (véase modelo II al final de este volumen) que *es la rótula la que moldea la tróclea y el perfil anterior de los cóndilos*. De hecho, en sus desplazamientos, la rótula está unida a la tibia mediante el ligamento rotuliano y al fémur mediante los alerones rotulianos (véase página siguiente). Cuando en el transcurso de la flexión de rodilla los cóndilos realizan su movimiento sobre las glenoides, la cara posterior de la rótula, arrastrada por sus conexiones ligamentosas, engendra *geoméricamente* el perfil anterior de los cóndilos representado por la *curva envolvente de las sucesivas posiciones de la cara posterior de la rótula*. El perfil anterior de los cóndilos depende esencialmente de las conexiones mecánicas de la rótula y de la disposición de las mismas, al igual que su perfil posterior depende de los ligamentos cruzados.

Ya se citó anteriormente (pág. 92) cómo el perfil cóndilo-troclear está literalmente "fabricado" por la tibia y la rótula, unidas al fémur mediante el sistema de cruzados por una parte, y por el ligamento y los alerones rotulianos por otra.

Ciertas intervenciones quirúrgicas, al trasponer la tuberosidad tibial hacia delante (Maquet) o hacia dentro (Elmslie), modifican las conexiones entre la rótula y la tróclea, y en particular los componentes de coaptación y subluxación externa, lo que explica que se practiquen en los **síndromes rotulianos**.



121



122



123

LOS LIGAMENTOS LATERALES DE LA RODILLA

La estabilidad de la articulación de la rodilla depende de *potentes ligamentos*, los ligamentos cruzados y laterales.

Los ligamentos laterales refuerzan la cápsula articular por su lado interno y externo.

Aseguran la estabilidad lateral de la rodilla en extensión.

El ligamento lateral interno (Fig. 124) se extiende desde la cara cutánea del cóndilo interno hasta el extremo superior de la tibia (LLI):

- su inserción superior se emplaza en la parte posterosuperior de la cara cutánea, *por detrás y por arriba de la línea de los centros de la curva* (XX') del cóndilo (véase pág. 90);
- su inserción inferior se sitúa *por detrás de la zona de inserción de los músculos de la pata de ganso*, en la cara interna de la tibia;
- sus fibras anteriores, distintas de la cápsula, componen su fascículo superficial;
- sus fibras posteriores, a continuación de las anteriores, se confunden más o menos con la cápsula, formando una lámina triangular de vértice posterior; este haz profundo contiene en su cara profunda inserciones muy cercanas a la cara periférica interna del menisco interno, constituyendo así un punto de unión esencial, que algunos autores denominan el punto de ángulo postero-interno o PAPI;
- su dirección es *oblicua hacia abajo y hacia delante*; por lo tanto, cruzada en el espacio con la dirección del ligamento lateral externo (flecha A).

El ligamento lateral externo (Fig. 125) se extiende desde la cara cutánea del cóndilo externo hasta la cabeza del peroné (LLE):

- su inserción superior está localizada *por arriba y por detrás de la línea de los centros de la curva* (yy') del cóndilo externo;
- su inserción inferior se localiza en la zona anterior de la *cabeza del peroné*; en el interior de la zona de inserción del bíceps;
- *se diferencia de la cápsula* en todo su trayecto;

- está separado de la cara periférica del menisco externo por el paso del tendón del poplíteo, que participa en lo que algunos autores denominan el punto de ángulo posteroexterno o PAPE;

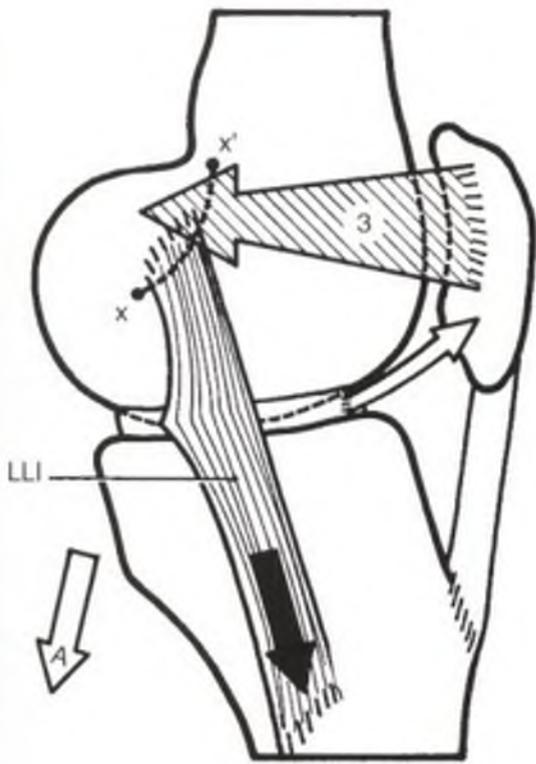
- es *oblicuo hacia abajo y atrás*; de forma que su dirección se cruza en el espacio con la dirección del ligamento lateral interno (flecha B).

En estos dos esquemas (Figs. 124 y 125) se han dibujado los *alergones meniscorrotulianos* (1 y 2) y los *alergones rotulianos* (3 y 4) que mantienen la rótula sujeta a la tróclea femoral.

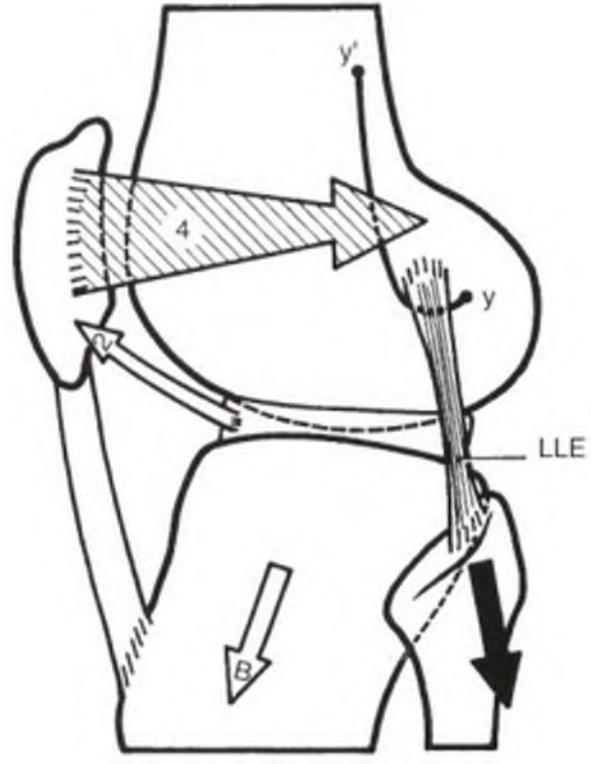
Los ligamentos laterales se tensan durante la extensión (Figs. 126 y 128) y se distienden en la flexión (Figs. 127 y 129). En los esquemas (Figs. 126 y 127) se ha expuesto la diferencia de longitud (d) del ligamento lateral interno entre la extensión y la flexión, además de la oblicuidad hacia delante y hacia abajo que está algo más acentuada. En el lado externo (Fig. 128 y 129), también se puede poner de manifiesto una diferencia de longitud (e) del ligamento lateral externo y un cambio de dirección: de oblicuo hacia abajo y atrás *pasa a ser oblicuo hacia abajo y ligeramente hacia delante*.

El cambio de tensión de los ligamentos se puede ilustrar fácilmente mediante un modelo mecánico (Fig. 130): una cuña C se desliza desde la posición 1 a la 2 en una plancha B, esta cuña está encajada en un "estribo" fijado en a en la plancha B; cuando la cuña C se desliza de 1 a 2, tensa el estribo, supuestamente elástico, y adquiere una nueva longitud ab', la diferencia de longitud e corresponde a la diferencia de grosor de la cuña entre sus dos posiciones 1 y 2.

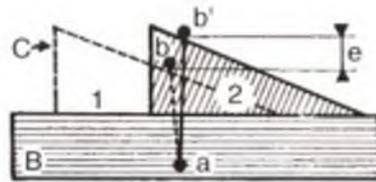
En lo que respecta a la rodilla, a medida que se va completando la extensión, el cóndilo se interpone, como una cuña, entre la glenoide y la inserción superior del ligamento lateral. El cóndilo desempeña la función de una cuña porque *su radio de curva aumenta regularmente, de atrás adelante*, y porque los ligamentos laterales se fijan en la *concavidad de la línea de los centros de la curva*. La flexión de 30° que distiende los ligamentos laterales es la posición de inmovilización después de la sutura de los ligamentos laterales.



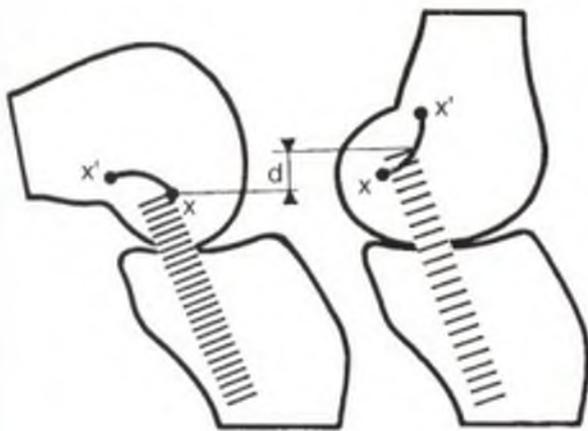
124



125



130



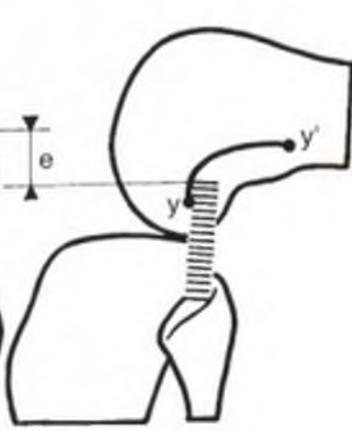
127



126



128



129

LA ESTABILIDAD TRANSVERSAL DE LA RODILLA

La rodilla está sometida a fuerzas laterales importantes y la **estructura de los extremos óseos** (Fig. 131) representa dichas violencias mecánicas. Al igual que en el extremo superior del fémur, se encuentran unos sistemas de trabéculas óseas que constituyen *las líneas de fuerza mecánica*:

- la **porción inferior del fémur** está estructurada por *dos sistemas trabeculares*: uno de ellos se inicia en la *cortical interna* y se expande hacia el cóndilo homolateral (fibras de compresión) y hacia el cóndilo contralateral (fibras de tracción); y el otro parte de la *cortical externa* y adopta una disposición simétrica: un sistema de trabéculas horizontales que une ambos cóndilos;
- la **porción superior de la tibia** posee una estructura parecida, con dos sistemas que se inician en las corticales interna y externa y se expanden por debajo de la glenoide homolateral (fibras de compresión) y de la glenoide contralateral (fibras de tracción); con trabéculas horizontales que unen ambas glenoides.

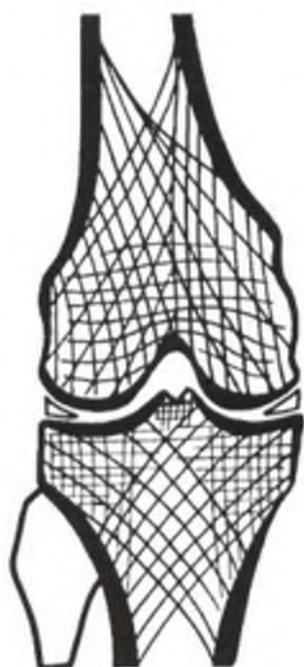
Debido a la inclinación del eje femoral hacia abajo y *hacia dentro*, la fuerza (F) destinada a la porción superior de la tibia no es totalmente vertical (Fig. 132), lo que permite descomponerla en una fuerza vertical (v) y en otra transversal (t) dirigida horizontalmente hacia dentro. Este componente (t), al desplazar la articulación hacia dentro, tiende a *acentuar el valgus*, abriendo la inter-

línea un ángulo (α) abierto hacia dentro. Es el sistema ligamentoso interno el que se opone normalmente a esta dislocación.

Cuanto más acentuado es el valgus (Fig. 133), más fuerte es el citado componente transversal (t): para una dirección F_2 que corresponde a un valgus de 160° (genu valgum), el componente transversal t_2 es dos veces mayor que en el caso de un valgus normal de 170° (F_1 y t_1). De esto se deduce que *cuanto más acentuado sea el valgus, más necesita del sistema ligamentoso interno y mayor es la tendencia a acentuarse*.

En los traumatismos de las caras laterales de la rodilla se pueden producir fracturas del extremo superior de la tibia. Si el **traumatismo se localiza en la cara interna de la rodilla** (Fig. 134), tiende a *enderezar el valgus fisiológico* y determina en primer lugar una fractura completa de la meseta tibial interna (1), además, si la fuerza no se ha agotado, una *ruptura del ligamento lateral externo* (2). Cuando el ligamento es el primero en romperse, no se produce la fractura de la meseta tibial.

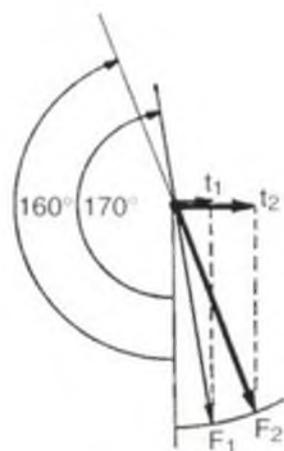
Cuando el **traumatismo se localiza en la cara externa de la rodilla** (Fig. 135), como en el caso de un golpe ocasionado por un parachoques de un coche, en primer lugar, el cóndilo externo se desplaza ligeramente hacia dentro, para a continuación introducirse en la glenoide externa y finalmente hacer estallar la cortical externa de la meseta tibial: de esta forma, se produce una *fractura mixta* (hundimiento-separación) de la meseta tibial externa.



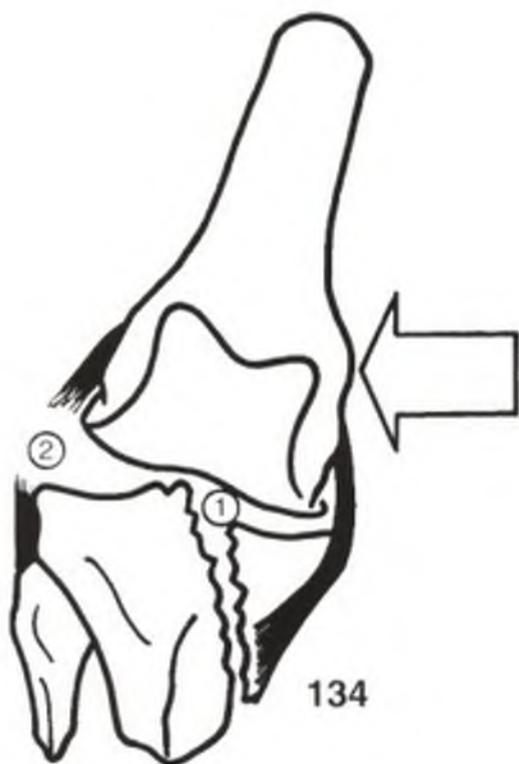
131



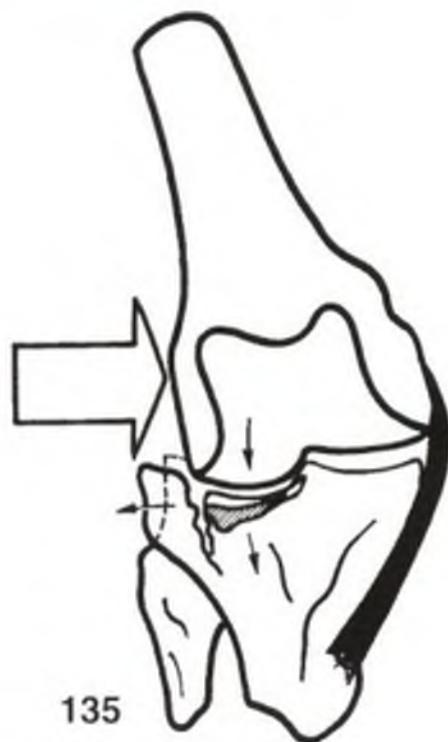
132



133



134



135

LA ESTABILIDAD TRANSVERSAL DE LA RODILLA

(continuación)

Durante la marcha y la carrera, la rodilla se ve continuamente solicitada por fuerzas laterales. En algunos casos, el cuerpo está en **desequilibrio interno** sobre la rodilla portadora (Fig. 136), lo que provoca una *acentuación del valgus fisiológico* y una apertura de la interlínea hacia dentro. Si la fuerza transversal es demasiado importante, *el ligamento lateral interno se rompe* (Fig. 137): es el **esguince grave del ligamento lateral interno** (es preciso puntualizar esta afirmación subrayando que un esguince grave nunca es el resultado de una simple posición de desequilibrio, sino que necesita, además, un golpe violento).

En el otro sentido, un **desequilibrio externo sobre la rodilla portadora** (Fig. 138) *tiende a endeerezar el valgus fisiológico* y a abrir la interlínea *hacia fuera*. Si la cara interna de la rodilla sufre un traumatismo violento, se puede romper el ligamento lateral externo (Fig. 139): es el **esguince grave del ligamento lateral externo**.

Cuando se da un esguince grave de rodilla, se pueden dar movimientos de lateralidad que se efectúan alrededor de un eje anteroposterior. La exploración de estos movimientos anormales se realiza tanto con la rodilla en máxima extensión como en ligera flexión, y siempre se compara con el lado supuestamente sano.

Con la rodilla en extensión (Fig. 141), incluso se podría decir en hiperextensión, ya que el peso del miembro lo desplaza en esta dirección:

- un movimiento de **lateralidad externa**, o en valgus, representa una ruptura asociada del ligamento lateral interno (Fig. 137) y de las formaciones fibroligamentosas ubicadas por detrás del mismo, se trata de la convexidad condílea interna y del PAPI;
- el movimiento de **lateralidad interna**, o en varus, representa una ruptura asociada del **ligamento lateral externo** (Fig. 138) y de las formaciones fibroligamentosas posteriores, sobre todo la convexidad condílea externa.

Con la rodilla flexionada 10° (Fig. 142), los mismos movimientos anormales representan una ruptura aislada del LLI o del LLE respectivamente, puesto que las convexidades condíleas están distendidas por los primeros grados de flexión. El hecho de que no se

pueda estar seguro de la posición en la que son hechas las radiografías hace que no sea fiable el diagnóstico radiológico del bostezo de la interlínea interna en valgus forzado o del bostezo externo en varus.

A decir verdad, es francamente difícil conseguir una relajación muscular total en una rodilla dolorosa que propicie una exploración válida. Esto indica el carácter casi obligatorio de una **exploración bajo anestesia general**.

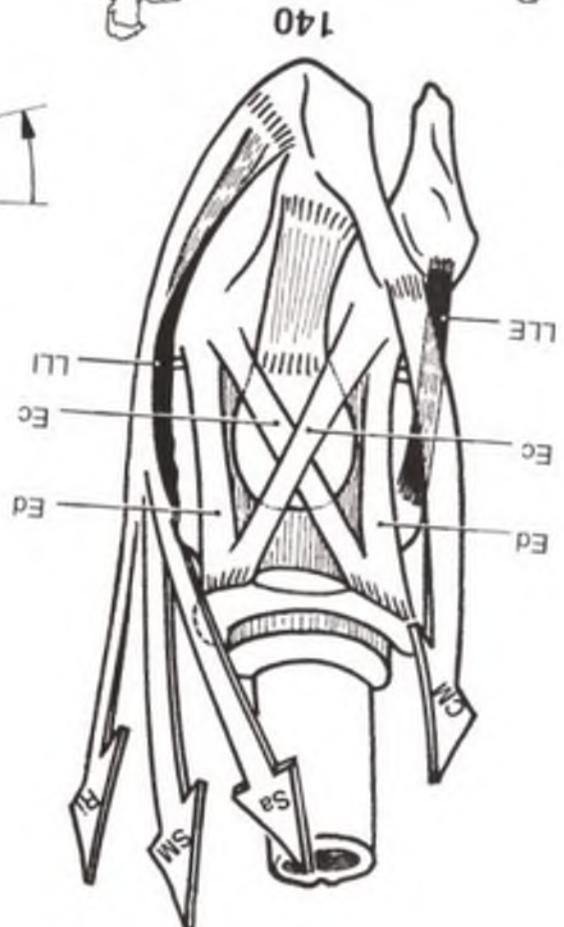
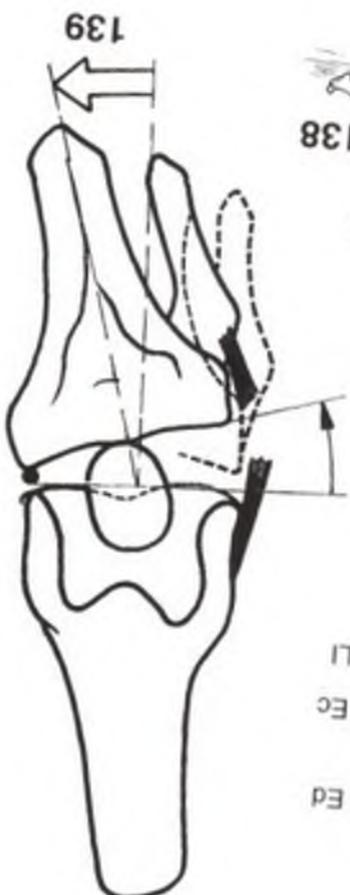
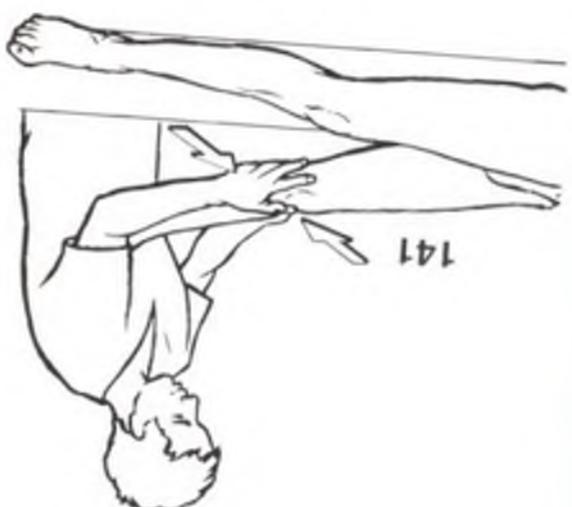
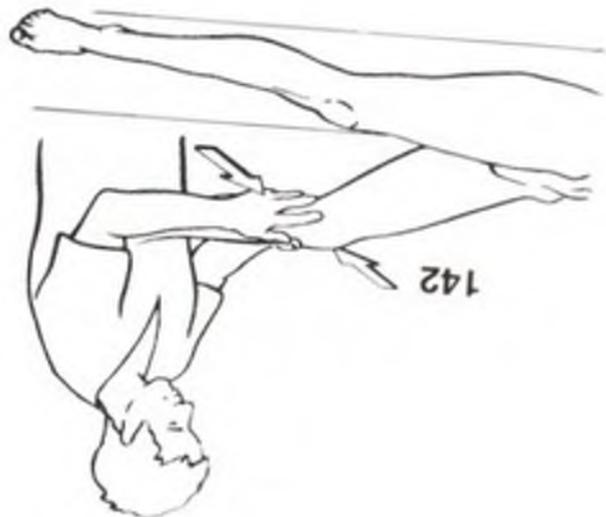
El esguince grave de tobillo compromete la estabilidad de la articulación. De hecho, la ruptura de un ligamento lateral impide que la rodilla pueda oponerse a las fuerzas laterales que la solicitan continuamente (Figs. 136 y 138).

En las fuerzas laterales bruscas de la carrera y de la marcha, los ligamentos laterales no son los únicos que aseguran la estabilidad de la rodilla; sino que se ven reforzados *por los músculos que constituyen auténticos ligamentos activos* y que son los principales responsables de la estabilidad de la rodilla (Fig. 140).

El ligamento lateral externo (LLE) se ve muy reforzado por *la cintilla de Maissiat* (CM), tensada por el *tensor de la fascia lata* —esta contracción se expone en el esquema 138.

El ligamento lateral interno (LLI) se ve igualmente reforzado por los *músculos de la pata de ganso*: sartorio (Sa), semitendinoso (SM) y recto interno (Ri) —la contracción del sartorio se puede observar en el esquema 136.

Por lo tanto, los ligamentos laterales están "protegidos" por tendones consistentes. También están reforzados, de forma no menos poderosa, por el cuádriceps cuyas *expansiones directas* (Ed) y *crucadas* (Ec) constituyen, en la cara anterior de la articulación, un capa ante todo fibrosa. Las expansiones directas se oponen al bostezo de la interlínea del mismo lado y las expansiones cruzadas impiden el bostezo del lado opuesto. Cada vasto actúa, pues, gracias a estos dos tipos de expansiones, sobre la estabilidad de la articulación en ambos sentidos. De forma que se puede entender perfectamente la importancia de **la integridad del cuádriceps para garantizar la estabilidad de la rodilla**, e, inversamente, las alteraciones de la estática ("rodilla que se afloja") derivadas de una atrofia del cuádriceps.



LA ESTABILIDAD ANTEROPOSTERIOR DE LA RODILLA

La estabilidad de la rodilla es totalmente distinta según esté ligeramente flexionada o en hiperextensión.

En **alineación normal con ligera flexión** (Figura 143), la fuerza que representa el peso del cuerpo pasa *por detrás del eje* de flexoextensión de la rodilla y la flexión tiene tendencia a acentuarse por sí misma si la contracción estática del cuádriceps no interviene; por lo tanto, en esta posición, *el cuádriceps es indispensable para la bipedestación*. Por el contrario, si la rodilla se coloca en **hiperextensión** (Fig. 144), la tendencia natural a la acentuación de la citada hiperextensión queda rápidamente bloqueada por los elementos capsuloligamentosos posteriores (en negro), y es posible *mantener la bipedestación sin la intervención del cuádriceps*: se trata del **bloqueo**. Esto explica que en las parálisis del cuádriceps sea necesario acentuar el genu recurvatum para que el paciente pueda mantenerse de pie e incluso caminar.

Cuando la rodilla está en hiperextensión (Figura 145), el eje del muslo es oblicuo hacia abajo y atrás, y la fuerza *f* así desarrollada puede descomponerse en un vector vertical (*v*) que transmite el peso del cuerpo hacia el esqueleto de la pierna, y un vector horizontal (*h*), que se dirige hacia atrás y que tiende a acentuar la hiperextensión: cuanto más oblicua hacia atrás sea la fuerza *f*, más importante será este vector (*h*) y más solicitados estarán los elementos del plano fibroso posterior: un genu recurvatum demasiado acentuado acaba por distender los ligamentos y se agrava a sí mismo.

Aunque no se disponga de un obstáculo rígido como es el caso del olécranon en el codo, la limitación de la hiperextensión de la rodilla es de una eficacia extrema (Fig. 146). Esta limitación depende, esencialmente, de elementos capsuloligamentosos y de elementos musculares accesorios.

Los **elementos capsuloligamentosos** contienen:

- el **plano fibroso posterior de la cápsula** (Fig. 147);
- los **ligamentos laterales y el cruzado posterointerno** (Fig. 148).

La parte posterior de la cápsula articular (Fig. 147) está reforzada por potentes elementos

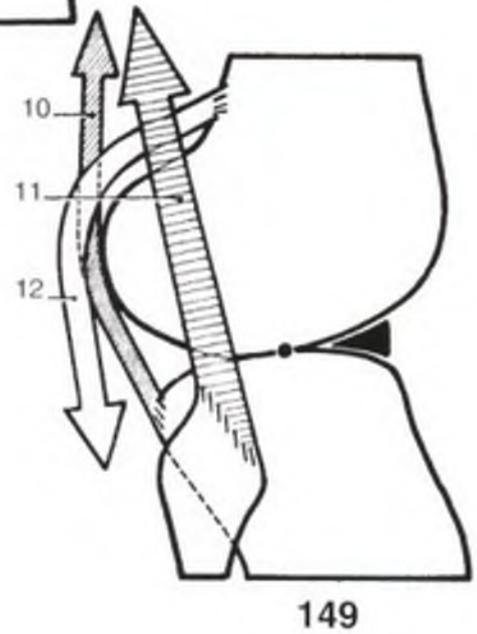
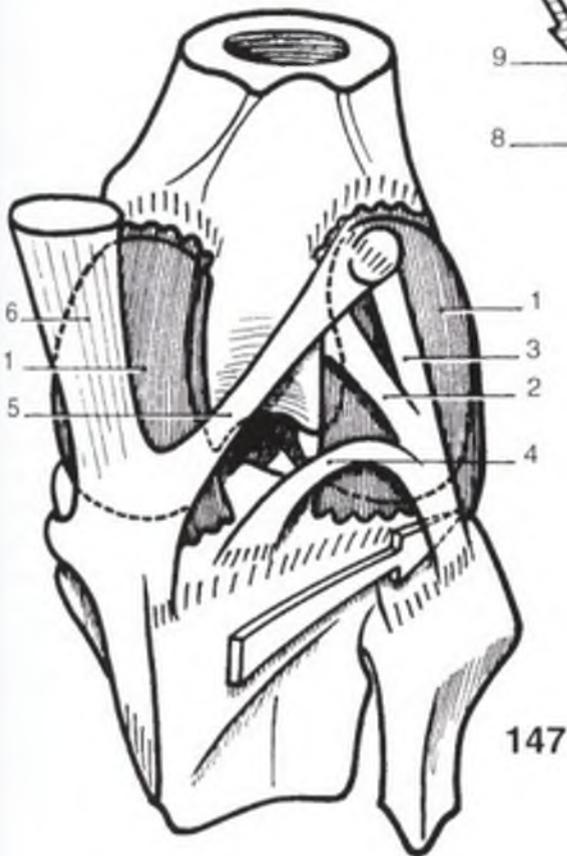
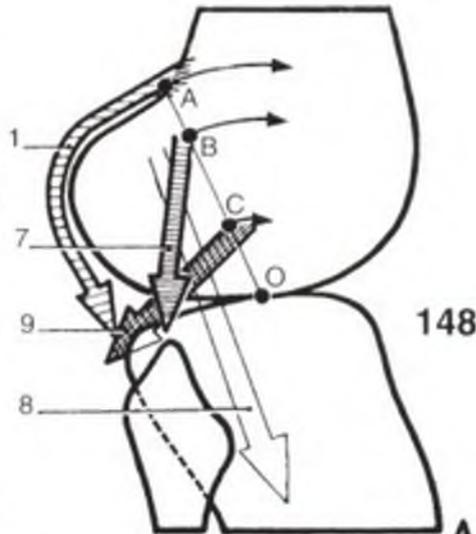
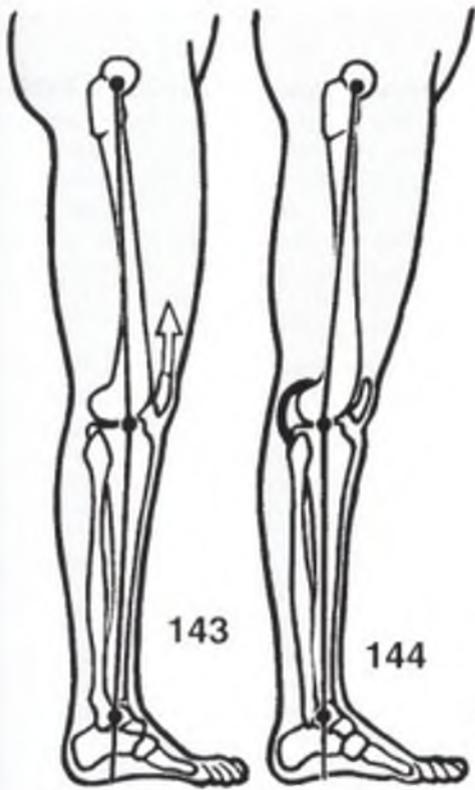
fibrosos. A cada lado, de cara a los cóndilos, un engrosamiento de la cápsula forma las *cáscaras condíleas* (1), en la cara posterior, donde se insertan fibras de los gemelos. Partiendo de la estiloides peronea, se expande un abanico fibroso, el *ligamento poplíteo arqueado*, en el que se pueden distinguir dos haces:

- el *haz externo*, o **ligamento lateral externo corto** de Valois, cuyas fibras finalizan en la cáscara condílea externa (2) y en el sesamoideo del gemelo externo, o **fabela** (3), incluido también en esta cáscara;
- el *haz interno*, que se expande en forma de abanico hacia dentro y cuyas fibras inferiores (4) constituyen el **ligamento cruzado arqueado**, arcada donde se introduce el **poplíteo** (flecha blanca) para penetrar en la articulación; constituyendo así el borde superior del orificio de penetración de este músculo a través de la cápsula.

En el lado interno, el plano fibroso capsular está reforzado por el **ligamento poplíteo oblicuo** (5), constituido por el **haz recurrente**, separado del lado externo del tendón del semimembranoso (6); dirigiéndose hacia arriba y hacia fuera para terminar en la cáscara condílea externa y fabela.

Todas las formaciones del plano fibroso posterior se tensan en la hiperextensión (Fig. 148) y, en particular, las *cáscaras condíleas* (1). Ya se vio con anterioridad que la extensión tensa el *ligamento lateral externo* (7) y el *ligamento lateral interno* (8). El *ligamento cruzado posterointerno* (9) también se tensa durante la extensión. De hecho, es fácil constatar que las inserciones superiores (A, B, C) de estos elementos se proyectan hacia delante alrededor del centro O, durante la hiperextensión. Sin embargo, trabajos recientes han demostrado que el ligamento más tenso en esta posición es el cruzado anteroexterno.

Por último, los **flexores** (Fig. 149) son factores activos de limitación: los *músculos de la pata de ganso* (10), que pasan por detrás del cóndilo interno, el *biceps* (11) y también los *gemelos* (12), en la medida en que los tensa la flexión dorsal de la tibiotalariana.



LAS DEFENSAS PERIFÉRICAS DE LA RODILLA

Las diferentes estructuras capsuloligamentosas, descritas hasta ahora de manera analítica, se organizan en forma de conjunto estructurado y coherente que constituye **las defensas periféricas de la rodilla** (Fig. 150).

En este corte transversal de la rodilla, a la altura de la interlínea, se puede reconocer:

- por dentro, la glenoide interna (1), con el menisco interno (2);
- por fuera, la glenoide externa (3), con el menisco externo (4), unido por delante al interno mediante el ligamento yugal (5);
- por delante, la rótula (6), recubriendo la tuberosidad tibial anterior (TTA) (7), y la inserción anterior del LCAE (8);
- por detrás, la inserción posterior del LCPI (9).

Las defensas periféricas de la rodilla corren a cargo de **tres formaciones principales**: el ligamento lateral interno, el ligamento lateral externo y el plano capsulofibroso posterior:

- el **ligamento lateral interno** (10) presenta, según F. Bonnel, un impedimento a la ruptura de 115 kg/cm² y una deformación a la ruptura de 12,5%;
- el **ligamento lateral externo** (11) presenta un impedimento a la ruptura de 276 kg/cm² y una deformación a la misma de 19%. Por lo tanto, y sorprendentemente, es más resistente y más elástico que el interno;
- el **plano capsulofibroso posterior** está formado por la convexidad condílea interna (12), (13) con su sesamoideo o fabela (14) y los refuerzos: el ligamento poplíteo oblicuo (15) y el ligamento poplíteo arqueado (16).

Las **formaciones accesorias** constituyen cuatro capas fibrotendinosas de resistencia e importancia desiguales:

- la **capa fibrotendinosa posterointerna** es la más importante. F. Bonnel la denomina núcleo fibrotendinoso, lo que sin duda alguna es cierto en el caso del posterointerno, pero en ningún caso para las otras. G. Bousquet refiere un **punto de ángulo posterointerno**, abreviado PAPI, lo que representa un aspecto más quirúrgico que anatómico. En cualquier caso, esta capa fibrotendinosa posterointerna, situada detrás del L.L.I., está constituida por:

- las fibras más posteriores del L.L.I. (10 bis),
- el borde interno de la convexidad condílea interna (12),
- dos prolongaciones del tendón del semimembranoso (16), el haz reflejado (17) que recorre el borde infraglenoideo interno y la expansión meniscal (18), que se fija en la periferia posterior del menisco interno, de la cual constituye un punto importante de inserción.

- la **capa fibrotendinosa posteroexterna o PAPE**, bastante menos potente que la interna, ya que el menisco externo, a esta altura, está separado de la cápsula y del LLE por el paso del tendón del poplíteo (19) que se inserta en el cóndilo externo. Sin embargo, este tendón tiene también una expansión meniscal (20) que sujeta la parte posterior del menisco externo. El refuerzo fibroso se completa con el ligamento lateral externo corto (21) y el borde externo de la convexidad condílea externa.

- la **capa fibrotendinosa anteroexterna (PAAE)** está constituida por la cintilla de Maissiat (22), que refiere una expansión (23) hacia el borde externo de la rótula, y mediante las expansiones directas y cruzadas de los vastos (24) que conforman la parte externa del aparato extensor.

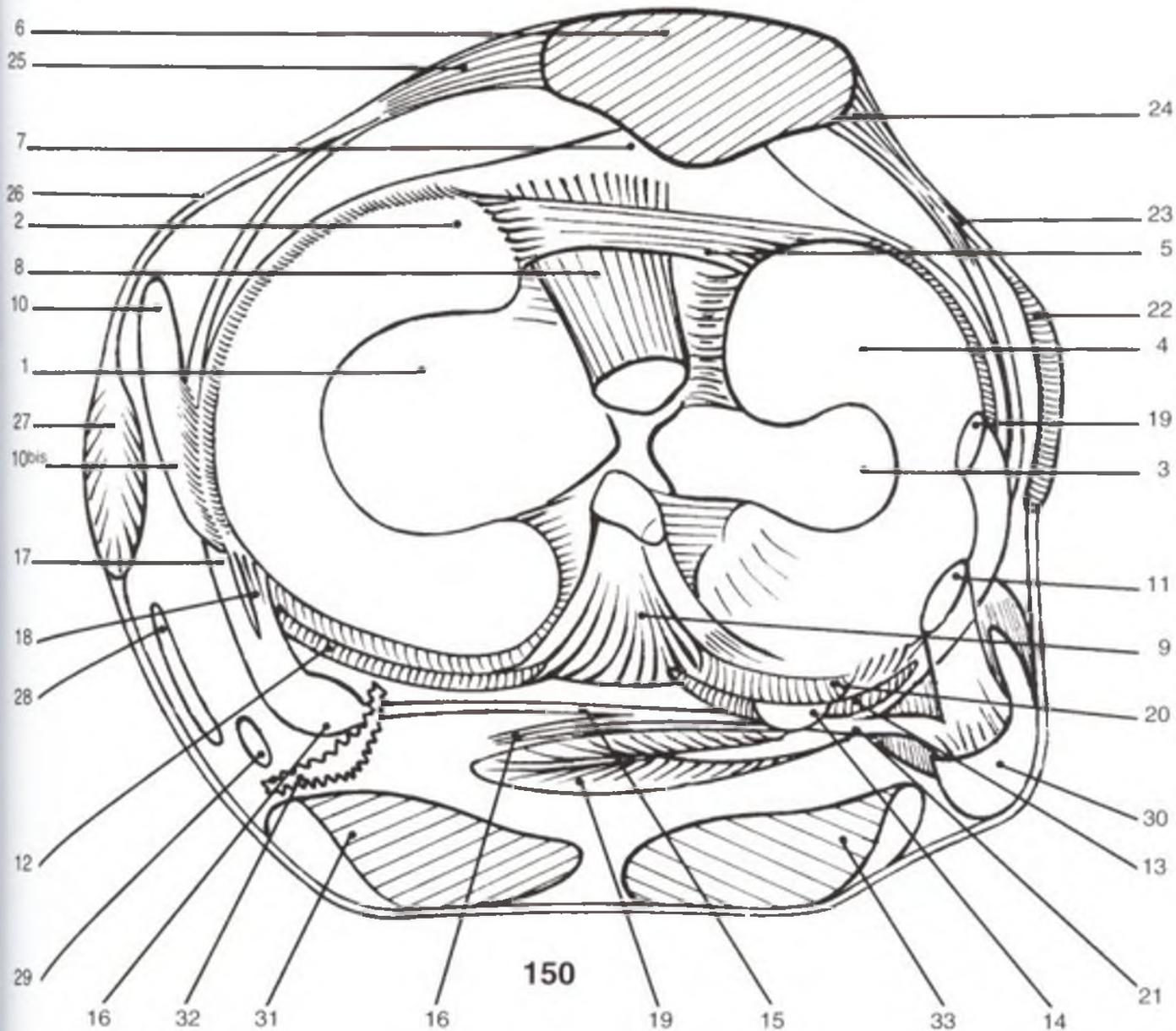
- la **capa fibrotendinosa anterointerna (PAAI)**, está constituida por las expansiones directas y cruzadas de los vastos (25), reforzadas por la expansión del tendón del sartorio (26) que se inserta en el borde interno de la rótula.

Los **músculos periarticulares** también participan en las defensas periféricas de la rodilla: mediante su contracción perfectamente sincronizada en el transcurso del esquema motor y en previsión de los posibles problemas que el *cortex* cerebral anticipa, se oponen a las distorsiones articulares, aportando una ayuda indispensable a los ligamentos que sólo pueden reaccionar pasivamente. De entre estos músculos, el más importante es el cuádriceps, sin el cual no es factible ninguna estabilidad en la rodilla: por su potencia y su perfecta coordinación, es incluso capaz, en cierta medida, de compensar las claudicaciones ligamentosas. Su buen trofismo es, pues, una condición *sine qua nom* para el éxito de cualquier intervención quirúrgica. Cuando se sabe lo propenso que es a atrofiarse y lo difícil de recuperar, merece una gran consideración por parte de los cirujanos y de los fisioterapeutas.

En el lado externo, la cintilla de Maissiat (22) debe considerarse como el tendón terminal del **deltoides glúteo**. En el lado posterointerno se localizan el semimembranoso (16) y los músculos de la pata de ganso: el sartorio (27), el recto interno (28) y el semitendinoso (29).

En el lado posteroexterno se sitúan dos músculos: el poplíteo (19), cuya fisiología un tanto particular se analizará más adelante, y el bíceps (30), cuyo potente tendón refuerza el L.L.E.

Para finalizar, por detrás, el espacio está ocupado por los gemelos que se insertan por arriba y en las convexidades condíleas: el gemelo interno (31), cuya lámina tendinosa de inserción cruza en forma de X elongada el tendón del semimembranoso a través de la bolsa serosa del gemelo interno y del semimembranoso (32), comunica, a menudo, con la sinovial articular; el gemelo externo (33), cuya lámina tendinosa de inserción cruza de la misma manera el tendón del bíceps, pero sin interposición de la bolsa serosa.



LOS LIGAMENTOS CRUZADOS DE LA RODILLA

Cuando se abre la articulación de la rodilla por delante (Fig. 151 según Rouvière), se toma conciencia de que **los ligamentos cruzados están situados en pleno centro de la articulación**, alojándose mayoritariamente en la escotadura intercondílea.

El primero que se localiza es el ligamento cruzado anteroexterno (1), cuya *inserción tibial* (5) se localiza (Fig. 152 según Rouvière) en la superficie preespinal, a lo largo de la glenoide interna, entre la inserción del cuerno anterior del menisco interno (7) por delante, y la del menisco externo (8) por detrás (véase también la Fig. 73). Su *trayecto es oblicuo hacia arriba, hacia atrás y hacia fuera* y su *inserción femoral* (1) se efectúa (Fig. 153, según Rouvière) en la cara axial del cóndilo externo, a la altura de una zona estrecha y alargada verticalmente en contacto con el cartílago, en la parte más posterior de la citada cara (véase Fig. 77). El ligamento anteroexterno es el *más anterior en la tibia y el más externo en el fémur*, por lo que el nombre que le identifica le hace justicia, de forma que es preferible seguir denominándolo anteroexterno en vez de anterior a secas, como se hace en la actualidad.

Se describen tres haces:

- el haz **anterointerno**: el más largo, el primero que se localiza y el más expuesto a los traumatismos;
- el haz **posteroexterno**: está oculto por el precedente y es el que resiste en las rupturas parciales;
- el haz **intermedio**.

En conjunto, su forma se muestra torcida sobre sí misma, ya que sus fibras más anteriores sobre la tibia presentan las inserciones más inferiores y más anteriores en el fémur, y sus fibras más posteriores sobre la tibia se insertan en la parte más superior del fémur, aunque todas sus fibras no tengan la misma longitud.

Según F. Bonnel, la longitud media de las fibras del LCAE varía entre 1,85 y 3,35 cm, existe pues una gran desigualdad según la localización de las fibras.

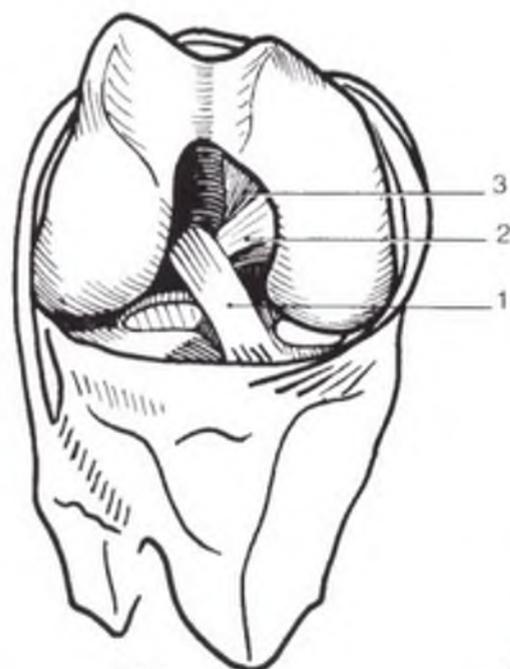
En el fondo de la escotadura intercondílea, detrás del ligamento cruzado anteroexterno, aparece (Fig. 151) el **ligamento cruzado posterointerno** (2). Su *inserción tibial* (6) se localiza (Fig. 152) en la parte más posterior de la superficie retroespinal;

incluso sobrepasa (Figs. 153 y 154, según Rouvière) el borde posterior de la meseta tibial (véase también Fig. 73). La inserción tibial del cruzado posterointerno está, entonces, localizada muy hacia atrás (Fig. 152) de la inserción de los cuernos posteriores del menisco externo (9) y del menisco interno (10). El *recorrido* del posterointerno es *oblicuo hacia delante, hacia dentro y hacia arriba* (Fig. 154, rodilla flexionada a 90°). Su *inserción femoral* (2) ocupa el fondo de la escotadura intercondílea (Fig. 155, según Rouvière), e incluso sobrepasa notablemente (Fig. 154) la cara axial del cóndilo interno, a lo largo del cartílago, en el límite inferior de dicha cara, en una zona de inserción alargada horizontalmente (véase también Fig. 76). El ligamento posterointerno es el *más posterior en la tibia y el más interno en el fémur*, por lo que merece su denominación. De forma que lo más correcto es denominarlo **posterointerno**.

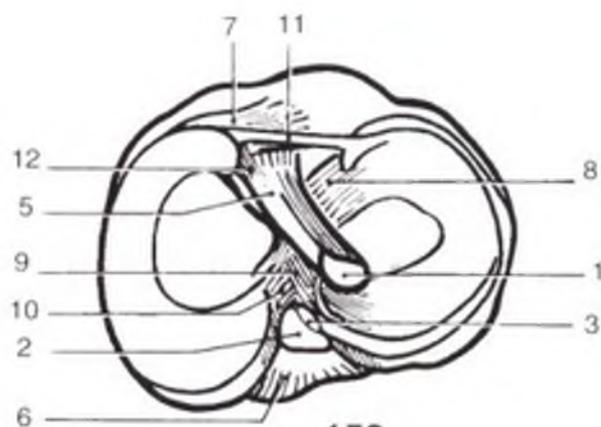
Se describen cuatro haces:

- el **haz posteroexterno**: el más posterior sobre la tibia y el más externo en el fémur;
- el **haz anterointerno**: el más anterior sobre la tibia y el más interno en el fémur;
- el **haz anterior de Humphrey**, inconstante;
- el **haz meniscofemoral de Wrisberg** (3), que se inserta en el cuerno posterior del menisco interno (Figs. 152 y 153) para, a continuación, adherirse al cuerpo del ligamento al que acompaña normalmente en su cara anterior (Fig. 151), e insertarse finalmente con él en la cara axial del cóndilo interno. Existe, a veces, *un equivalente de esta misma disposición para el menisco interno* (Fig. 152); algunas fibras (12) del LCAE se insertan en el cuerno anterior del menisco interno, próximo a la inserción del ligamento transverso (11).

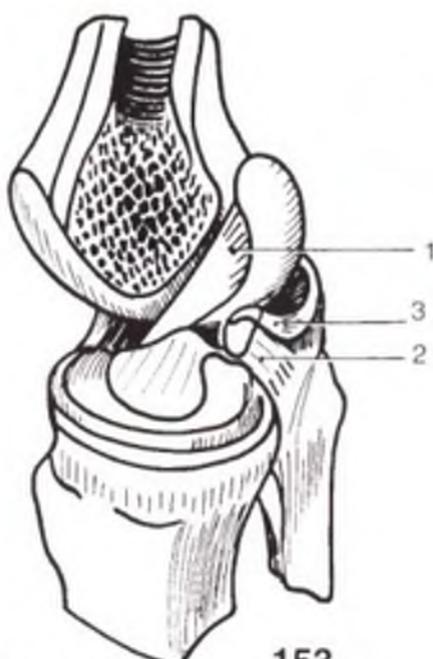
Los ligamentos transversos están en *contacto uno con otro* (Fig. 155: se han seccionado los ligamentos cruzados cerca de su inserción femoral) por su borde axial, mientras que el ligamento externo pasa por fuera del interno. Estos ligamentos no están libres en el interior de la cavidad articular, sino que están *recubiertos por la sinovial* (4) y establecen importantes conexiones con la cápsula que se expondrán en la siguiente página.



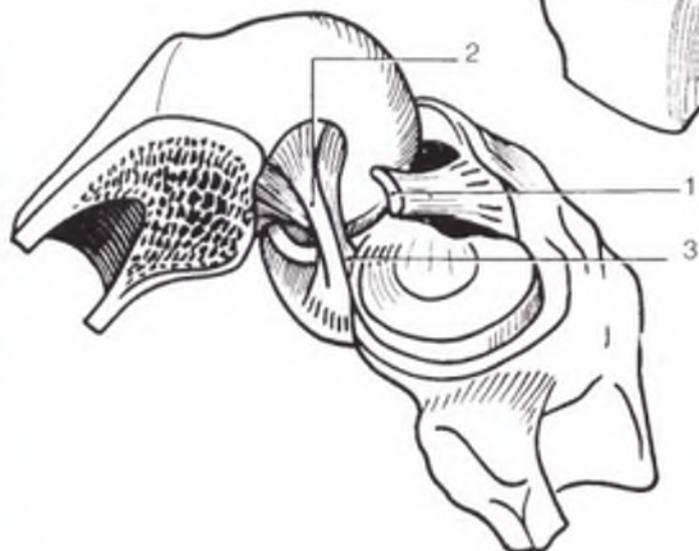
151



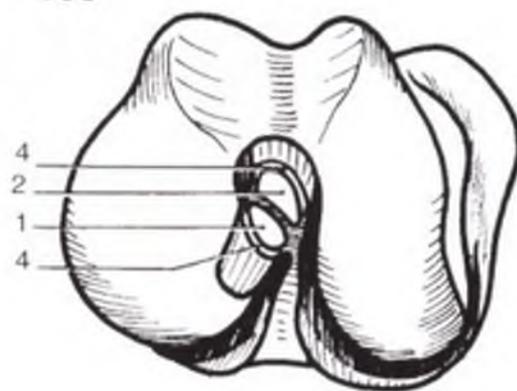
152



153



154



155

NEXOS DE LA CÁPSULA Y DE LOS LIGAMENTOS CRUZADOS

Los ligamentos cruzados establecen conexiones tan íntimas con la cápsula articular que se podría decir que **en realidad no son más que engrosamientos de la misma**, y que, como tales, son parte integrante de ella. Se pudo ver en la página 98 cómo penetra la cápsula en la escotadura intercondílea para formar un doble tabique en el eje de la articulación. En un primer momento se ha dicho, sólo por comodidad, que la inserción tibial de la cápsula (Fig. 156) dejaba las inserciones de los ligamentos cruzados fuera de la articulación, cuando en realidad *la inserción de la cápsula pasa por la inserción de los ligamentos cruzados*. Simplemente, el espesor capsular de los cruzados "se esparce" por la cara exterior de la cápsula y, por lo tanto, en el interior del doble tabique.

En una *vista posterointerna* (Fig. 157), tras haber extraído el cóndilo interno y haber seccionado parte de la cápsula, el **ligamento cruzado anteroexterno** aparece claramente "incrustado" en la lámina externa del tabique capsular (el ligamento cruzado posterointerno no aparece en el dibujo)

En una *vista posteroexterna* (Fig. 158) en las mismas condiciones que la anterior, el **ligamento cruzado posterointerno** aparece "incrustado" en la lámina interna del tabique capsular.

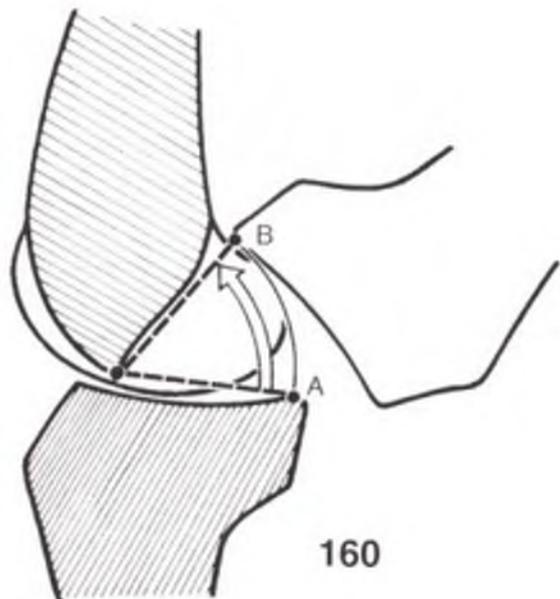
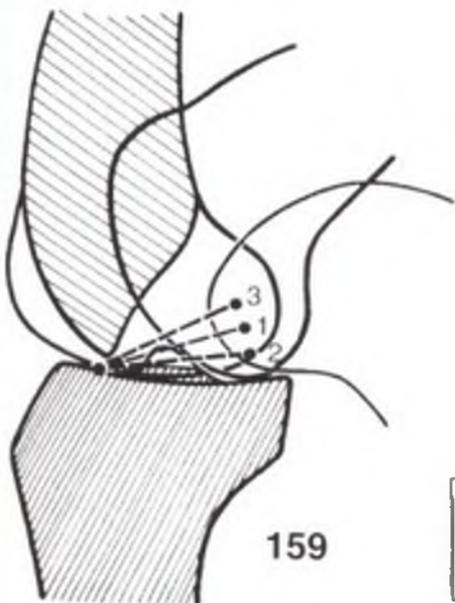
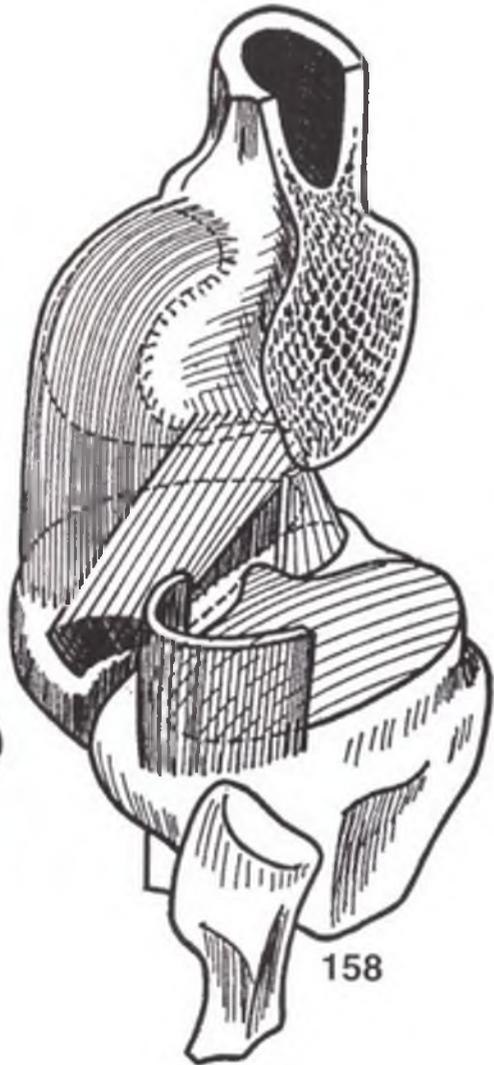
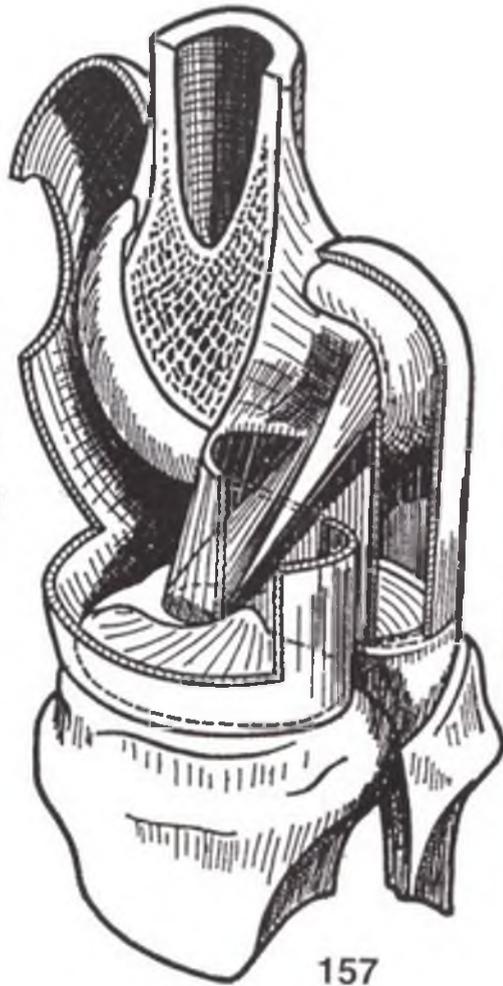
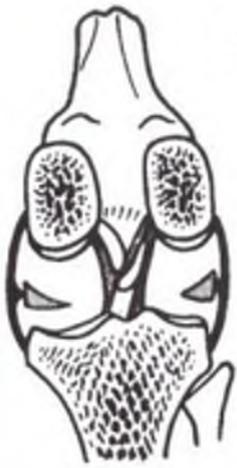
Es necesario subrayar que no todas las fibras cruzadas tienen la misma longitud ni la misma orientación (véase también Fig. 159): por lo tanto, durante los movimientos no se tensan todas simultáneamente (véase pág. 130).

Además, estos esquemas permiten resaltar las cáscaras condíleas, intactas en el cóndilo interno (Fig. 158) y que se han resecado en el cóndilo externo (Fig. 157).

En un **corte verticofrontal** (Fig. 156), que pasa por la parte posterior de los cóndilos, se puede observar la división en compartimentos de la cavidad articular (el fémur y la tibia se han separado artificialmente):

- en la parte central, el tabique capsular, reforzado por los ligamentos cruzados, y separando la cavidad en dos mitades, externa e interna; este tabique se prolonga por delante con el paquete adiposo (véase pág. 100);
- cada una de las dos mitades de la articulación está separada, a su vez, por los meniscos en dos espacios, el superior o *suprameniscal*, que corresponde a la interlínea femoromeniscal, y el interior o *inframéniscal*, que corresponde a la interlínea tibio-meniscal.

La presencia de los ligamentos cruzados es la que modifica tan profundamente la estructura de esta articulación troclear (desde el punto de vista mecánico no tiene ningún sentido denominarla bicondílea). El LCAE (Fig. 159), tomando como posición de partida su posición media (1), empieza horizontalizándose (2) sobre la meseta tibial durante la flexión de 45-50°, hasta llegar a su posición más elevada (3) en la máxima flexión; cuando descende, se aloja en la escotadura interespinosa, como si hubiese "serrado" la meseta de las espinas tibiales, como si se tratara de cortar el pan (recuadro). El LCPI (Fig. 160), en el transcurso de la extensión (A) a la flexión máxima (B), barre un sector mucho más importante (aproximadamente 60°) que el LCAE, y en relación al fémur "secciona" la escotadura intercondílea, separando así las dos convexidades de la tróclea fisiológica constituida por los dos cóndilos.



DIRECCIÓN DE LOS LIGAMENTOS CRUZADOS

Vistos en perspectiva (Fig. 161), los ligamentos cruzados aparecen efectivamente como **cruzados en el espacio** uno respecto al otro. En el plano *sagital* (Fig. 162) están cruzados (Fig. 162), el anteroexterno (LCAE) es oblicuo hacia arriba y hacia *atrás*, mientras que el posterointerno es oblicuo hacia arriba y hacia *delante*. Sus direcciones también están cruzadas en el *plano frontal* (Fig. 163: vista posterior) puesto que sus inserciones tibiales (puntos negros) están alineadas en el eje anteroposterior (flecha S), mientras que sus inserciones femorales están a 1,7 cm de distancia: en consecuencia, el posterointerno es oblicuo hacia arriba y hacia dentro y el anteroexterno es oblicuo hacia arriba y *hacia fuera*. Sin embargo, en el *plano horizontal* (véase Fig. 185) son *paralelos* y contactan entre sí a través de su borde axial.

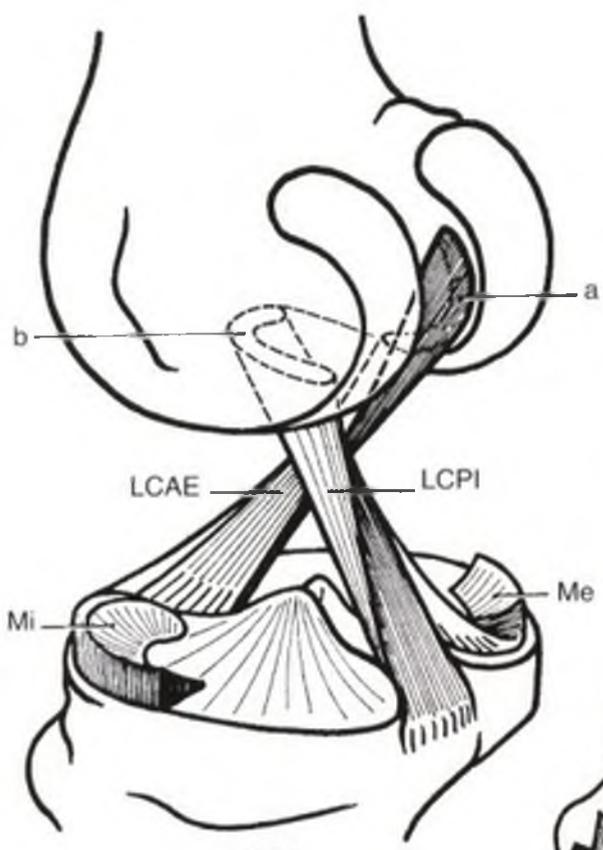
Los ligamentos cruzados no sólo están cruzados entre sí, sino que también lo están con *el ligamento lateral del lado homólogo*. De forma que el cruzado anteroexterno se cruza con el ligamento lateral externo (Fig. 165) y el cruzado posterointerno con el ligamento lateral interno (Fig. 166). Por lo tanto, existe una alternancia regular en la oblicuidad de los cuatro ligamentos

cuando se les considera por orden, de fuera adentro y viceversa.

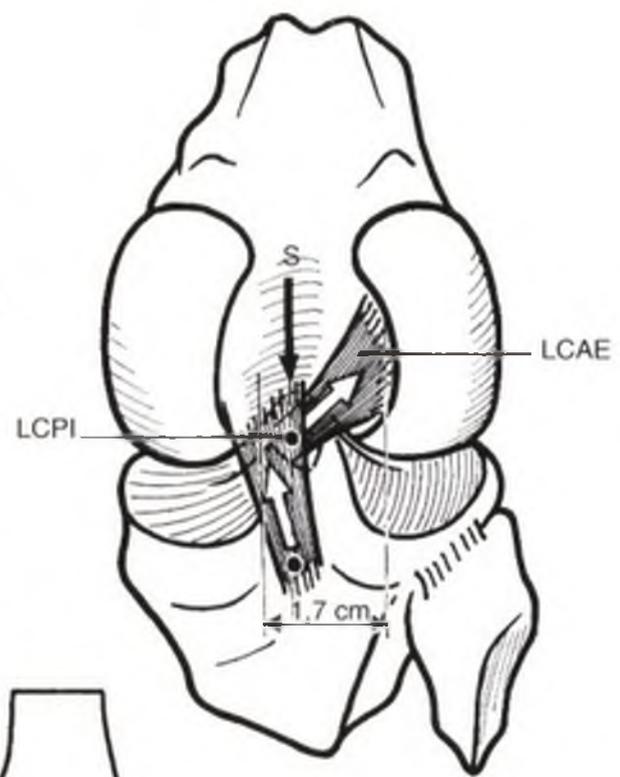
Existe una **diferencia de inclinación** entre los dos ligamentos cruzados (Fig. 162); con la rodilla en extensión, el ligamento cruzado anteroexterno (LCAE) es más vertical, mientras que el posterointerno (LCPI) es más horizontal; ocurre lo mismo con la dirección general de las zonas de inserción femorales: la del posterointerno es horizontal (b), mientras que la del anteroexterno es vertical (a). Una norma mnemotécnica recuerda este hecho gracias al adagio clásico: "El externo está de pie cuando el interno está acostado."

Con la rodilla flexionada (Fig. 164), el LCPI, horizontalizado durante la extensión, se endereza verticalmente, describiendo un arco de círculo de más de 60° con respecto a la tibia, mientras que el LCAE sólo se endereza un poco.

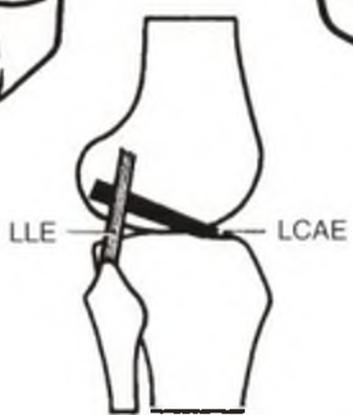
La relación de longitud entre ambos cruzados varía según individuos, pero, junto con las distancias de los puntos de inserción tibiales y femorales, constituye la característica propia de cada rodilla, ya que determina entre otros, como se recalcó con anterioridad, el perfil de los cóndilos.



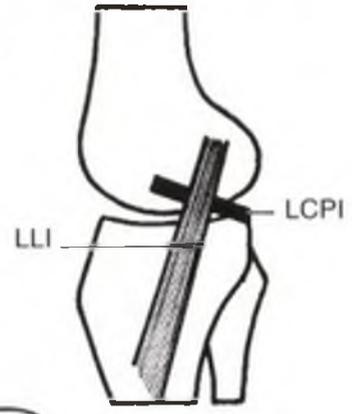
161



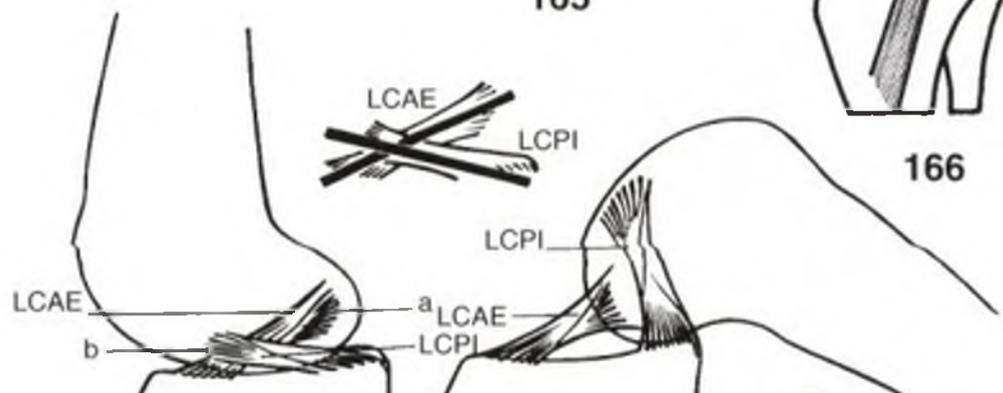
163



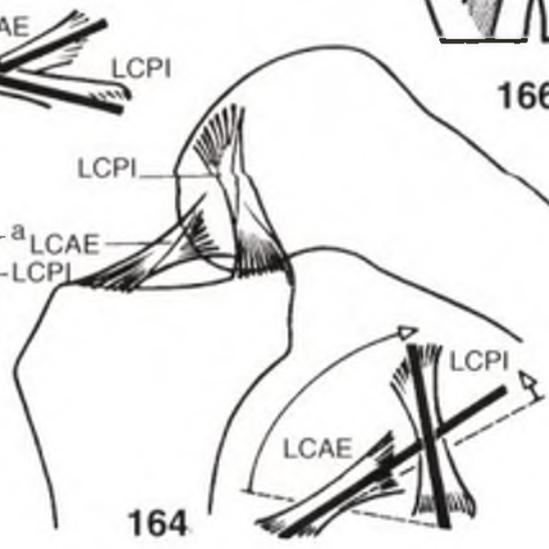
165



166



162



164

FUNCIÓN MECÁNICA DE LOS LIGAMENTOS CRUZADOS

Existe la costumbre de considerar los ligamentos cruzados como *cuerdas* casi lineales, fijadas por inserciones *puntiformes*. Esto no es verdad más que en una primera aproximación y tiene la ventaja de aclarar la acción general de un ligamento, pero en ningún caso permite conocer sus **reacciones finas**. Por este motivo, es necesario tomar en cuenta tres factores:

1. EL GROSOR DEL LIGAMENTO

El grosor y el volumen del ligamento son directamente proporcionales a su resistencia e inversamente proporcionales a sus posibilidades de alargamiento, pudiéndose considerar cada fibra como un pequeño resorte elemental.

2. LA ESTRUCTURA DEL LIGAMENTO

Debido a la extensión de las inserciones, todas las fibras no poseen la misma longitud. **Consecuencia importante:** no se solicita cada fibra al mismo tiempo. Como en el caso de las fibras musculares, se trata de un verdadero **reclutamiento** de las fibras ligamentosas durante el movimiento, lo que hace variar su elasticidad y su resistencia.

3. LA EXTENSIÓN Y LA DIRECCIÓN DE LAS INSERCIONES

De hecho, las fibras *no son siempre paralelas entre ellas*, se organizan muy a menudo según *planos "ladeados"*, retorcidos sobre sí mismos, puesto que las líneas de inserción no son paralelas entre ellas, sino, con frecuencia, oblicuas o perpendiculares en el espacio; además, la dirección relativa de las inserciones varía durante el movimiento, lo que contribuye "al reclutamiento"; modificando así la dirección de la acción del movimiento, considerado globalmente. Esta variación en la acción direccional del ligamento no se efectúa únicamente en el plano sagital, sino en **los tres planos del espacio**, lo que demuestra sus acciones complejas y simultáneas en la estabilidad anteroposterior, la estabilidad lateral y la estabilidad rotatoria.

De esta forma, la geometría de los ligamentos cruzados determina el perfil condilotroclear en el plano sagital y *también en los otros dos planos del espacio*.

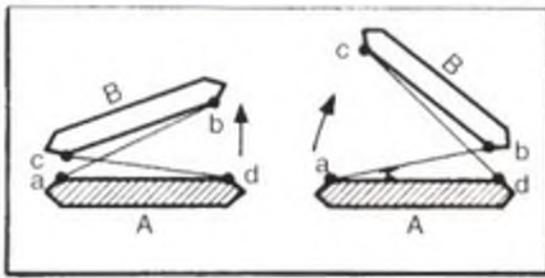
Globalmente, los ligamentos cruzados aseguran la **estabilidad anteroposterior** de la rodilla a la par que permiten los **movimientos de charnela** manteniendo las superficies articulares en contacto.

Su función se puede ilustrar mediante un *modelo mecánico* (Fig. 167) fácil de realizar: dos tablas A y B (vistas por el corte) unidas entre sí mediante cintas (ab y cd) que se extienden de un lado de una al lado opuesto de la otra, de forma que pueden bascular una con respecto a la otra, alrededor de dos charnelas: a confundida con c y b confundida con d, pero es *imposible el deslizamiento de una sobre la otra*.

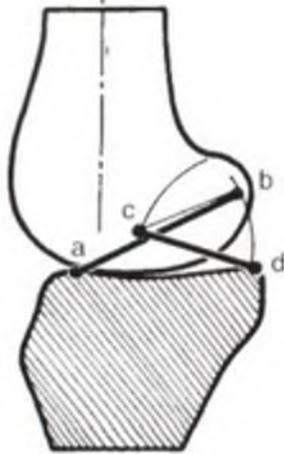
Los ligamentos cruzados de la rodilla tienen un montaje y un funcionamiento parecidos, a diferencia de que no existen solamente dos puntos charnela, sino toda una serie de puntos alineados sobre la curva del cóndilo. Como ocurre con el modelo, el deslizamiento anteroposterior es imposible.

Siguiendo con la demostración, los ligamentos están representados de forma lineal (LCAE = ab, LCPI = cd) en las figuras pequeñas; en las grandes están representadas las fibras extremas y medias, así como las líneas de inserción.

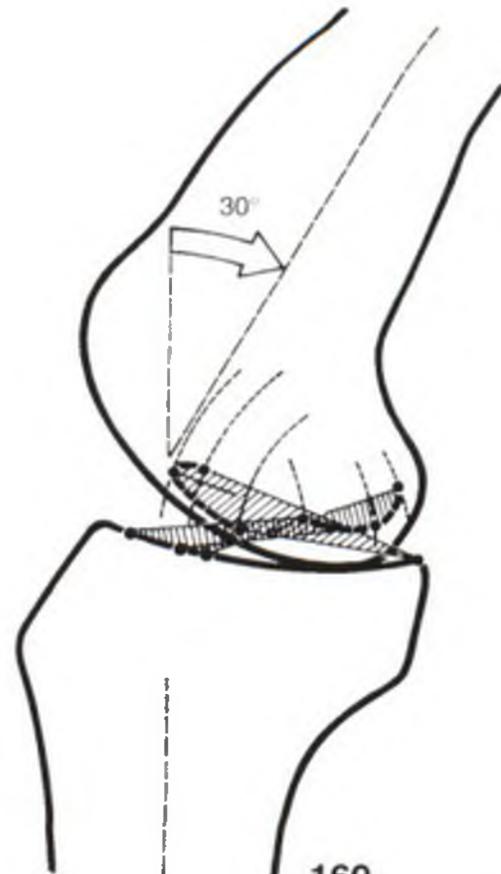
Partiendo de la *posición de alineación normal* (Fig. 168), o de una mínima flexión de 30° (Fig. 169), en la cual los ligamentos cruzados están igualmente tensos, la flexión hace bascular la base femoral bc (Fig. 170), mientras que el LCPI cd se endereza y que el LCAE ab se horizontaliza. En el esquema más completo (Fig. 171) con flexión de 60°, la tensión de las fibras elementales de cada cruzado varía poco.



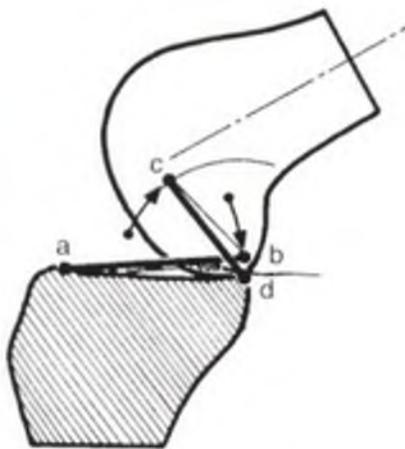
167



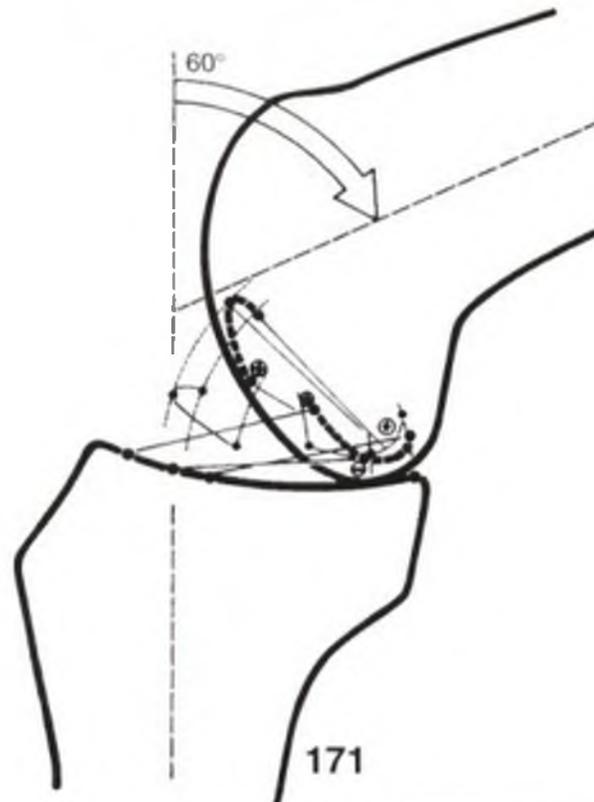
168



169



170



171

FUNCIÓN MECÁNICA DE LOS LIGAMENTOS CRUZADOS

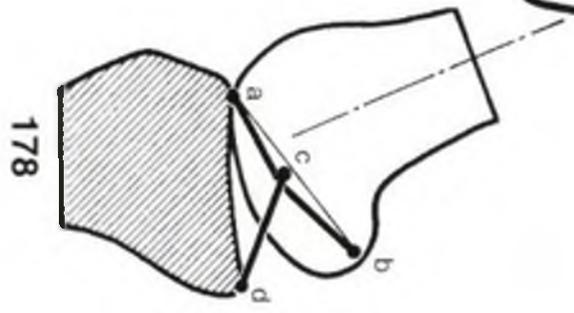
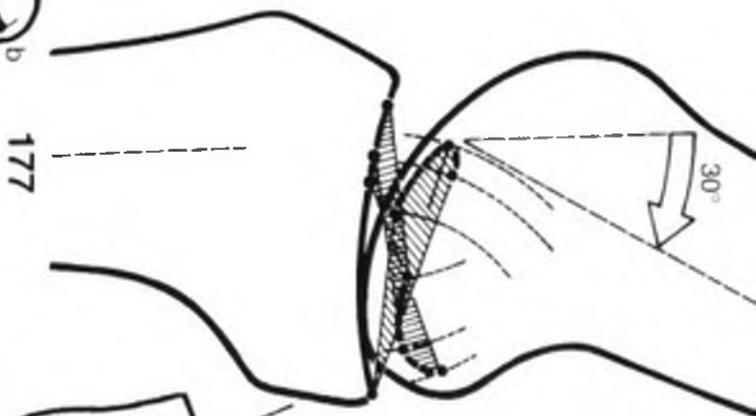
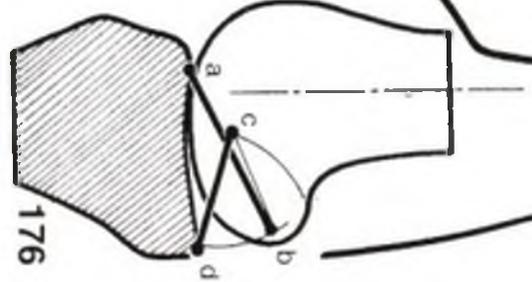
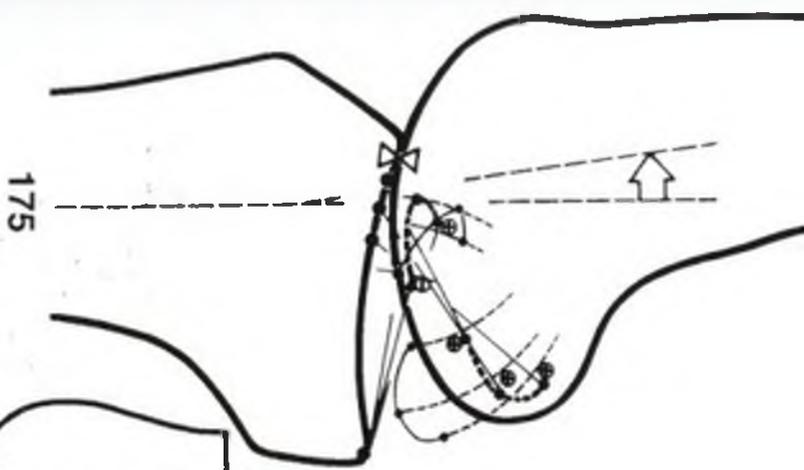
(continuación)

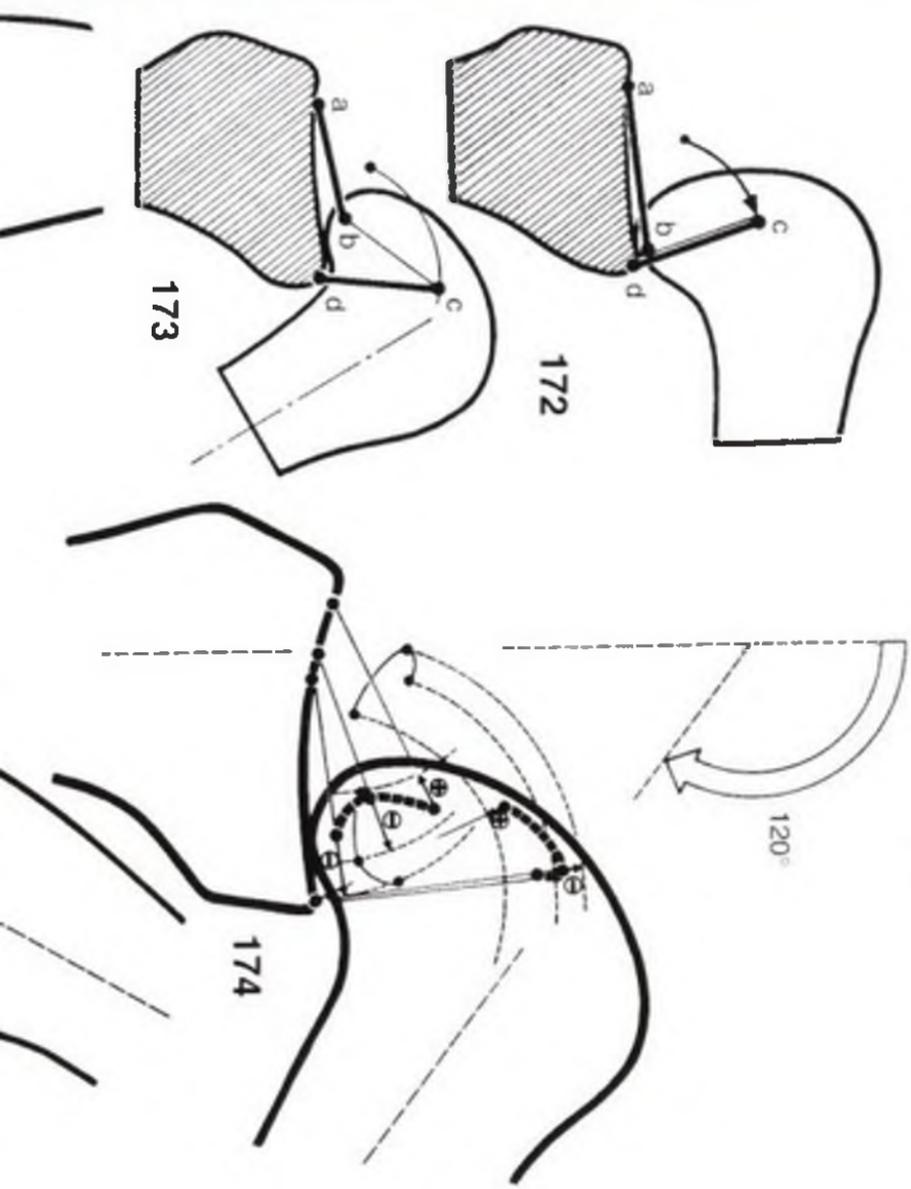
A partir del momento en que la flexión se acentúa a 90° (Fig. 172) y luego a 120° (Fig. 173), el LCPI se endereza verticalmente y se tensa proporcionalmente más que el LCAE: en el esquema detallado (Fig. 174) se puede observar que las fibras medias e inferiores del LCAE están distendidas (-), mientras que las fibras anterosuperiores son las únicas que están tensas (+); sin embargo, en el caso del LCPI las fibras posterosuperiores están poco distendidas (-), mientras que las fibras anteroinferiores están tensas (+). **El cruzado posterointerno está tenso en flexión.**

En extensión e hiperextensión (Fig. 175), con respecto a la posición de partida (Figs. 176 y 177), todas las fibras del LCAE están, por el contrario, tensas (+), mientras que sólo las fibras posterosuperiores del LCPI están tensas (+); sin embargo, en hiperextensión (Fig. 178), el fondo

de la escotadura intercondílea se apoya sobre el LCAE que tensa como si se tratara de un caballete. **El cruzado anteroexterno se tensa en extensión y es uno de los frenos de la hiperextensión.**

Los recientes trabajos de F. Bonnel confirman así lo que pensaba Strasser (1917), quien gracias a un modelo mecánico descubrió que el LCAE está tenso en la extensión y el LCPI en la flexión. Sin embargo, un análisis más minucioso de las condiciones mecánicas confirman que Roud (1913) también estaba en lo cierto, puesto que pensaba que los cruzados permanecen siempre tensos en algunas de sus fibras, en razón de su desigual longitud. Como sucede a menudo en biomecánica, dos propuestas aparentemente contradictorias pueden ser ciertas simultáneamente y no excluirse.





FUNCIÓN MECÁNICA DE LOS LIGAMENTOS CRUZADOS

(continuación)

Anteriormente, analizando el movimiento de los cóndilos sobre las glenoides (véase pág. 94), se pudo constatar que dicho movimiento combina rodadura y deslizamiento; así como la rodadura se puede explicar con facilidad, ¿cómo explicar el deslizamiento en una articulación tan poco encajada como la rodilla? Ciertamente, intervienen **factores activos**; los extensores tiran de la tibia sobre el fémur hacia delante en la extensión (véase pág. 146) e inversamente los flexores hacen que la meseta tibial se deslice hacia atrás en la flexión; pero cuando se estudian los movimientos en una muestra anatómica, el papel de los **factores pasivos**, y más concretamente el de los ligamentos cruzados, predomina. *Los ligamentos cruzados solicitan a los cóndilos de forma que hacen que se deslicen sobre las glenoides en sentido inverso de su rodadura.*

Partiendo (Fig. 179) de la extensión (I), si el cóndilo rodara sin deslizarse debería retroceder a la posición (II) y la inserción femoral b del cruzado anteroexterno ab debería situarse en b', describiendo el supuesto trayecto bb', eventualidad ilustrada en la figura 108 (página 107), causa de las lesiones del cuerno posterior del menisco interno. Sin embargo, el punto b no puede desplazarse más que a lo largo de una circunferencia de centro y de radio ab (suponiendo que el ligamento sea inextensible), la consecuencia es que el trayecto real de b no es bb' sino bb'', lo que corresponde a la posición III del cóndilo, más anterior que la posición II de longitud e. Durante la flexión, el cruzado anteroexterno actúa y dirige el cóndilo hacia delante. Se puede entonces decir, que **el ligamento cruzado anteroexterno es responsable del deslizamiento del cóndilo hacia delante**, asociado a la rodadura hacia atrás.

Del mismo modo se puede demostrar (Fig. 180) el papel del cruzado posterointerno durante la extensión. Pasando de la posición I a la posición II por rodadura simple, el ligamento posterointerno cd desplaza el cóndilo hacia atrás, la trayectoria de su inserción femoral c no es ce' sino ce'' en una circunferencia de centro d y de radio dc. La consecuencia es que el cóndilo se desplaza una longitud f hacia atrás para situarse en una posición III. *Durante la extensión, el ligamento cruzado posterointerno es responsable del deslizamiento del cóndilo hacia atrás*, asociado a su rodadura hacia delante.

Esta demostración se puede retomar gracias a un modelo mecánico (véase modelo III al final de este volumen), que hace reaparecer la tensión alterna de los ligamentos representados por gomas elásticas.

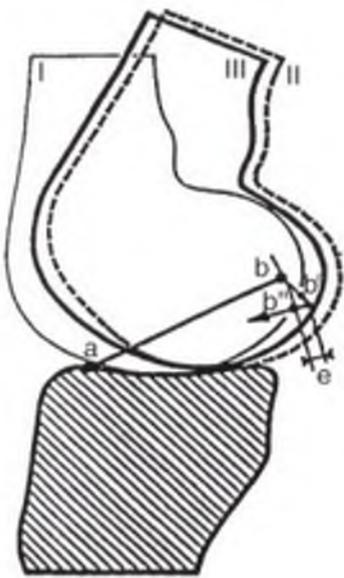
Los **movimientos de cajón** son *movimientos anormales de desplazamiento anteroposterior de la tibia sobre el fémur*. Se exploran en dos posiciones: con la rodilla flexionada en ángulo recto y con la rodilla en máxima extensión.

Con *la rodilla flexionada en ángulo recto* (Figura 183): el paciente en decúbito supino sobre un plano duro, la rodilla que se va a explorar en ángulo recto, el pie apoyado sobre la camilla; el examinador bloquea el pie del paciente sentándose encima, para a continuación sujetar con ambas manos la extremidad superior de la pierna; *traccionando* hacia sí, explora un *cajón anterior*, *empujando* hacia atrás explora un *cajón posterior*, esta exploración se debe realizar con el pie en rotación neutra *-cajón directo-*, el pie en rotación externa *-cajón en rotación externa-* y el pie en rotación interna *-cajón en rotación interna-*. Es preferible esta terminología a la denominación "cajón *rotatorio* externo o interno", que lleva implícito una idea de rotación durante el movimiento de cajón.

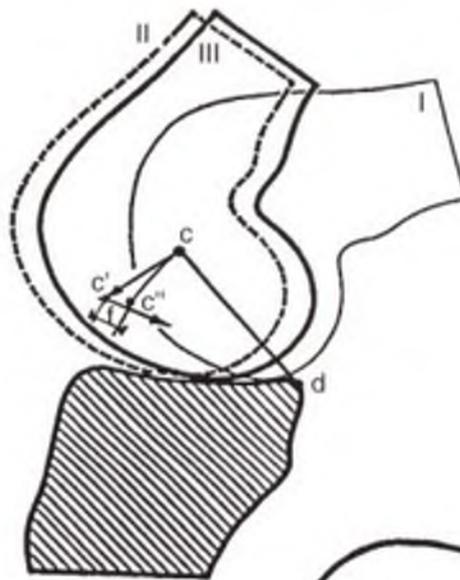
El **cajón posterior** (Fig. 181) se manifiesta por un desplazamiento de la tibia sobre el fémur *hacia atrás*; debido a una ruptura del cruzado posterointerno. La regla mnemotécnica es sencilla: **cajón posterior = cruzado posterior**.

El **cajón anterior** (Fig. 182) se traduce por un desplazamiento *hacia delante* de la tibia sobre el fémur debido a la ruptura del cruzado anteroexterno. **Cajón anterior = cruzado anterior**.

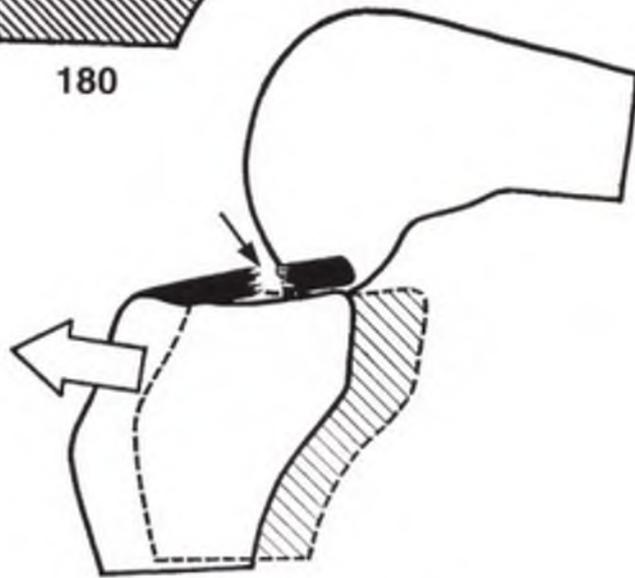
Con *la rodilla en extensión*, una mano sujeta la cara posterior del muslo mientras que la mano anterior, sujetando el extremo superior de la pierna, intenta movilizarla de delante atrás y viceversa: es el test de Lachmann-Trillat. Si se percibe un desplazamiento hacia delante, este "Lachmann anterior" es la prueba de una ruptura del LCAE, asociada por Bousquet a una ruptura de la capa fibrotendinosa posteroexterna (PAPE); esta exploración es complicada, puesto que el movimiento es de poca amplitud y, por consiguiente, difícil de afirmar.



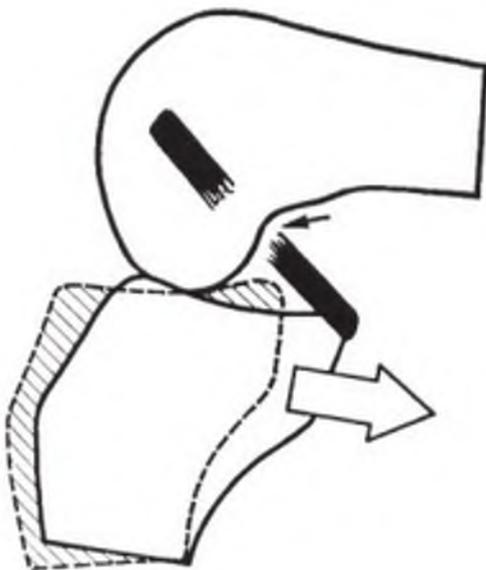
179



180



182



181



183

LA ESTABILIDAD ROTADORA DE LA RODILLA EN EXTENSIÓN

Ya se sabe que los movimientos de rotación longitudinal de la rodilla sólo son factibles cuando está flexionada. Sin embargo, en extensión máxima, la rotación longitudinal resulta imposible: **la tensión de los ligamentos cruzados y laterales lo impiden.**

En una visión anterior de la rodilla en rotación neutra (Fig. 184: las superficies se representan "separadas" debido a una "elasticidad" anormal de los ligamentos), *los ligamentos cruzados están bien cruzados el uno con respecto al otro*, y su doble oblicuidad, bien visible en una vista de plano (Fig. 185), hace que *esbozen un movimiento de enrollamiento* uno alrededor del otro.

Durante la **rotación interna** de la tibia sobre el fémur (Fig. 186: vista anterior), la dirección de los ligamentos es claramente *más cruzada en el plano frontal* (detalle), mientras que en el plano horizontal (Fig. 187: vista superior) *contactan entre sí a través de su borde axial* (detalle): de esta forma, se enrollan uno alrededor del otro (Fig. 188) y se *tensan mutuamente* (Fig. 189) como las cuerdas de un "torniquete", consiguiendo así la *aproximación de las superficies de la tibia y del fémur*, aunque la rotación interna se bloquee rápidamente.

Simultáneamente, como el centro de esta rotación —marcado con una cruz— (Fig. 187) no coincide con el centro de la articulación (de hecho corresponde a la vertiente interna de la espina tibial interna), este movimiento distiende el LCPI (–) y tensa el LCAE (+) así como su expansión hacia el cuerno anterior del menisco interno, que se desplaza hacia atrás.

Durante la **rotación externa** de la tibia sobre el fémur (Fig. 190: vista anterior), los ligamentos *tienen tendencia a convertirse en paralelos* (detalle), mientras que en el plano horizontal (Fig. 191: vista superior) están *más cruzados* pero *pierden el contacto* de su borde axial, distendiendo así el "torniquete" y permitiendo una *ligera separación* de las superficies articulares (Fig. 193). Por consiguiente, la rotación externa

no está limitada por la tensión de los ligamentos cruzados.

Sin embargo, el hecho de que el centro de rotación no coincida con el centro de la articulación (Fig. 191) determina, por razones inversas a la rotación interna, una distensión del LCAE (–) y una tensión del LCPI (+) al igual que el del freno meniscofemoral (flecha blanca) que se inserta en el cuerno posterior del menisco interno, desplazándolo hacia delante.

Los ligamentos cruzados impiden la rotación interna de la rodilla extendida.

La rotación interna tensa el LCAE y distiende el LCPI.

La rotación externa tensa el LCPI y distiende el LCAE.

Donald B. Slocum y Robert L. Larson (J. Bone and Joint Surg. Mars 68), analizaron la *estabilidad rotadora de la rodilla flexionada* en los deportistas, y en particular en los futbolistas, que cuando giran bruscamente hacia el lado opuesto de la pierna en carga solicitan bruscamente su rodilla en rotación externa. Estos autores han demostrado la función tan relevante que desempeña la *parte interna de la cápsula*:

- su tercio anterior está excesivamente expuesto a la ruptura si el traumatismo en valgus-rotación externa ocurre con la rodilla flexionada de 30 a 90°;
- su tercio posterior es vulnerable siempre que la rodilla está extendida;
- su tercio medio, asimilado a un haz profundo del ligamento lateral interno, se rompe cuando el traumatismo ocurre con la rodilla en flexión de 30 a 90°.

Por otra parte, si la rodilla está flexionada a 90° o más, el *ligamento cruzado anteroexterno* comienza a distenderse durante los 15-20 primeros grados de rotación externa, para a continuación tensarse e incluso romperse enrollándose en la cara axial del cóndilo externo si la rotación externa continúa.

Finalmente, la *mitad posterior del menisco interno*, mediante sus conexiones capsulares con la tibia, puede impedir, por sí sola, la rotación externa con la rodilla flexionada.

En conclusión, un traumatismo en valgus-rotación externa con la rodilla flexionada conlleva sucesivamente y siguiendo una fuerza creciente:

- una ruptura del tercio anterior de la cápsula,
- una ruptura del ligamento lateral interno, comenzando con la capa profunda primero y continuando con las fibras superficiales,
- una ruptura del ligamento cruzado anteroexterno,
- una desinserción del menisco interno.



185



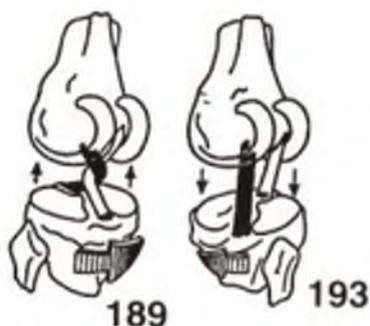
184



190



186



189

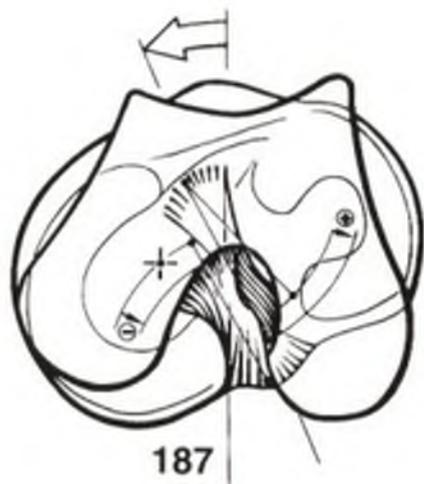
193



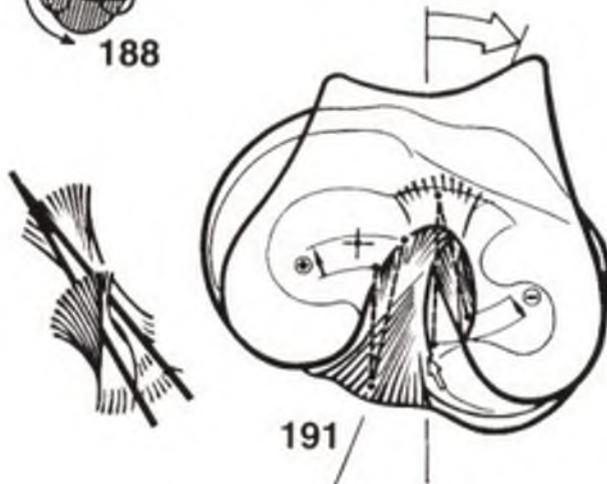
188



192



187



191



ESTABILIDAD ROTADORA DE LA RODILLA EN EXTENSIÓN

(continuación)

La función de los **ligamentos laterales** en la estabilidad rotadora de la rodilla se puede explicar por razones simétricas.

En posición de **rotación neutra** (Fig. 194: vista superior, cóndilos transparentes), la oblicuidad del LLI hacia abajo y hacia delante, y del LLE hacia abajo y hacia atrás, hace que esbocen un movimiento de enrollamiento alrededor de la porción superior de la tibia.

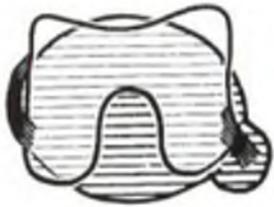
La **rotación interna** (Fig. 195) se opone a este enrollamiento, y disminuye la oblicuidad de los ligamentos laterales, aunque su tendencia sea la de convertirse en paralelos (Fig. 196: vista posterointerna: superficies "separadas"); como el enrollamiento disminuye, las superficies articulares están menos coaptadas por los ligamentos

laterales (Fig. 197) —mientras que están más coaptadas por los ligamentos cruzados—. El "juego" que permite la distensión de los ligamentos laterales se compensa por la tensión de los cruzados.

A la inversa, la **rotación externa** (Fig. 198) acentúa el enrollamiento (Fig. 200), con lo que las superficies articulares se aproximan (Fig. 200) y se limita el movimiento, mientras que los cruzados se distienden.

Los ligamentos laterales limitan la rotación externa, los cruzados la rotación interna.

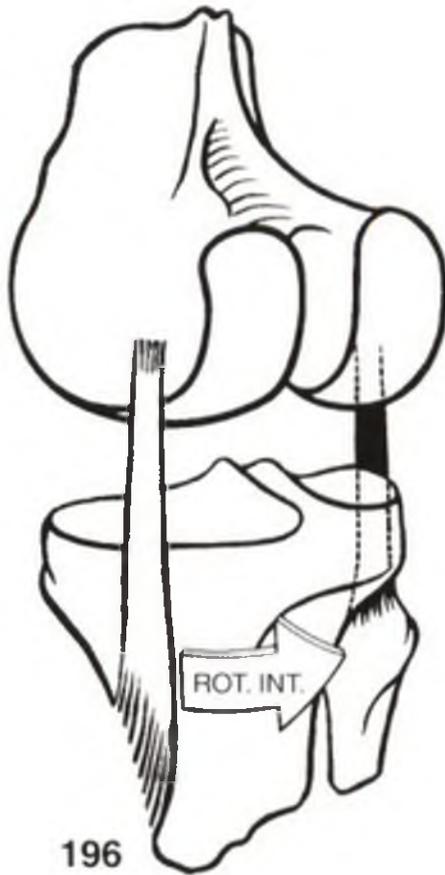
La estabilidad rotatoria de la rodilla en extensión está asegurada tanto por los ligamentos laterales como por los ligamentos cruzados.



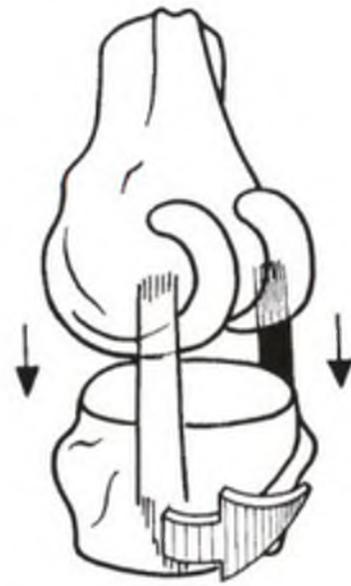
194



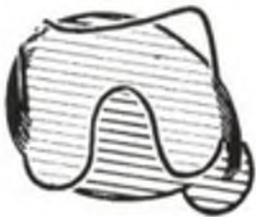
195



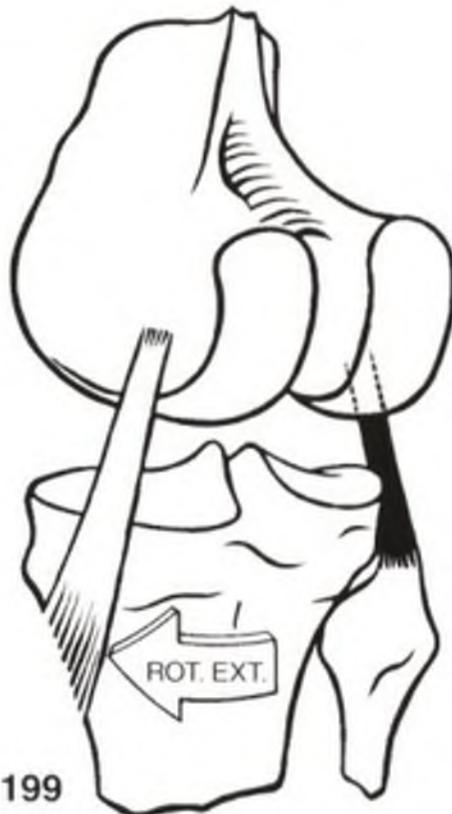
196



197



198



199



200

LOS TESTS DINÁMICOS EN ROTACIÓN INTERNA

Junto con los tests estáticos de estabilidad de la rodilla, tan clásicos como la exploración de la lateralidad o del cajón, se han consensuado *tests dinámicos de estabilidad* (o de inestabilidad) que pretenden la aparición de un movimiento anormal incluso en el transcurso de un movimiento de prueba. Estos tests dinámicos de inestabilidad son numerosos (¡cada escuela de cirugía de la rodilla propone uno nuevo en cada congreso!), por lo que es necesario intentar clasificarlos y, sobre todo, recalcar los más significativos.

Lo más práctico es clasificar estos tests dinámicos en dos grupos:

- los tests en valgus-rotación interna y
- los tests en valgus-rotación externa.

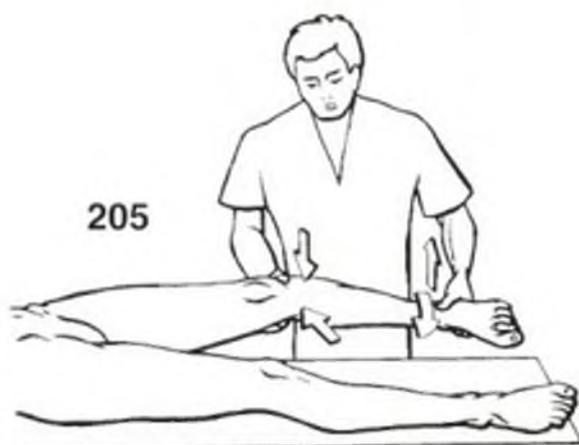
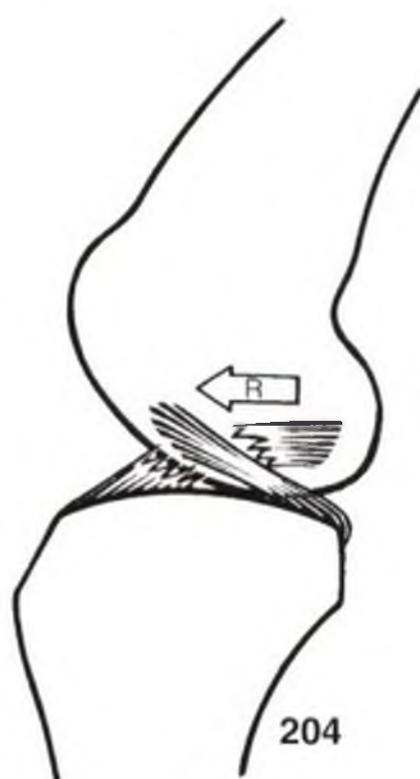
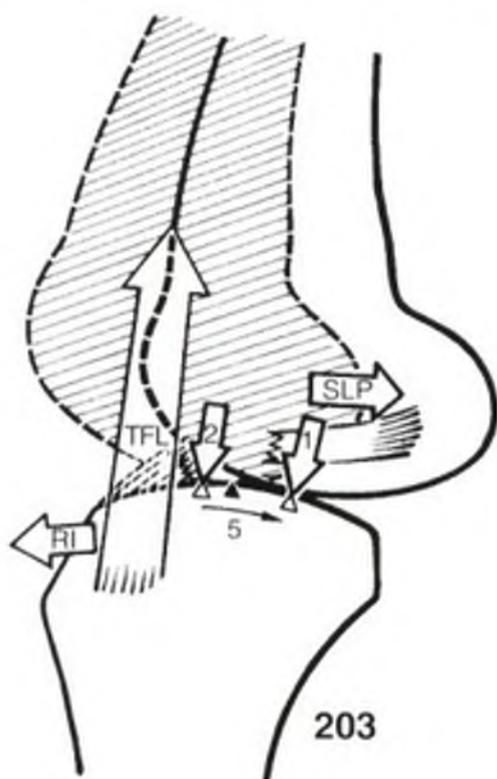
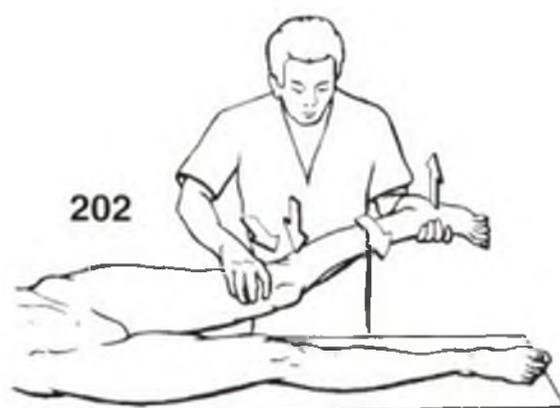
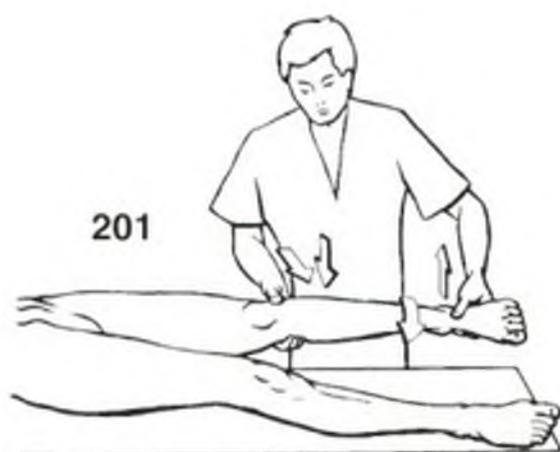
En primer lugar se analizarán los **tests dinámicos en valgus-rotación interna**.

El **test de Mac-Intosh** o lateral Pivot Shift Test es de los más conocidos y utilizados. Se puede explorar con el paciente en decúbito supino (Fig. 201) o en inclinación de 45° (Fig. 202). En el primer caso (Fig. 201), la mano que sujeta el pie lo coge por la planta forzando una rotación interna, mientras que el propio peso del miembro añade un valgus a la rodilla. En el segundo caso (Fig. 202), la mano sujeta el pie por la cara anterior del tobillo pasando por detrás del mismo y provocando una rotación interna mediante la extensión de muñeca. La *posición de partida* de la rodilla es la *extensión* (Fig. 201), la mano libre empuja entonces la rodilla hacia delante para esbozar la *flexión* y hacia abajo para acentuar el *valgus*. Durante este movimiento de flexión (Fig. 202), hacia los 25-30°, después de haber hecho frente a una *resistencia*, se percibe de repente un *desbloqueo*, mientras que se aprecia y se observa al cóndilo femoral externo saltar

literalmente por delante de la meseta tibial externa.

La positividad del test de Mac-Intosh, a saber la existencia de un resalte externo en rotación interna, diagnostica **una ruptura del LCAE**. De hecho, el LCAE al limitar la rotación interna si la rodilla está en extensión y rotación interna (Fig. 203), el cóndilo femoral externo se subluxa posteriormente (SLP) sobre la vertiente posterior (1) del dorso de asno de la glenoide externa; se mantiene en esta situación por el tensor de la fascia lata (TFL) y el valgus que coaptan el cóndilo sobre la glenoide. Mientras que la fascia lata pasa por delante del dorso de asno, el cóndilo permanece bloqueado en subluxación posterior, pero tan pronto se sobrepase este punto debido a una flexión creciente (Fig. 204), el cóndilo supera el vértice (S) y se bloquea por delante (2), sobre la vertiente anterior en donde permanece retenido (Fig. 204) por el LCPI. Un hecho importante es la sensación de resalte que percibe espontáneamente el paciente.

El *jerk test de Hughston* es el inverso del Mac-Intosh. Se explora también con el paciente en decúbito supino simétrico (Fig. 205) o en un decúbito intermedio (Fig. 206), con una inclinación de 45°, con las mismas posiciones de las manos. La diferencia está en que la posición de partida es de *flexión* de 35-40° *para extender de nuevo la rodilla*, manteniendo la rotación interna del pie y la limitación en valgus de la rodilla. El cóndilo femoral externo parte, pues, de su posición (Fig. 203) más "avanzada" (en punteado) correspondiendo a un contacto (2) con la vertiente anterior de la glenoide externa, para "saltar" bruscamente (1) en subluxación posterior, no viéndose retenido por el LCAE cuando se aproxima a la extensión. La positividad del *jerk test* también indica una ruptura del LCAE.



LOS TESTS DINÁMICOS DE RUPTURA DEL LCAE

(continuación)

Aunque los tests de Mac-Intosh y de Hughston son los más utilizados, los más fáciles de explorar y los más fiables, no son los únicos que permiten diagnosticar una ruptura del LCAE. Se pueden utilizar tres tests más; se trata de los tests de Losee, Noyes y Slocum.

El **test de Losee** (Fig. 207) se explora con el sujeto en decúbito supino, el examinador sujeta con una mano el talón manteniendo la *rodilla flexionada a 30°*, con la otra mano sostiene la rodilla por su cara anterior, enganchando su pulgar en la cabeza del peroné. Simultáneamente realiza una rotación externa con la primera mano, lo que impide cualquier subluxación posterior del cóndilo externo, y un valgus con la otra mano; conduce entonces la rodilla en extensión relajando la rotación externa —este último punto es muy importante, ya que de lo contrario sería en todos los casos negativo—. Mientras se completa la extensión, el pulgar de la mano que sujeta la rodilla desplaza el peroné hacia delante; cuando el test es positivo, se produce *un resalte de la meseta tibial hacia delante al final de la extensión*.

El **test de Noyes** (Fig. 208), o *flexion rotation drawer test*, se explora también con el paciente en decúbito supino, con la *rodilla flexionada* de 20 a 30° y *rotación neutra*, las manos del examinador se limitan a sujetar la pierna, y es únicamente el peso del muslo el que provoca una *subluxación posterior del cóndilo externo* (1) y una *rotación externa del fémur*. Es posible reducir esta subluxación *empujando hacia atrás* (2) *la porción superior de la tibia*, como cuando se

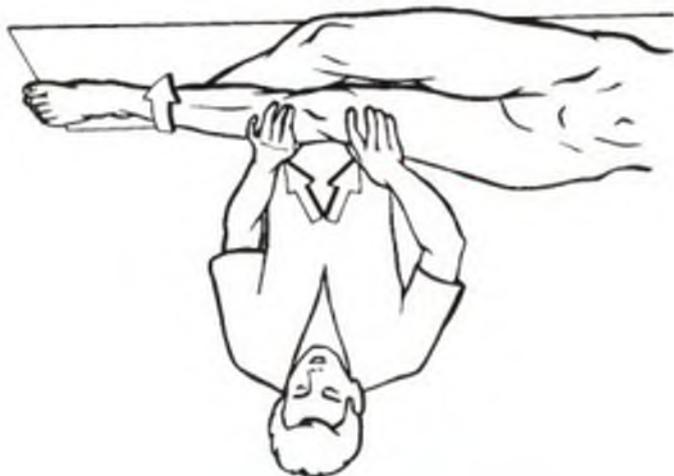
explora un cajón posterior, de ahí el nombre inglés de este test que indica el también un ruptura del LCAE.

El **test de Slocum** (Fig. 109) se explora con el paciente en decúbito supino, semigirado hacia el lado opuesto y con el miembro a explorar sobre la camilla; de esta forma, cuando la rodilla está en extensión, el propio peso de la pierna provoca un valgus automático —rotación interna—; el hecho de no tener que sujetar el miembro es de gran ayuda en los pacientes obesos. Las dos manos del examinador se colocan en la rodilla, a uno y otro lado de la interlínea, de forma que se puede flexionar progresivamente, mientras se acentúa el valgus. Como en el test de Mac-Intosh, aparece un resalte en los 30-40° de flexión, y como en el test de Hughston, se reproduce en sentido inverso cuando la rodilla se extiende. Este test de Slocum también diagnostica una ruptura del LCAE.

Aunque los cinco tests sean indicativos de una ruptura del LCAE, *existen dos excepciones donde no son exactos:*

- *en el caso de las adolescentes hiperlaxas:* pueden ser positivos sin existir una ruptura del ligamento, de ahí la necesidad de explorar también el lado opuesto que puede ser también hiperlaxo;
- *una lesión importante de la capa fibrotendinosa posterointerna impide el bloqueo del cóndilo externo* bajo la acción del valgus y puede dificultar la constatación de un resalte.

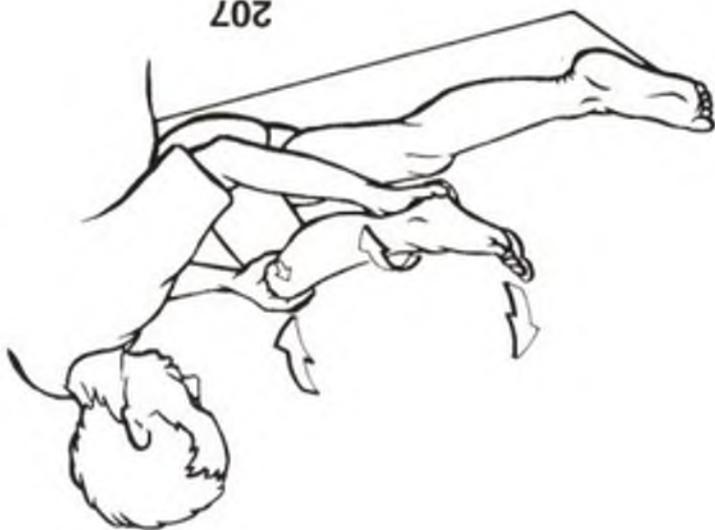
209



208



207



LOS TESTS DINÁMICOS EN ROTACIÓN EXTERNA

La exploración de una rodilla no sería completa sin los tests dinámicos en rotación externa, que buscan **un resalte externo en rotación externa**.

El **test en rotación externa, valgus y extensión** o *pivot shift reverse test* (Fig. 210) está constituido por la misma maniobra que el test de Mac-Intosh, donde la rotación interna se reemplaza por la rotación externa de la pierna realizada por la mano que sujeta el pie; partiendo de una flexión entre 60-90°, la extensión progresiva combinada con una presión continua en la cara externa de la rodilla siempre consigue que la extensión no supere los 30° (Fig. 211), produciéndose un resalte brusco del cóndilo femoral externo hacia la pendiente posterior de la glenoide tibial externa.

De hecho, cuando la rodilla está flexionada, en rotación externa (Fig. 212), el cóndilo externo, que ya no está retenido por la tensión del LCPI en rotación externa (RE) se subluxa hacia delante (SLA) sobre la pendiente anterior del dorso de asno de la glenoide externa (flecha 1); durante la extensión progresiva (Fig. 213), la cintilla de Maissiat (TFL) pasa por delante del punto de contacto entre el cóndilo y la glenoide, aunque el cóndilo externo esté desplazado hacia atrás (Fig. 212) en su posición normal (punteado), sobrepasando bruscamente el punto más prominente del dorso de asno para contactar (flecha 2) con la vertiente posterior de la glenoide. La percepción del resalte, por el propio enfermo en ocasión de los episodios de inestabilidad y por el examinador cuando realiza esta maniobra, se debe a la *reducción brusca de la subluxación anterior del cóndilo externo*, lo que es posible debido a la **ruptura del LCPI**.

El **test en rotación externa, valgus y flexión** (Fig. 214) se explora con la misma maniobra, pero *partiendo de la máxima extensión*: el resalte que se percibe cuando la flexión alcanza los 30° corresponde (Fig. 212) a la subluxación anterior (SLA) del cóndilo externo que salta bruscamente (S) de su posición normal (flecha 2) en la pendiente posterior de la glenoide externa a una posición anormal (flecha 1) en la vertiente anterior, lo que es posible gracias a la ruptura del LCPI.

Otros tres tests permiten diagnosticar una *lesión de la capa fibrotendinosa posteroexterna* (o PAPE) y *del LLE en ausencia de ruptura del LCPI*.

El **test del cajón posteroexterno** o *postero-lateral drawer test* de Hugston: los pies se apoyan planos en la camilla, las caderas flexionadas 45° y las rodillas 90°. Sentándose sobre el pie del paciente, el examinador puede bloquear la rotación de la rodilla sucesivamente en rotación neutra, externa 15° e interna 15°. Sujetando con ambas manos la porción superior de la tibia, se busca un cajón posterior en sus tres posiciones. El test es positivo cuando se aprecia una *subluxación posteroexterna de la meseta tibial externa, mientras que la meseta interna no retrocede* —es, por lo tanto, un verdadero cajón rotador— por la rotación externa del pie. Este cajón rotatorio externo se detiene en rotación neutra y desaparece en rotación interna por la puesta en tensión del LCPI intacto.

El **test en hipermovilidad externa de Bousquet** o HME se explora con la *rodilla flexionada a 60°*; al añadir una presión en la porción superior de la tibia para intentar que se deslice hacia abajo y por detrás de los cóndilos, se percibe un resalte posterior mientras que el pie gira en rotación externa. Por lo tanto, también en este caso se trata de un *verdadero cajón rotador externo*.

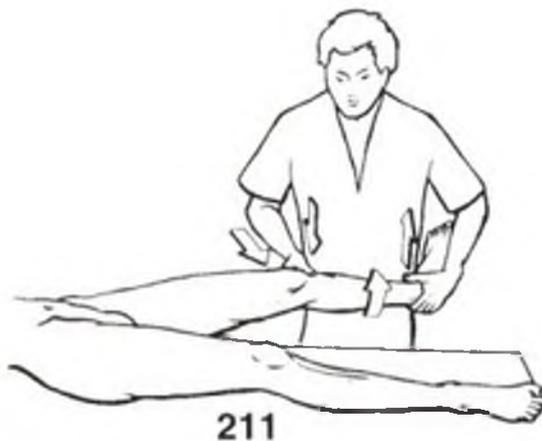
El **test de recurvatum y rotación externa** se puede explorar de dos formas, procurando, en ambos casos, una buena relajación del cuádriceps:

- *en extensión*: ambos miembros inferiores, sujetos por el antepié, se elevan en extensión, lo que comporta, en el miembro lesionado, un recurvatum y una rotación externa, representados por un desplazamiento del TTA hacia fuera; la subluxación posteroexterna de la meseta tibial externa conlleva un genu varum.
- *en flexión*: mientras que una mano sujeta el pie y dirige progresivamente la rodilla hacia la extensión, la mano que sostiene la rodilla percibe la subluxación posteroexterna de la tibia representada por un recurvatum, un genu varum y un desplazamiento hacia fuera de la TTA.

Todos estos tests, a menudo difíciles de demostrar sobre un paciente despierto con una relajación muscular imperfecta, aparecen con toda claridad bajo anestesia.



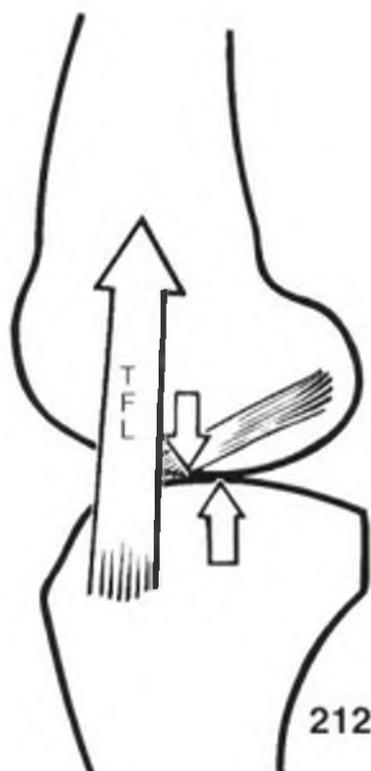
210



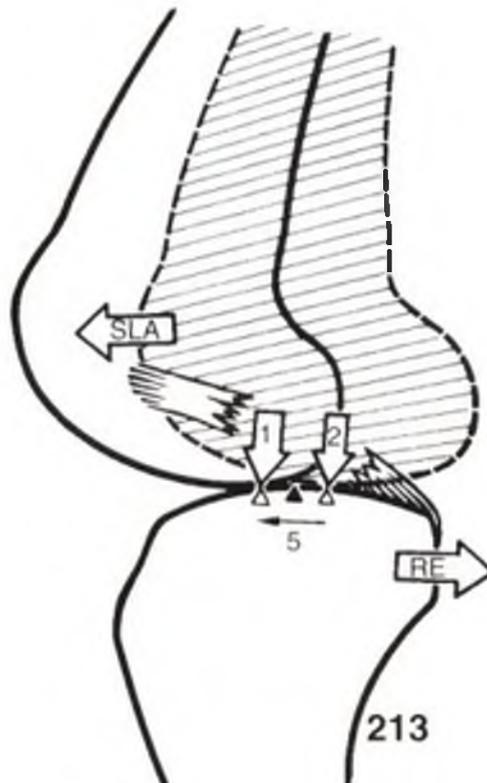
211



214



212



213

LOS MÚSCULOS EXTENSORES DE LA RODILLA

El **cuádriceps crural** es el músculo **extensor de la rodilla**. Se trata de un *músculo potente: su superficie de sección fisiológica es de 148 cm²*, lo que en un recorrido de 8 cm le confiere una potencia de trabajo de 42 kgm. El *cuádriceps es tres veces más potente que los flexores*; el hecho de que deba luchar contra la gravedad lo explica. Sin embargo, se pudo constatar con anterioridad que cuando la rodilla está en hiperextensión la acción del cuádriceps no es necesaria para mantener la bipedestación (véase pág. 120); pero tan pronto se inicia una mínima flexión, una intervención enérgica del cuádriceps se hace necesaria para evitar la caída por flexión de la rodilla.

El cuádriceps (Fig. 215) está constituido, como su nombre indica, por *cuatro cuerpos musculares* que se insertan mediante un aparato extensor, en la tuberosidad tibial anterior (TTA):

- tres músculos monoarticulares: el **crural** (Cr), el **vasto externo** (VE) y el **vasto interno** (VI);
- un músculo biarticular: el **recto anterior** (RA), cuya fisiología, un tanto específica, se analizará en la página siguiente.

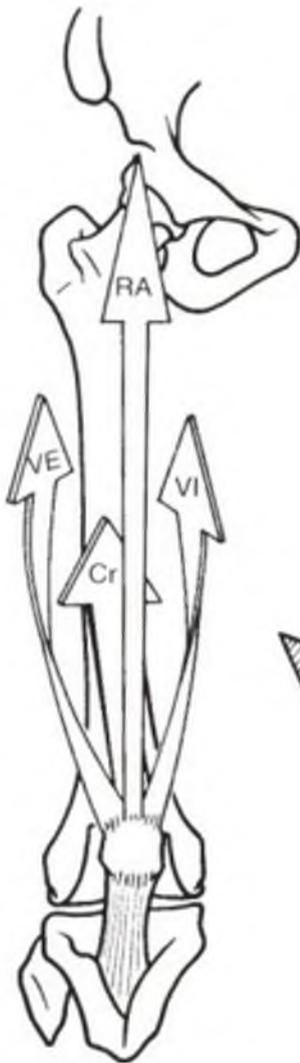
Los tres músculos monoarticulares son únicamente *extensores de rodilla*, aunque tienen un componente lateral, en lo referente a ambos vastos: es necesario recalcar, a propósito del vasto interno, que es más potente que el externo, desciende más abajo y que su relativo predominio está destinado a oponerse a la tendencia que tiene la rótula a luxarse hacia fuera. La contracción de ambos vastos, generalmente equilibrada, engendra una *fuerza resultante* dirigida hacia arriba, en el eje del muslo. Pero si uno de los vastos predominara sobre el otro, como sería el caso de un vasto externo predominante sobre un vasto interno insuficiente, la rótula se "escaparía" hacia fuera: éste es uno de los mecanismos causantes de la *luxación recidivante de la rótula*, que sin lugar a dudas es siempre externa. Por el contrario, es posible evitar la subluxación externa de la rótula reforzando selectivamente el vasto interno.

La rótula es un hueso sesamoideo perteneciente al aparato extensor de la rodilla entre el tendón cuadricepsital por arriba y el ligamento rotuliano por abajo. Su función es primordial, ya que aumenta la eficacia del cuádriceps desplazando hacia delante su fuerza de tracción. No hay más que trazar el esquema de las fuerzas con y sin rótula para convencerse.

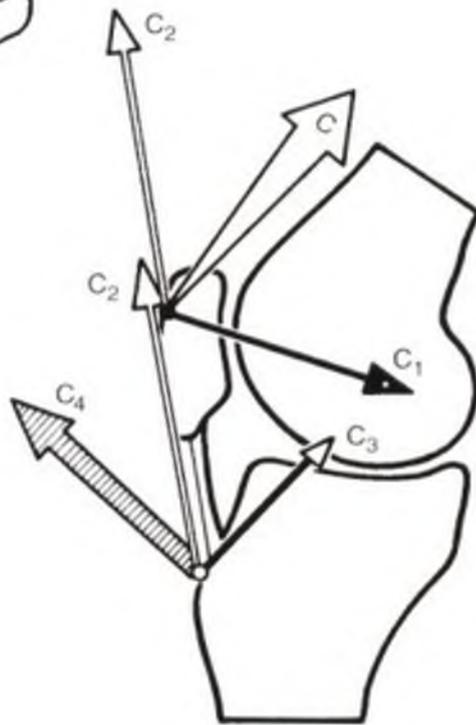
La fuerza C del cuádriceps efectuada sobre la rótula (Fig. 216) se puede descomponer en *dos vectores*: una fuerza C₁, dirigida hacia el eje de flexoextensión, que encaja la rótula en la tróclea, y una fuerza C₂, dirigida en la prolongación del ligamento rotuliano. A su vez, esta fuerza C₂ aplicada sobre la tuberosidad anterior de la tibia puede descomponerse en *dos vectores perpendiculares entre ellos*: una fuerza C₃ dirigida hacia el eje de flexoextensión, que encaja la tibia sobre el fémur, y una fuerza tangencial C₄, *único componente eficaz para realizar la extensión*: hace que la tibia se deslice hacia delante sobre el fémur.

Si se extirpa la rótula —operación denominada "patelectomía"— y se sigue el mismo razonamiento (Fig. 217): la fuerza C del cuádriceps, suponiendo que sea idéntica, se dirige tangencialmente a la tróclea y directamente sobre la tuberosidad tibial anterior; se puede descomponer en dos vectores: C₅, fuerza de coaptación que encaja la tibia sobre el fémur, y C₆, fuerza eficaz para la extensión; el componente tangencial C₅ disminuye considerablemente mientras que el componente centrípeto C₆ aumenta.

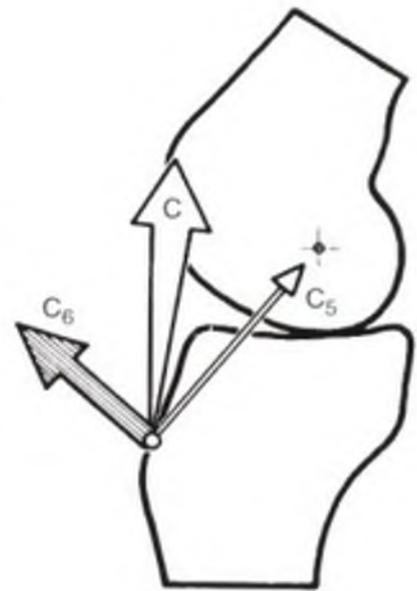
Si ahora se comparan las fuerzas eficaces en ambas hipótesis (Fig. 218), se puede constatar que C₆ es 50% mayor que C₄: *distanciando el tendón cuadricepsital como un caballete, la rótula aumenta claramente la eficacia del cuádriceps*. También se puede constatar que en ausencia de rótula la fuerza de coaptación C₅ aumenta, pero este efecto favorable se ve contrarrestado por la *pérdida de amplitud de la flexión*, debido tanto al acortamiento del aparato extensor como a su *fragilidad*. Por lo tanto, la rótula es sumamente útil, lo que explica la mala reputación y la rareza de la patelectomía.



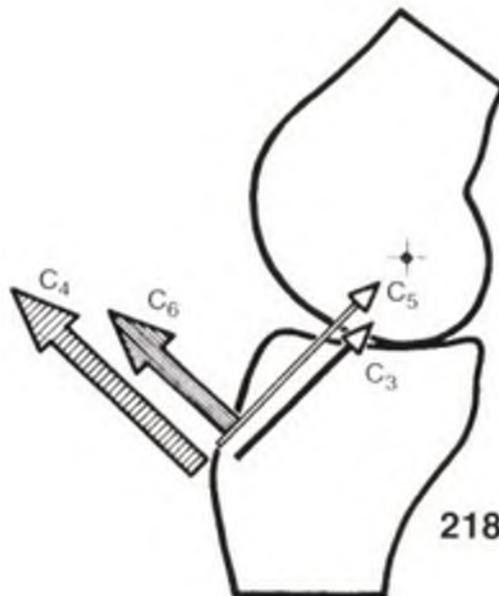
215



216



217



218

FISIOLÓGIA DEL RECTO ANTERIOR

El recto anterior no representa más que la *quinta parte* de la fuerza total del cuádriceps y no puede realizar por sí mismo la extensión máxima, pero el ser un músculo biarticular le confiere un interés especial.

Gracias a su trayecto por delante del eje de flexoextensión de la cadera y del de la rodilla, el recto anterior es tanto *flexor de cadera como extensor de rodilla* (Fig. 220), pero su eficacia como extensor de rodilla depende de la posición de la cadera, al igual que su acción como flexor de cadera está supeditada a la posición de la rodilla. Esto se debe (Fig. 219) a que la distancia entre la espina ilíaca anterosuperior (a) y el borde superior de la tróclea es menor en flexión (ab) que en extensión (ab). Esta diferencia de longitud (e) determina un *alargamiento relativo* del músculo cuando la cadera está en flexión y la rodilla se flexiona por el simple peso de la pierna (II); en estas condiciones, para obtener la extensión de rodilla (III), los otros tres haces del cuádriceps son mucho más eficaces que el recto anterior, ya distendido por la flexión de cadera.

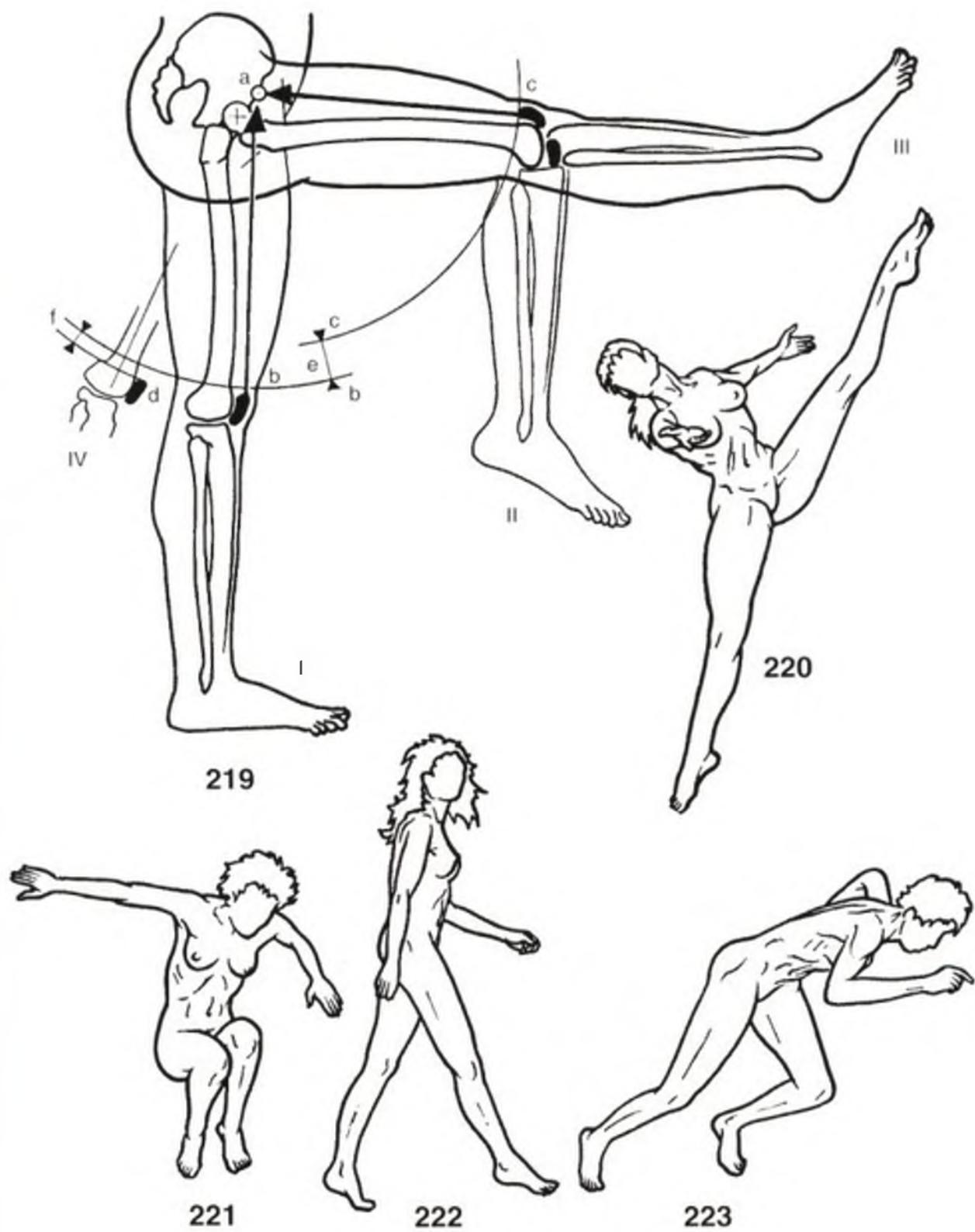
Si, por el contrario, la cadera pasa de una posición de alineación normal (I) a la extensión (IV), la distancia entre las dos inserciones del recto anterior aumenta (ad) una longitud determinada (f) que tensa el recto anterior (acortamiento relativo), y aumenta otro tanto su eficacia. Esto mismo es lo que sucede durante la marcha o la carrera, al distender el miembro posterior (Fig. 223): por la acción de los glúteos la cadera se extiende en tanto que la rodilla y tobillo también se extienden: el cuádriceps desarrolla entonces su máxima potencia, gracias a la eficacia aumentada del recto anterior. *El glúteo mayor es sinérgico-*

antagonista del recto anterior: antagonista en lo que respecta a la cadera y sinérgico en la rodilla.

En la fase de apoyo unilateral de la marcha, cuando *se avanza el miembro oscilante* (Fig. 222), el recto anterior se contrae para realizar a la vez la flexión de cadera y la extensión de rodilla. Se constata entonces que la condición biarticular del recto anterior es útil en los dos tiempos de la marcha: en la fase de impulso del miembro posterior y en la fase de avance del miembro oscilante.

Durante la incorporación de cuclillas a bipedestación, el recto anterior desempeña un papel muy importante, puesto que es el único de los cuatro haces del cuádriceps que no pierde su eficacia durante el movimiento. De hecho, mientras la rodilla se extiende, la cadera, bajo la acción del glúteo mayor, también se extiende, *con lo que se tensa de nuevo el recto anterior en su inserción superior*, conservando así una longitud constante al inicio de la acción. En este caso se constata de nuevo la función ejercida como transmisor de fuerza por un músculo potente de la raíz del miembro, el glúteo mayor, sobre una articulación más distal, la rodilla, mediante un músculo biarticular, el recto anterior.

Por último, a la inversa, la flexión de la rodilla bajo la acción de los isquiotibiales favorece la flexión de la cadera por el recto anterior. Esto puede ser útil en el salto, con las rodillas flexionadas (Fig. 221): los rectos anteriores participan muy eficazmente en la flexión de las caderas. Es otro ejemplo de nexo antagonismo-sinergia entre los isquiotibiales, que son flexores de rodilla y extensores de cadera, y el recto anterior, que es flexor de cadera y extensor de rodilla.



LOS MÚSCULOS FLEXORES DE LA RODILLA

Los flexores de la rodilla forman parte del **compartimento posterior del muslo** (Fig. 224), se trata de los *músculos isquiotibiales*: bíceps crural (B), semitendinoso (ST), semimembranoso (SM), *los músculos de la pata de ganso*: recto interno (Ri), sartorio (Sa) y el semitendinoso (que también forma parte de los isquiotibiales), el *poplíteo* (véase pág. siguiente); los gemelos (Ge) no son realmente flexores de la rodilla, sino extensores del tobillo (véase pág. 218).

Sin embargo, los **gemelos** desempeñan un papel importante en la estabilización de la rodilla: se insertan por arriba de los cóndilos, cuando se contraen, durante la fase de paso, es decir cuando la rodilla y el tobillo se extienden a la vez, desplazan los cóndilos hacia delante, de forma que son *antagonistas-sinergistas* del cuádriceps.

Todos estos músculos, excepto dos, son biarticulares: la porción corta del bíceps y el poplíteo que son monoarticulares (véase página siguiente). Por lo tanto, los flexores biarticulares poseen una acción simultánea de extensión de la cadera y su acción sobre la rodilla depende de la posición de la cadera.

El **sartorio** (Sa) es flexor, abductor y rotador externo de la cadera, a la par que *flexor y rotador interno de la rodilla*.

El **recto interno** (Ri) es ante todo aductor y accesorio de la flexión de cadera, al mismo tiempo que flexor de la rodilla, de forma que también forma parte de los rotadores internos (véase pág. 152).

Los **isquiotibiales** son tanto extensores de cadera (véase pág. 52) como flexores de rodilla, y su acción en la rodilla está condicionada por la posición de la cadera (Fig. 225). Cuando la cadera se flexiona, la distancia ab que separa las inserciones de estos músculos aumenta regularmente, puesto que el centro de la cadera O, alrededor del cual gira el fémur, no se confunde con el punto a,

alrededor del cual se orientan; de este modo, cuanto más se flexiona la cadera mayor es el acortamiento relativo de los isquiotibiales y *más se tensan*. Cuando la cadera está flexionada 40° (posición II), el acortamiento relativo todavía se puede compensar mediante la *flexión pasiva de la rodilla* ($ab = ab^*$), pero en el caso de una flexión de 90° (posición III) el acortamiento relativo es tal, que aunque la rodilla esté flexionada en ángulo recto, todavía persiste un acortamiento relativo importante (f). Si la flexión de la cadera sobrepasa los 90° (posición IV), se hace muy difícil mantener las dos rodillas (Fig. 226) en máxima extensión: la elasticidad de los músculos, que disminuye notablemente con la falta de ejercicio, apenas absorbe el acortamiento relativo (g). **La puesta en tensión de los isquiotibiales por la flexión de la cadera aumenta la eficacia de estos músculos como flexores de la rodilla**: cuando, en una escalada (Fig. 227), se adelanta uno de los miembros inferiores, la flexión de la cadera favorece la flexión de la rodilla. A la inversa, la extensión de la rodilla favorece la acción de los isquiotibiales como extensores de cadera: es lo que se produce durante los esfuerzos de enderezamiento del tronco a partir de una posición de inclinación hacia delante (Fig. 226), y también durante la escalada, cuando el miembro inferior, situado anteriormente, pasa a ser posterior.

Si ahora (Fig. 225) se extiende completamente la cadera (posición V), los isquiotibiales se *elongan relativamente* (e), lo que explica que la flexión de rodilla sea menos intensa (véase Fig. 13); esto recalca la *utilidad de los músculos monoarticulares* (poplíteo y porción corta del bíceps), que conservan la misma eficacia independientemente de la posición de la cadera.

La potencia global de los flexores de rodilla es de 15 kgm, es decir un poco más del tercio de la del cuádriceps.

LOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE LA RODILLA

Además de sus variaciones fisiológicas según el sexo, el **ángulo de valgus** sufre **variaciones patológicas** según los individuos (Fig. 4).

Cuando el citado ángulo se invierte se trata de un *genu varum* (lado izquierdo de la Fig. 4); habitualmente se dice que el individuo es **patituerto** (Fig. 6); el centro de la rodilla, representado por la escotadura interespinosa de la tibia y la escotadura intercondílea del fémur, se desplaza hacia fuera. El *genu varum* se puede apreciar de **dos formas**:

- por la **medición del ángulo** entre el eje dialisario del fémur y el de la tibia: *es más grande* que su valor fisiológico de 170°, por ejemplo, 180 o 185°, lo que representa una inversión del ángulo obtuso;
- por la **medición del desplazamiento externo** (Fig. 5) del centro de la rodilla con respecto al eje mecánico del miembro inferior, por ejemplo 10-15 o 20 mm. Se anota D.E. = 15 mm.

Por el contrario, cuando el ángulo de valgus se "cierra", corresponde al **genu valgum** (miembro derecho de la Fig. 4): se dice entonces que el individuo es "**patizambo**" (Fig. 8). También hay dos métodos posibles para detectar el **genu valgum**:

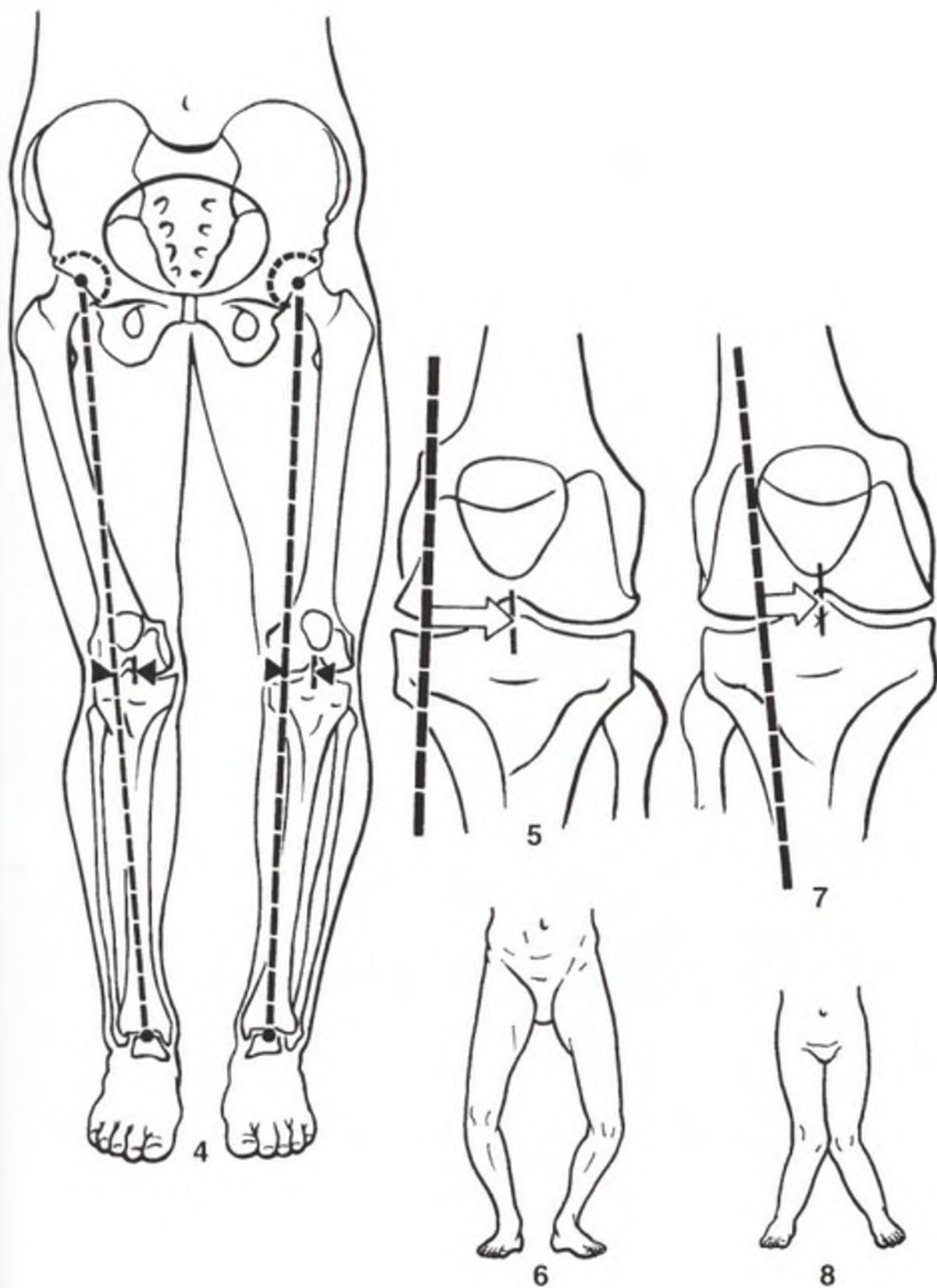
- por la **medición del ángulo** de ejes diafisarios, cuyo valor está entonces por debajo del ángulo fisiológico de 170°: por ejemplo 165°.
- por la **medición del desplazamiento interno** (Fig. 7) del centro de la rodilla con respecto al eje mecánico del miembro inferior, por ejemplo 10-15 o 20 mm. Se anota D.I = 15 mm.

La medición del **desplazamiento externo o interno** es más rigurosa que la del ángulo de valgus, pero requiere excelentes radiografías de **conjunto de los miembros inferiores** denominadas "de goniometría" (Fig. 4). En este esquema, colmo de la mala suerte, el individuo presenta un genu

valgum a la derecha y un genu varum a la izquierda. Esta circunstancia es extraña, ya que en la mayoría de los casos la deformación es parecida y bilateral, pero no obligatoriamente simétrica, puesto que una rodilla puede estar más desviada que la otra; sin embargo, existen casos muy raros de desviación en "ráfaga", las dos rodillas del mismo lado, como se muestra en el esquema: ésta es una situación muy incómoda, provocando un desequilibrio del lado del genu valgum; se puede encontrar este caso, cuando tras una osteotomía, se ha hiper-correctado un genu varum en genu valgum; es preciso entonces operar rápidamente el otro lado para restablecer el equilibrio.

Las desviaciones laterales de las rodillas no son anodinas, puesto que con el tiempo pueden generar una artrosis; de hecho, las cargas ya no están repartidas con igualdad entre los compartimentos externo e interno de la rodilla, resultando un desgaste prematuro del compartimento interno, **artrosis femorotibial interna**, en el genu varum, o mediante el mismo mecanismo, **una artrosis femorotibial externa** en el genu valgum; esto puede llevar a realizar, en el primer caso **una osteotomía tibial (o femoral) de valgización** y en el segundo caso, **una osteotomía tibial (o femoral) de varización**.

En la actualidad, en previsión de tales problemas, se le da mucha importancia a la vigilancia de las desviaciones laterales de las rodillas en los niños pequeños. Esto obedece a que el genu valgum bilateral es muy frecuente en los niños, y aunque desaparece progresivamente durante el crecimiento, es necesario hacer un seguimiento de esta evolución favorable mediante radiografías de conjunto de los miembros inferiores, ya que si persistiera una desviación importante al finalizar la infancia, convendría valorar una intervención por epifisiodesis tibiofemoral interna en el caso de genu valgum, o externa en caso de genu varum, que se debería realizar antes de que finalizara el crecimiento, puesto que estas operaciones interrumpen el crecimiento de un lado de la rodilla en beneficio del lado "más desviado".



LOS MOVIMIENTOS DE FLEXOEXTENSIÓN

La flexoextensión es el movimiento principal de la rodilla. Su amplitud se mide a partir de la posición de referencia definida de la siguiente manera: *el eje de la pierna se sitúa en la prolongación del eje del muslo* (Fig. 9, pierna izquierda). De perfil, el eje del fémur se continúa sin ninguna angulación, con el eje del esqueleto de la pierna. En la posición de referencia, el miembro inferior posee su máxima longitud.

La extensión se define como el movimiento que aleja la cara posterior de la pierna de la cara posterior del muslo. A decir verdad, no existe una **extensión absoluta**, ya que en la posición de referencia el miembro inferior ya está en su máximo estado de alargamiento. Sin embargo, es posible realizar, sobre todo *pasivamente*, un movimiento de extensión de 5° a 10° a partir de la posición de referencia (Fig. 11); este movimiento recibe el nombre, desde luego erróneo, de "hiperextensión". En algunos individuos, esta hiperextensión está acentuada por razones patológicas, provocando entonces un *genu recurvatum*.

La extensión activa, rara vez sobrepasa, y por poco, la posición de referencia (Fig. 9) y esta posibilidad depende esencialmente de la posición de la cadera: de hecho, la eficacia del recto anterior, como extensor de la rodilla, aumenta con la extensión de la cadera (véase pág. 148). Lo que significa que la extensión previa de la cadera (Fig. 10, pierna derecha) prepara la extensión de la rodilla.

La extensión relativa es el movimiento que completa la extensión de la rodilla, a partir de cualquier posición de flexión (Fig. 10, pierna izquierda); se trata del movimiento que se efectúa normalmente durante la marcha, cuando el miembro "oscilante" se desplaza hacia delante para contactar con el suelo.

La flexión es el movimiento que aproxima la cara posterior de la pierna a la cara posterior del muslo. Existen movimientos de *flexión absoluta*, a partir de la posición de referencia, y movi-

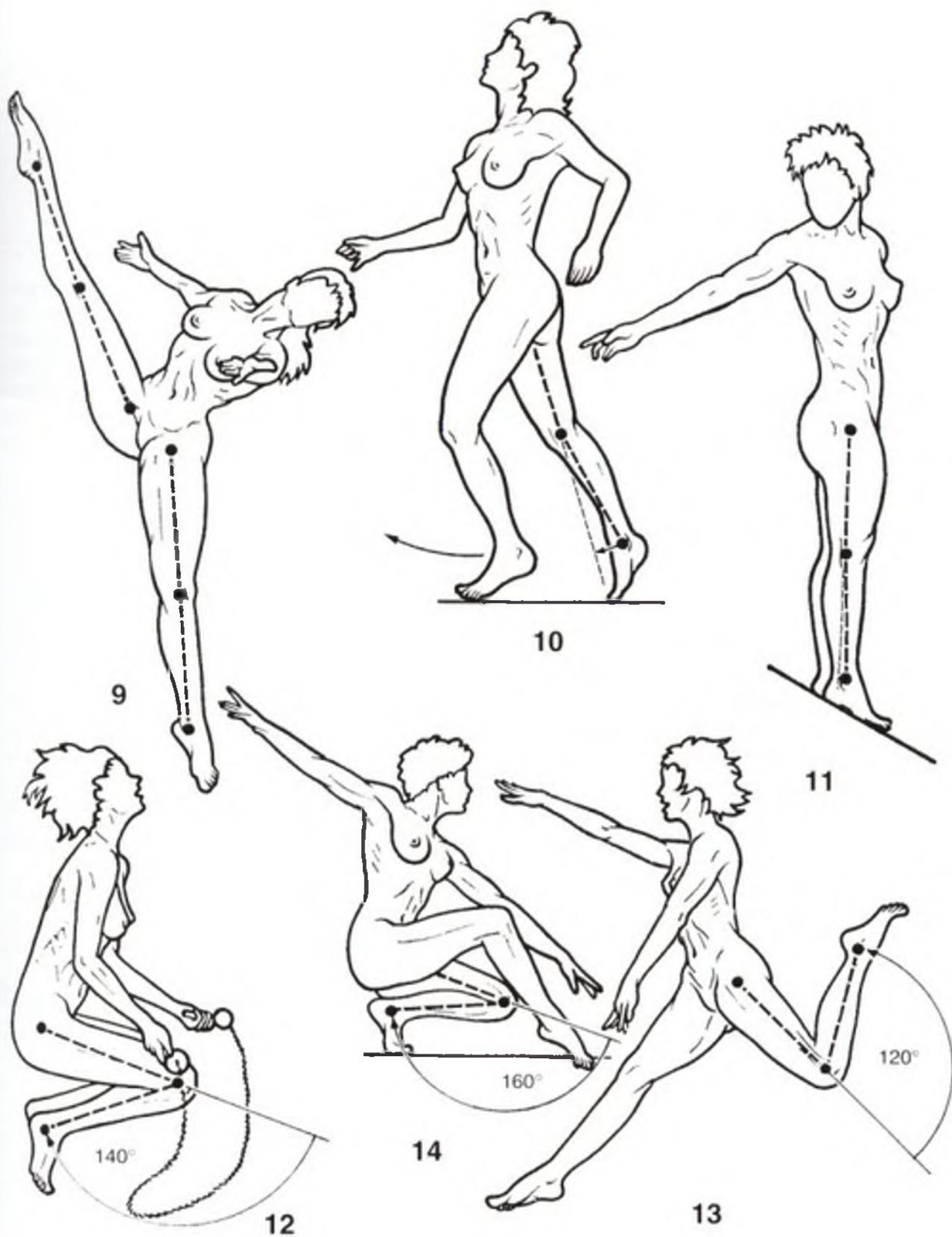
mientos de *flexión relativa*, a partir de cualquier posición en flexión.

La amplitud de la flexión de rodilla es distinta según sea la posición de la cadera y de acuerdo con las modalidades del propio movimiento.

La flexión activa alcanza los 140° si la cadera está previamente flexionada (Fig. 12), y únicamente llega a los 120° si la cadera está en extensión (Fig. 13). Esta diferencia de amplitud se debe a la disminución de la eficacia de los isquiotibiales cuando la cadera está extendida (véase pág. 150). Sin embargo, es posible sobrepasar los 120° de flexión de rodilla con la cadera extendida, gracias a la *contracción balística*: los isquiotibiales, a través de una contracción tan potente como brusca, inician la flexión de rodilla que finaliza con una flexión pasiva.

La flexión pasiva de la rodilla alcanza una amplitud de 160° (Fig. 14) y permite que el talón contacte con la nalga. Este movimiento es una prueba muy importante para comprobar la libertad de la flexión de rodilla, y para constatar la flexión pasiva de la misma se puede medir la distancia que separa el talón de la nalga. En condiciones normales, la flexión sólo está limitada por el contacto elástico de las masas musculares de la pantorrilla y del muslo. En condiciones patológicas, la flexión pasiva de la rodilla está limitada por la *retracción del aparato extensor* —principalmente el cuádriceps— o por las *retracciones capsulares* (véase pág. 108).

Si siempre es factible detectar un **déficit de flexión** diferenciando el grado de flexión alcanzado y la amplitud de la flexión máxima (160°), o también, comprobando la distancia talón/nalga, el **déficit de extensión** se designa por un **ángulo negativo**, por ejemplo -60°: es el que se mide entre la posición de extensión pasiva máxima y la rectitud. De esta forma, en la figura 13 también se puede decir que la pierna izquierda está flexionada a 120°, o, si no puede alcanzar mayor extensión, que presenta un **déficit de extensión de -120°**.



LA ROTACIÓN AXIAL DE LA RODILLA

Rotación de la pierna alrededor de su eje longitudinal. este movimiento sólo se puede realizar con la rodilla flexionada, mientras que con la rodilla extendida el *bloqueo articular* une la tibia al fémur.

Para medir la **rotación axial activa**, se debe flexionar la rodilla en ángulo recto, el individuo sentado con las piernas colgando al borde de una camilla (Fig. 15); la flexión de la rodilla excluye la rotación de cadera. En la posición de referencia, la punta del pie se dirige ligeramente hacia fuera (véase pág. 84).

La **rotación interna** (Fig. 16) dirige la punta del pie *hacia dentro* e interviene en gran parte en el movimiento de aducción del pie (véase pág. 160).

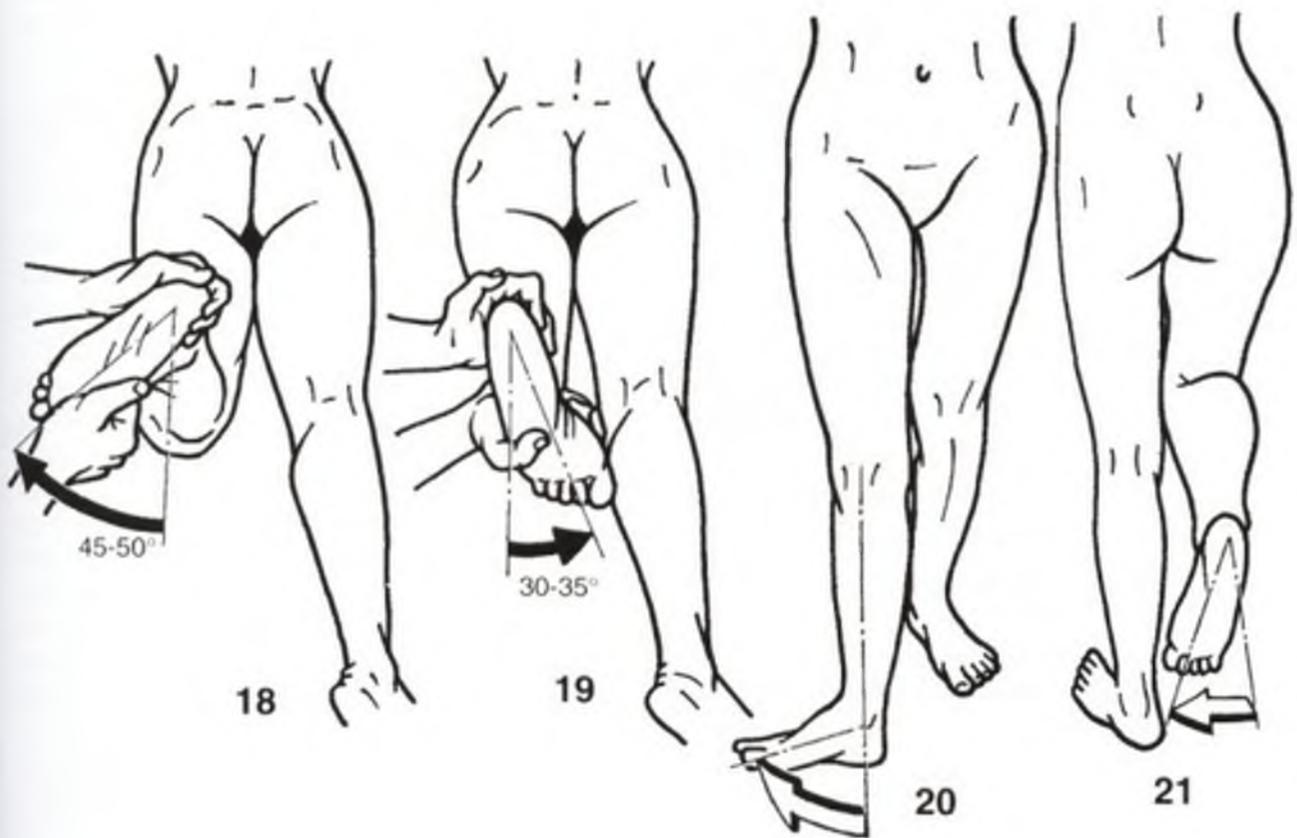
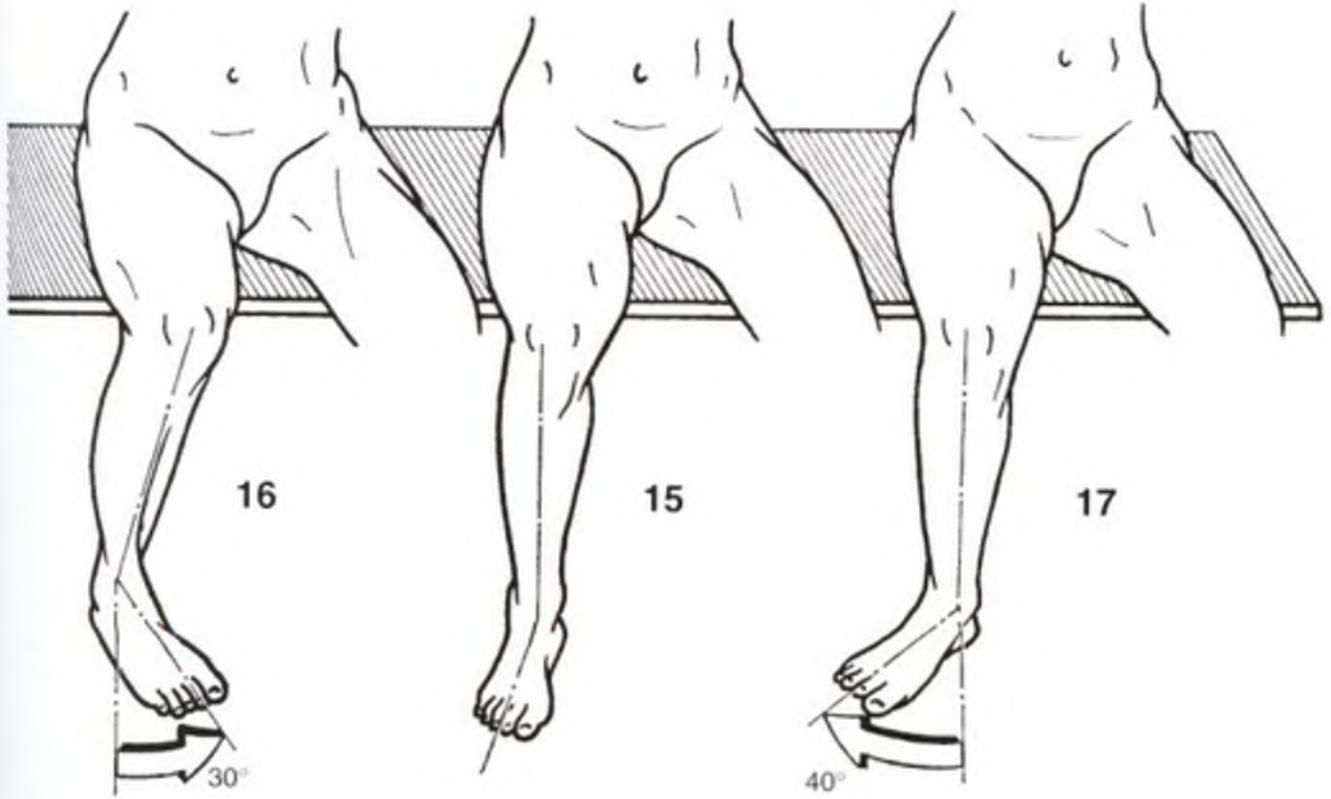
La **rotación externa** (Fig. 19) dirige la punta del pie *hacia fuera* e interviene también en el movimiento de abducción del pie.

Para Fick, la rotación externa es de 40° contra los 30° de rotación interna. Esta amplitud varía con el grado de flexión, ya que, según este autor, la rotación externa es de 32° cuando la rodilla está flexionada a 30° y de 42° cuando está flexionada en ángulo recto.

La medición de la **rotación axial pasiva** se realiza con el individuo en decúbito prono, la rodilla flexionada en ángulo recto: el examinador sujeta el pie con ambas manos y lo hace girar dirigiendo su punta hacia fuera (Fig. 18) y adentro (Fig. 19). Como cabía esperar, esta rotación pasiva es ligeramente más amplia que la rotación activa.

Por último, existe **una rotación axial denominada "automática"**, puesto que está inevitable e involuntariamente relacionada con los movimientos de flexoextensión. Tiene lugar, sobre todo, en los últimos grados de extensión o al inicio de la flexión. Cuando la rodilla se extiende, el pie se ve arrastrado hacia la *rotación externa* (Fig. 20); esto sugiere una sencilla regla mnemotécnica para recordar esta asociación: EXTensión y rotación EXTerna. A la inversa, cuando la rodilla está flexionada, la pierna gira en *rotación interna* (Fig. 21). El mismo movimiento se realiza cuando, al plegar las piernas sobre el cuerpo, la punta del pie se dirige hacia dentro, postura que también corresponde a la posición fetal.

Más adelante se estudiará el mecanismo de esta rotación automática.



ARQUITECTURA GENERAL DEL MIEMBRO INFERIOR Y ORIENTACIÓN DE LAS SUPERFICIES ARTICULARES

La orientación de los cóndilos femorales y de los platillos tibiales favorecen la flexión de rodilla (Fig. 22, según Bellugue). Dos extremos óseos móviles uno con respecto al otro (a) no tardan en modelar su forma en función de sus movimientos (b) (experimento de Fick). Sin embargo, la flexión no puede alcanzar el ángulo recto (c), al menos si no se elimina un fragmento (d) del segmento superior para retrasar el impacto con la superficie inferior. El punto débil creado en el fémur se compensa por la transposición hacia delante (e) de la diáfisis, lo que desplaza los cóndilos hacia atrás. Simétricamente, la tibia se hace más ligera hacia atrás y se refuerza hacia delante (f), desplazando así hacia atrás la superficie tibial. De esta forma, en la flexión máxima, las importantes masas musculares pueden situarse entre la tibia y el fémur.

Las curvas generales de los huesos del miembro inferior representan los esfuerzos que actúan sobre ellos. Obedecen a las leyes de las "columnas con carga excéntrica" de Euler (Steindler). Cuando una columna está articulada por sus dos extremos (Fig. 23, a), la curva ocupa toda su altura, éste es el caso de la curva de concavidad posterior de la diáfisis femoral (Fig. 23, b). Si la columna está fija por abajo y es móvil por arriba (Fig. 24, a), existen dos curvas opuestas, la más alta ocupa los 2/3 de la columna: éstas corresponden a las del fémur en el plano frontal. Si la columna está fija por sus dos extremos (Fig. 25, a), la curva ocupa las dos cuartas partes centrales, lo que corresponde a las curvas de la tibia en el plano frontal (Fig. 25, b). En el plano sagital, la tibia presenta tres características (Fig. 26, b):

- la retrotorsión (T), desplazamiento posterior citado anteriormente;
- la retroversión (V), declive de 5-6° de los platillos tibiales hacia atrás;
- la retroflexión (F), curva de concavidad posterior de una columna móvil en ambos extremos (Fig. 23, a), como en el caso del fémur.

En la flexión (Fig. 27), las curvas cóncavas

del fémur y de la tibia se encaran, aumentando así el espacio disponible para las masas musculares.

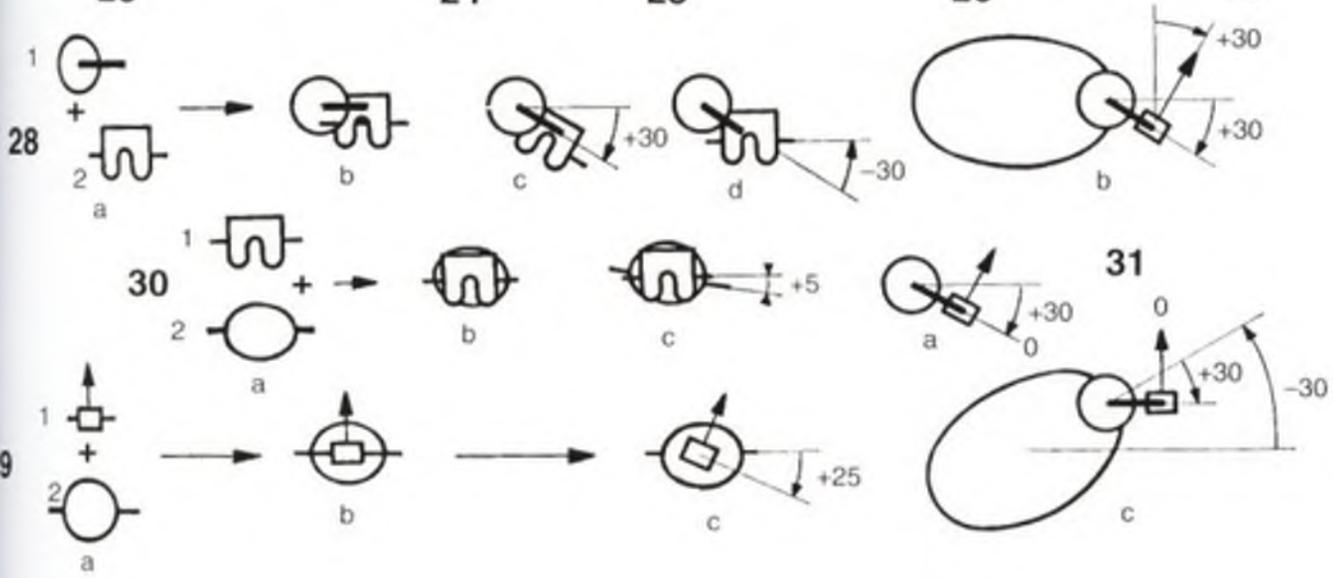
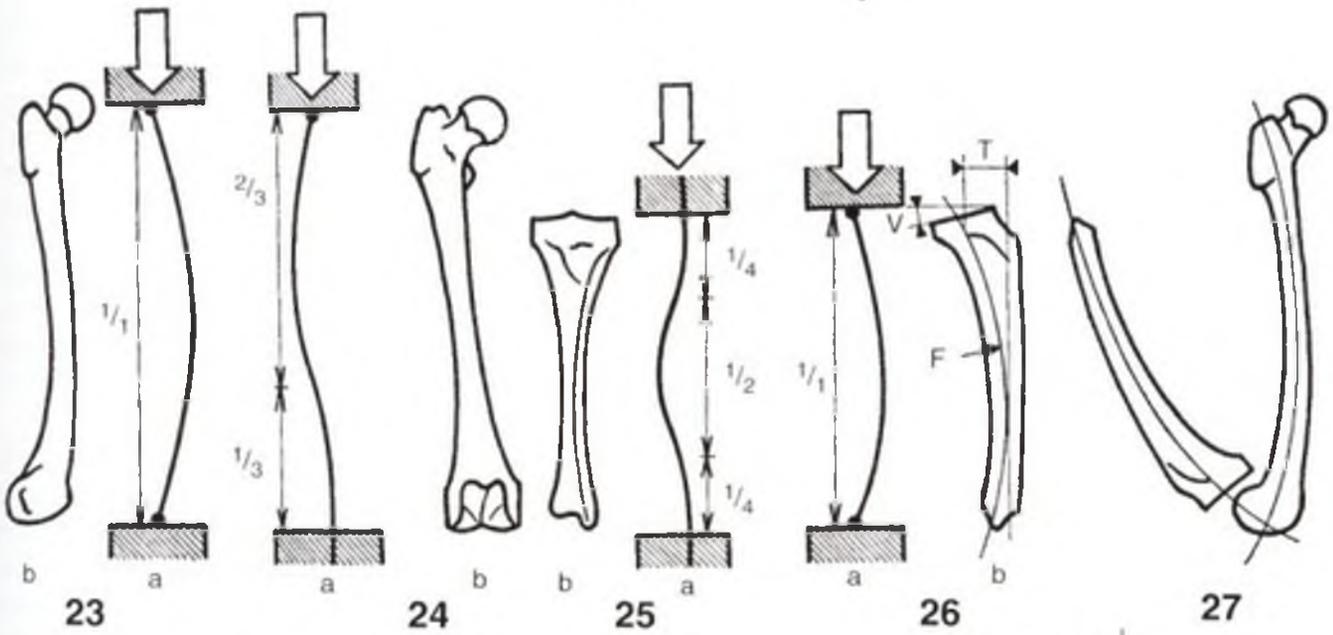
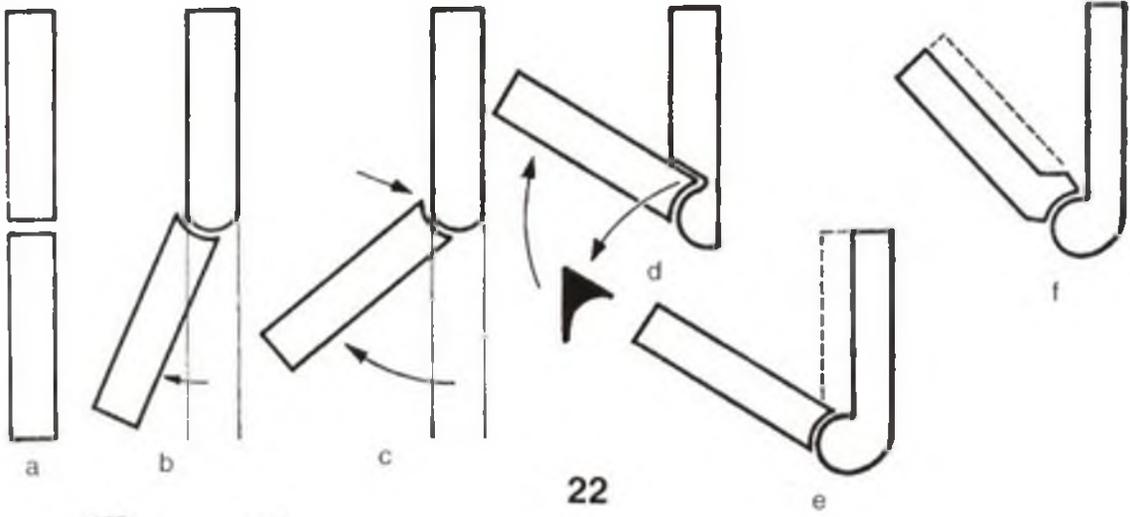
Las figuras en el borde inferior de la página explican a través de una especie de "álgebra anatómica" las torsiones axiales sucesivas de los segmentos del miembro inferior, vistos desde arriba en el esquema.

Torsión del fémur (Fig. 28): si se unen (a) la cabeza y el cuello (1) con el macizo condíleo (2); sin torsión (b), el eje del cuello está en el mismo plano que el eje de los cóndilos; pero el cuello forma, en realidad, un ángulo de 30° con el plano frontal (c), de modo que el eje de los cóndilos permanece frontal (d) y es necesario introducir una torsión de la diáfisis femoral de -30° mediante una rotación interna que corresponde al ángulo de anteversión del cuello femoral.

Torsión del esqueleto de la pierna (Fig. 29): si se unen (a) la tibiotarsiana (1) y los platillos tibiales (2); sin torsión (b), el eje de los platillos y el eje de la tibiotarsiana son frontales; en realidad (c), la retroposición del maleolo externo convierte el eje de la tibiotarsiana oblicuo hacia fuera y atrás, lo que corresponde a una torsión del esqueleto de la pierna de +25° mediante una rotación externa.

Si se unen (Fig. 30, a) los cóndilos (1) y los platillos, parece que los dos ejes deberían ser frontales (b). En realidad, la rotación axial automática añade +5° de rotación externa de la tibia sobre el fémur en extensión máxima.

Estas torsiones escalonadas a lo largo del miembro inferior (-30° +25° +5°) se anulan (Fig. 31, a) de tal modo que el eje de la tibiotarsiana está casi en la misma dirección que el eje del cuello, es decir en rotación externa de 30°, provocando un desplazamiento de 30° hacia fuera del eje del pie, en bipedestación, con los talones juntos y la pelvis simétrica (b). En la marcha, el avance del miembro oscilante lleva la cadera homóloga hacia delante (c); si la pelvis gira 30°, el eje del pie se dirige directamente hacia delante, en el sentido de la marcha, lo que permite un "desarrollo óptimo del paso".



LAS SUPERFICIES DE LA FLEXOEXTENSIÓN

El principal grado de libertad de la rodilla, el de flexoextensión, que corresponde al eje transversal, está condicionado por **una articulación de tipo troclear**; de hecho, las superficies del extremo inferior del fémur constituyen una polea o, más exactamente, un segmento de polea (Fig. 32), que, por su forma, recuerda a un *tren de aterrizaje doble de avión* (Fig. 33). Los dos cóndilos femorales, convexos en ambos sentidos, forman las dos carillas de la polea y corresponden a las ruedas del tren de aterrizaje; se prolongan hacia delante (Fig. 34) mediante las dos carillas de la tróclea femoral. En cuanto a la garganta de la polea, está representada, por delante, por la garganta de la tróclea femoral y, por detrás, por la escotadura intercondílea, cuyo significado mecánico se tratará más adelante. Algunos autores describen la rodilla como una articulación bicondílea; esto es cierto desde el punto de vista anatómico, pero desde el punto de vista mecánico es, sin discusión alguna, una articulación troclear específica.

En la parte tibial, las superficies están inversamente conformadas y se organizan sobre *dos correderas paralelas, incurvadas y cóncavas, separadas por una cresta roma anteroposterior* (Fig. 35): la glenoide externa (GE) y la glenoide interna (GI) se disponen cada una en una corredera de la superficie (S), además de estar separadas por la cresta roma anteroposterior donde se

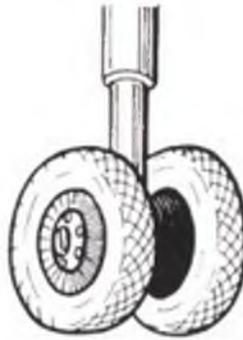
aloja el macizo de las espinas tibiales; por delante, en la prolongación de dicha cresta, se sitúa la cresta roma de la cara posterior de la rótula (R) cuyas dos vertientes prolongan la superficie de las glenoides. Este conjunto de superficies está dotado de un *eje transversal* (I), que coincide con el eje de los cóndilos (II) cuando la articulación está encajada.

De esta forma, las glenoides corresponden a los cóndilos mientras que el macizo de las espinas tibiales se aloja en la escotadura intercondílea; este conjunto constituye, *funcionalmente, la articulación femorotibial*. Por delante, las dos vertientes de la superficie articular de la rótula corresponden a las dos carillas de la tróclea femoral, mientras que la cresta roma vertical se acopla en la garganta de la tróclea, de esta forma se constituye un segundo conjunto *funcional, la articulación femoropatelar*. Las dos articulaciones funcionales, femorotibial y femoropatelar, están incluidas en una única y misma articulación anatómica, la articulación de la rodilla.

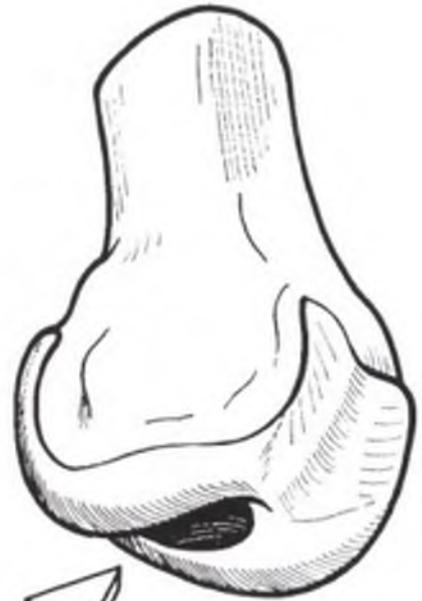
Considerada únicamente desde el ángulo de flexoextensión y en una primera aproximación, se puede imaginar la articulación de la rodilla como una superficie en forma de polea deslizándose sobre una doble corredera, cóncava y emparejada (Fig. 36). Pero, como se podrá ver más adelante, la realidad es más compleja.



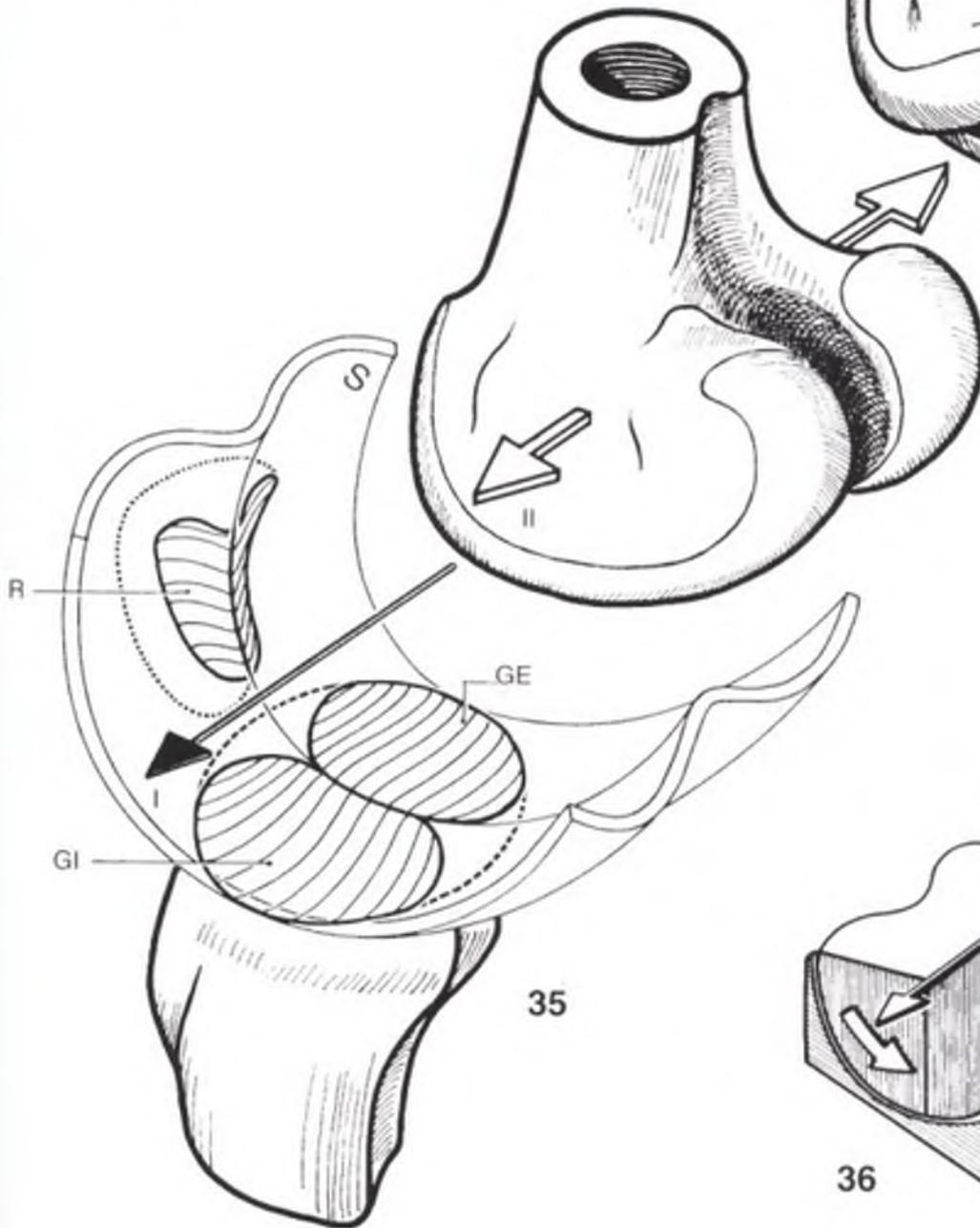
32



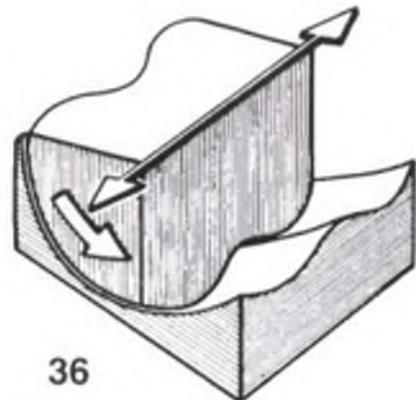
33



34



35



36

LAS SUPERFICIES EN FUNCIÓN DE LA ROTACIÓN AXIAL

Las superficies articulares, tal como se han descrito en la página anterior, no permiten más que un único movimiento, la flexoextensión. De hecho, la cresta roma de la superficie inferior, al encajarse en la garganta de la polea *en toda su longitud*, impide cualquier movimiento de rotación axial de la superficie inferior bajo la superficie superior.

Para que la rotación axial sea factible, se debe modificar la superficie inferior (Fig. 37) de tal forma que la cresta roma reduzca su longitud. Con este objetivo, se liman (Fig. 38) los dos extremos de esta cresta, de forma que no quede más que su parte media que constituirá entonces un *pivote*, encajado en la garganta de la polea y alrededor del cual puede girar la superficie inferior. Este pivote es el **macizo de las espinas tibiales** que constituye la vertiente externa de la glenoide interna y la vertiente interna de la glenoide externa; por este *pivote central*, o más concretamente, por la *espina tibial interna* pasa el eje vertical (R), alrededor del cual se efectúan movimientos de rotación longitudinal. Algunos autores, bajo el nombre de pivote central, designan los dos ligamentos cruzados, considerados como el eje de rotación longitudinal de la rodilla. Esta terminología no parece demasiado apropiada, ya que el concepto de pivote supone un *punto de apoyo sólido*, y por lo tanto se debería reservar para la espina tibial interna, verdadero pivote mecánico de la rodilla. En lo que concierne al sis-

tema de los ligamentos cruzados, parece más apropiado el término de *unión central*.

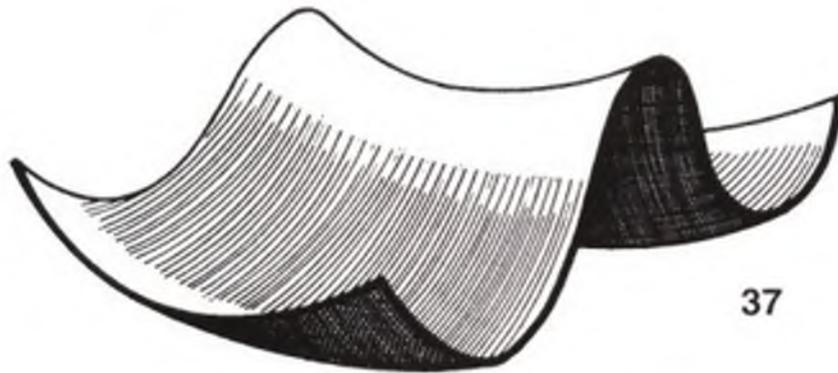
Esta transformación de las superficies articulares es más fácil de entender cuando se toma como ejemplo un **modelo mecánico** (véase el modelo III al final del volumen).

Si se cogen dos piezas (Fig. 39), una superior provista de una *ranura* y otra inferior, con una *espiga* de tamaño y medidas inferiores a la ranura, las dos piezas pueden *deslizarse* con facilidad una sobre otra, pero *no pueden girar* una con respecto a la otra.

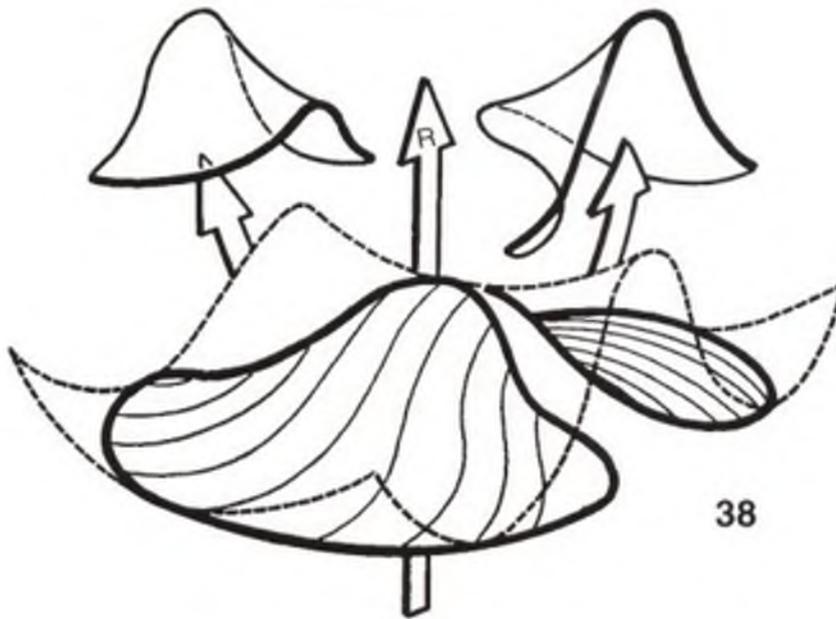
Si se eliminaran los dos extremos de la espiga de la pieza inferior para que no quede más que su parte central, cuyos diámetros no superan la longitud de la ranura (Fig. 40), se habrá reemplazado la *espiga* por un *pivote cilíndrico*, susceptible de ser alojado en la ranura de la pieza superior.

Ahora (Fig. 41), las dos piezas son capaces de realizar, una con respecto a la otra, dos tipos de movimiento:

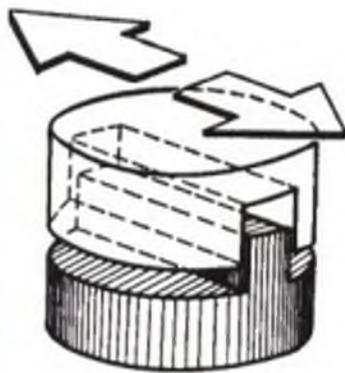
- *un movimiento de deslizamiento* de la espiga central a lo largo de la ranura, que corresponde a la flexo-extensión;
- *un movimiento de rotación* de la espiga en el interior de la ranura (sea cual sea la posición en la ranura), que corresponde a la *rotación en torno al eje longitudinal de la pierna*.



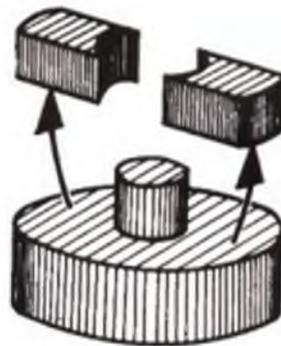
37



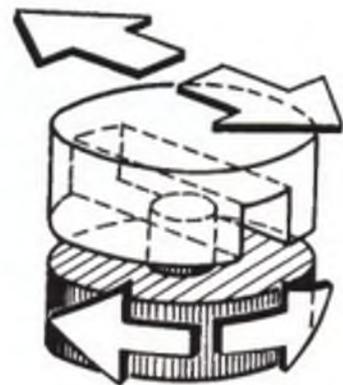
38



39



40



41

PERFIL DE LOS CÓNDILOS Y DE LAS GLENOIDES

Vistos por su cara inferior (Fig. 42), los **cóndilos** constituyen dos prominencias *convexas en ambas direcciones* y alargadas de adelante atrás. Los cóndilos no son estrictamente idénticos: sus grandes ejes anteroposteriores no son paralelos, sino *divergentes hacia atrás*; además, el cóndilo interno (I) diverge más que el externo (E) y es también más estrecho. Entre la tróclea y los cóndilos se perfila, a cada lado, la *ranura condilotroclear* (τ), la interna normalmente más acentuada que la externa.

La **escotadura intercondílea** (e) está en el eje de la *garganta troclear* (g). La carilla externa de la tróclea es *más prominente que la interna*.

En un corte frontal (Fig. 43) se puede constatar que la convexidad de los cóndilos en sentido transversal corresponde a la concavidad de las glenoides.

Para analizar las **curvas de los cóndilos y las glenoides** en el plano sagital, conviene realizar un corte verticosagital en las direcciones aa' y bb' (Fig. 43); de forma que se consigue el perfil exacto de los cóndilos y de las glenoides en el hueso fresco (Figs. 45 a 48). Se puede constatar entonces que el radio de la curva de las superficies condíleas no es uniforme, sino que sufre variaciones como en el caso de **una espiral**.

En geometría, la espiral de Arquímedes (Fig. 44) está construida alrededor de un pequeño punto denominado centro (C), y cada vez que el radio R describe un ángulo igual, aumenta su longitud en la misma medida.

La **espiral de los cóndilos es muy diferente**, es cierto que el radio de la curva tiene un incremento regular de atrás adelante, que varía de 17 a 38 mm en el caso del cóndilo interno (Fig. 45) y de 12 a 60 mm en el caso del cóndilo externo (Fig. 46), pero no existe un centro único en esta espiral, *existen toda una serie de centros dispuestos, a su vez, sobre otra espiral* mm'' (cóndilo interno) y nn' (cóndilo externo). Por lo tanto, la curva de los cóndilos es una *espiral de espiral*, como demostró Fick, quien denominó *curva evoluta* a la espiral de los centros de la curva.

Por otro lado, a partir de un determinado **punto t** del contorno condíleo, el radio de la curva empieza a disminuir, de forma que pasa de 38 a 15 mm por delante del cóndilo interno (Fig. 45) y de 60 a 16 mm

por delante del cóndilo externo (Fig. 46). De nuevo, los centros de la curva se alinean en una espiral $m''m''$ (cóndilo interno) y $n''n''$ (cóndilo externo). En definitiva, *las líneas de los centros de la curva forman dos espirales, adosadas*, cuya cúspide muy aguda (m' y n') corresponde en el cóndilo al punto t de transición entre *dos segmentos del contorno condíleo*:

- **por detrás del punto t**, la parte del cóndilo forma parte de la *articulación femorotibial*;
- **por delante del punto t**, la parte del cóndilo y de la tróclea que forma parte de la *articulación femoropatelar*;

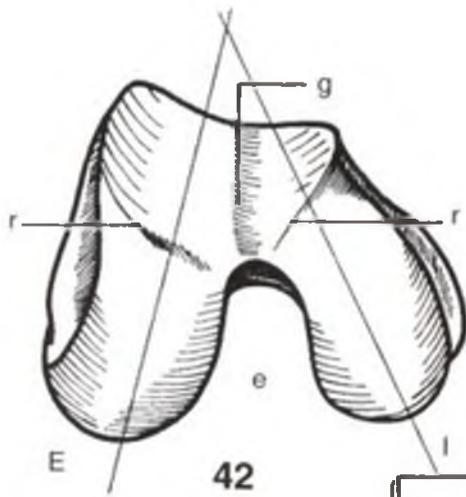
El **punto de transición t** representa, así, el punto más avanzado del contorno condíleo que puede contactar directamente con la superficie tibial.

El **perfil anteroposterior de las glenoides** (Figs. 47 y 48) es diferente según la glenoide de que se trate:

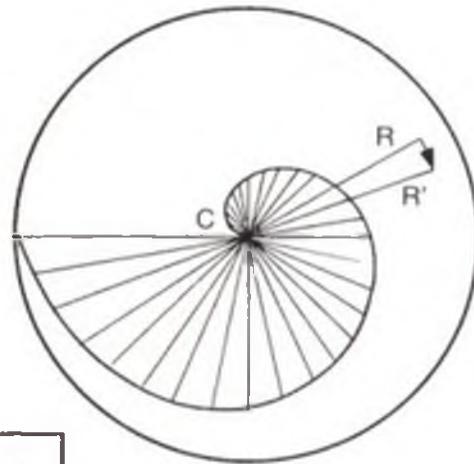
- la **glenoide interna** (Fig. 47) es *cóncava hacia arriba* (el centro de la curva O está situado por arriba) conforme a un radio de curva de 80 mm;
- la **glenoide externa** (Fig. 48) es *convexa hacia arriba* (el centro de la curva O' está situado por debajo) conforme a un radio de curva de 70 mm.

Mientras que la glenoide interna es cóncava en ambos sentidos, la externa es cóncava transversalmente y convexa sagitalmente (en el hueso fresco). Resulta que si el cóndilo femoral interno es relativamente estable en su glenoide, el cóndilo externo está en una *posición inestable* sobre el dorso de asno de la glenoide externa y su estabilidad durante el movimiento depende esencialmente de la integridad del LCAE (Libamento Cruzado Anteroexterno).

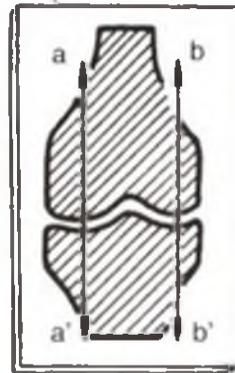
Por otra parte, los radios de la curva de los cóndilos y de las glenoides correspondientes no son iguales, por lo tanto, existe cierta discordancia entre las superficies articulares: *la articulación de la rodilla es la imagen misma de las articulaciones no concordantes*. El restablecimiento de la concordancia depende de los meniscos (véase pág. 102).



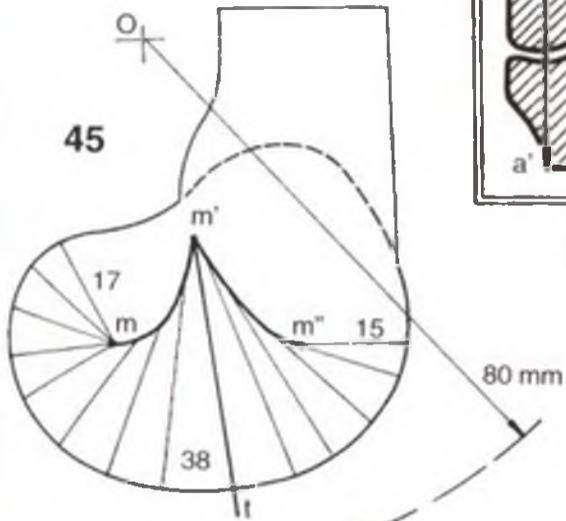
42



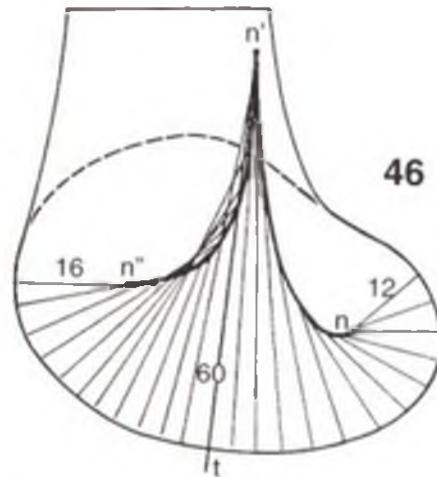
44



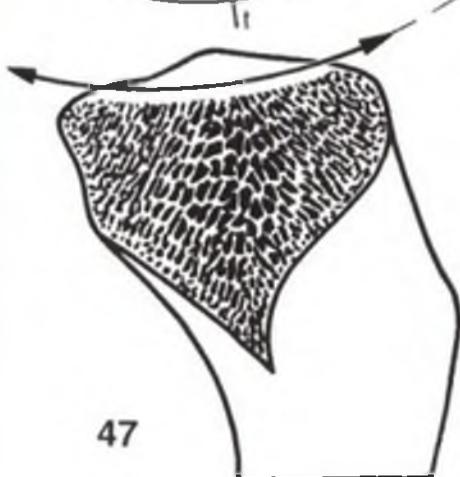
43



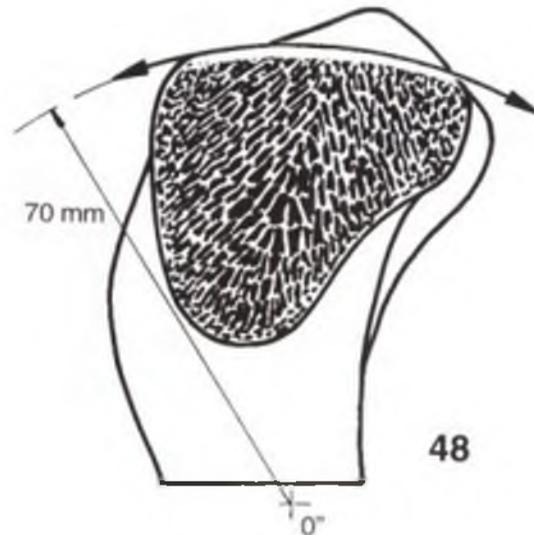
45



46



47



48

DETERMINISMO DEL PERFIL CÓNDILO-TROCLEAR

En 1967 se demostró (Kapandji), utilizando un **modelo mecánico** (Fig. 49), que el contorno de la tróclea y los cóndilos femorales vienen determinados como lugares geométricos que dependen, por una parte, de los nexos establecidos entre los ligamentos cruzados y sus bases de inserción en la tibia y el fémur, y por otra parte, de las conexiones existentes entre el ligamento rotuliano, la rótula y los alerones rotulianos (véase modelo II al final del volumen). Cuando se moviliza un modelo de este tipo (Fig. 50), se puede ver cómo se dibujan el perfil de los cóndilos femorales y de la tróclea como si se tratara del *envoltorio de las sucesivas posiciones de las glenoides tibiales y de la rótula* (Fig. 51).

La **parte posterotibial** del contorno cóndilo-troclear (Fig. 51) se determina por las posiciones sucesivas, numeradas del 1 al 5 (además de todas las intermedias) de la meseta tibial, "superpuesta" al fémur por el **ligamento cruzado anteroexterno** (LCAE) (trazos pequeños) y el **ligamento cruzado posterointerno** (LCPI) (grandes trazos), describiendo cada uno un arco de círculo centrado por su inserción femoral de radio igual a su longitud; se puede constatar de esta manera que en una flexión máxima la apertura anterior de la interlínea femorotibial demuestra la "distensión" del LCAE al final de la flexión, mientras que el LCPI se ve solicitado en tracción.

La **parte anterior rotuliana** del contorno cóndilo-troclear (Fig. 52) está determinada por las posiciones sucesivas, numeradas del 1 al 6 (y todas las intermedias) de la rótula, unida al fémur por los alerones rotulianos y a la tibia por el **ligamento rotuliano**.

Entre la parte anterior rotuliana y la parte posterior tibial del perfil cóndilo-troclear existe un *punto de transición 1* (Figs. 45 y 46) que representa la **frontera** entre la articulación femoropatelar y la articulación femorotibial.

Modificando las relaciones geométricas del sistema de los ligamentos cruzados, es posi-

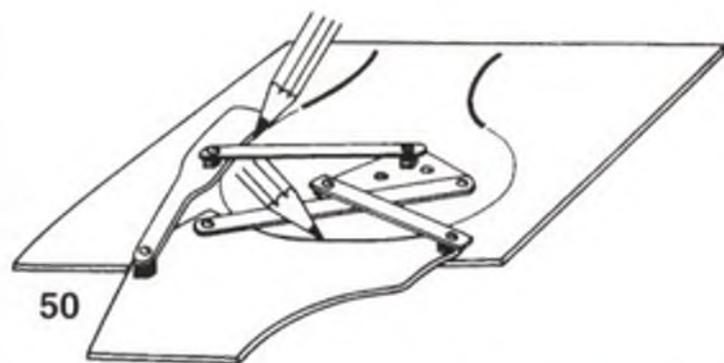
ble trazar *un conjunto de curvas* de los cóndilos y de la tróclea, lo que demuestra la "personalidad" de cada rodilla: ninguna se parece a la otra en el plano estrictamente geométrico, de ahí la dificultad para emplazar prótesis específicamente adaptadas a cada una de ellas: no pueden ser más que una aproximación relativamente fiel.

La misma dificultad se presenta en el caso de las plastias o de las prótesis ligamentosas, por ejemplo (Fig. 53), si se desplaza hacia delante la inserción tibial del LCAE, el círculo descrito por su inserción femoral se va a desplazar también hacia delante (Fig. 54), lo que inducirá un **nuevo perfil condíleo**, en el interior del precedente, determinando a su vez la aparición de un **juego mecánico** que sería un factor de desgaste de las superficies cartilaginosas.

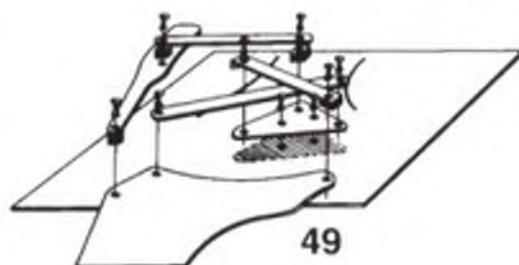
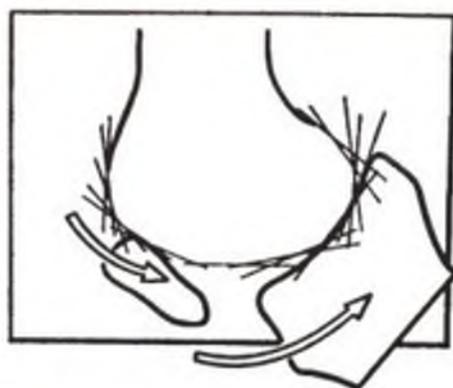
Posteriormente, en 1978, A. Menschick, de Viena, realizó la misma demostración con medios puramente geométricos.

Evidentemente, toda esta teoría del determinismo geométrico del perfil cóndilo-troclear se basa en la hipótesis de la **isometría**, es decir de la invariabilidad de la longitud de los ligamentos cruzados, de la cual se sabe actualmente (véase infra) que no está confirmada por los hechos. Esto no significa que no explique correctamente las constataciones y pueda servir de guía en la concepción de las operaciones sobre los ligamentos cruzados.

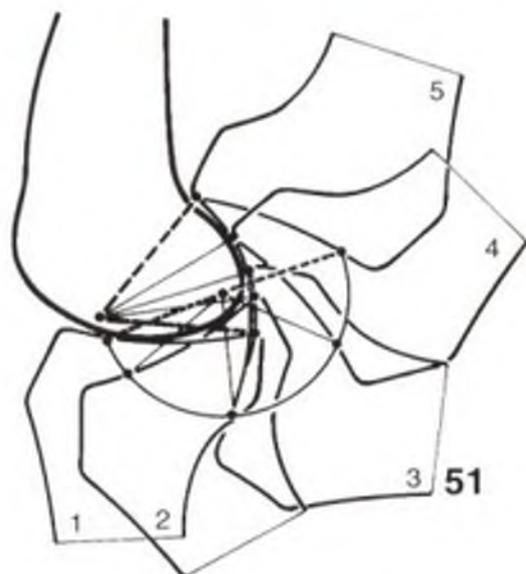
Más recientemente, P. Frain y cols., recurriendo a un **modelo matemático** basado en un estudio anatómico de 20 rodillas, confirman la noción de curva-envoltorio y de policentrismo de los movimientos instantáneos, insistiendo en las constantes interrelaciones funcionales de los ligamentos cruzados y laterales. El trazado sobre ordenador de los vectores de velocidad en cada punto de contacto femorotibial reproduce exactamente el envoltorio del contorno condíleo.



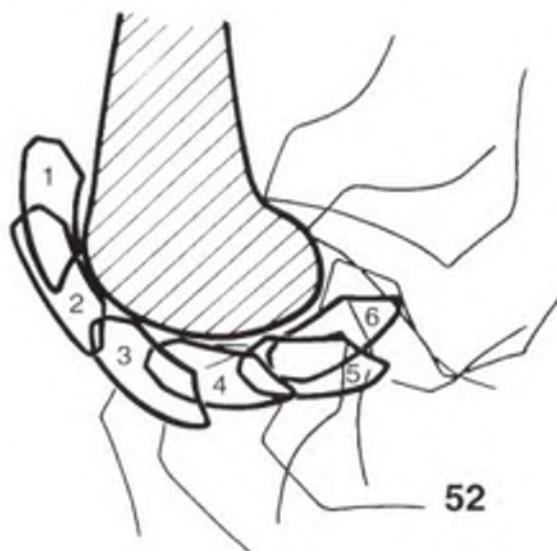
50



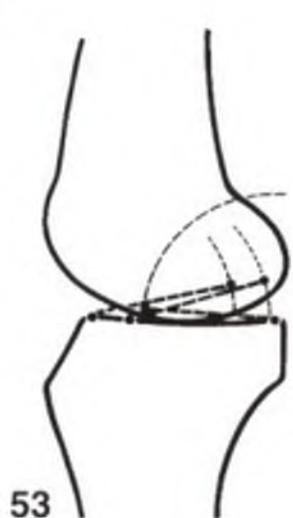
49



51



52



53



54

LOS MOVIMIENTOS DE LOS CÓNDILOS SOBRE LAS GLENOIDES EN LA FLEXOEXTENSIÓN

La forma redondeada de los cóndilos, podría hacer pensar que éstos ruedan sobre las superficies tibiales; ésta es una opinión errónea. De hecho, cuando una **rueda da vueltas sin resbalar** en el suelo (Fig. 55) *a cada punto del suelo corresponde un solo punto de la rueda*; la distancia recorrida en el suelo (OO'') es, por lo tanto, exactamente igual a la porción de la circunferencia que se ha "desenrollado" en el suelo (incluida entre la referencia triangular y el rectángulo). Si así fuera (Fig. 56), a partir de cierto grado de flexión (posición II), el cóndilo bascularía por detrás de la glenoide —produciendo una luxación— o bien sería necesario que la meseta tibial fuese más larga. La posibilidad de una rodadura pura no sería posible dado que *el desarrollo del cóndilo es dos veces mayor que la longitud de la glenoide*.

Suponiendo ahora que **la rueda resbalara sin rodar** (Fig. 57): *toda una porción de circunferencia de la rueda correspondería a un único punto en el suelo*. Es lo que sucede cuando una rueda "patina" al deslizarse sobre superficie helada. Se puede concebir tal deslizamiento puro para ilustrar (Fig. 58) los movimientos del cóndilo en la glenoide: todos los puntos del contorno condíleo corresponderían a un único punto en la glenoide; aunque se puede constatar que, de este modo, *la flexión se limitaría de forma prematura*, ya que el borde posterior de la glenoide (flecha) la obstaculizaría.

También es posible imaginar que **la rueda da vueltas y resbala al mismo tiempo** (Figura 59): patina, pero avanza. En este caso, a la distancia que ha recorrido en el suelo (OO') corresponde una mayor longitud en la rueda (entre el rombo y el triángulo negros) que se puede apreciar desenrollándola en el suelo (entre el rombo negro y el triángulo blanco).

El experimento de los hermanos Weber (Fig. 60) demostró, en 1836, que las cosas sucedían en la realidad de la siguiente manera: en varias posiciones entre la flexión y la extensión máximas, marcaron en el cartilago los puntos de contacto entre el cóndilo y la glenoide. De esta forma, pudieron constatar que *el punto de contacto en la tibia retrocedía con la flexión* (triángulo negro: extensión-rombo negro: flexión), y por otra parte, que la distancia entre los puntos de contacto marcados en el cóndilo era dos veces mayor que la que separaba los puntos de contacto de la glenoide.

Por lo tanto, este experimento prueba, sin discusión alguna, que **el cóndilo rueda y resbala a la vez sobre la glenoide**. De hecho, es la única manera de evitar la luxación posterior del cóndilo permitiendo a la vez una flexión máxima (160°: comparar la flexión en las Figs. 58 y 60).

(Estos experimentos se pueden reproducir con el modelo III incluido al final del volumen.)

Investigaciones más recientes (Strasse, 1917) han demostrado que la proporción de rodadura y de deslizamiento no era la misma durante todo el movimiento de flexo-extensión: a partir de una extensión máxima, *el cóndilo empieza a rodar sin resbalar, a continuación el deslizamiento comienza a predominar cada vez más sobre la rodadura, de tal manera que al final de la flexión el cóndilo se resbala sin rodar*.

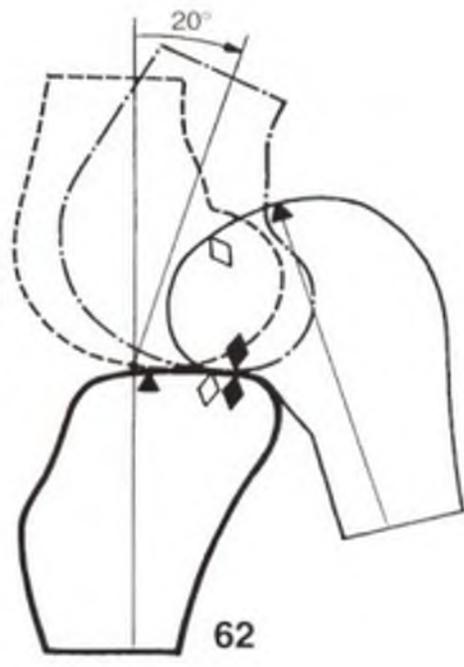
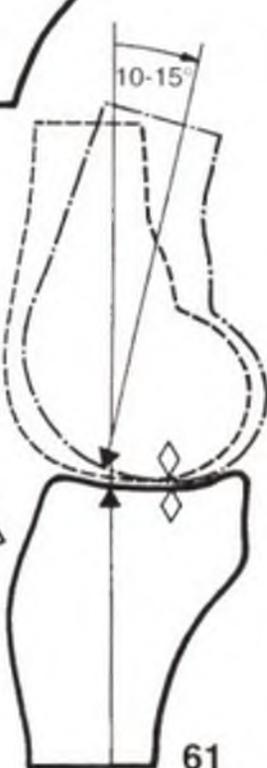
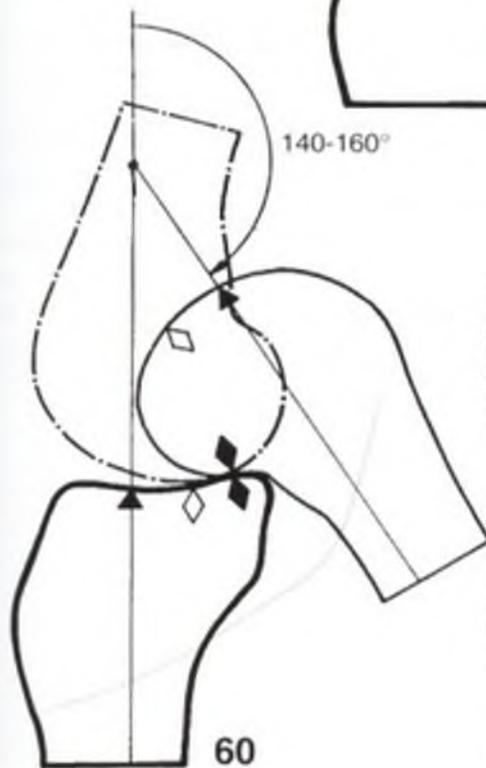
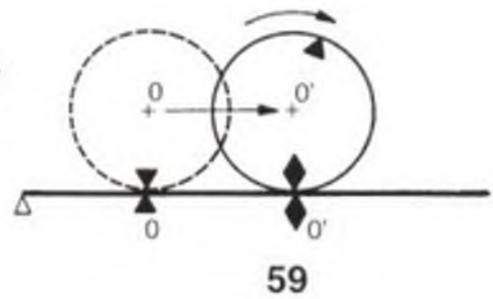
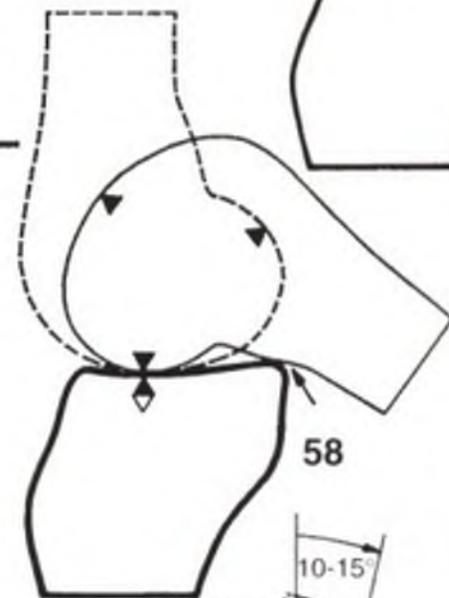
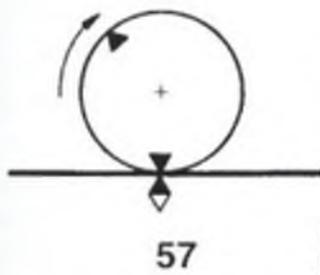
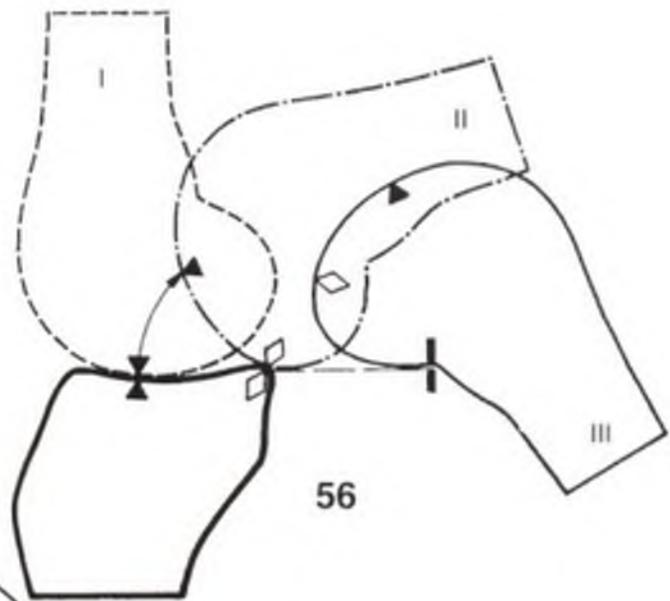
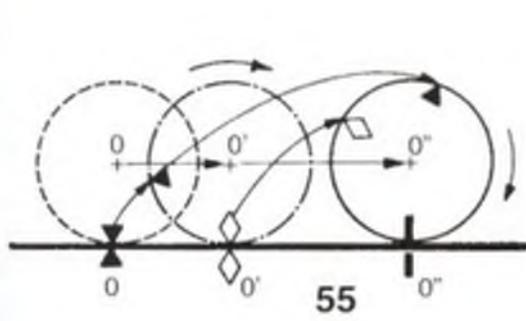
Finalmente, la longitud de rodadura pura, al inicio de la flexión, es **distinta según el cóndilo** que se considere:

- *en el caso del cóndilo interno* (Fig. 61) dicha rodadura no se da más que en los 10 a 15 primeros grados de flexión;
- *en el caso del cóndilo externo* (Fig. 62) dicha rodadura persiste hasta los 20° de flexión.

Esto significa que **el cóndilo externo rueda mucho más que el cóndilo interno**, lo que explica en parte que el camino que recorre sobre la glenoide sea más largo que el que recorre el interno. Se volverá a esta noción importante para explicar la rotación automática (véase pág. 154).

Por otra parte, también es interesante señalar que estos 15 a 20° de rodadura inicial corresponden a la amplitud habitual de los movimientos de flexo-extensión que se realizan durante la marcha normal.

P. Fraïn y cols. demostraron que en cada punto de la curva condílea se puede definir, por una parte, el centro del **círculo basculante**, que representa el *centro de la curva condílea* en este punto, y, por otra parte, el *centro del movimiento*, que representa el punto alrededor del cual el fémur gira con respecto a la tibia; sólo cuando estos dos puntos se confunden existe una rodadura pura, más importante cuanto más alejado esté el centro instantáneo del movimiento del centro de la curva.



LOS MOVIMIENTOS DE LOS CÓNDILOS SOBRE LAS GLENOIDES EN LOS MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN AXIAL

Posteriormente se verá por qué los movimientos de rotación axial sólo se pueden efectuar cuando la rodilla está flexionada. En posición de rotación neutra (Fig. 63), rodilla flexionada, la parte posterior de los cóndilos contacta con la parte central de las glenoides. Este hecho se pone de manifiesto en el diagrama (Fig. 64), en el cual la silueta de los cóndilos se superpone por transparencia sobre el contorno rayado de las glenoides tibiales. También se puede constatar en este esquema que la flexión de la rodilla ha separado el macizo de las espinas tibiales del fondo de la escotadura intercondílea, donde está encajada durante la extensión (ésta es una de las causas del bloqueo de la rotación axial en extensión).

En la rotación externa de la tibia sobre el fémur (Fig. 65), el cóndilo externo avanza sobre la glenoide externa, mientras que el cóndilo interno retrocede en la glenoide interna (Fig. 66).

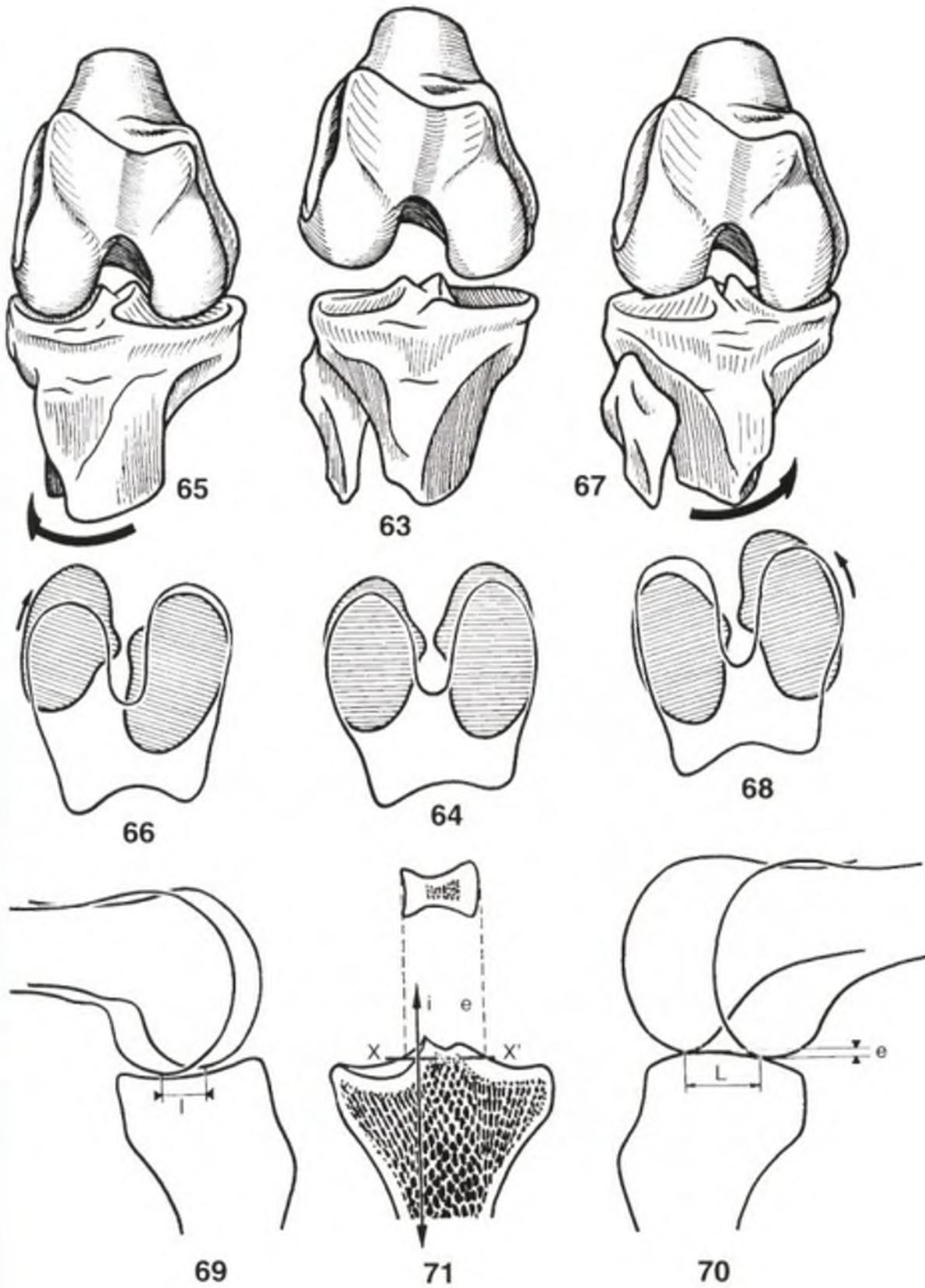
En la rotación interna (Fig. 67) se produce el fenómeno inverso: el cóndilo externo retrocede en la glenoide mientras que el interno avanza en la propia (Fig. 68).

Los movimientos anteroposteriores de los cóndilos en sus respectivas glenoides apenas se asemejan:

- el cóndilo interno (Fig. 69) se desplaza relativamente poco en la concavidad de la glenoide interna (1);

- sin embargo, el cóndilo externo (Fig. 70) posee un recorrido (L) casi dos veces mayor sobre la convexidad de la glenoide externa. Durante su desplazamiento en la glenoide de delante atrás, "sube" primero en la vertiente anterior, hasta el vértice del "dorso de asno", después desciende nuevamente sobre la vertiente posterior; de forma que cambia de "altitud" (e).

La diferencia de forma entre las dos glenoides repercute en la forma de las espinas tibiales (Fig. 71). Cuando se realiza un corte horizontal XX' del macizo de las espinas, se puede constatar que la cara externa de la espina externa es convexa de delante atrás (como la glenoide externa), mientras que la cara interna de la glenoide interna es cóncava (como la glenoide interna). Si a esto se añade que la espina interna es claramente más alta que la externa, se puede comprender que la espina interna forme una especie de tope sobre el que viene a impactar el cóndilo interno, mientras que el cóndilo externo rodea la espina externa. Por consiguiente, el eje real de la rotación axial no pasa entre las dos espinas tibiales, sino, más bien, por la vertiente articular de la espina interna que constituye el verdadero pivote central. Este descentramiento hacia dentro se traduce, precisamente, en un mayor recorrido del cóndilo externo como se ha podido ver anteriormente.



LA CÁPSULA ARTICULAR

La cápsula articular es un manguito fibroso que rodea el extremo inferior del fémur y el extremo superior de la tibia, manteniéndolos en contacto entre sí y constituyendo las paredes no óseas de la cavidad articular. En su capa más profunda está doblada por la **sinovial**.

La forma general de la cápsula de la rodilla (Fig. 72) se puede entender con facilidad si se la compara con un *cilindro* al que se le deprime la cara posterior siguiendo una generatriz (la flecha reproduce este movimiento). De esta forma, se constituye un *tabique sagital* cuyas estrechas conexiones con los ligamentos cruzados se tratarán más adelante (véase pág. 126) y que casi divide la cavidad articular en dos mitades, externa e interna. En la cara anterior de este cilindro se abre una *ventana*, en la que se va a "engarzar" la rótula. Los bordes del cilindro se insertan en el fémur en la parte de arriba y en la tibia en la parte de abajo.

La inserción en la meseta tibial es relativamente sencilla (Fig. 73): pasa (línea de puntos) por delante y por los lados externo e interno de las superficies articulares; la inserción retroglenoidea interna se une con la inserción tibial del LCPI; en cuanto a la línea retroglenoidea externa, bordea la glenoide externa a la altura de la superficie retroespinal y se funde de nuevo con la inserción tibial del LCPI. Entre los dos ligamentos cruzados, la cápsula está interrumpida y la hendidura interligamentosa queda colmada por la sinovial que ha recubierto los dos ligamentos cruzados; por lo tanto, éstos pueden considerarse espesamientos de la cápsula articular en la escotadura intercondílea.

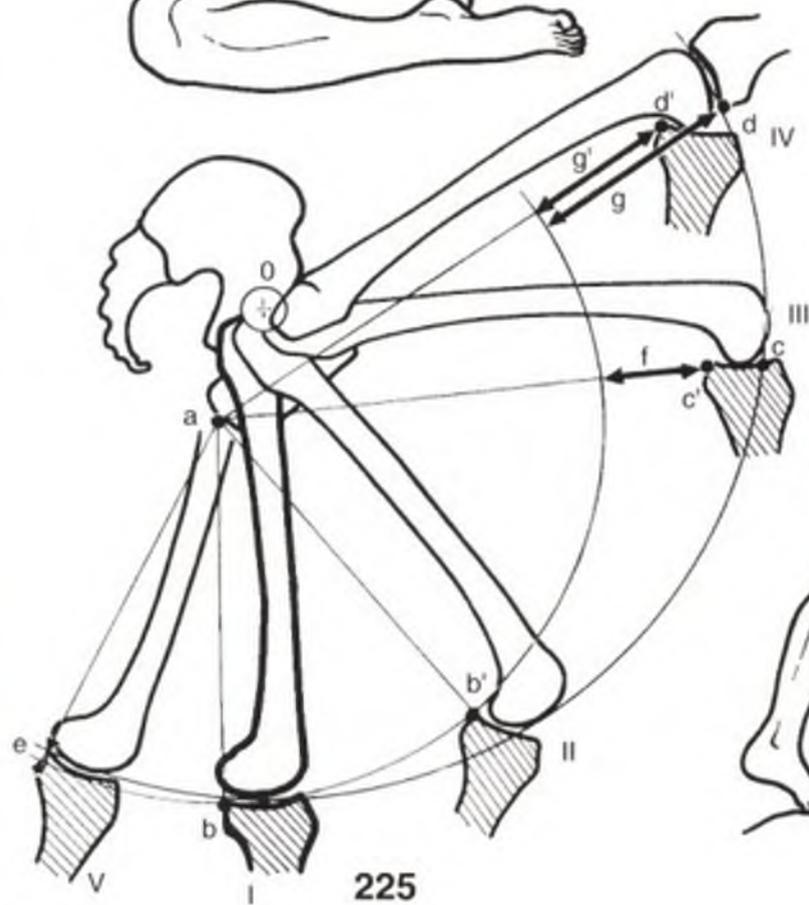
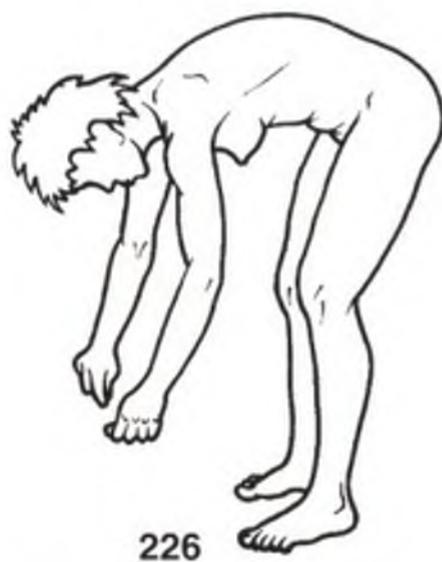
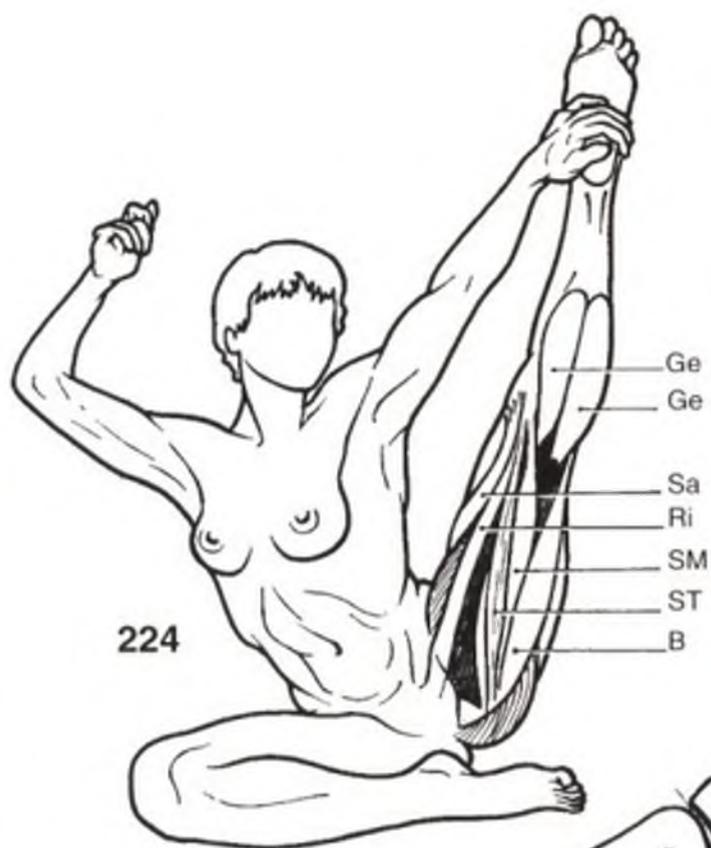
La inserción femoral de la cápsula (Figs. 74 a 77) es un poco más compleja:

- **por delante** (Fig. 74), rodea por arriba la fosa supratroclear (Fs); en este lugar la cápsula forma un fondo de saco profundo (Figs. 76 a 77), el *fondo de saco subcu-*

dricipital (Fsc), cuya relevancia se verá más adelante (véase pág. 108).

- **en los lados** (Figs. 74 a 75), la inserción capsular transcurre a lo largo de las carillas de la tróclea, donde constituye los *fondos de sacos laterorrotulianos* (véase pág. 108), para luego recorrer a determinada distancia el límite cartilaginoso de los cóndilos, en cuyas superficies cutáneas dibuja las *rampas capsulares* de Chevrier (Rch); en el cóndilo externo, la inserción capsular pasa *por arriba de la fosa donde se fija el tendón del poplíteo* (Pop), la inserción de este músculo es, pues, *intracapsular* (Figs. 147 y 232);
- **por detrás y por arriba** (Fig. 75), la línea de inserción capsular rodea el borde posterosuperior del cartilago condíleo, justo por debajo de la inserción de los gemelos (Ge); la cápsula recubre la cara profunda de estos músculos a los que separa de los cóndilos, a este nivel tiene mayor grosor, y forma las *cáscaras condíleas* (Cco) (véase pág. 120);
- **en la escotadura intercondílea** (Figs. 76 a 77: se ha serrado el fémur en el plano sagital), la cápsula se fija en la cara axial de los cóndilos en contacto con el cartilago, y en el fondo de la escotadura, de modo que pasa de un lado a otro de la misma. En la cara axial del cóndilo interno (Fig. 76), la inserción capsular pasa por la *inserción femoral del ligamento cruzado posterointerno* (LCPI). En la cara axial del cóndilo externo (Fig. 77), la cápsula se fija con la *inserción femoral del cruzado anteroexterno* (LCAE).

También en este caso, *la inserción de los cruzados se confunde prácticamente con la de la cápsula*, constituyendo los refuerzos de la misma.



LOS MÚSCULOS ROTADORES DE LA RODILLA

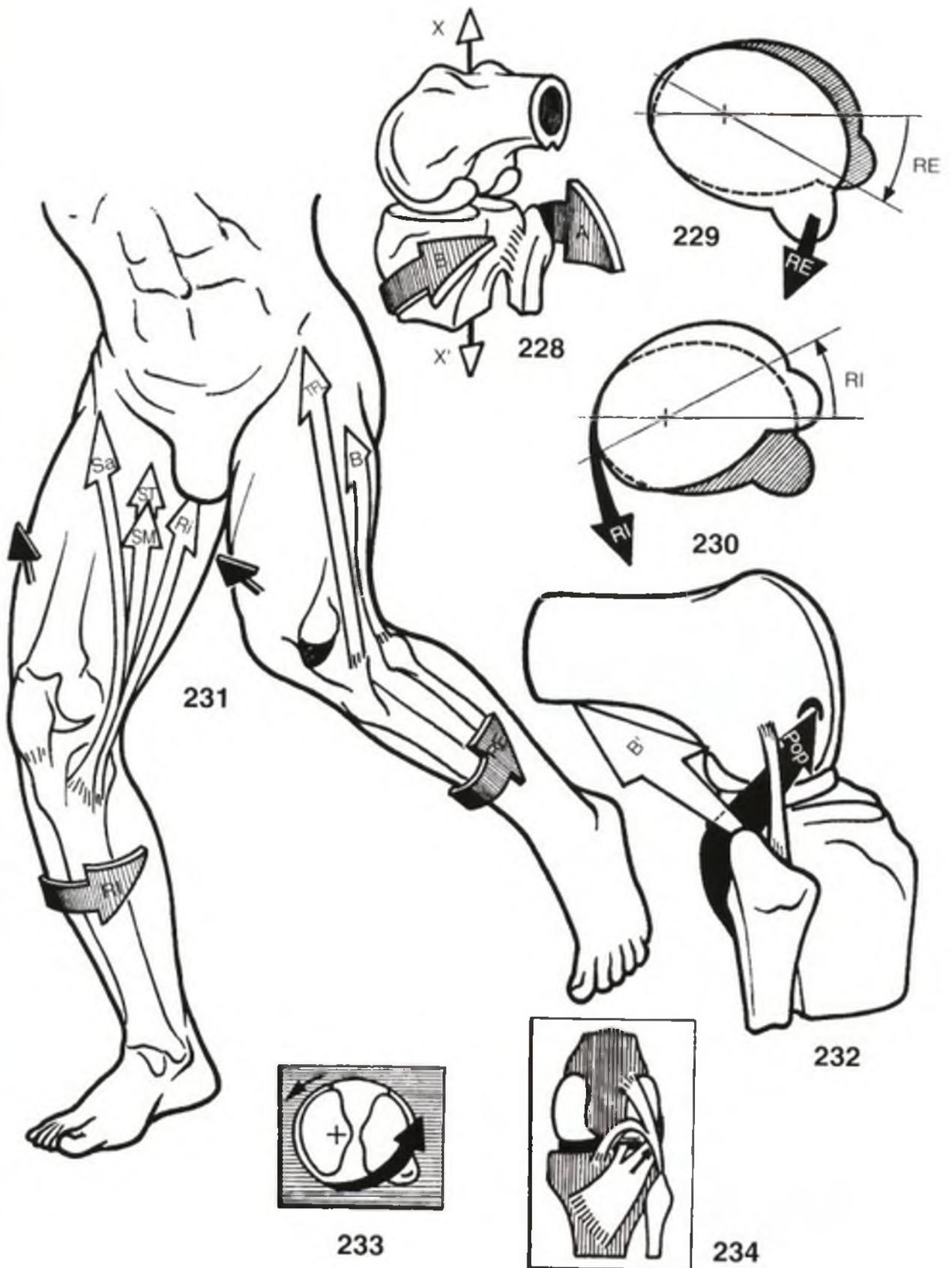
Los flexores de la rodilla son al mismo tiempo sus rotadores: se dividen en dos grupos según su punto de inserción en la pierna (Fig. 228):

- los que se insertan *por fuera* del eje vertical XX' de rotación de la rodilla: son los **rotadores externos** (RE), representados por (Figura 231) el *bíceps* (B) y el *tensor de la fascia lata* (TFL). Cuando desplazan hacia atrás la parte externa de la meseta tibial (Fig. 229), la hacen girar de tal forma que la punta del pie se dirige directamente *hacia fuera*. El tensor de la fascia lata sólo actúa como flexor-rotador externo cuando la rodilla está flexionada; en una rodilla totalmente extendida, pierde su acción de rotación para convertirse en extensor: "bloquea" la extensión. *La porción corta del bíceps* (Fig. 232, B') es el único músculo rotador externo *monoarticular*; lo que significa que la posición de la cadera no repercute en absoluto sobre su acción.
- los que se insertan *por dentro* del eje vertical XX' de rotación de la rodilla: son los **rotadores internos** (RI), representados por (Figura 231) el *sartorio* (Sa), el *semitendinoso* (ST), el *semimembranoso* (SM), el *recto interno* (Ri) y el *poplíteo* (Fig. 232, Pop). Cuando desplazan hacia atrás la parte interna de la meseta tibial (Fig. 230), la hacen girar de tal forma que la punta del pie se dirige *hacia dentro*. Actúan como *frenos de la rotación externa* con la rodilla flexionada, de forma que protegen los elementos capsuloligamentosos cuando éstos son requeridos violentamente durante un giro inesperado hacia el

lado opuesto al de la pierna portadora. El poplíteo (Fig. 234, vista posterior) es la única excepción a esta disposición general: se inserta en la cara posterior de la porción proximal de la tibia, para penetrar a continuación *en la cápsula de la rodilla* por debajo de la ojiva que forma el ligamento poplíteo arqueado (véase también Fig. 147); anterior a esto, se desprende una *expansión que se inserta en el borde posterior del menisco externo*; en el interior de la cápsula —pero por fuera de la sinovial— se desliza entre el ligamento lateral externo y el menisco externo (Fig. 232) para acabar fijándose en el fondo de una *fosita* que ocupa la parte inferior de la superficie cutánea del cóndilo externo. Es el único rotador interno *monoarticular*; de forma que su acción no está influida por la posición de la cadera. Esta acción se puede comprender con facilidad desde una *vista superior de la meseta tibial* (Fig. 233): el poplíteo (flecha negra) desplaza la parte posterior de la meseta tibial hacia fuera.

Aunque situado por detrás de la articulación, *el poplíteo es extensor de la rodilla*: durante la flexión, la fosita de inserción del poplíteo se desplaza hacia arriba y adelante (Fig. 232), estirando el músculo y *reforzando su acción como rotador interno*. Por el contrario, cuando se contrae con la rodilla flexionada y, con mayor razón, en rotación externa, desplaza la fosita hacia abajo y atrás, provocando un deslizamiento del cóndilo externo hacia la extensión. En definitiva, el poplíteo es tanto extensor como rotador interno de rodilla.

En conjunto, el grupo de rotadores internos es *más potente* (2 kgm) que el grupo de rotadores externos (1,8 kgm), aunque esta diferencia no tiene demasiada importancia.



LA ROTACIÓN AUTOMÁTICA DE LA RODILLA

Ya se ha visto anteriormente (véase pág. 84), que *el final de la extensión se acompaña de una ligera rotación externa y que el inicio de la flexión no es posible sin una ligera rotación interna*, y todo esto de forma automática, sin que intervenga ninguna acción voluntaria.

Esta **rotación automática** se pone de manifiesto en una preparación anatómica mediante el experimento de Round:

- se introducen en (Fig. 235, vista superior) en la meseta tibial y en el macizo condíleo dos varillas transversales y horizontales, paralelas entre sí cuando la rodilla está en extensión;
- si se flexiona el fémur sobre la tibia (Figura 236), que permanece fija, se puede comprobar cómo el eje del fémur se inclina hacia atrás y *hacia dentro* (el dibujo representa una rodilla derecha); en el caso de una flexión de 90° se puede constatar que ambas varillas forman, en el plano horizontal, un ángulo de 30° abierto hacia fuera y atrás (Round propone 45°);
- cuando se vuelve a situar el eje del fémur en una dirección sagital (Fig. 237) se puede ver cómo la varilla tibial se orienta en esta situación de dentro afuera y de atrás adelante; lo que indica una *rotación interna de la tibia* sobre el fémur. Esta varilla forma un ángulo de 20° con la perpendicular al eje del fémur. Por lo tanto, la flexión de la rodilla se acompaña de una **rotación interna automática de 20°**. La diferencia de 10° se debe a que la varilla femoral (sin representar aquí), a causa del valgus fisiológico de la rodilla, no es perpendicular al eje dialisario, sino que forma con él un ángulo de 80° (véase Fig. 3);
- este experimento se puede realizar también en sentido inverso: partiendo de una posición de flexión en ángulo recto, en la que las varillas divergen (Fig. 236), para alcanzar la máxima extensión en la que las varillas son paralelas (Fig. 235); de este modo se pone de manifiesto una **rotación externa automática contemporánea a la extensión de rodilla**.

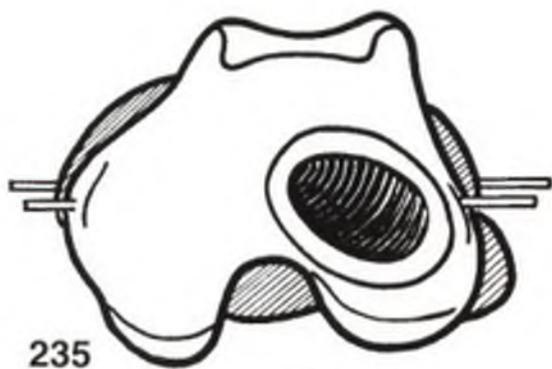
La rotación interna de la tibia aparece porque durante la flexión de la rodilla (Fig. 238) *el cóndilo externo retrocede más que el interno*: con la rodilla extendida, los puntos de contacto a y b están alineados sobre una transversal Ox; la flexión provoca el retroceso del cóndilo interno de a a a' (5-6 mm) y el cóndilo externo de b a b' (10-12 mm); los puntos de contacto a' y b' que corresponden a la flexión están alineados sobre Oy que junto con Ox forman un ángulo xOy de 20°. Para que Oy se haga transversal, es necesario que la tibia realice una rotación interna de 20°.

Este retroceso diferencial de los cóndilos se debe a *tres factores*:

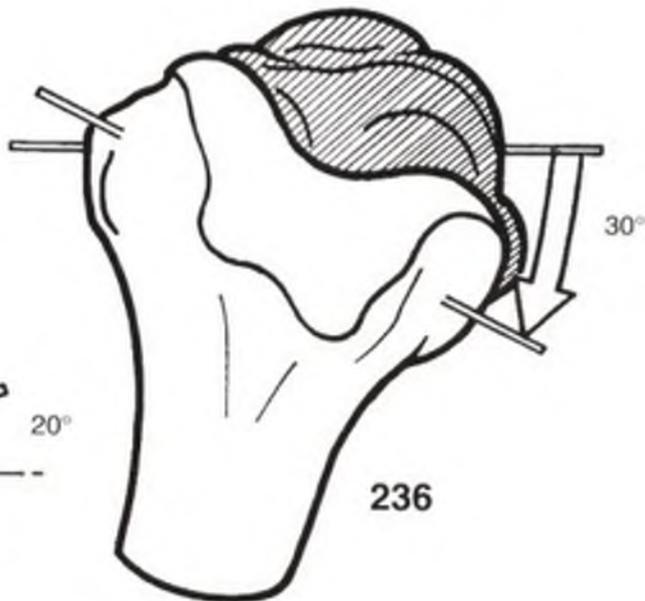
- 1º *La desigualdad del desarrollo del borde condíleo* (Figs. 239 y 240). Cuando se desarrollan las superficies articulares del cóndilo interno (Fig. 239) y se las compara con el desarrollo de las superficies del cóndilo externo (Fig. 240) se puede constatar que el desarrollo bd' de la curva posterior del cóndilo externo es algo mayor que el del interno (ac' = bc'). Esto explica, en parte, que el cóndilo externo rueda más que el interno.
- 2º *La forma de las glenoides*: el cóndilo interno retrocede poco, ya que está dentro de una glenoide cóncava (Fig. 241), mientras que el cóndilo externo se desliza sobre la vertiente posterior de la glenoide externa convexa (Fig. 242).
- 3º *La orientación de los ligamentos laterales*: cuando los cóndilos retroceden sobre las glenoides, el ligamento lateral interno se tensa más deprisa (Fig. 241) que el externo (Fig. 242); dejando este último al cóndilo externo más margen de retroceso, debido a su oblicuidad.

Además, existen *pares de rotación*:

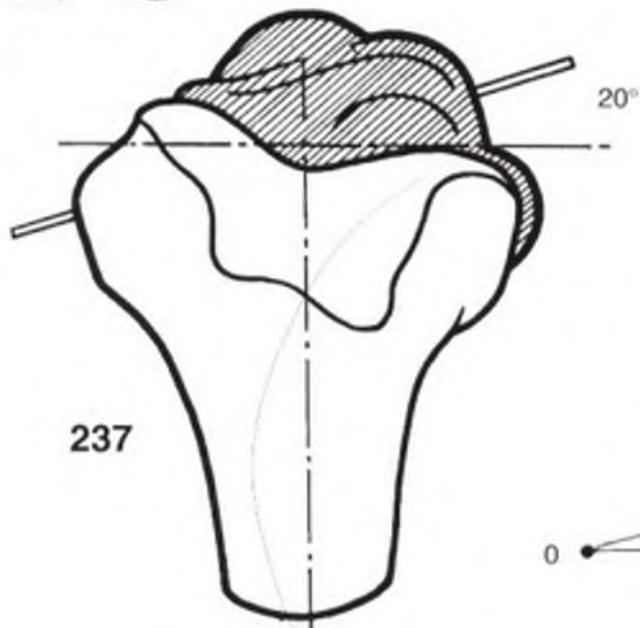
- la acción predominante de los músculos flexores-rotadores internos (Fig. 243), músculos de la pata de ganso (flecha negra) y poplíteo (flecha blanca);
- la tensión del ligamento cruzado anteroexterno al final de la extensión (Fig. 244); el ligamento pasa por fuera del eje, de forma que su tensión provoca una rotación externa.



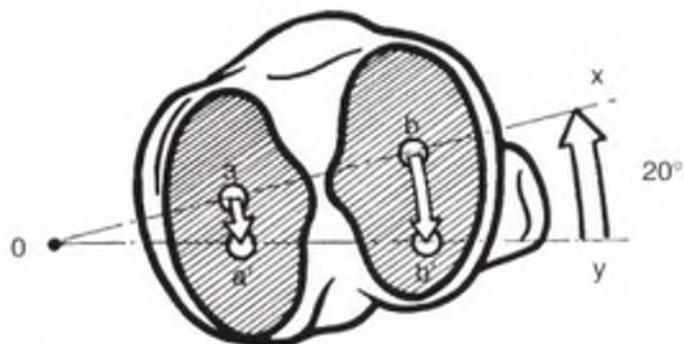
235



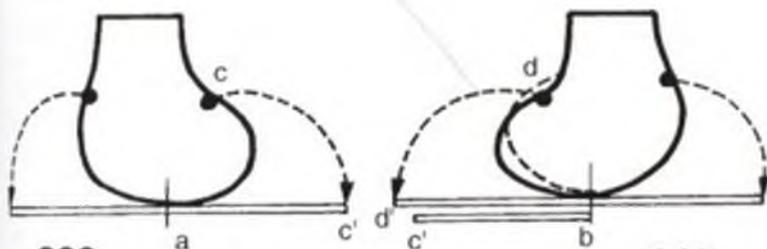
236



237

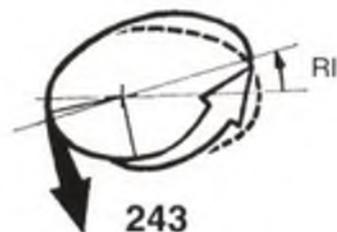


238

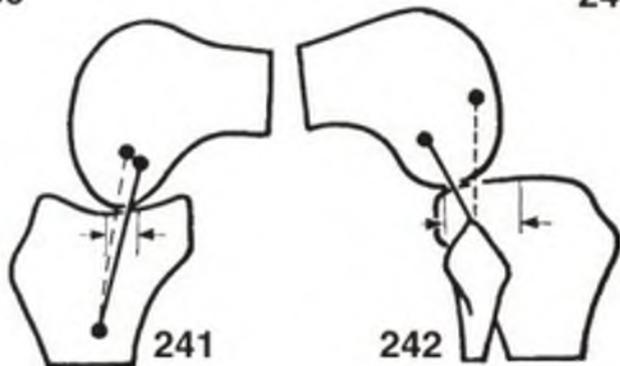


239

240



243



241

242



244

EL EQUILIBRIO DINÁMICO DE LA RODILLA

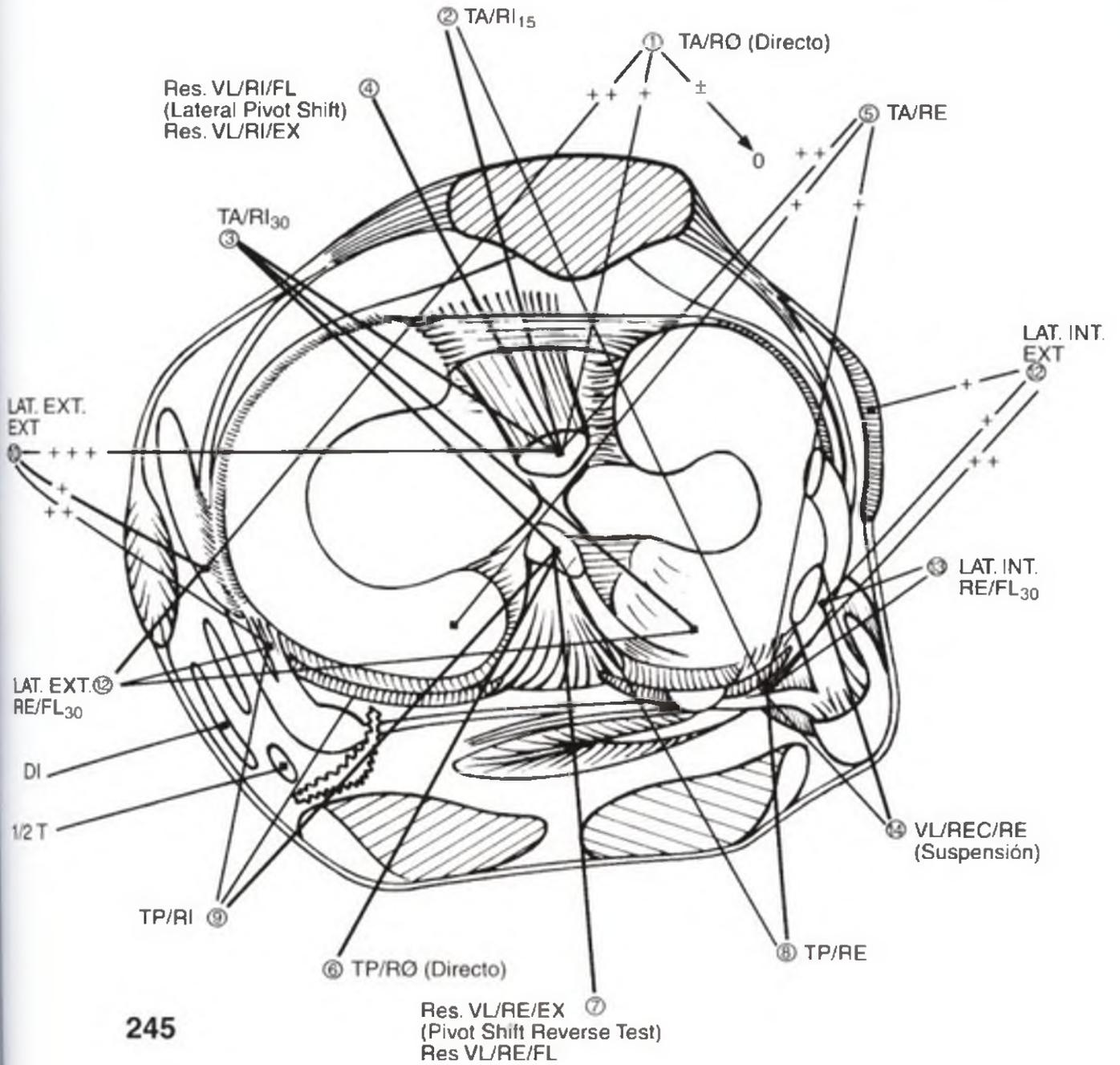
Al término de este capítulo, parece que la estabilidad de la rodilla, articulación débilmente encajada, se sostiene gracias a un *milagro constante*. Es por este motivo que se ha intentado exponer en un esquema sinóptico (Fig. 245) los principales tests en relación a las estructuras implicadas. La elección de dichos tests se puede prestar a discusión, al igual que su interpretación, aunque se base en las publicaciones más recientes. De todos modos, hay que ser conscientes de que se trata de una clasificación provisional.

1. El cajón anterior en rotación neutra, o cajón "directo", puede existir, en menor grado, de forma fisiológica; por lo tanto, siempre será necesario comparar con el lado supuestamente sano. Sin embargo, cuando su signo es claro (+) diagnostica una *ruptura del LCAE*. Cuando es muy acentuado, se asocia una *ruptura del LLI* a la anterior. Pero ¡cuidado con un falso cajón anterior que correspondería a la reducción de una subluxación posterior espontánea por ruptura del LCPI!
2. El cajón anterior en rotación interna de 15° constituye un signo claro de *ruptura del LCAE* que puede asociarse a una *lesión de la CFTPE* (capa fibrotendinosa posteroexterna o PAPE).
3. El cajón anterior en rotación interna de 30° traduce una *ruptura del LCAE asociada a la del LCPI*, y cuando se percibe un resalte se asocia a una *desinserción del cuerno posterior del menisco externo*.
4. El resalte externo en valgus, rotación interna y flexión, o *lateral pivot shift* de Mac Intosh y el test de resalte de Hughston son signos claros de *ruptura del LCAE*.
5. El cajón anterior en rotación externa, cuando es moderado (+) indica una *lesión de la CFTPE (PAPE)*, y si se percibe un resalte se asocia a una *desinserción del cuerno posterior del menisco interno*.
6. El cajón posterior en rotación neutra o cajón posterior directo es el signo infalible de la *ruptura del LCPI*.
7. El resalte externo en valgus, rotación externa y extensión o *pivot shift reverse test*, al igual que el resalte externo en valgus, rotación externa y flexión, indican una *ruptura del LCPI*.
8. El cajón posterior en rotación externa traduce una *lesión de la CFTPE (PAPE)*, pudiéndose asociar a una *ruptura del LCPI*.
9. El cajón posterior en rotación interna sería un signo específico de la *ruptura del LCPI asociada a una lesión de la CFTPI (PAPI)*.
10. Un movimiento de lateralidad en extensión, de forma que provoque un ligero valgus (+) corresponde a una *ruptura del LLI*; cuando el valgus está más acentuado (++) indica una *lesión asociada de la convexidad condílea interna*; por último, cuando está muy acentuada (+++) existe además una *ruptura del LCAE*.
11. Un movimiento de lateralidad externa en ligera flexión (10-30°) indica una *ruptura asociada del LLI, de la convexidad condílea interna y de la CFTPI* al igual que una *lesión del cuerno posterior del menisco interno*.
12. Un movimiento de lateralidad interna en extensión indica, cuando existe un varus moderado (+), una *ruptura del LLE* que puede estar o no asociada a una *ruptura de la cintilla de Maissiat*, y cuando está acentuado (++) una *ruptura asociada de la convexidad condílea externa y de la CFTPE (PAPE)*.
13. Un movimiento de lateralidad interna en ligera flexión (10-30°) indica las mismas lesiones que en el caso anterior pero *sin asociar la ruptura de la cintilla de Maissiat*.
14. El test de recurvatum, rotación externa y valgus o incluso el test de suspensión del dedo gordo indican una *ruptura asociada del LLE y de la CFTPE (PAPE)*.

Para entender la mecánica de la rodilla es necesario concebir que la rodilla en movimiento realiza un **equilibrio dinámico** y, sobre todo, abandonar la idea de un equilibrio de dos términos, como el de los dos platos de una balanza. Sin embargo, una *tabla de vela* (Fig. 246) es mucho más representativa, ya que corresponde a un **equilibrio de tres términos**:

- el mar, que sujeta la tabla, corresponde a la acción de las *superficies articulares*;
- el viento, que azota la vela, es la fuerza motora, es decir los *músculos*;
- el individuo, que dirige el movimiento mediante sus constantes reacciones en función del viento y del mar, corresponde al *sistema ligamentoso*.

El funcionamiento de la rodilla está determinado, en todo momento, por las reacciones mutuas y equilibradas de estos tres factores, superficies articulares, músculos y ligamentos en **equilibrio dinámico trilateral**.



245



246

CAPÍTULO III

EL TOBILLO

La articulación del tobillo, o tibiotalariana, es la articulación distal del miembro inferior. Es una **troclea**, lo que significa que sólo posee un *único grado de libertad*. Condiciona los movimientos de la pierna en relación al pie en el *plano sagital*. No sólo es necesaria, sino indispensable para la marcha, tanto si ésta se desarrolla en terreno llano como si se desarrolla en terreno accidentado.

Se trata de una articulación *muy "cerrada"*,

muy encajada, que sufre limitaciones importantes, ya que en apoyo monopodal soporta la totalidad del peso del cuerpo, incluso aumentado por la energía cinética cuando el pie contacta con el suelo a cierta velocidad durante la marcha, la carrera o la recepción del salto. Es fácil imaginar la cantidad de problemas que hay que resolver para crear prótesis totales tibiotalarinas con cierta garantía de longevidad.



EL COMPLEJO ARTICULAR DEL PIE

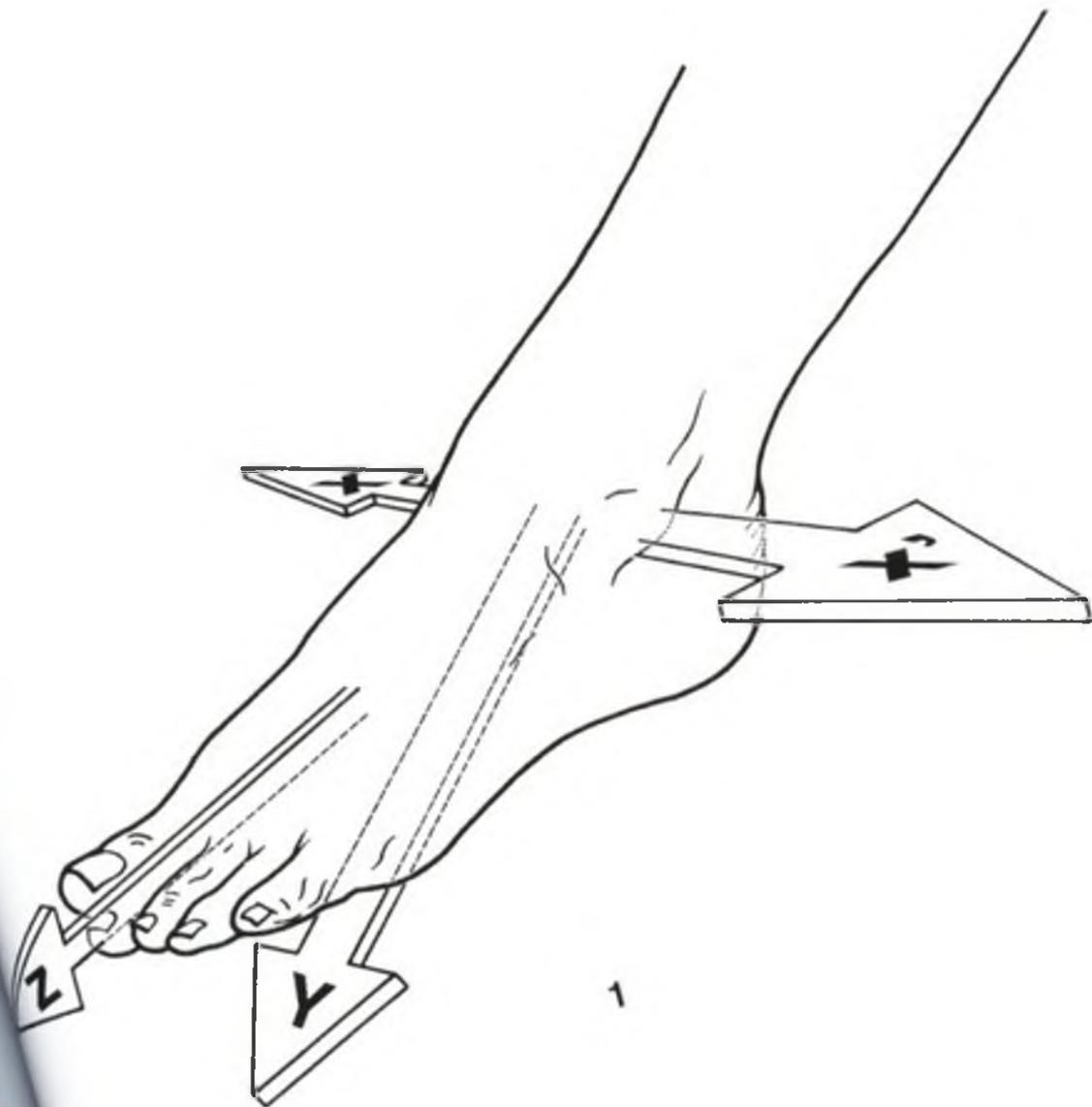
En realidad, la tibiotalariana es la articulación más importante —"la reina" como decía Farabeuf— de todo el complejo articular del retropié. Este conjunto de articulaciones, con la ayuda de la rotación axial de la rodilla, tiene las mismas funciones que una sola articulación de tres grados de libertad, que permite orientar la bóveda plantar en todas las direcciones para que se adapte a los accidentes del terreno. De nuevo, se haya un paralelismo con el miembro superior, en el que las articulaciones de la muñeca, con ayuda de la pronosupinación, permiten la orientación de la mano en cualquier plano. Sin embargo, la amplitud de esta capacidad de orientación es mucho más limitada en el pie que en la mano.

Los tres ejes principales de este complejo articular (Fig. 1) se interrumpen aproximadamente en el retropié. Cuando el pie está en una posición de referencia, estos tres ejes son perpendiculares entre sí; en este esquema la extensión del tobillo modifica la orientación del eje Z.

El eje transversal XX' pasa por los dos maléolos y corresponde al eje de la articulación tibiotalariana. Grosso modo, está incluido en el plano frontal y condiciona los movimientos de flexoextensión del pie (véase pág. 162) que se realizan en el plano sagital.

El eje longitudinal de la pierna Y es vertical y condiciona los movimientos de aducción-abducción del pie, que se efectúan en el plano transversal. Ya se vio con anterioridad (véase pág. 82) que estos movimientos son factibles con la rotación axial de la rodilla flexionada. En menor medida, estos movimientos de aducción-abducción se localizan en las articulaciones posteriores del tarso, aunque siempre estarán combinadas con movimientos en torno al tercer eje.

El eje longitudinal del pie Z es horizontal y pertenece al plano sagital. Condiciona la orientación de la planta del pie de forma que le permite "mirar" ya sea directamente hacia abajo, hacia fuera o hacia dentro. Por analogía con el miembro superior, estos movimientos reciben el nombre de *pronación y supinación*.



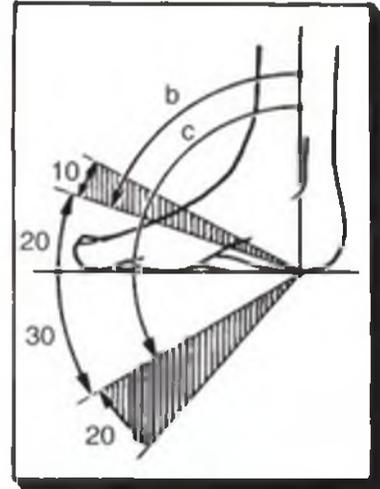
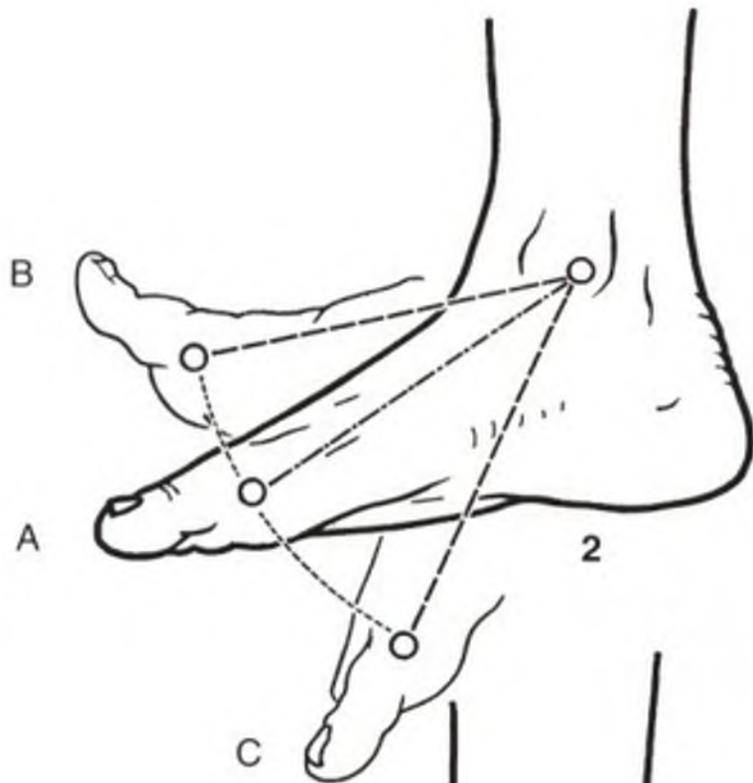
LA FLEXOEXTENSIÓN

La **posición de referencia** (Fig. 2) es aquella en la que la planta del pie es perpendicular al eje de la pierna (A). A partir de esta posición, la flexión del tobillo (B) se define como el movimiento que aproxima el dorso del pie a la cara anterior de la pierna; también se denomina flexión dorsal o dorsiflexión.

Por el contrario, la **extensión de la articulación tibiotalar** (C) aleja el dorso del pie de la cara anterior de la pierna mientras que el pie tiende a situarse en la prolongación de la pierna. Este movimiento también se denomina flexión plantar, aunque no es la denominación más adecuada, puesto que la flexión siempre corresponde a un movimiento que aproxima los segmentos de los miembros al tronco. En esta figura se puede comprobar que la amplitud de la extensión es mucho mayor que la de la flexión. Para medir estos ángulos es mejor valorar el ángulo entre la planta del pie y el eje de la pierna (Fig. 3) que tomar como referencia el centro de la articulación tibiotalar:

- cuando este ángulo es agudo (b), se trata de una **flexión**. Su amplitud es de 20 a 30°. La zona sombreada indica el margen de variaciones individuales de amplitud, es decir 10°;
- cuando este ángulo es obtuso (c), se puede afirmar entonces que se trata de una **extensión**. Su amplitud es de 30 a 50°. El margen de variaciones individuales es mayor (20°) que el de la flexión.

En los movimientos extremos no sólo interviene la tibiotalar sino que se añade la amplitud propia de las articulaciones del tarso, que no por ser menos importante debe despreciarse. En la máxima flexión (Fig. 4) las articulaciones del tarso añaden algunos grados (+) mientras que la bóveda se aplanan. A la inversa, en la máxima extensión (Fig. 5), la amplitud adicional (+) se debe a un hundimiento de la bóveda.



LAS SUPERFICIES DE LA TIBIOTARSIANA

(Las leyendas son comunes a todas las figuras)

Si se compara la tibiotalarsiana a un modelo mecánico (Fig. 6), se puede describir de la siguiente manera:

- una *pieza inferior* (A), el astrágalo, que soporta una superficie cilíndrica (en una primera aproximación) con un gran eje transversal XX'.
- una *pieza superior* (B), la porción inferior de la tibia y el peroné, que constituyen un bloque -aquí supuestamente transparente- cuya superficie inferior presenta un agujero en forma de segmento cilíndrico idéntico al anterior.

El cilindro macizo, encajado en el segmento de cilindro hueco, y sujeto lateralmente entre ambos flancos de la pieza superior, puede realizar movimientos de flexión (F) y de extensión (E) *alrededor del eje común XX'*.

En la **realidad anatómica** (Fig. 7: vista anterointerna de la tibiotalarsiana "desmontada" y Fig. 8: ídem, vista posterioexterna), el cilindro macizo corresponde a la **polea astragalina** compuesta de tres partes: una superficie superior y dos superficies laterales, las carillas.

La **superficie superior**, la polea propiamente dicha, convexa de delante atrás, marcada longitudinalmente por una depresión axial, *la garganta de la polea* (1), hacia la que convergen la vertiente interna (2) y la vertiente externa (3) de la tróclea. Como se puede constatar en una vista superior (Fig. 9), esta garganta no es del todo sagital, sino que está ligeramente desviada hacia delante y hacia fuera (flecha Z), *en la misma dirección que el eje longitudinal del pie*, mientras que el cuello del astrágalo se dirige hacia delante y hacia dentro (flecha T) de forma que el astrágalo está retorcido sobre sí mismo. Esta vista superior también muestra que la tróclea es más ancha (L) por delante que por detrás (l). Esta superficie troclear corresponde a una superficie *inversamente conformada*, situada en la superficie inferior del pilón tibial (Figs. 7 y 8): cóncava de delante atrás (Fig. 12: corte sagital,

vista externa), presenta una cresta roma sagital (4) que se introduce en la garganta de la tróclea (Fig. 11: corte frontal, vista anterior). A cada lado, una "corredera" interna (5) y otra externa (6) reciben las correspondientes vertientes de la polea.

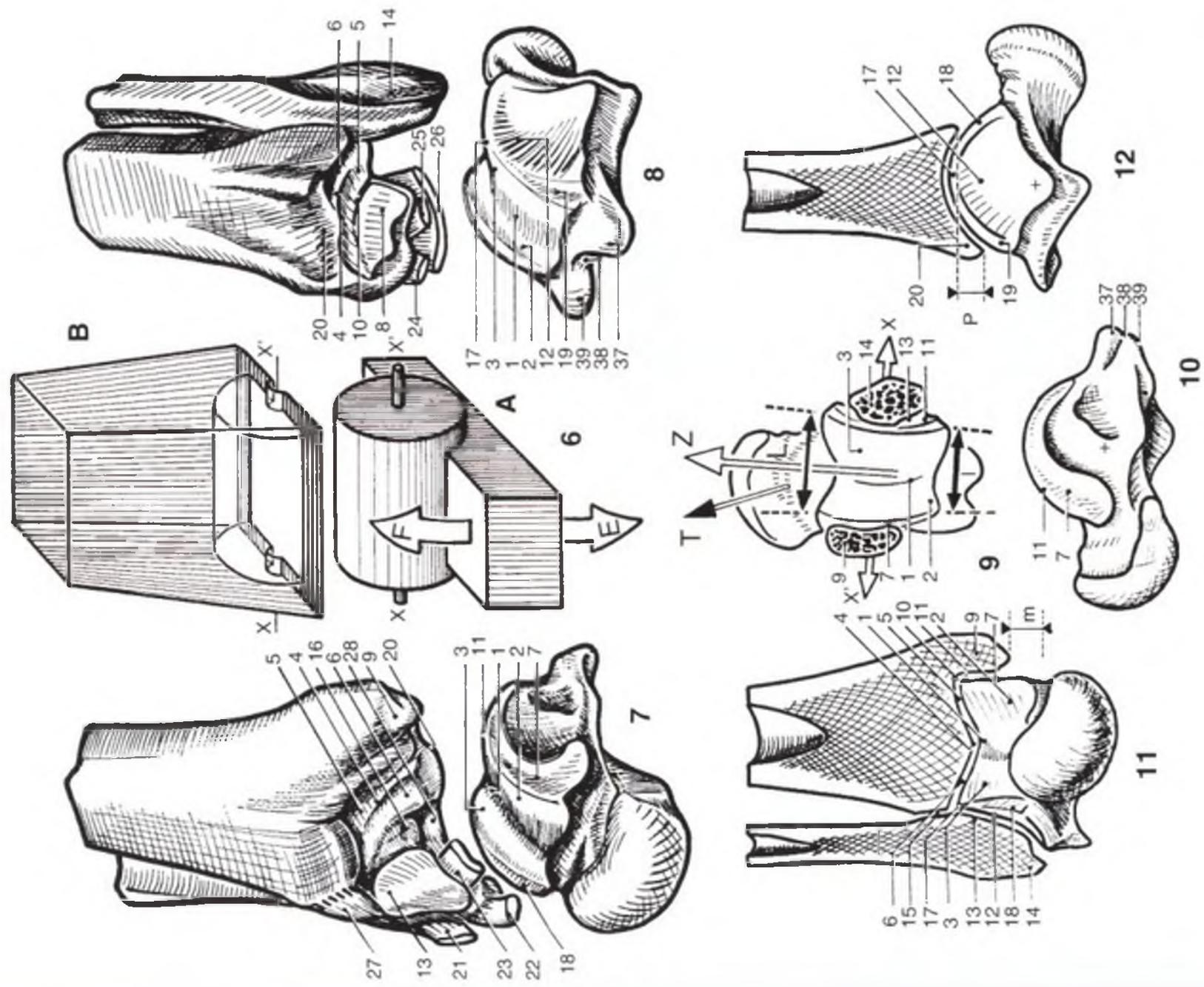
La **carilla interna** (7), visible en una vista interna del astrágalo (Fig. 10), es prácticamente plana -excepto por delante, donde se desvía hacia dentro (Fig. 7)- y sagital (Fig. 9). Contacta con la carilla articular (8) de la cara externa del maléolo interno (9), recubierta de un cartílago que prolonga el de la superficie inferior del pilón tibial. Entre ambas superficies, el ángulo diedro (10) recibe la arista aguda (11) que separa la vertiente y carilla internas de la polea.

La **carilla externa** (12) se desvía considerablemente hacia fuera (Fig. 8), cóncava tanto de arriba abajo (Fig. 11) como de delante atrás (Fig. 9); su "plano" es ligeramente oblicuo hacia delante y hacia fuera. Contacta con la carilla articular (13) de la cara interna (Fig. 7) del maléolo peroneo (14). Esta carilla está separada de la superficie tibial por la interlínea peroneotibial inferior (15), ocupada por una franja sinovial (16) (véase pág. 174) en contacto con la arista (17) que separa la vertiente y carilla externas de la tróclea. Esta arista está *biselada* por delante (18) y por detrás (19) (véase pág. 172).

Así pues, las dos caras laterales de la polea astragalina están sujetas por los maléolos, cuyas *diferencias se exponen a continuación*:

- el externo es más voluminoso que el interno;
- desciende más abajo (m. Fig. 11)
- es más posterior (Fig. 9), lo que explica la ligera oblicuidad (20°) hacia fuera y hacia atrás del eje XX'.

También se describe como tercer maléolo de Destot (Fig. 12) el margen posterior de la superficie tibial (20) que desciende más abajo (p) que el margen anterior.



LOS LIGAMENTOS DE LA TIBIOTARSIANA

(estas cuatro figuras se basan en Rouvière;

las explicaciones son comunes a todas ellas y a las de la página precedente)

Los ligamentos de la tibiotalarsiana se componen de dos sistemas ligamentosos principales, los ligamentos laterales externo e interno, y dos sistemas accesorios, los ligamentos anterior y posterior.

Los ligamentos laterales constituyen, a cada lado de la articulación, potentes abanicos fibrosos cuyo vértice se fija en el maléolo correspondiente, próximo al eje XX', y cuya periferia se expande por los dos huesos del tarso posterior:

El ligamento lateral externo (LLE) (Fig. 13: vista externa) está formado por tres haces, dos de ellos se dirigen al astrágalo y el otro restante al calcáneo:

- el haz anterior (21), adherido al borde anterior del maléolo peroneo (14), se dirige oblicuamente hacia abajo y adelante para insertarse en el astrágalo, entre la carilla externa y la apertura del seno del tarso;
- el haz medio (22) se inicia en las proximidades del punto más prominente del maléolo para dirigirse hacia abajo y atrás e insertarse en la cara externa del calcáneo. El ligamento calcaneoastragalino externo (32) recorre todo su borde inferior;
- el haz posterior (23), se origina en la cara interna del maléolo (véase Fig. 7), por detrás de la carilla articular, para dirigirse horizontalmente hacia dentro y ligeramente hacia atrás e insertarse en el tubérculo posteroexterno del astrágalo (37). Su posición y dirección hacen que sea más visible en el plano posterior (Fig. 14). Se prolonga a través de un pequeño ligamento denominado calcaneoastragalino posterior (31).

Del maléolo externo parten también los dos ligamentos peroneotibiales inferiores (Figs. 14 y 15): el anterior (27) y el posterior (28), cuya función se analizará más adelante.

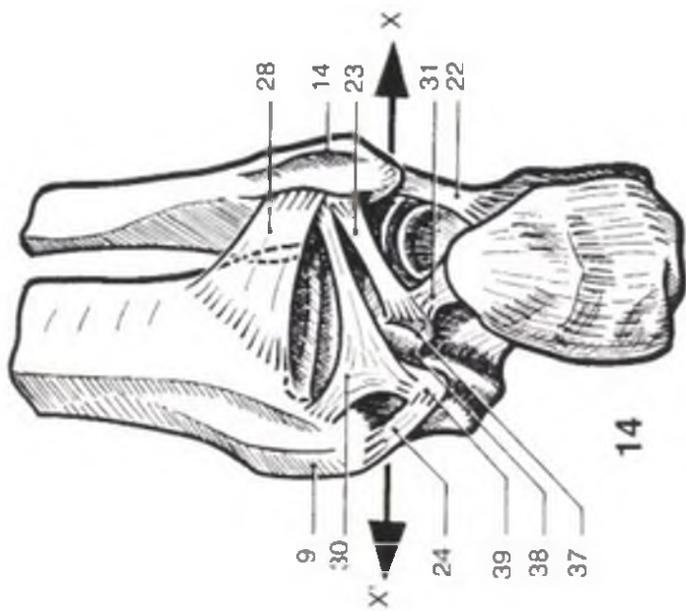
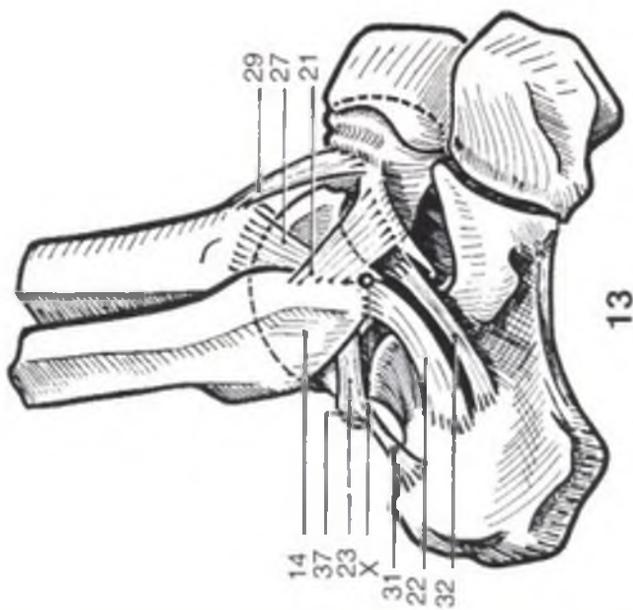
El ligamento lateral interno (LLI) (Figura 16: vista interna) se divide en dos planos, superficial y profundo.

- El plano profundo está constituido por dos haces tibioastragalinos:

- el haz anterior (25), oblicuo hacia abajo y adelante, se inserta en la rama interna del yugo astragalino;
- el haz posterior (24), oblicuo hacia abajo y atrás, se inserta en una fosita profunda (Fig. 10) localizada por debajo de la carilla interna; sus fibras más posteriores se fijan en el tubérculo postero-interno (39).

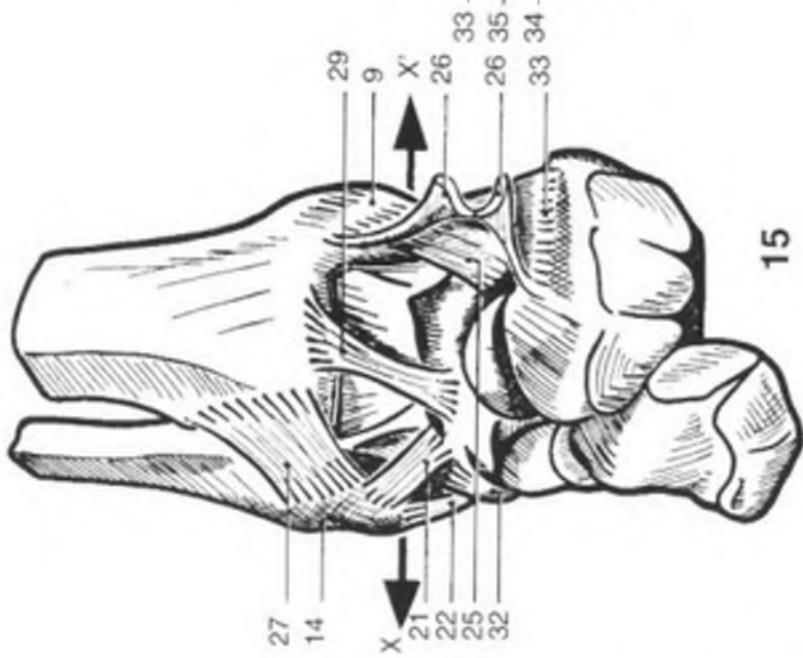
- El plano superficial, muy extenso y triangular, forma el ligamento deltoideo (26). Al cubrir los haces profundos, en la vista anterior (Fig. 15), ha sido necesario seccionar y apartar el ligamento deltoideo para poder ver el haz profundo anterior (25); y en la vista interna (Fig. 16) se le representa transparente. Desde su origen tibial (36), se expande por una línea de inserción inferior continua en el escafoides (33), el borde interno (34) del ligamento glenoideo y la apófisis menor del calcáneo (35). Así pues, el ligamento deltoideo, como es el caso del haz medio del LLE, no tiene ninguna inserción en el astrágalo, motivo por el cual los clásicos lo han denominado *tibio-escafo-gleno-sustentacular transastragalino*.

Los ligamentos anterior (Fig. 15: vista anterior) y posterior (Fig. 14: vista posterior) de la tibiotalarsiana son simples engrosamientos capsulares. El anterior (29) une oblicuamente el margen anterior de la superficie tibial y la rama de la bifurcación posterior del yugo astragalino (Fig. 13). El posterior (30) está formado por fibras de origen tibial y peroneo que convergen hacia el tubérculo postero-interno del astrágalo (39), que con el tubérculo posteroexterno (37), constituye los límites de la corredera profunda del flexor del dedo gordo (38). Se puede ver como se prolonga por la cara interna del sustentáculo.

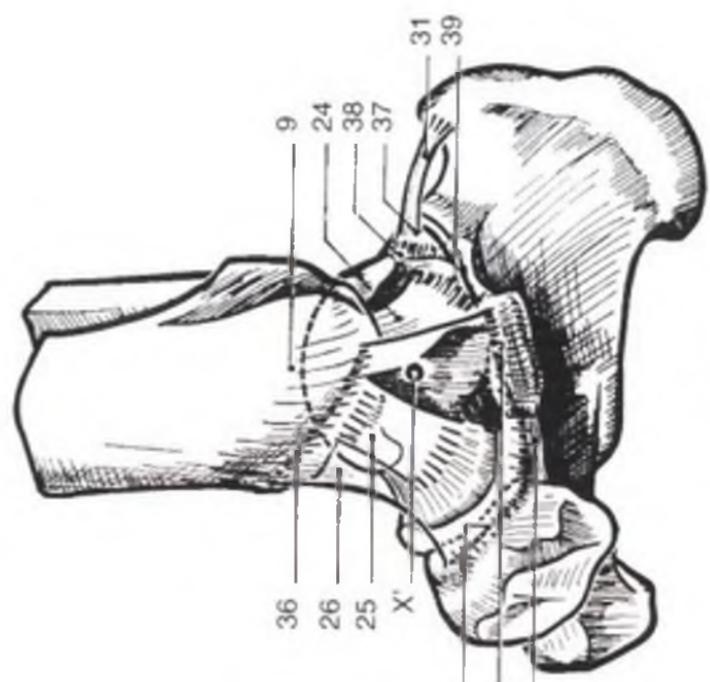


13

14



15



16

ESTABILIDAD ANTEROPOSTERIOR DEL TOBILLO Y FACTORES LIMITANTES DE LA FLEJOEXTENSIÓN

La amplitud de los movimientos de flexo-extensión está, ante todo, determinada por el desarrollo de las superficies articulares (Fig. 17). Sabiendo que la superficie tibial tiene un desarrollo de 70° de arco y que la polea astragalina se extiende de 140 a 150°, se puede deducir, por una simple resta, que la amplitud global de la flexoextensión es de 70 a 80°. También se puede constatar que el desarrollo de la polea es mayor por detrás que por delante, lo que explica el predominio de la extensión sobre la flexión.

La limitación de la flexión (Fig. 18) depende de *factores óseos, capsuloligamentosos y musculares*:

- **factores óseos:** en la flexión máxima, la cara superior del cuello del astrágalo impacta (1) contra el margen anterior de la superficie tibial. Si el movimiento resulta ser demasiado forzado, el cuello puede incluso fracturarse. La parte anterior de la cápsula se ve protegida del pinzamiento, al ser desplazada (2) por la tensión de los flexores, merced a las adherencias que establece con las vainas de los mismos;
- **factores capsuloligamentosos:** la parte posterior de la cápsula se tensa (3), al igual que los haces posteriores de los ligamentos laterales (4);
- **factor muscular:** la resistencia tónica del músculo tríceps (5) interviene antes que los factores precedentes descritos. De forma que una retracción muscular puede limitar precozmente la flexión; incluso el tobillo puede permanecer en extensión (pie equino); en este caso, se puede recurrir a una intervención quirúrgica para alargar el tendón de Aquiles.

La limitación de la extensión (Fig. 19) obedece a factores idénticos:

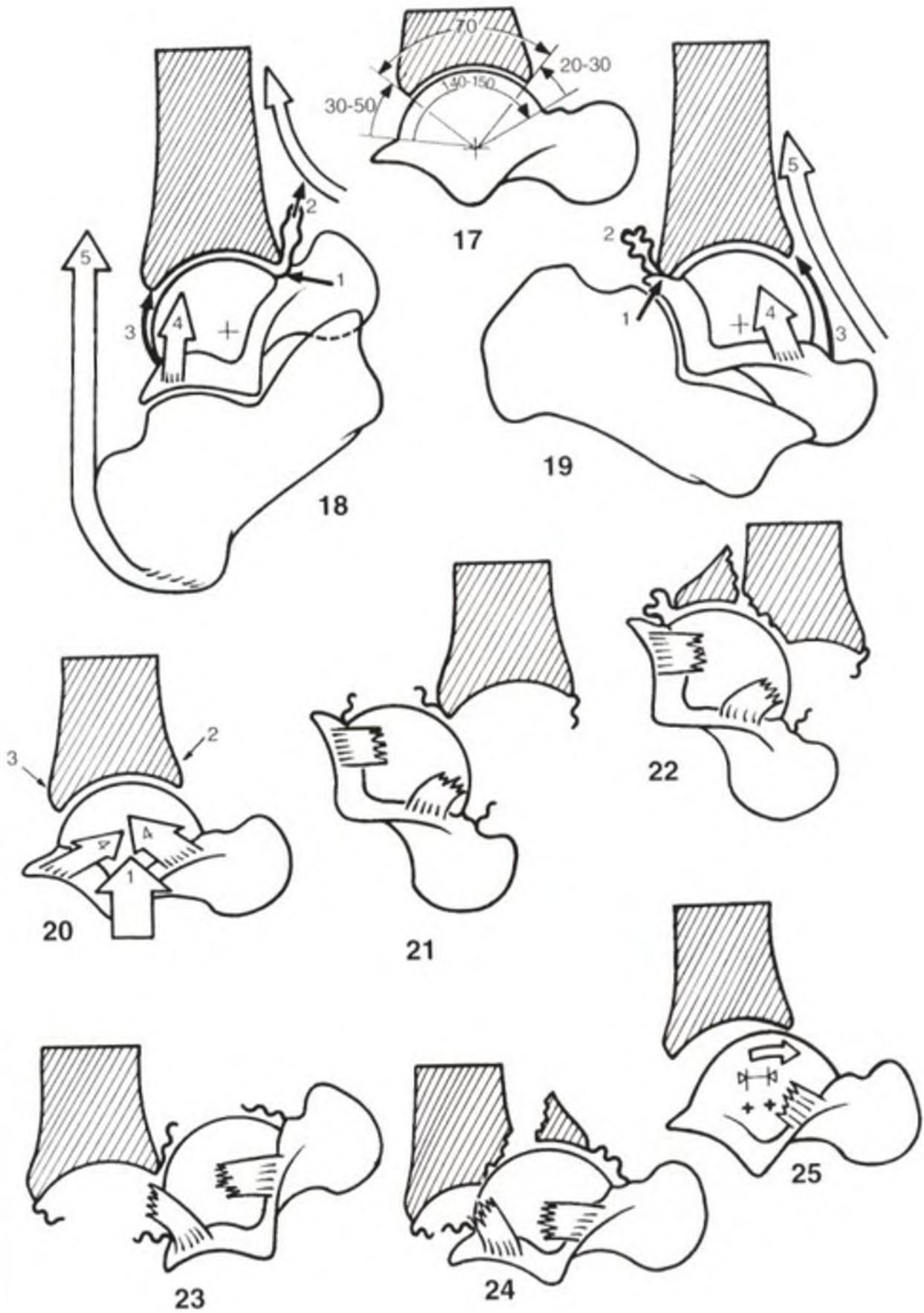
- **factores óseos:** los tubérculos posteriores del astrágalo, sobre todo el externo, contactan (1) con el margen posterior de la superficie tibial. También existen, aunque son raras, fracturas del tubérculo externo por hiperextensión, pero el tubérculo externo se ve anatómicamente separado del astrágalo con frecuencia, formando el hueso trígono. La cápsula está protegida del pinzamiento (2) por un mecanismo análogo al de la flexión;

- **factores capsuloligamentosos:** la parte anterior de la cápsula se tensa (3) al igual que los haces anteriores de los ligamentos laterales.
- **factor muscular:** la resistencia tónica de los músculos flexores (5) limita en primer lugar la extensión. La hipertonia de los flexores provoca una flexión permanente (pie talo).

La estabilidad anteroposterior de la tibiotalar y su coaptación (Fig. 20) están aseguradas por la acción de la gravedad (1) que ejerce el astrágalo sobre la superficie tibial cuyos *márgenes anterior* (2) y *posterior* (3) representan unas barreras que impiden que la polea se escape hacia delante o, con mucha más frecuencia, hacia atrás cuando el pie extendido contacta con fuerza con el suelo. Los *ligamentos laterales* (4) aseguran la coaptación pasiva y los músculos (no representados aquí) actúan todos como coaptadores activos sobre una articulación intacta.

Cuando los movimientos de flexoextensión sobrepasan la amplitud permitida, uno de los elementos debe ceder necesariamente. De esta forma, la **hiperextensión** puede provocar una luxación posterior (Fig. 21) con una ruptura capsuloligamentosa más o menos completa, o una fractura del margen posterior (Fig. 22), o tercer maléolo, induciendo así una subluxación posterior. La deformación puede reproducirse incluso después de una reducción correcta (deformación incoercible) si el fragmento marginal supera en desarrollo el tercio de la superficie tibial, entonces será preciso fijarlo quirúrgicamente (colocación de un tornillo). Del mismo modo, la **hiperflexión** puede provocar una luxación anterior (Fig. 23), o una fractura del margen anterior (Fig. 24).

En el esguince del ligamento lateral externo, el haz anterior (Fig. 25) es el primero que se solicita; en primer lugar, en caso de *esguince benigno* estará simplemente "estirado", se rompe en los *esguinces graves*. Entonces es posible poner de manifiesto un **cajón anterior**, clínicamente o, sobre todo, radiológicamente: el astrágalo se desplaza hacia delante y los dos arcos de círculo de la polea astragalina y del techo de la mortaja tibial han dejado de ser concéntricos; cuando los centros de la curva están desplazados más de 4-5 mm, existe una ruptura del haz anterior del L.L.E.



ESTABILIDAD TRANSVERSAL DE LA TIBIOTARSIANA

La tibiotalarsiana es una articulación dotada de un solo grado de libertad, ya que su propia estructura le impide cualquier movimiento alrededor de uno de sus otros dos ejes. Esta estabilidad se debe a un **estrecho acoplamiento, verdadera unión entre espiga y mortaja**: la espiga astragalina está bien sujeta en la mortaja tibioperonea (Fig. 26). Cada rama de la *pinza bimaléolar* sujeta lateralmente al astrágalo, siempre que la separación entre el maléolo externo (A) y el interno (B) permanezca inalterable. Esto supone, además de la integridad de los maléolos, la de los ligamentos peroneotibiales inferiores (1). Además, los potentes ligamentos laterales externo (2) e interno (3) impiden cualquier movimiento de balanceo del astrágalo sobre su eje longitudinal.

Cuando un **movimiento forzado de abducción** dirige el pie hacia fuera, la carilla externa del astrágalo ejerce una presión sobre el maléolo peroneo. Se pueden dar entonces varias posibilidades:

- la pinza bimaléolar se disloca (Fig. 27) por ruptura de los ligamentos peroneotibiales inferiores (1); de este modo aparece la **diastasis intertibioperonea**. El astrágalo ya no está sujeto y puede realizar movimientos de lateralidad (vaivén astragalino); también puede efectuar (Fig. 28) una rotación sobre su eje longitudinal (inclinación o "bandazo"), favorecida por un *esguince del LLI* (3) —en este caso, el ligamento sólo ha sufrido una elongación: se trata de un *esguince benigno*—; por último, puede girar (Fig. 33) en torno a su eje vertical (flecha Abd), mientras que la parte posterior de la polea hace saltar el *margen posterior* (flecha 2).
- si el movimiento va más allá (Fig. 32), el LLI se rompe (3); se trata del *esguince grave* del LLI asociado a la diastasis intertibioperonea;
- o bien es el maléolo interno (B) el que cede (Fig. 30) al mismo tiempo que el externo (A) por encima de los ligamentos peroneotibiales inferiores (1). Así se provoca una **fractura de Dupuytren "alta"**. A veces, la línea de fractura peronea está situada mucho más arriba, en el cuello: se trata de

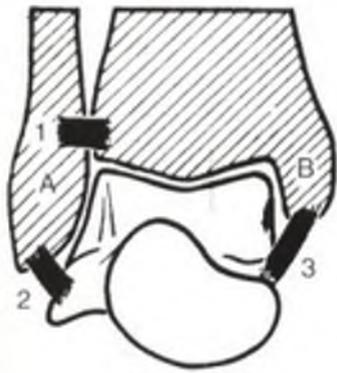
la fractura de Maisonneuve, sin representar aquí:

- con frecuencia, los ligamentos tibioperoneos inferiores resisten (Fig. 29), o al menos el anterior. La fractura del maléolo interno (B) se asocia entonces a una fractura del maléolo externo *por debajo o a través de la articulación peroneotibial inferior*. En este caso se habla de una **Dupuytren "baja"** o de una de sus equivalentes cuando una ruptura del LLI (3) sustituye la fractura del maléolo interno (Fig. 31). Las fracturas "bajas" de Dupuytren conllevan a menudo una fractura asociada del margen posterior con desprendimiento de un *tercer fragmento posterior* que puede formar un bloque con el fragmento maleolar interno.

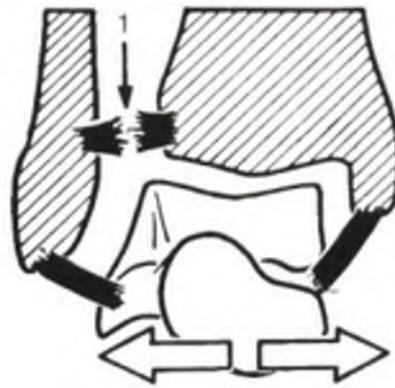
Junto a estas dislocaciones de la pinza maleolar producidas por un movimiento de abducción, se pueden observar **fracturas bimaléolares por aducción** (Fig. 34): la punta del pie, dirigida hacia dentro, hace que el astrágalo gire (Fig. 33) alrededor de su eje vertical (flecha Adu.), la carilla interna hace saltar (flecha 3) el maléolo interno (B) y la báscula del astrágalo rompe el maléolo externo (A) a la altura del pilón tibial.

Sin embargo, la mayoría del tiempo, el movimiento de aducción o de inversión no conduce a una fractura sino a un **esguince del ligamento lateral externo**. Afortunadamente, en la mayoría de los casos, el esguince es benigno, ya que el ligamento está distendido pero no roto. Por el contrario, en el caso de un esguince grave, con ruptura del ligamento lateral externo, la estabilidad de la tibiotalarsiana se ve comprometida. En una **radiografía anterior** del tobillo en inversión forzada (si es necesario, tras anestesia local) se puede constatar (Fig. 35) una **báscula del astrágalo**: ambas líneas de la interlínea superior, en vez de estar paralelas, forman un ángulo abierto hacia fuera superior a los 10-12°. De hecho, algunos tobillos son hiperlaxos y es necesario realizar una placa comparativa del tobillo supuestamente sano.

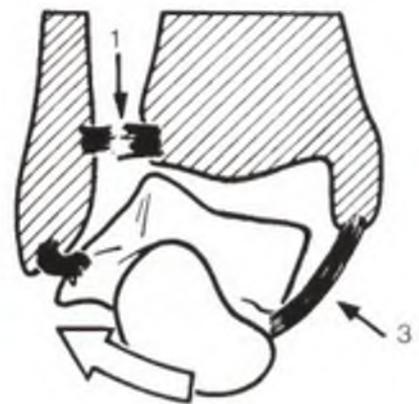
No es necesario decir que todas estas lesiones de la pinza bimaléolar exigen una corrección estricta si se pretende restablecer la estabilidad de la articulación y su funcionamiento normal.



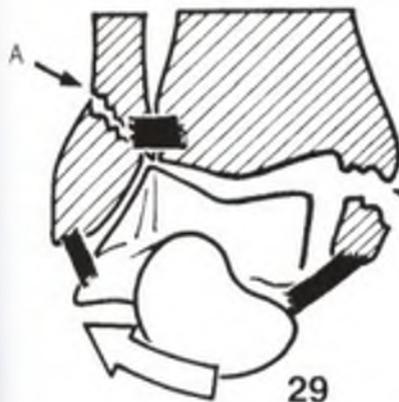
26



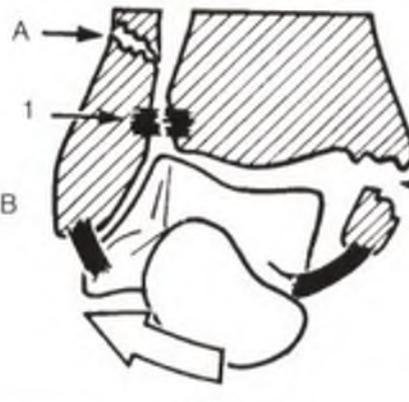
27



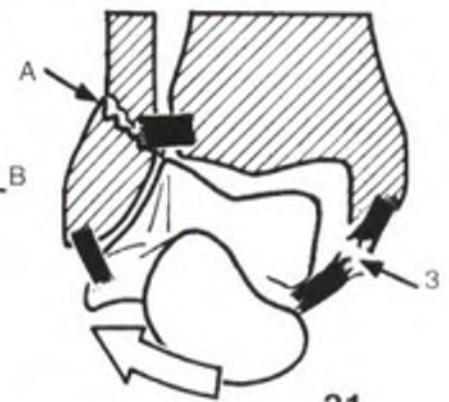
28



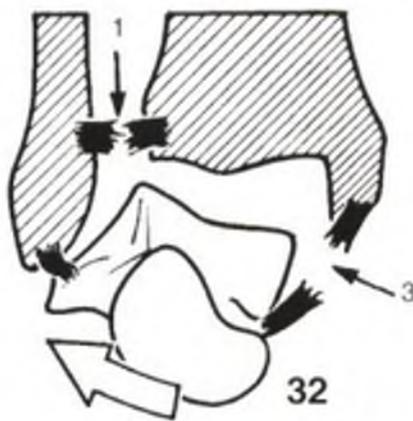
29



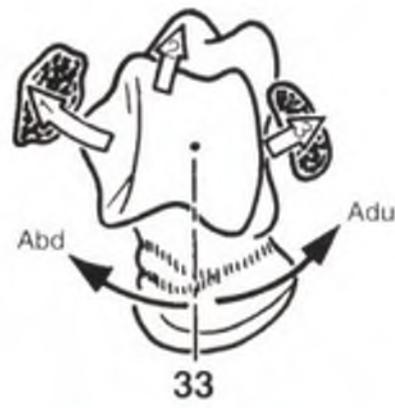
30



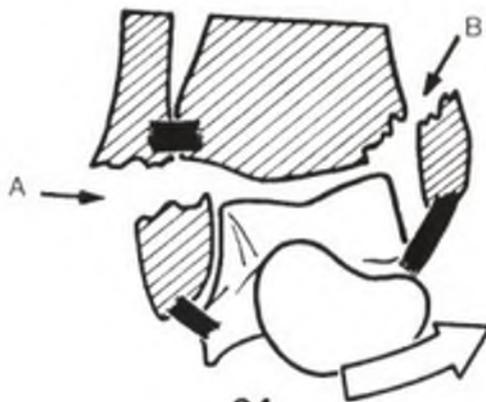
31



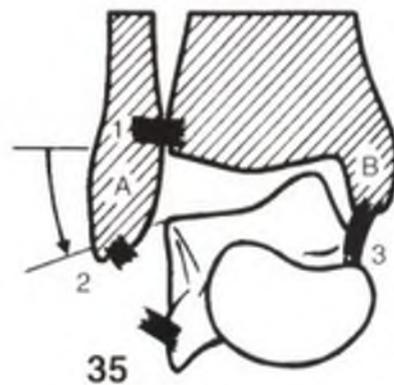
32



33



34



35

LAS ARTICULACIONES PERONEOTIBIALES

La tibia y el peroné se articulan por sus dos extremos a la altura de las articulaciones peroneotibiales superior (Figs. 36 a 38) e inferior (Figs. 39 a 41). Como se podrá ver en la página siguiente, *estas articulaciones están mecánicamente comprometidas con la tibiotalarsiana*: por lo tanto, es lógico analizarlas al tratar el tobillo.

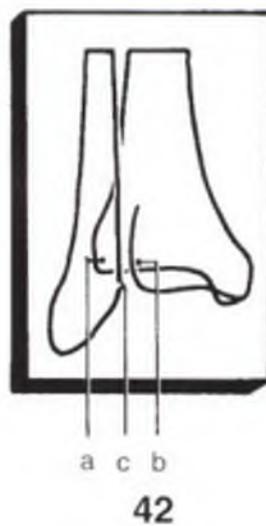
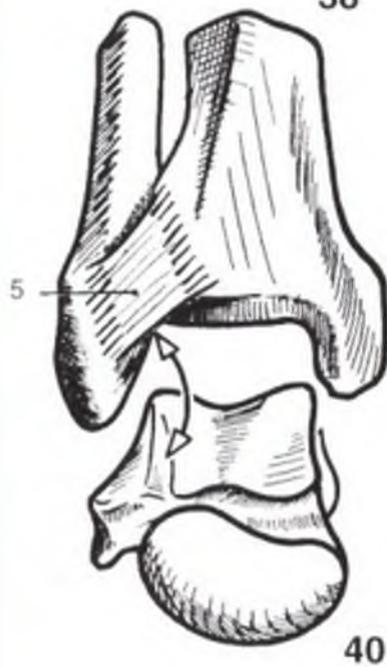
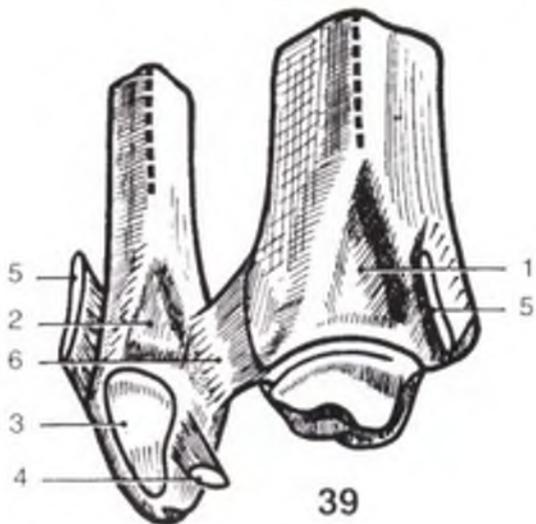
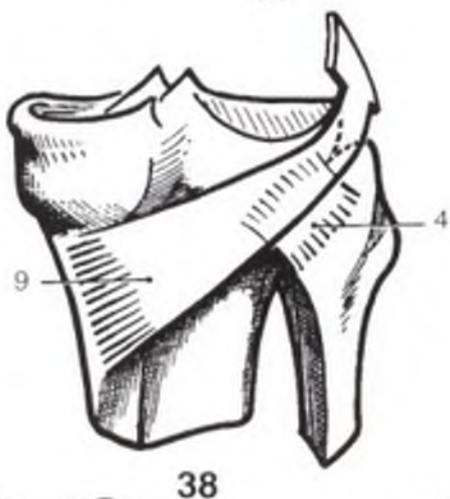
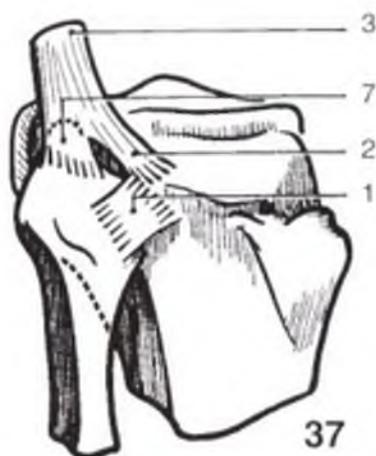
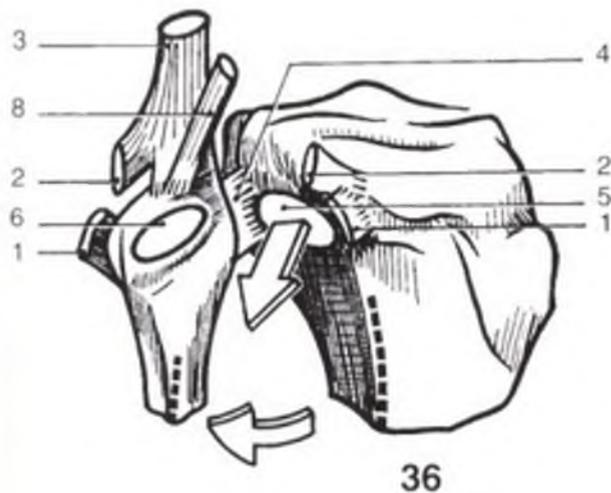
La articulación peroneotibial superior se puede ver con claridad (Fig. 36) cuando se desliza el peroné una vez seccionados su ligamento anterior (1) y la expansión anterior (2) del tendón del bíceps (3). Es entonces, cuando la articulación se abre alrededor de la charnela constituida por el ligamento posterior (4): la peroneotibial superior es una *artrodia* que pone en contacto dos superficies ovales planas o ligeramente convexas. La carilla tibial (5) se localiza en el contorno posteroexterno de la meseta tibial; está orientada oblicuamente hacia atrás, abajo y afuera (flecha). La carilla peronea (6) se localiza en la cara superior de la cabeza del peroné. Su orientación se opone a la de la carilla tibial. Está rebasada por la apófisis estiloides del peroné (7) en la que se inserta el tendón del bíceps crural (3). El ligamento lateral externo de la rodilla (8) se inserta entre el bíceps y la carilla articular. Una vista externa (Fig. 37) muestra la posición posterior de la cabeza del peroné en la articulación. También se puede observar el ligamento anterior (1) de la peroneotibial, corto y rectangular, al igual que la gruesa expansión del bíceps (2), que se inserta en la tuberosidad externa de la tibia. Una vista posterior (Fig. 38) muestra las estrechas conexiones del músculo poplíteo (9) con la articulación peroneotibial superior, mientras que se desliza sobre su ligamento posterior (4).

La articulación peroneotibial inferior, con una apertura parecida (Fig. 39), demuestra la

ausencia de superficies cartilaginosas: se trata pues de una sindesmosis. En la tibia, una superficie cóncava (1) más o menos rugosa, delimitada por la bifurcación del borde externo del hueso, se opone a una superficie peronea (2) convexa, plana o incluso cóncava, por debajo de la cual se localiza la carilla peronea (3) de la tibiotalarsiana, flanqueada por la inserción del haz posterior (4) del LLE. *El ligamento anterior* (5) de la peroneotibial inferior, grueso y nacarado, se dirige oblicuamente hacia abajo y afuera (Fig. 40: vista anterior); su borde inferior ocupa el ángulo externo de la mortaja; de forma que bisela (doble flecha) la parte anterior de la arista externa de la polea astragalina en los movimientos de flexión del tobillo. *El ligamento posterior* (6), más grueso y más ancho (Fig. 41: vista posterior), se expande, muy lejos, hacia el maléolo interno. Mediante el mismo mecanismo, achafalana la parte posterior de la misma arista durante los movimientos de extensión del tobillo.

Además de los ligamentos peroneotibiales, los dos huesos de la pierna están unidos por el **ligamento interóseo**, que se inserta en el borde externo de la tibia y en la cara interna del peroné (trazo punteado grueso en las figuras 36 y 39).

La peroneotibial inferior *no une directamente los dos huesos*: permanecen separados por un tejido celuloadiposo y este espacio se puede ver en una radiografía anterior (frontal) correctamente centrada del tobillo (Fig. 42). Normalmente, la proyección del peroné (c) penetra más (8 mm) en el tubérculo tibial anterior (a) de lo que está separada (2 mm) del tubérculo posterior (b). Si la distancia cb es mayor que la distancia ac, se puede hablar de *diastasis inter-tibio-peronea*.



FISIOLÓGIA DE LAS ARTICULACIONES PERONEOTIBIALES

La flexoextensión de la tibiotalariana pone en juego automáticamente las dos articulaciones peroneotibiales: están **unidas mecánicamente**.

La **articulación peroneotibial inferior** es la primera implicada. Su funcionamiento fue perfectamente aclarado por Pol Le Coeur. En primer lugar, la forma de la polea astragalina (Fig. 43: vista superior) permite deducir que la carilla tibial interna (Ti) es sagital, mientras que la externa, peronea (Pe), pertenece a un plano oblicuo hacia delante y afuera. Por consiguiente, la anchura de la polea es menor por detrás (aa') que por delante (bb'): la diferencia es de 5 mm. Para mantener lo más próximas posible las dos carillas de la polea, la **separación intermaleolar debe variar dentro de unos límites**: mínimo en la extensión (Fig. 44: vista inferior), máximo en la flexión (Fig. 45). En el cadáver, se puede determinar la extensión del tobillo con sólo comprimir los maléolos con fuerza y en sentido transversal.

Además, se puede constatar en una preparación anatómica (Figs. 44 y 45) que este movimiento de separación y de aproximación de los maléolos se acompaña de una **rotación axial del maléolo externo**, haciendo de charnela el ligamento peroneotibial anterior (1). Esta rotación se puede poner de manifiesto con facilidad mediante una varilla que atraviese en sentido horizontal el maléolo externo: entre su posición en la extensión (nn', Fig. 44) y su posición en la flexión (mm', Fig. 45) existe una diferencia de 30° en rotación interna. Simultáneamente, el ligamento peroneotibial posterior (2) se tensa. No obstante, conviene destacar que esta rotación axial del maléolo externo está más limitada en el ser vivo, sin que deje de estar presente. Por otra parte, la franja sinovial (f) de la articulación se desplaza: desciende (1) cuando los maléolos se aproximan en la extensión (Fig. 46), asciende (2) en la flexión (Fig. 47).

Por último, el peroné realiza **movimientos verticales** (Figs. 48 y 49: se ha representado el peroné en forma de regla). De hecho, unido a la tibia mediante fibras oblicuas hacia abajo y afuera de la membrana interósea (para un mejor entendimiento sólo se ha dibujado una fibra), el peroné, separándose de la tibia (Fig. 49), asciende ligeramente, mientras que desciende si se aproxima a ella (Fig. 48). Para concluir:

Durante la flexión de tobillo (Fig. 50):

- el maléolo externo *se aleja* del interno (flecha 1)

- simultáneamente, *asciende ligeramente* (flecha 2), mientras que las fibras de los ligamentos peroneotibiales y de la membrana interósea tienden a horizontalizarse (xx');
- por último, *gira sobre sí mismo* en el sentido de la rotación interna (flecha 3).

Durante la extensión de tobillo (Fig. 51), sucede lo contrario.

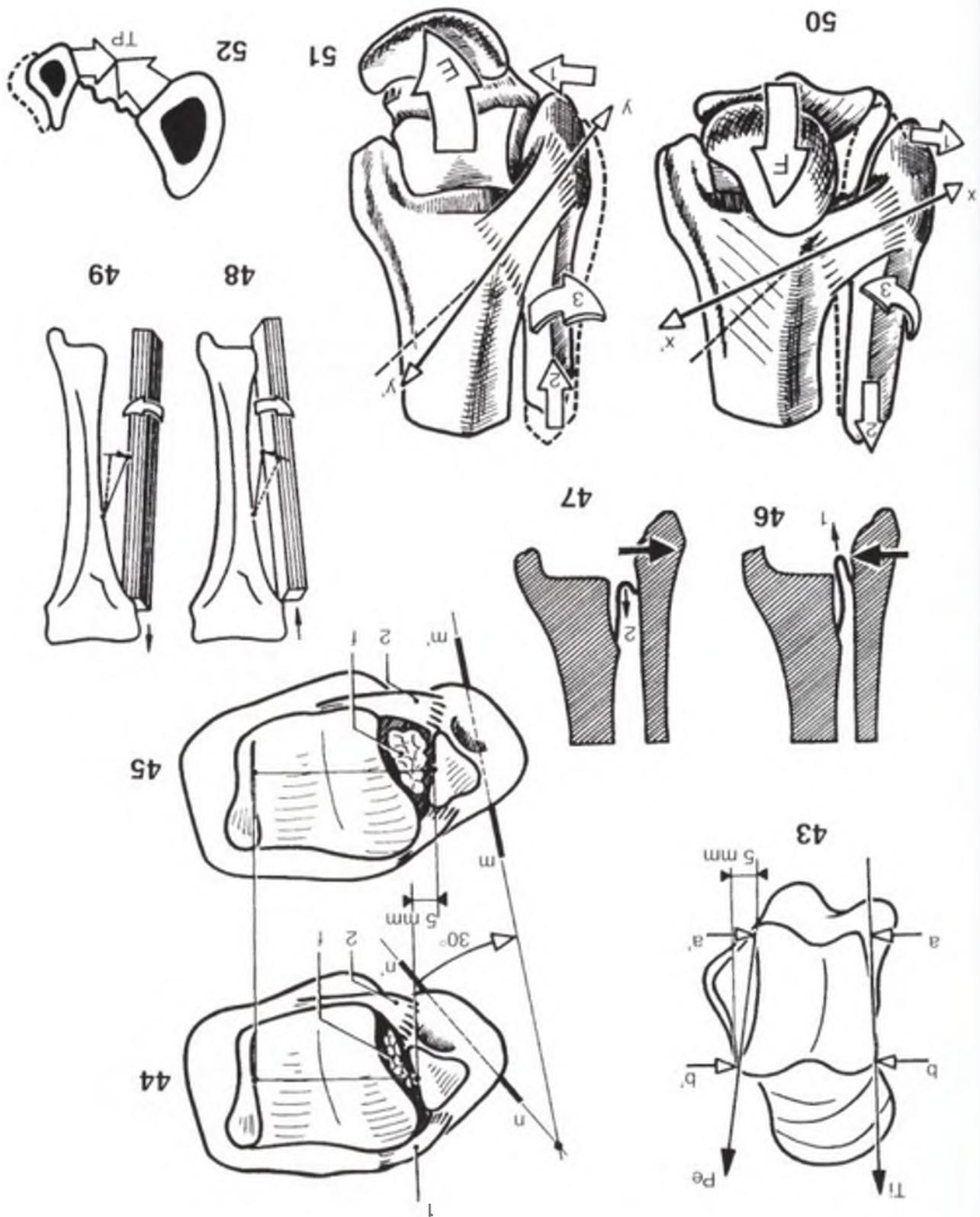
- aproximación del maléolo externo al interno (flecha 1). Este movimiento *es activo*: la contracción del tibial posterior (TP), cuyas fibras se insertan en ambos huesos, cierra la pinza bimalleolar (Fig. 52: sección del lado derecho, fragmento inferior, las flechas corresponden a la contracción de las fibras del TP). De esta forma, la polea astragalina está bien sujeta sea cual fuere el grado de flexoextensión del tobillo;
- *descenso* del maléolo externo (flecha 2) con verticalización de las fibras ligamentosas (yy');
- *ligera rotación externa* del maléolo externo (flecha 3).

La articulación peroneotibial superior acusa el contragolpe de los movimientos del maléolo externo:

- durante la flexión del tobillo (Fig. 50) la carilla peronea se desliza hacia arriba y la interlínea bosteza hacia abajo (separación de los maléolos) y hacia atrás (rotación interna);
- durante la extensión del tobillo (Fig. 51) se pueden observar los movimientos inversos.

Estos desplazamientos son muy leves, pero existentes: la mejor prueba de ello es que, a través de la evolución, la articulación peroneotibial superior no se ha soldado todavía.

De esta forma, mediante el juego de las articulaciones peroneotibiales, de los ligamentos y del tibial posterior, la pinza bimalleolar se adapta permanentemente a las variaciones de anchura y de curva de la polea astragalina, asegurando así la estabilidad transversal de la tibiotalariana. Entre otras razones, es para no comprometer esta adaptabilidad por lo que se ha abandonado la colocación de pernos en el tratamiento de la diastasis tibioperonea.



CAPÍTULO IV

EL PIE

Las articulaciones del pie son numerosas y complejas; unen los huesos del tarso entre sí además de conectarlos con los del metatarso. Son las que a continuación se exponen:

- la articulación calcaneoastagalina, denominada también subastragalina;
- la articulación mediotarsiana o de Chopart;
- la articulación tarsometatarsiana o de Lisfranc;
- y las articulaciones escafofocuboidea y escafofocuneales.

Estas articulaciones tiene una *doble función*:

- En primer lugar, orientar el pie con respecto a los otros dos ejes (ya que la orientación en el plano sagital le corresponde a la tibiotarsiana) para que el pie se pueda

orientar correctamente con respecto al suelo sea cual sea la posición de la pierna y la inclinación del terreno.

- En segundo lugar, modificar tanto la forma como la curva de la bóveda plantar para que el pie se pueda adaptar a las desigualdades del terreno además de crear, entre el suelo y la pierna, transmitiendo el peso del cuerpo, un sistema que amortigüe dando al paso elasticidad y flexibilidad.

Por lo tanto, el papel que desempeñan estas articulaciones es primordial. Por el contrario, las articulaciones de los dedos metatarsofalángicas e interfalángicas son mucho menos importantes que sus equivalentes en la mano.

Sin embargo, una de ellas desempeña un papel esencial en el desarrollo del paso: **la articulación metatarsofalángica del dedo gordo.**



LOS MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN LONGITUDINAL Y DE LATERALIDAD DEL PIE

Además de los movimientos de flexoextensión, localizados, como se ha podido ver con anterioridad, en la tibiotarsiana, el pie también puede realizar movimientos en torno al eje vertical de la pierna (eje Y, pág. 160) y de su eje longitudinal y vertical (eje Z).

En torno al eje vertical Y, se realizan, en el plano horizontal, los movimientos de **aducción-abducción**.

- aducción (Fig. 2): cuando la punta del pie se dirige hacia dentro, hacia el plano de simetría del cuerpo;
- abducción (Fig. 3): cuando la punta del pie se dirige hacia fuera y se aleja del plano de simetría.

La amplitud total de los movimientos de aducción-abducción realizados en el pie tan solo es de 35° (Roud) a 45°. Sin embargo, estos movimientos de la punta del pie en el plano horizontal pueden ser producto de la rotación externa-interna de la pierna (rodilla flexionada) o de la rotación de todo el miembro inferior a partir de la cadera (rodilla extendida). En este caso son mucho más amplios y pueden alcanzar los 90°, en cada sentido, en las bailarinas de clásico.

En torno al eje longitudinal Z, el pie gira de tal forma que la planta se orienta:

- bien *hacia dentro* (Fig. 4): por analogía con el miembro superior, se define este movimiento como una *supinación*;
- bien *hacia fuera* (Fig. 5), y entonces se denomina *pronación*.

La amplitud de la supinación 52° (Biesalski y Mayer, 1916) es mayor que la de la pronación 25-30°.

Se acaban de definir por abducción-aducción y pronación-supinación movimientos que, en realidad, no existen *en estado puro en las articulaciones del pie*. De hecho, se podrá constatar que estas articulaciones están configuradas de tal forma que un movimiento en uno de los planos se acompaña obligatoriamente por un movimiento en los otros dos planos. De esta forma, la aducción se acompaña necesariamente (Figs. 2 y 4) de una supinación y una ligera extensión. Estos tres componentes caracterizan la posición denominada *inversión*. Si la extensión se anula por una flexión equivalente del tobillo, se obtiene la actitud denominada *varus*. Por último, si una rotación externa de rodilla compensa la aducción, entonces sólo se puede observar un *movimiento aparentemente puro de supinación*.

En el otro sentido (Figs. 3 y 5), la abducción se acompaña necesariamente de la pronación y de la flexión: se trata de la posición de *eversión*. Si la flexión se anula por una extensión equivalente del tobillo (en las figuras está hipercompensada en extensión), se obtiene la actitud denominada *valgus*. Además, si una rotación interna de rodilla oculta la abducción, se puede observar un *movimiento aparentemente puro de pronación*.

De este modo, salvo compensaciones a distancia de las articulaciones del pie, la aducción no se podrá asociar jamás con una pronación y, viceversa, la abducción no se podrá asociar jamás con una supinación. Así, existen *combinaciones prohibidas* por la propia configuración de las articulaciones del pie.



LAS SUPERFICIES ARTICULARES DE LA SUBASTRAGALINA

(las explicaciones son comunes a todas las figuras)

El astrágalo se articula por su cara inferior (A, Fig. 6; se han separado los dos huesos y el astrágalo ha sido desplazado en torno al eje XX' de modo que hace de charnela) con la cara superior del calcáneo (B, Fig. 6). Estos dos huesos contactan, cada uno de ellos, a través de dos superficies articulares, constituyendo lo que se ha venido a denominar la **articulación subastragalina**:

- la superficie posterior del astrágalo (a) se adapta a la superficie mayor (a') localizada en la cara superior del calcáneo: es el *tálamo* de Destot. Estas dos superficies están unidas entre sí por ligamentos y una cápsula que hacen de ellas una articulación anatómicamente autónoma;
- la superficie menor (b), localizada en la cara inferior del cuello y de la cabeza del astrágalo, descansa en la superficie anterior del calcáneo (b') alargada en sentido oblicuo y sujeta por las apófisis mayor y menor. Dichas superficies, la astragalina y la calcánea, pertenecen anatómicamente a una articulación más amplia que incluye, además, la cara posterior del escafoides (d') y que constituye con la cabeza del astrágalo (d) la parte interna de la articulación mediotarsiana, o interlínea de Chopart.

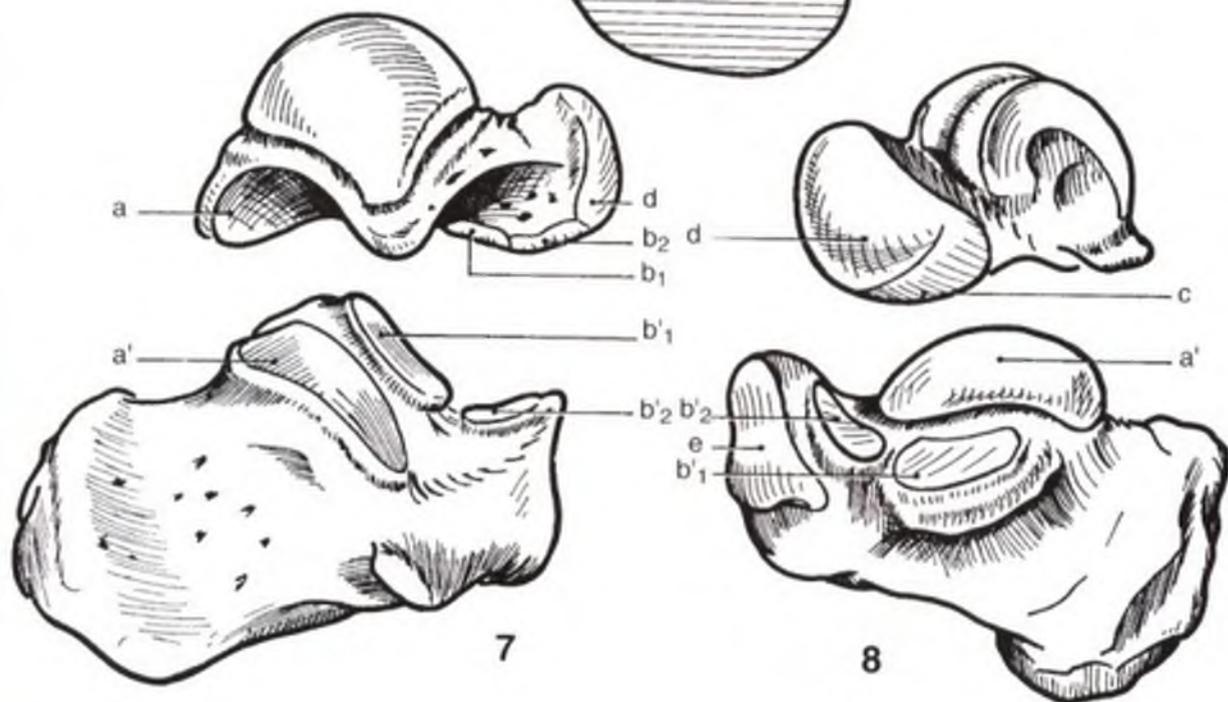
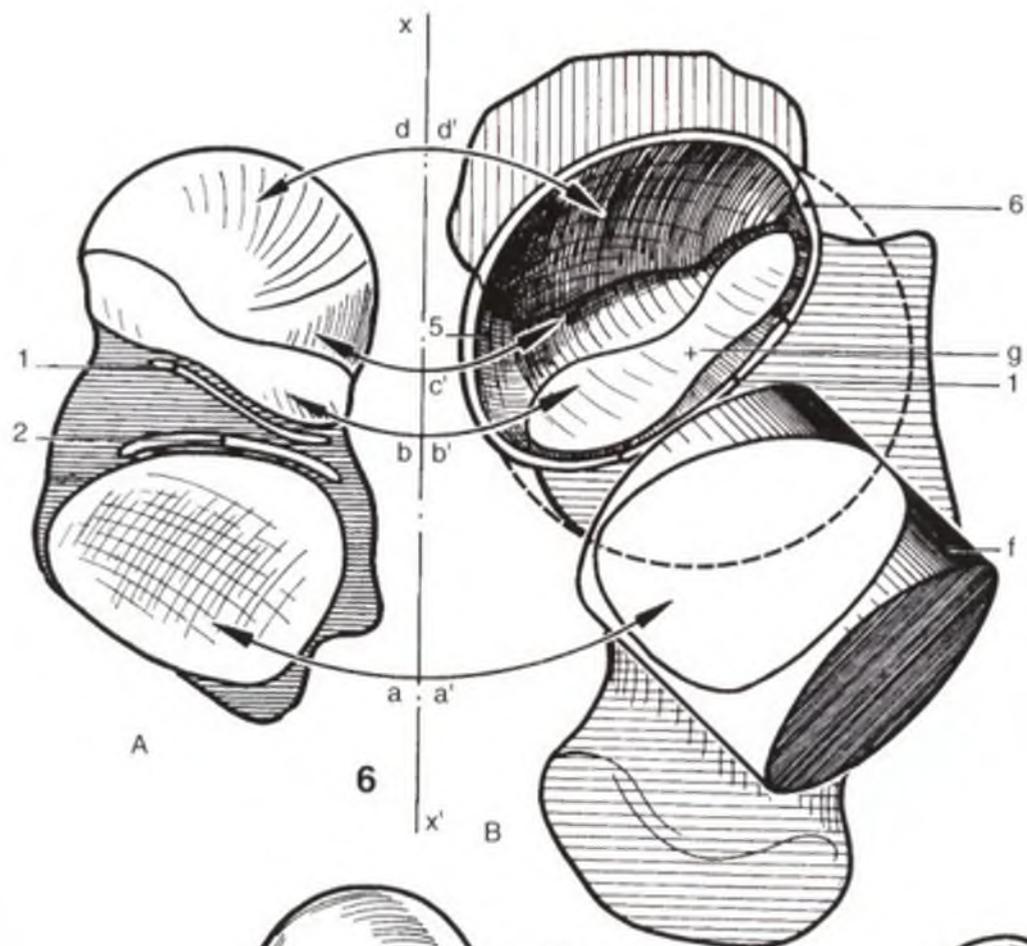
Antes de introducir el funcionamiento de las citadas articulaciones, es indispensable comprender la forma de sus superficies. Se trata de **artrodias**:

- el tálamo (a') es una superficie ovalada, con un gran eje oblicuo hacia delante y afuera, convexa a lo largo de todo el eje (Figs. 7: vista externa y 8: vista interna) y rectilínea o ligeramente cóncava en sentido perpendicular. Por lo tanto, se puede comparar a un segmento cilíndrico (f) cuyo eje sería oblicuo de atrás adelante, de fuera adentro y ligeramente de arriba abajo. La

superficie astragalina (a) opuesta a la anterior también posee esta forma cilíndrica, con el mismo radio y mismo eje, pero se trata de un segmento de cilindro hueco (Fig. 7), mientras que el tálamo es un segmento de cilindro compacto (mazizo):

- globalmente, la cabeza del astrágalo es esférica y los planos que posee pueden considerarse carillas talladas sobre una esfera (línea punteada) de centro g (Fig. 6). De hecho, la superficie anterior del calcáneo (b') es cóncava en ambos sentidos, mientras que la superficie astragalina (b) que se le opone es convexa en sus dos sentidos con los mismos radios de curva. Con frecuencia, la superficie calcánea se ve pinzada en su parte central, como si se tratara de una plantilla (Fig. 6) e incluso, a veces, se subdivide en dos carillas (Figs. 7 y 8), una (b'') sujeta por la apófisis menor y otra (b''') por la apófisis mayor. Se ha podido constatar que la estabilidad del calcáneo es proporcional a la superficie de esta última carilla. En el astrágalo se puede observar esta subdivisión (b'' y b''').

Además, la superficie calcánea (b' o b' + b'') forma parte de una superficie esférica hueca más amplia que incluye asimismo la superficie posterior (d') del escafoides y la parte superior del ligamento glenoideo (c'), que se extiende entre las dos superficies. Con el ligamento deltoideo (5) y la cápsula, estas superficies forman una cavidad de recepción esférica para la cabeza del astrágalo. En la cabeza del astrágalo se hallan las carillas correspondientes: la mayor parte de la superficie (d) corresponde al escafoides; entre esta superficie (d) y la carilla calcánea (b) se intercala un campo triangular (c) de base interna que corresponde al ligamento glenoideo (c').



CONGRUENCIA E INCONGRUENCIA DE LA SUBASTRAGALINA

La descripción de la página precedente permite comprender la disposición y correspondencia de las superficies articulares, pero no permite captar su forma tan específica de funcionar. De forma que para poder entender su funcionamiento es necesario profundizar en la descripción de las superficies de la articulación calcaneoastragalina anterior representada en la figura abierta (Figs. 9 y 10), el astrágalo, situado como si se tratara de las páginas de un libro que se pasan en torno a un eje anteroposterior, visto por su cara inferior, mientras que la parte anterior del calcáneo (Fig. 10) se observa por su cara superior (las explicaciones son comunes a todas las figuras de esta página, pero no se corresponden con las de la página anterior).

Sobre la cara inferior del cuello del astrágalo (Fig. 9), la carilla (b) corresponde a la carilla (b') localizada en la cara superior del calcáneo (Fig. 10), a la altura de la apófisis menor. En la cabeza del astrágalo (Fig. 9) se hallan de nuevo el campo escafoideo (e) y el campo glenoideo (g). Sin embargo, la porción cartilaginosa localizada por fuera del campo glenoideo está subdividida en **tres carillas**: de dentro afuera (c_1 , c_2 y c_3), que corresponden globalmente a la carilla situada en la cara superior de la apófisis mayor del calcáneo (Fig. 10), a la vez subdividida en **dos carillas**: de fuera adentro (c'_1 y c'_2). Por detrás, se hallan las dos superficies de la articulación calcaneoastragalina posterior: el tálamo (a') y la superficie inferior del cuerpo del astrágalo.

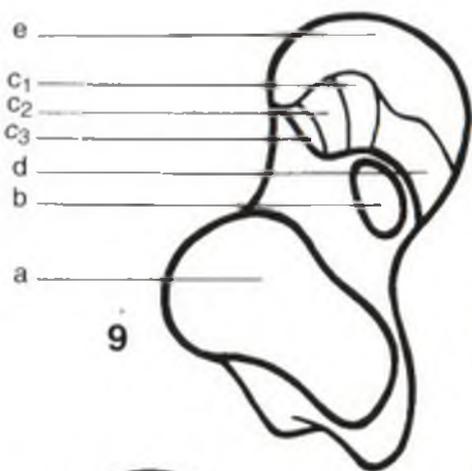
Sólo existe **una posición de congruencia de la subastragalina: la posición media**. El pie está alineado con el astrágalo, es decir, sin inversión ni eversión, ésta es la posición que adopta un *pie normal* (ni plano ni cavo) en ortostatismo sobre un plano horizontal, en parado, con apoyo simétrico. Las superficies articulares de la subastragalina posterior se corresponden entonces a la perfección, la carilla (b) del cuello del astrágalo des-

cansa sobre la carilla (b') de la apófisis menor del calcáneo y la carilla media (c_2) de la cabeza del astrágalo descansa en la carilla horizontal (c'_1) de la apófisis mayor. Esta posición de alineamiento en la que las superficies se adaptan unas a otras **por la acción de la gravedad** y no por los ligamentos, no sólo es estable, sino que se puede mantener durante largo tiempo merced a la congruencia. Todas las posiciones restantes son **inestables** y conllevan una **incongruencia** más o menos acentuada.

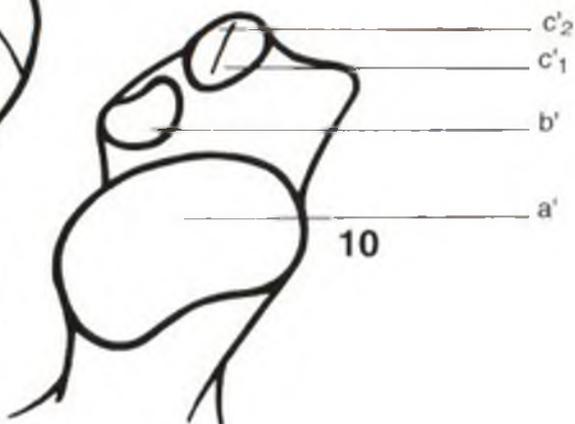
En el movimiento de **eversión**, el extremo anterior del calcáneo (Fig. 11, vista superior del lado derecho, el astrágalo se supone transparente) se desplaza hacia fuera y tiende a "acostarse" (Fig. 12; vista anterior) sobre su cara interna. En este movimiento, las dos carillas (b y b') permanecen en contacto entre sí, de forma que constituyen un pivote, mientras que la superficie subastragalina (a) se desliza hacia bajo y adelante sobre el tálamo (a') impactando con el suelo del seno del tarso; la parte posterosuperior del tálamo queda "al descubierto". Por delante, la pequeña carilla astragalina (c_1) se desliza hasta contactar (Fig. 12) con la carilla oblicua (c'_2) del calcáneo. Por este motivo, estas dos carillas (c_1) y (c'_2) pueden denominarse "**carillas de eversión**".

En el movimiento de **inversión**, el calcáneo se desplaza a la inversa: el extremo anterior hacia dentro (Fig. 13) y tiende a "acostarse" sobre su cara externa (Fig. 14). Las dos **carillas-pivote** permanecen en contacto entre sí; la gran superficie subastragalina (a) se desplaza sobre el tálamo (a') dejando al descubierto su parte anteroinferior; por delante, la **carilla de inversión** (c_2) del astrágalo reposa sobre la carilla horizontal (c'_1) de la apófisis mayor del calcáneo (Fig. 14).

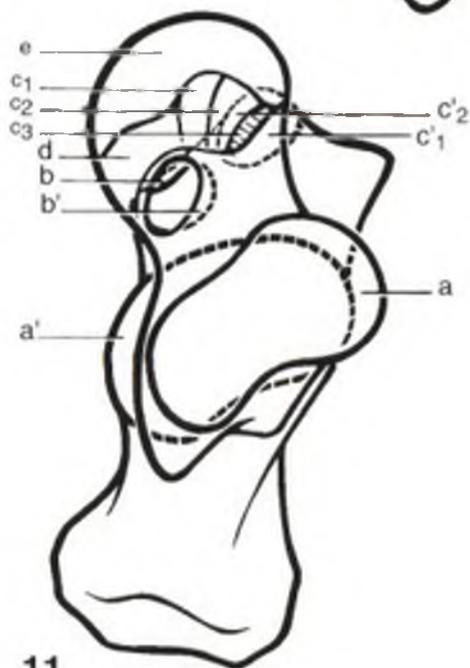
Por lo tanto, estas dos posiciones son evidentemente inestables, incongruentes, de forma que solicitan al máximo los ligamentos. No pueden ser más que **transitorias**.



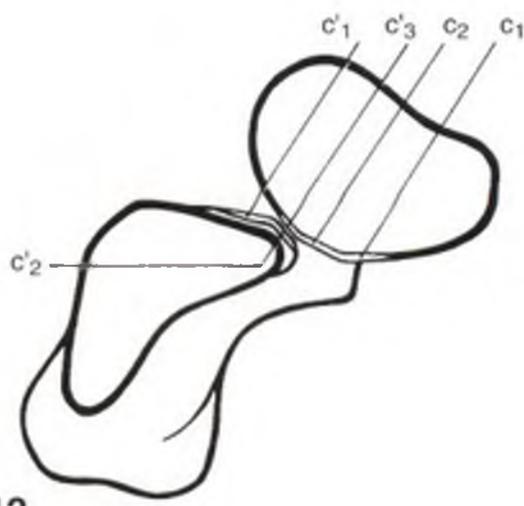
9



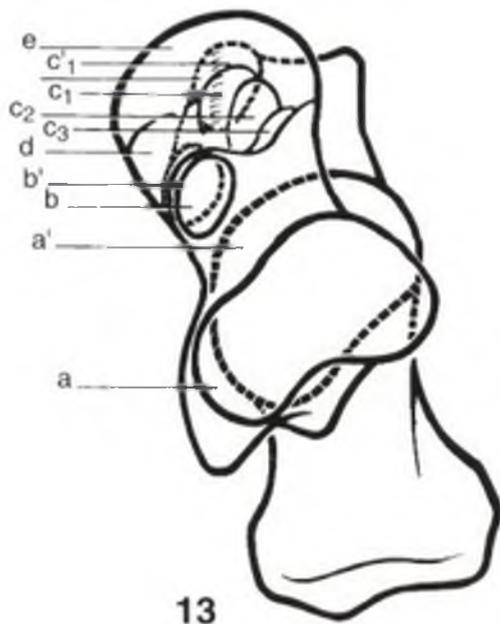
10



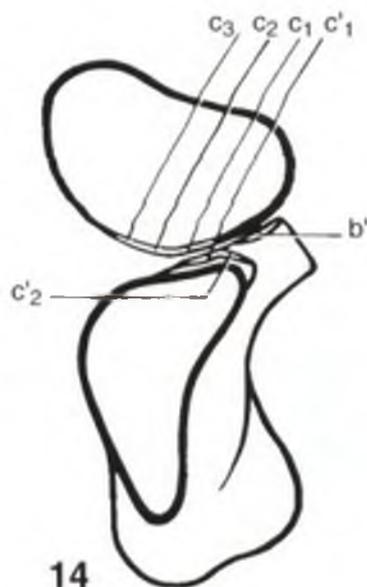
11



12



13



14

EL ASTRÁGALO, UN HUESO SINGULAR

En la estructura de la parte posterior del tarso, el astrágalo es un **hueso singular** desde tres puntos de vista:

En primer lugar, se localiza en el *punto más prominente de la parte posterior del tarso*, es el **hueso que distribuye** el peso del cuerpo y las fuerzas ejercidas sobre el conjunto del pie (Fig. 15):

- mediante su cara articular superior, la *polea astragalina* recibe (flecha 1) el peso del cuerpo y las fuerzas transmitidas por la pinza bimaleolar y distribuye todas estas sollicitaciones en tres direcciones;
- hacia atrás, el talón (flecha 2), es decir la *tuberosidad mayor del calcáneo*, a través de la articulación calcaneoastragalina posterior (superficie talámica del astrágalo),
- hacia delante y adentro (flecha 3), en dirección del *arco interno* de la bóveda plantar, a través de la articulación astragaloescaloidea.
- hacia delante y afuera (flecha 4), en dirección del *arco externo* de la bóveda plantar, a través de la articulación calcaneoastragalina anterior.

“Trabaja” en compresión, y su función mecánica es ciertamente importante.

Además, no tiene **ninguna inserción muscular** (Fig. 16): todos los músculos que proceden de la pierna *pasan alrededor de él formando un puente*, lo que puede valerle el sobrenombre de **hueso “enjaulado”**. Se pueden distinguir:

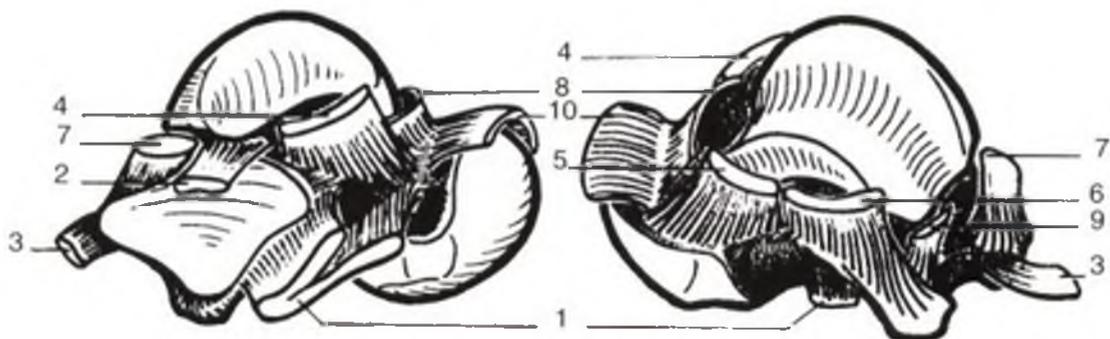
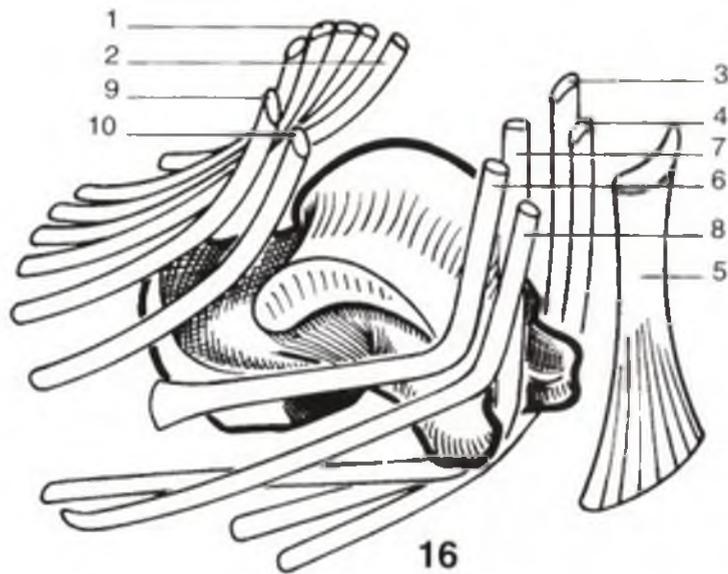
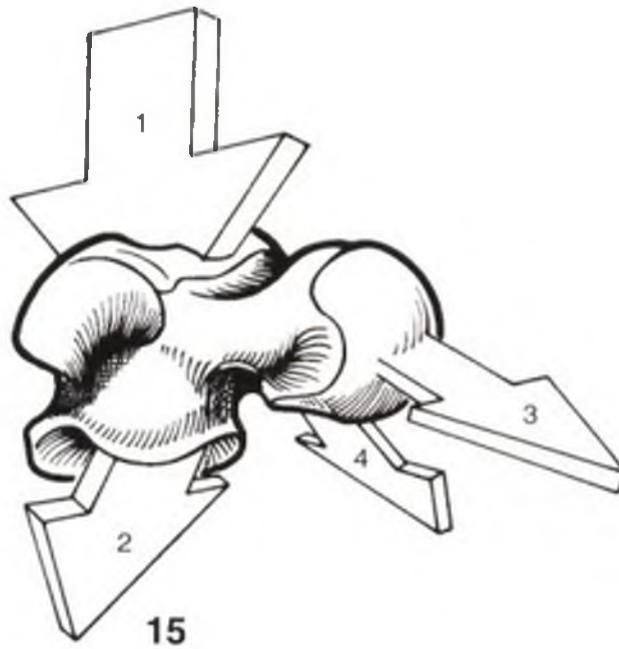
1. el extensor común de los dedos,
2. el peroneo anterior (inconstante),
3. el peroneo lateral corto,
4. el peroneo lateral largo,
5. el tendón de Aquiles, terminación del tríceps sural,
6. el tibial posterior,

7. el flexor propio del dedo gordo,
8. el flexor común de los dedos,
9. el extensor propio del dedo gordo,
10. el tibial anterior.

Por último, está completamente cubierto por superficies articulares e **inserciones ligamentosas**, lo que puede valerle el sobrenombre de **hueso relevo**. Se pueden distinguir:

1. el ligamento interóseo o calcaneoastragalino inferior,
2. el ligamento calcaneoastragalino externo,
3. el ligamento calcaneoastragalino posterior,
4. el haz anterior del ligamento lateral externo de la tibiotalarsiana,
5. el plano profundo del haz anterior del ligamento lateral interno de la tibiotalarsiana,
6. el haz posterior del ligamento lateral interno de la tibiotalarsiana,
7. el haz posterior del ligamento lateral externo de la tibiotalarsiana,
8. la cápsula anterior de la tibiotalarsiana con su refuerzo,
9. el refuerzo posterior de la cápsula tibiotalarsiana,
10. el ligamento astragaloescaloideo.

Al no poseer ninguna inserción muscular, el astrágalo se “nutre” únicamente por los vasos que le llegan de las inserciones ligamentosas, lo que constituye *un aporte arterial suficiente pero justo en condiciones normales*. En caso de fractura del cuello del astrágalo, sobre todo con luxación del cuerpo del hueso, su trofismo se puede ver irremediablemente comprometido, derivando en **una pseudoartrosis del cuello** o, todavía peor, una **necrosis aséptica del cuerpo del hueso**.



17

LOS LIGAMENTOS DE LA ARTICULACIÓN SUBASTRAGALINA

(las explicaciones son comunes a las de la página anterior)

El calcáneo y el astrágalo están unidos por potentes ligamentos cortos, ya que deben soportar fuerzas importantes durante la marcha, la carrera y el salto.

El sistema principal está constituido por el **ligamento calcaneoastragalino interóseo**, también denominado "valla interósea", formada por dos láminas tendinosas fuertes y rectangulares, que ocupan el seno del tarso (Fig. 18: vista anteroexterna):

- **el haz anterior (1)** se inserta en la ranura calcánea, que constituye el suelo del seno del tarso, justo por detrás de la superficie anterior. Sus fibras, gruesas y nacaradas, se dirigen oblicuamente hacia arriba, adelante y afuera para insertarse en la ranura astragalina, situada en la cara inferior del cuello del astrágalo y formando el techo del seno del tarso (Fig. 6, A), inmediatamente por detrás de la superficie cartilaginosa de la cabeza;
- **el haz posterior (2)** se inserta por detrás del precedente, en el suelo del seno, justo por delante del tálamo. Sus fibras, igualmente gruesas, oblicuas hacia arriba, atrás y afuera, se insertan en el techo del seno (Fig. 6, A), inmediatamente por delante de la superficie posterior del astrágalo.

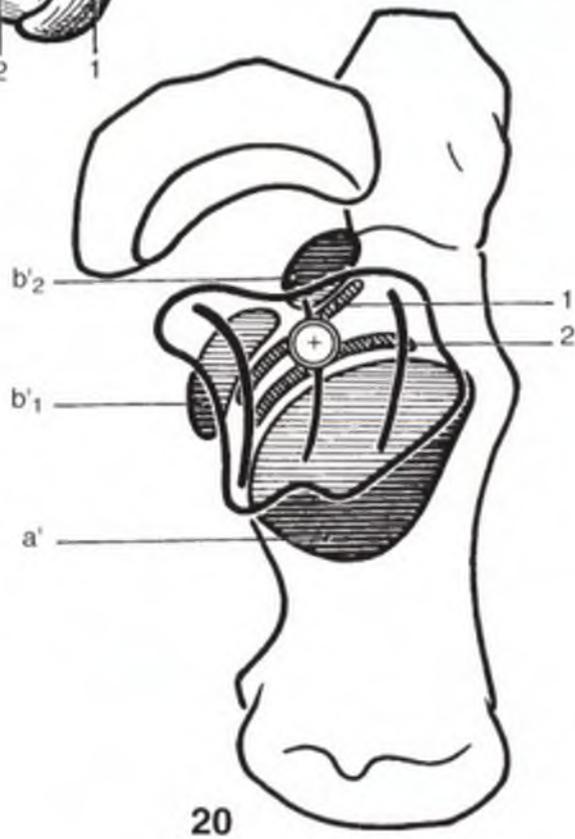
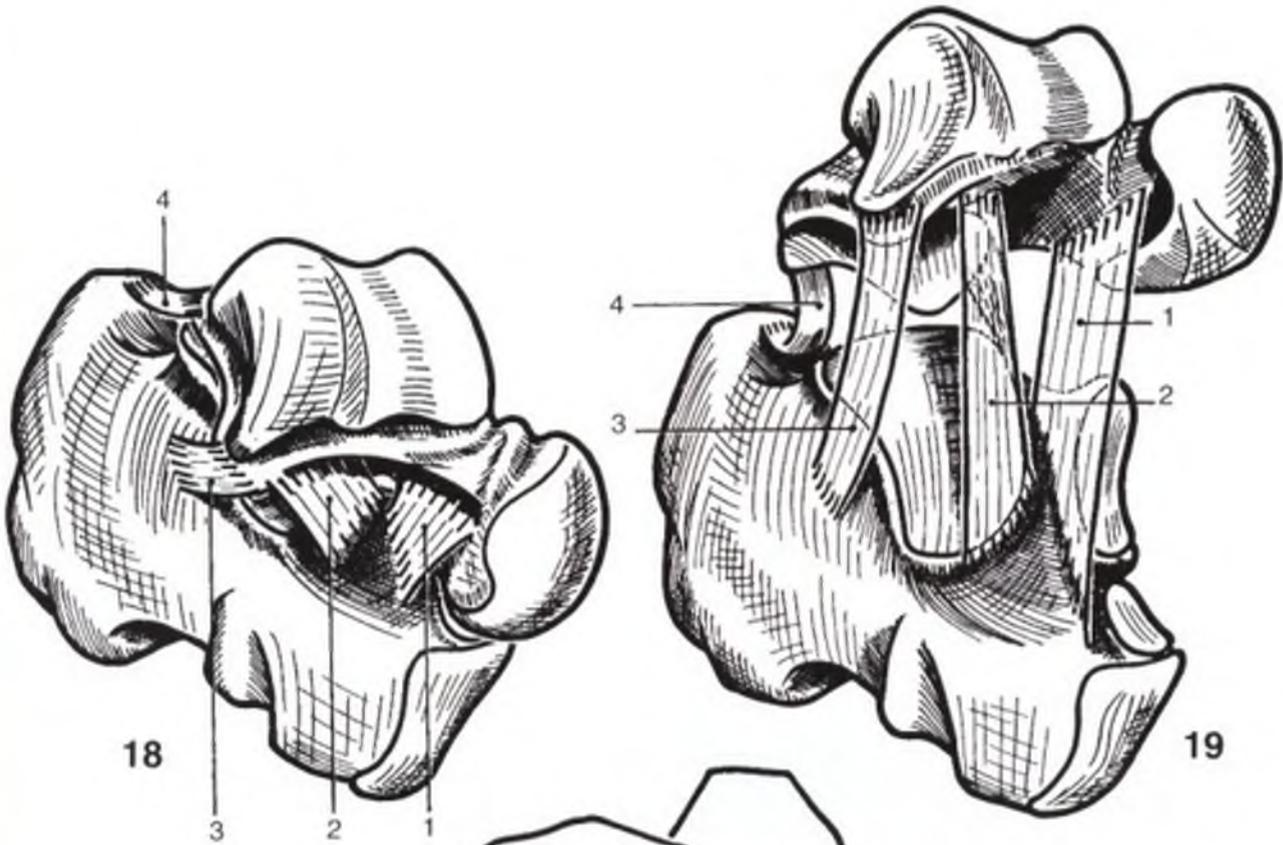
La disposición de los haces del ligamento interóseo surgen con claridad cuando se aleja el

astrágalo del calcáneo suponiendo que los ligamentos fuesen elásticos (Fig. 19).

Asimismo el astrágalo está unido al calcáneo por otros dos ligamentos menos importantes (Figs. 18 y 19):

- **el ligamento calcaneoastragalino externo (3)**, que se origina en la apófisis externa del astrágalo y, tras un trayecto oblicuo hacia abajo y atrás, paralelo al haz medio del ligamento lateral externo de la tibiotarsiana, se inserta en la cara externa del calcáneo;
- **el ligamento calcaneoastragalino posterior (4)**, cintilla delgada que se expande desde el tubérculo posteroexterno del astrágalo a la cara superior del calcáneo.

El ligamento interóseo desempeña un papel esencial en la estática y la dinámica de la articulación subastragalina, ya que, como muestra el esquema (Fig. 20) en el que se ha colocado una polea astragalina, supuestamente transparente, en las superficies calcáneas, ocupa una posición central. De este modo, se puede constatar que el peso del cuerpo, que se transmite a la polea astragalina a través del esqueleto de la pierna, se reparte sobre el tálamo y sobre las superficies anteriores del calcáneo. También se puede observar que el ligamento calcaneoastragalino interóseo está exactamente situado en la prolongación del eje de la pierna (círculo con la cruz), lo que explica el trabajo que realiza tanto en torsión como en elongación (véase pág. 190).



LA MEDIOTARSIANA Y SUS LIGAMENTOS

(las explicaciones son comunes a las de las dos páginas anteriores)

Con la articulación mediotarsiana abierta, el cuboides y el escafoides se han visto desplazados hacia abajo (Fig. 21, según Rouvière), la articulación aparece compuesta por dos partes: la interlínea astragaloescafoidea, cóncava hacia atrás, constituye la parte interna (véase pág. 180), la parte externa está formada por la interlínea calcaneocuboidea, ligeramente cóncava hacia delante, de modo que, vista desde arriba, la interlínea de Chopart tiene forma de S itálica. La superficie anterior (e) del calcáneo tiene una forma compleja: en sentido transversal es cóncava en su parte superior y convexa en su parte inferior; de arriba abajo es cóncava en primer lugar y luego convexa. La superficie posterior (e') del cuboides, opuesta a la anterior, tiene una estructura inversa, aunque con frecuencia (Fig. 26: vista posterior del escafoides y del cuboides) se prolonga mediante una carilla (e'') hacia el escafoides, que reposa a través de su extremo externo sobre el cuboides: el contacto se lleva a cabo por dos carillas planas (h y h') y los dos huesos están fuertemente unidos por tres ligamentos, un dorsal externo (5), un plantar interno (6) y un interóseo (7) corto y muy grueso (aquí **ambos huesos** han sido separados artificialmente).

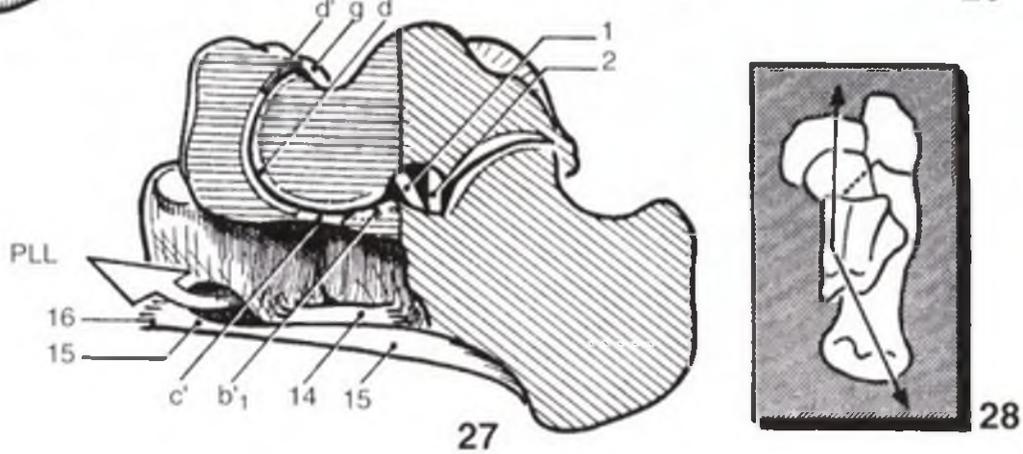
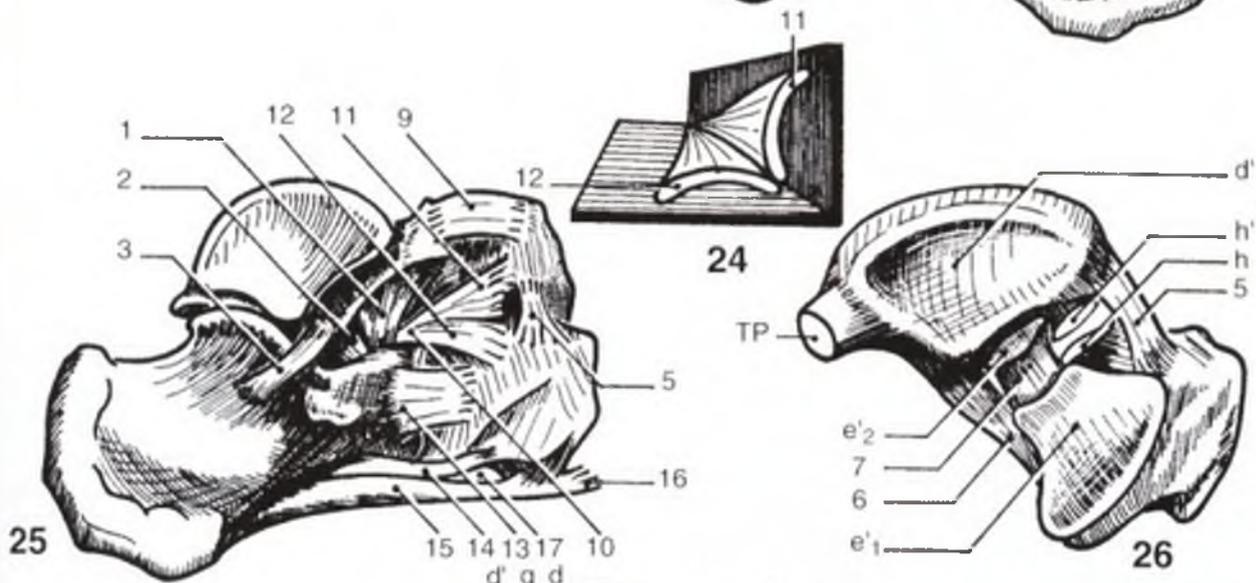
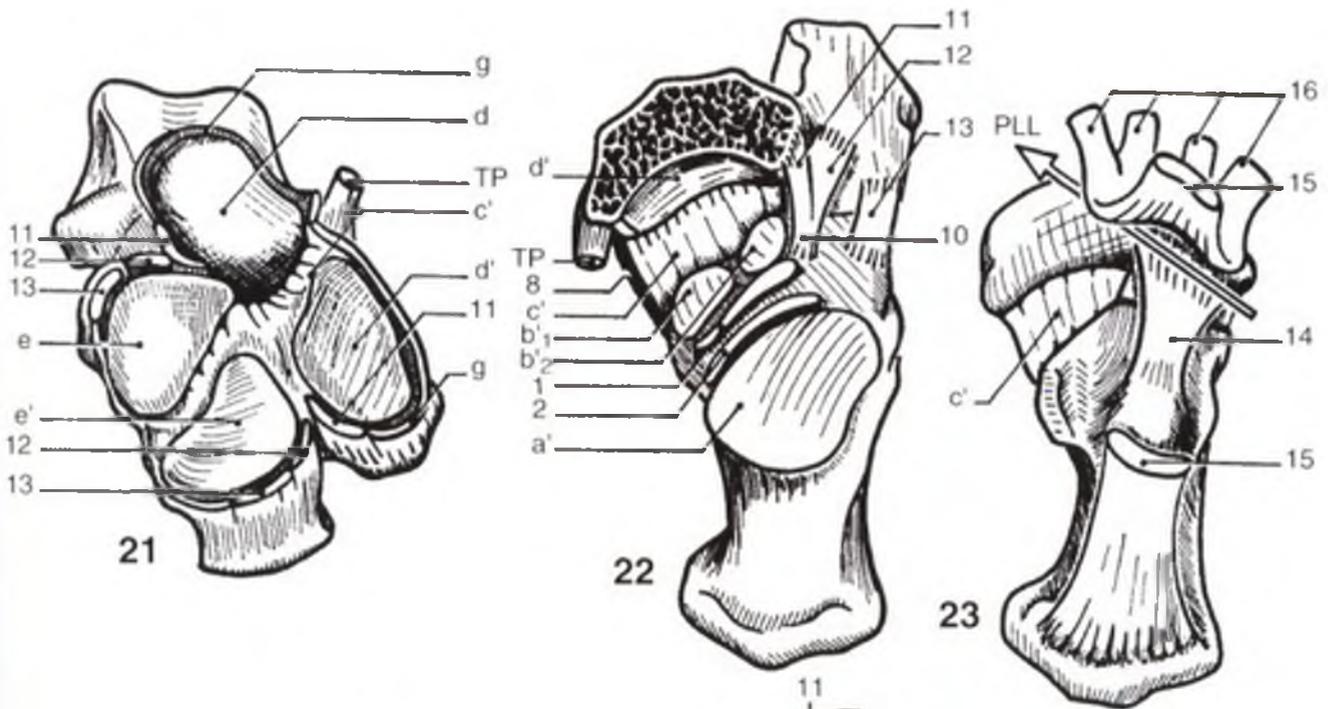
Los ligamentos de la mediotarsiana son cinco:

- **el ligamento glenoideo** (e') o calcaneoescafoideo inferior, que une el calcáneo y el escafoides (Fig. 22) y constituye al mismo tiempo una superficie articular (véase pág. 180). Su borde interno (8) sirve de inserción a la base del ligamento deltoideo (véase pág. 166);
- **el ligamento astragaloescafoideo superior** (9), que se expande desde la cara dorsal del cuello del astrágalo hasta la cara dorsal del escafoides (Fig. 25);
- **el ligamento en Y de Chopart** (Figs. 22 y 25), que constituye la clave de la articulación gracias a su posición media. Está compuesto por dos haces cuyo origen es común (10) en la cara dorsal de la apófisis mayor del calcáneo, próximo a su borde anterior. El **haz interno** (11) o *calcaneoescafoideo externo* se extiende en el plano vertical para insertarse en el extremo exter-

no del escafoides, mientras que su borde inferior se une, a veces, al ligamento calcaneoescafoideo inferior, de modo que divide la articulación mediotarsiana en dos cavidades sinoviales distintas. El **haz externo** (12) o *calcaneocuboideo interno*, menos grueso que el anterior, forma una lámina horizontal que se fija en la cara dorsal del cuboides. Los dos haces del ligamento de Chopart constituyen así (Fig. 24: vista anterior esquematizada) un ángulo recto diedro, abierto hacia arriba y afuera;

- **el ligamento calcaneocuboideo dorsal** (13) es una cintilla delgada (Figs. 22 y 25) que se expande hacia la cara superoexterna de la calcaneocuboidea;
- **el ligamento calcaneocuboideo plantar**, grueso y nacarado, se extiende sobre la cara inferior de los huesos del tarso. Está constituido por dos capas distintas:
 - *una capa profunda* (14) que une (Fig. 23: vista inferior, se ha seccionado y retirado la capa superficial) la tuberosidad anterior del calcáneo con la cara inferior del cuboides, *justo por detrás de la corredera* por donde se desliza el tendón del peroneo lateral largo (PLL);
 - *una capa superficial* (15) que se inserta por detrás, en la cara inferior del calcáneo entre las tuberosidades posteriores y la tuberosidad anterior; este abanico fibroso se adhiere a la cara inferior del cuboides *por delante de la corredera* del PLL y sus expansiones (16) terminan en la base de los cuatro últimos metatarsianos. De este modo, la corredera del cuboides se convierte en un canal osteofibroso recorrido por el PLL, de fuera a dentro (Fig. 25, 17). Una vista interna (Fig. 27) con dos cortes paramedios (Fig. 28: dirección de los dos planos de sección) muestra el tendón del PLL cuando se desprende del cuboides.

El gran ligamento calcaneocuboideo plantar es uno de los principales elementos de sostén de la bóveda plantar (véase pág. 232).



LOS MOVIMIENTOS EN LA SUBASTRAGALINA

Consideradas por separado, a grandes rasgos, se puede comparar cada una de sus superficies a una superficie geométrica: el tálamo es un segmento cilíndrico y la cabeza astragalina un segmento de esfera. Sin embargo, se debe considerar la subastragalina como **una artrodia**, ya que es geoméricamente imposible que dos superficies esféricas y dos superficies cilíndricas pertenecientes a un mismo conjunto mecánico se deslicen *simultáneamente* la una sobre la otra, sin que aparezca un hostezo en, al menos, uno de los pares, es decir una pérdida de contacto más o menos extensa entre las superficies encaradas. El funcionamiento de esta articulación implica determinada "holgura" debido a su propia estructura. En este sentido se opone totalmente a una articulación demasiado cerrada como es el caso de la cadera, cuyas superficies son geométricas y concordantes, y la holgura queda reducida al máximo. Sin embargo, si las superficies de la subastragalina concuerdan con exactitud en la posición media, posición que necesita la mayor superficie de contacto para transmitir el peso del cuerpo, en las posiciones extremas se tornan muy *discordantes*, reduciendo así la superficie de contacto, aunque entonces las fuerzas que se deberían transmitir serían mucho menos contundentes.

Partiendo de la posición media (Fig. 29: vista anterior del calcáneo y del astrágalo, ambos transparentes), el movimiento del calcáneo sobre el astrágalo supuestamente fijo se **realiza simultáneamente en los tres planos del espacio**. En el **movimiento de inversión del pie** (véase pág. 178), la porción anterior del calcáneo efectúa **tres desplazamientos elementales** (Fig. 30: posición inicial en línea discontinua):

- ligero descenso (t): ligera extensión del pie;
- desplazamiento hacia dentro (v): aducción;

- inclinación sobre su cara externa (r): supinación.

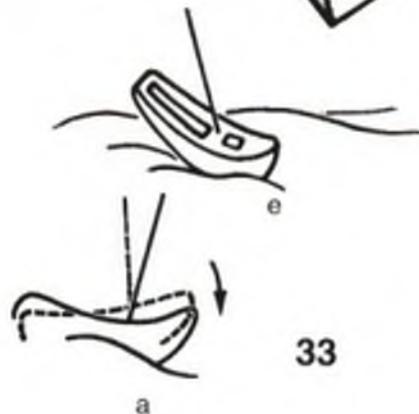
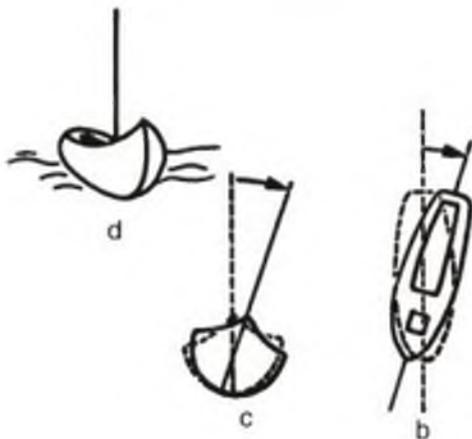
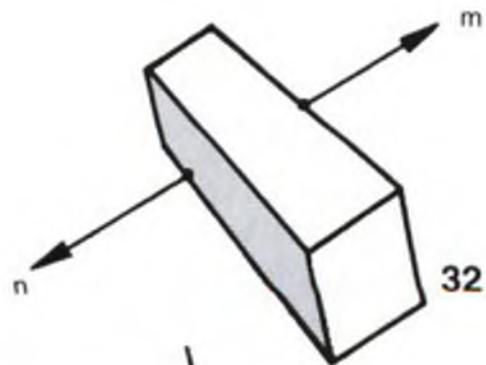
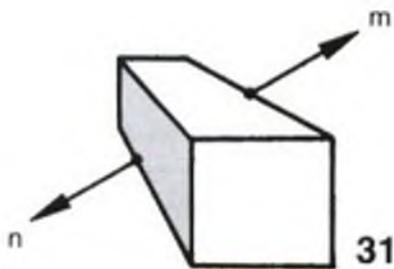
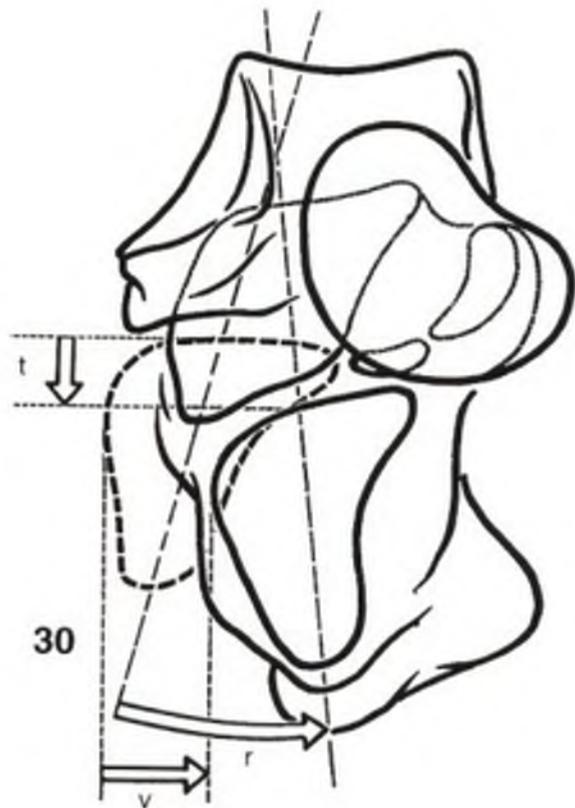
(Se puede realizar la misma demostración, en sentido inverso, en el caso de la eversión.)

Farabeuf describió perfectamente este movimiento complejo diciendo que "*el calcáneo cabecea, vira y rueda sobre el astrágalo*". La comparación con un barco está totalmente justificada (Fig. 33):

- cabecea: su proa se sumerge en las olas (a);
- vira (b);
- rueda al inclinarse sobre su lado (c).

Estos movimientos elementales en torno a los ejes de cabeceo, de viraje y de balanceo se asocian de manera automática cuando el barco descende oblicuamente a las olas (e).

En geometría se puede demostrar que un movimiento del que se conocen los componentes elementales con respecto a tres ejes puede reducirse a un *simple movimiento en torno a un solo eje* oblicuo en relación a los tres restantes. En el caso del calcáneo, esquematizado en el dibujo en forma de paralelepípedo (Fig. 31), este eje mn es oblicuo de arriba abajo, de dentro a fuera y de adelante a atrás. La rotación alrededor de este eje (Fig. 32) conlleva desplazamientos descritos con anterioridad. Dicho eje, descrito por Henke, penetra por la parte superointerna del cuello del astrágalo, pasa por el seno del tarso y emerge por la tuberosidad posteroexterna del calcáneo (véase pág. 196 y también el modelo del pie al final de este volumen). Como se podrá ver más adelante, el eje de Henke no sólo representa el eje de la subastragalina, sino también el de la mediotarsiana, de modo que condiciona todos los movimientos de la parte posterior del pie en relación al tobillo.



33

LOS MOVIMIENTOS EN LA SUBASTRAGALINA Y EN LA MEDIOTARSIANA

Los desplazamientos relativos de los huesos del tarso posterior son fáciles de analizar en una preparación anatómica de la que se toman radiografías en posición de inversión y de eversión. Si se ha tomado la precaución de atravesar cada uno de los huesos con una varilla metálica (a: para el astrágalo, b: para el calcáneo, c: para el escafoides, d: para el cuboides), también se pueden observar los ángulos.

En una radiografía de **incidencia vertical** (vista superior), con el astrágalo fijo, el *paso de la eversión* (Fig. 34) a la *inversión* (Fig. 35) se produce por los siguientes desplazamientos:

- el escafoides (c) se desliza hacia dentro sobre la cabeza astragalina y gira 5°.
- el cuboides (d) sigue el movimiento, gira el mismo ángulo y se desliza hacia dentro en relación al calcáneo y al escafoides;
- el calcáneo (b) avanza ligeramente y gira también 5° sobre el astrágalo.

Estas tres rotaciones elementales se llevan a cabo en el mismo sentido, el de la *aducción*.

Una **incidencia frontal** (vista anteroposterior), con el astrágalo siempre fijo, muestra los siguientes desplazamientos al pasar de la eversión (Fig. 36) a la inversión (Fig. 37):

- el escafoides (c) gira 25° y apenas sobrepasa el astrágalo hacia dentro;
- el cuboides (d) desaparece totalmente

detrás de la sombra del calcáneo y gira 18°;

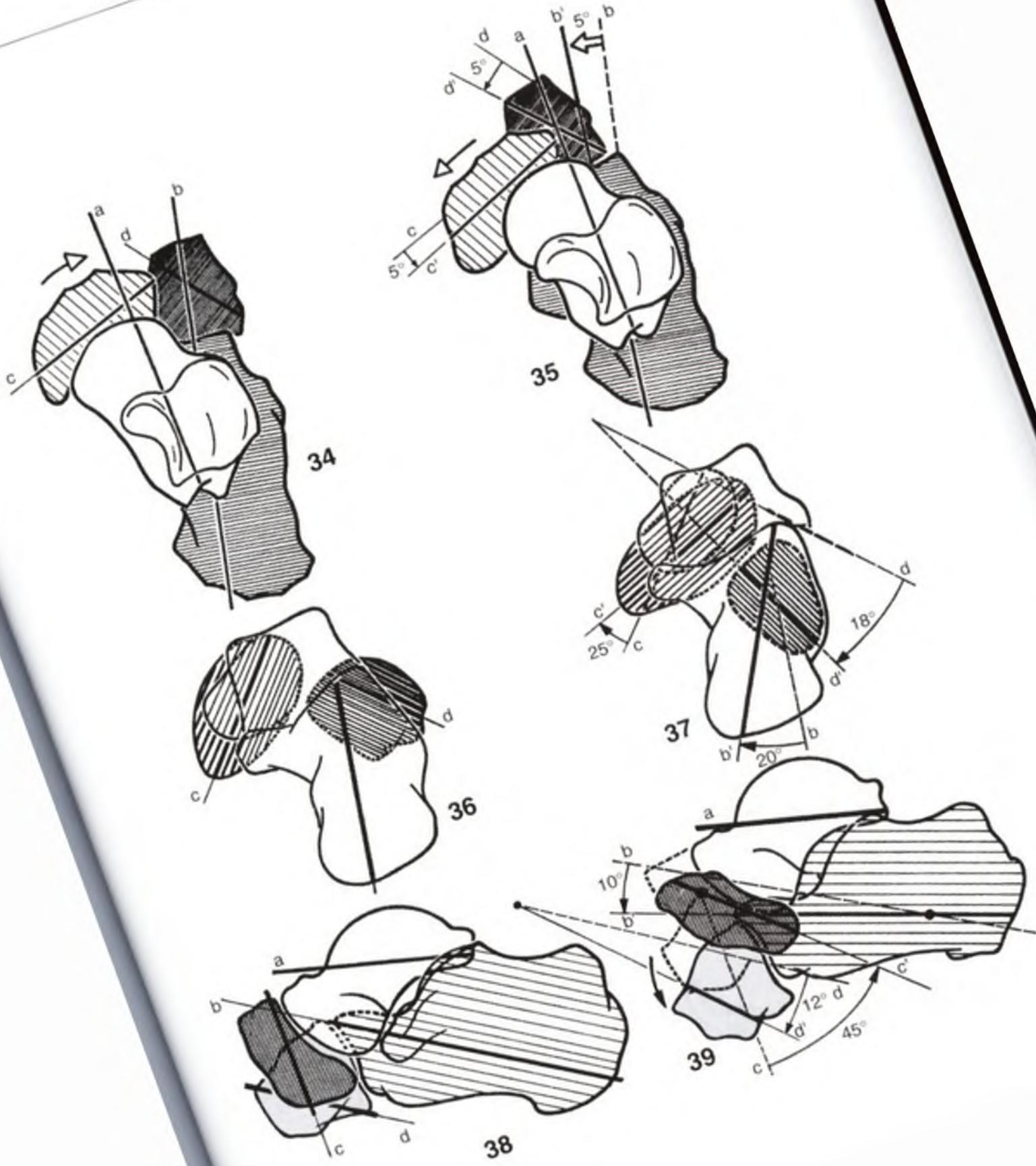
- el calcáneo (b) se desliza hacia dentro debajo del astrágalo y gira 20°.

Estas tres rotaciones elementales se llevan a cabo en el mismo sentido, el de la *supinación*, y el escafoides gira más que el calcáneo y, sobre todo, más que el cuboides.

Por último, en una **incidencia lateral** (vista de perfil), entre la eversión (Fig. 38) y la inversión (Fig. 39), se pueden constatar los siguientes desplazamientos:

- el escafoides (c) se desliza literalmente bajo la cabeza del astrágalo y gira sobre sí mismo 45°, de tal forma que su cara anterior tiende a mirar hacia abajo;
- el cuboides (d) también se desliza hacia abajo, en relación al astrágalo y al calcáneo a la vez. El descenso en relación al astrágalo es mucho más importante que el del escafoides en relación al astrágalo. Simultáneamente, el cuboides gira 12°;
- por último, el calcáneo (b) avanza en relación al astrágalo, cuyo borde posterior gravita claramente sobre la superficie retrotalámica. Al mismo tiempo, gira 10° hacia la extensión, como el escafoides.

Estos tres movimientos elementales se llevan a cabo en el mismo sentido, el de la *extensión*.



LOS MOVIMIENTOS EN LA MEDIOTARSIANA

Los movimientos en la mediotarsiana están condicionados por la forma de las superficies articulares además de la disposición de los ligamentos.

Globalmente (Fig. 40), las superficies articulares están dispuestas de acuerdo con un eje XX' oblicuo de arriba abajo y de dentro a fuera, inclinado 45° sobre la horizontal y que sirve, grosso modo, de charnela, permitiendo los desplazamientos del escafoides y del cuboides hacia abajo y adentro (flechas E y C) o hacia arriba y afuera. La superficie de la cabeza astragalina, ovalada, con un gran eje yy' inclinado 45° sobre la horizontal (ángulo "de rotación" del astrágalo), está elongada *en el sentido del movimiento*.

Los desplazamientos del escafoides sobre la cabeza del astrágalo se efectúan hacia dentro (Figura 41) y hacia abajo (Fig. 42), debido a la tracción del tibial posterior (TP), cuyo tendón se inserta en el tubérculo del escafoides. La tensión del ligamento astragaloescafoideo dorsal (a) limita este movimiento. El cambio de orientación del escafoides conlleva, por mediación de los cuneiformes y de los tres primeros metatarsianos, la aducción y el hundimiento del arco interno de la bóveda plantar (véase pág. 230).

Simultáneamente, el escafoides se desplaza en relación al calcáneo: en la *posición de everción* (Fig. 43: vista superior, se ha extirpado el astrágalo) el ligamento glenoideo (b), el borde inferior del ligamento deltoideo (c) y el haz interno del ligamento de Chopart (d) se tensan; la contracción del TP durante el *movimiento de inversión* (Fig. 44) aproxima el escafoides al calcáneo y provoca un ascenso del astrágalo sobre el tálamo

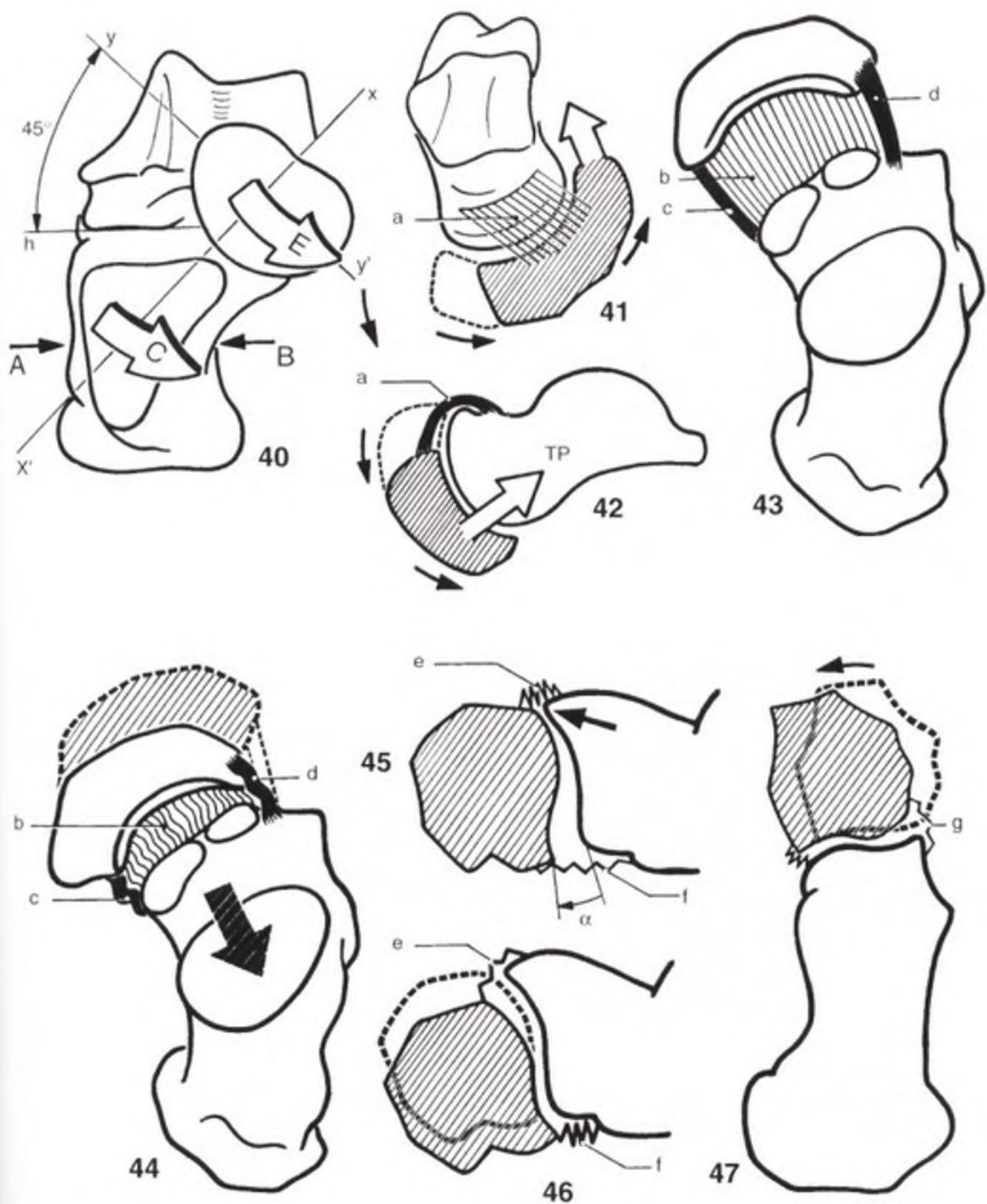
(flecha rayada), de forma que los ligamentos arriba citados se distienden. Ahora se puede entender por qué las superficies anteriores del calcáneo no se prolongan hasta el escafoides: una superficie articular, sujeta por una consola ósea, y por lo tanto rígida, no permitiría estos desplazamientos relativos del escafoides en relación al calcáneo. Por el contrario, la ligera superficie del ligamento glenoideo (b) es indispensable, como se podrá comprobar más adelante (pág. 230), para la elasticidad del arco interno de la bóveda plantar.

Los movimientos del cuboides sobre el calcáneo están muy limitados hacia arriba (Fig. 45: vista interna) por dos factores:

- la prominencia de la apófisis mayor (flecha) del calcáneo, verdadero espolón constituyendo un tope en la parte superior de la interlínea;
- la tensión del potente ligamento calcaneo-cuboideo plantar (f), que limita de inmediato el bostezo inferior (α) de la interlínea.

Sin embargo, hacia abajo (Fig. 46) el cuboides se desliza con facilidad por la convexidad de la carilla calcánea. Sólo lo detiene la tensión del haz externo (e) del ligamento de Chopart.

En sentido transversal (Fig. 47: corte horizontal según el nivel AB de la figura 40), el deslizamiento del cuboides es más fácil hacia dentro, limitado tan sólo por la tensión del ligamento calcaneo-cuboideo dorsal (g). En resumen, se puede afirmar que el desplazamiento del cuboides se realiza preferentemente *hacia abajo y hacia dentro*.



FUNCIONAMIENTO GLOBAL DE LAS ARTICULACIONES DEL TARSO POSTERIOR

(las explicaciones son las mismas que las de la pág. 188)

Al observar y manipular una preparación anatómica del tarso posterior, un hecho resulta evidente: todas estas articulaciones constituyen un *conjunto funcional indisociable*, el **complejo articular del retropié**, cuyo papel es el de adaptar la orientación y la forma de la totalidad de la bóveda plantar. Las articulaciones subastragalina y mediotarsiana están mecánicamente unidas y equivalen, todas juntas, a una sola articulación, con **un grado de libertad** en torno al eje de Henke (mn) (véase también el modelo del pie al final de este volumen).

Los esquemas de esta página muestran los cuatro huesos del tarso posterior desde dos puntos de vista diferentes: vistas anteroexternas (Figs. 48 y 50) y vistas anteriores (Figs. 49 y 51). En cada uno de estos puntos de vista se han yuxtapuesto en el sentido vertical las posiciones que corresponden a la inversión (Figs. 48 y 49) y a la eversión (Figs. 50 y 51). De este modo, es posible observar los cambios de orientación del escafoides y del cuboides en relación al astrágalo que, por definición, permanece fijo.

Movimiento de inversión (Figs. 48 y 49):

- el tibial posterior desplaza el escafoides (esc), que deja al descubierto la parte superoexterna de la cabeza del astrágalo (d);
- el escafoides desplaza el cuboides (cub) mediante los ligamentos escafo-cuboides;
- el cuboides, a su vez, desplaza al calcáneo (calc), que se introduce, por delante, debajo del astrágalo (astr);
- el seno del tarso se abre al máximo (Fig. 48), mientras los dos haces del ligamento interóseo (1 y 2) se tensan;
- el tálamo (a⁺) queda al descubierto en su porción anteroinferior, mientras que la interlínea calcaneo-astragalina se entreabre por arriba y por detrás.

En resumen:

- el escafoides y el cuboides (Fig. 49) se desplazan hacia dentro (flecha Adu.), *lo que*

dirige el antepié hacia delante y adentro (Fig. 48: flecha I);

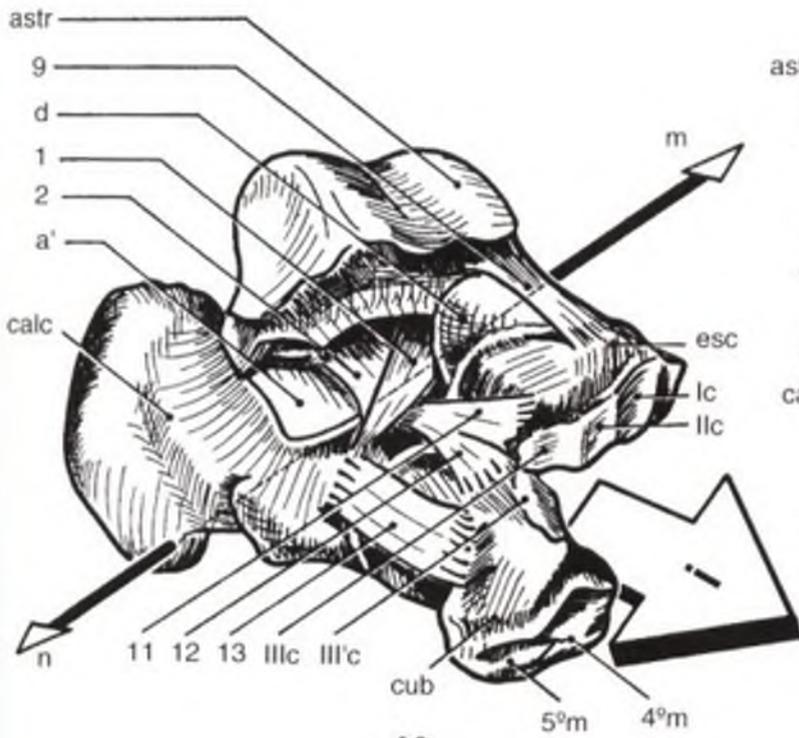
- al mismo tiempo, *gira en torno a un eje anteroposterior que pasa por el ligamento de Chopart*, que de este modo trabaja en elongación-torsión. Esta rotación, consecuencia del ascenso del escafoides y del descenso del cuboides, realiza una **supinación** (flecha Supin.): la planta del pie "mira" hacia dentro debido al descenso del arco externo -la carilla cuboidea que corresponde al 5º metatarsiano (5ºm) mira hacia abajo y hacia delante- y por ascenso del arco interno -la carilla para el primer cuneiforme (1c) del escafoides mira hacia delante.

Movimiento de eversión (Figs. 50 y 51):

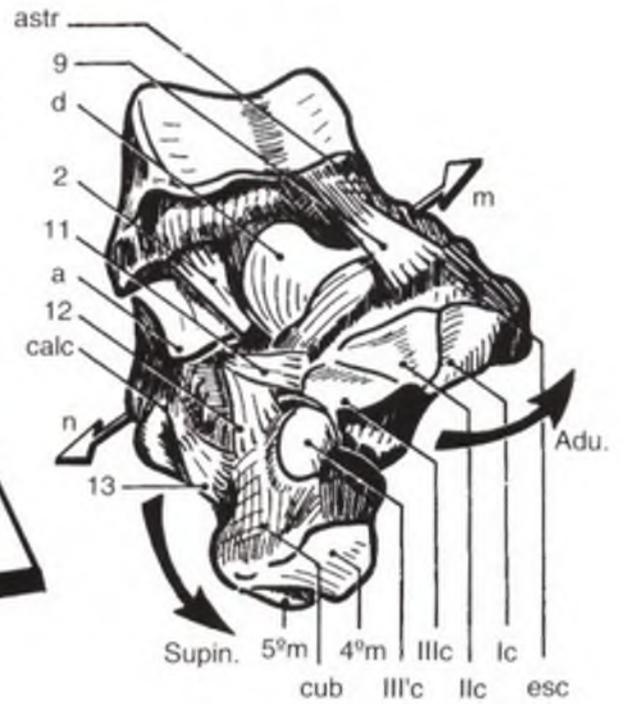
- el peroneo lateral corto, que se inserta en la apófisis estiloides del 5º metatarsiano, desplaza el cuboides hacia fuera y atrás;
- el cuboides desplaza el escafoides que deja al descubierto la porción superointerna de la cabeza del astrágalo;
- al igual que el calcáneo, que se desplaza hacia atrás, por debajo del astrágalo;
- el seno del tarso se cierra (Fig. 50) y el movimiento se detiene por el impacto del astrágalo contra el suelo del seno del tarso;
- la parte posterosuperior del tálamo (a⁺) queda al descubierto.

En resumen:

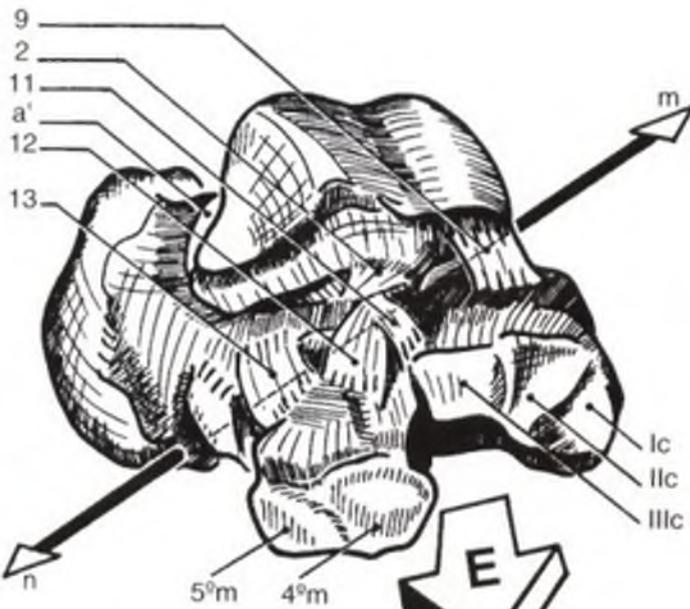
- tanto el escafoides como el cuboides (Fig. 51) se desplazan hacia fuera (flecha Abd.), *lo que dirige el antepié hacia delante y hacia fuera* (Fig. 50, flecha E);
- al mismo tiempo, gira sobre sí mismo en el sentido de la **pronación** (flecha Pron.) debido al descenso del escafoides y la abducción del cuboides, cuya carilla 5ºm mira hacia delante y hacia fuera.



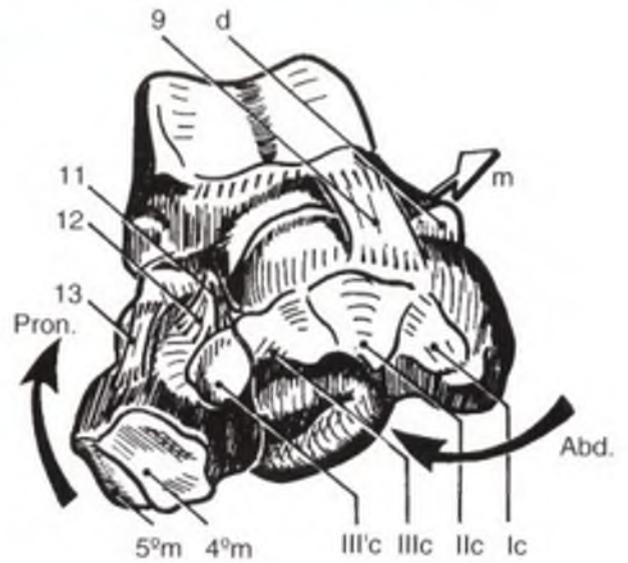
48



49



50



51

EL CARDÁN HETEROCINÉTICO DEL RETROPIÉ

El eje de Henke que se acaba de definir, no es, como se podría imaginar, un eje fijo e inmutable; en realidad, es un **eje evolutivo**, lo que significa que *se desplaza en el transcurso del movimiento*. Esto se puede deducir del examen de las sucesivas radiografías del tarso posterior, obtenidas durante el movimiento de inversión-eversión: cuando se crean los centros instantáneos de rotación en los pares de radiografías, *no coinciden entre sí*. Se puede plantear entonces la hipótesis de un eje de Henke evolutivo (Fig. 52) entre una posición de partida (1) y una posición de llegada (2), describiendo entre estas dos posiciones extremas un "plano inclinado" que contenga sus posiciones intermedias. Resta por hacer la demostración matemática por ordenador.

Por lo tanto, a la altura del retropié existen **dos ejes sucesivos, no paralelos**, el eje de la tibiotarsiana y el eje de Henke, representando, como se acaba de ver, el eje global de la subastragalina y la mediotarsiana. Se puede, pues, considerar el **cardán** como un modelo mecánico del *complejo articular del retropié*.

En **mecánica industrial**, el cardán se define como una articulación con dos ejes perpendiculares entre sí, comprendida entre dos árboles (Fig. 53), tales articulaciones transmiten el movimiento de rotación de un árbol al otro, sea cual fuere el ángulo formado entre ellos; en los automóviles existe una "tracción delantera" entre el árbol motor de cada una de las ruedas delanteras y su eje. Se las denomina "articulación homocinética", puesto que el par motor permanece igual a sí mismo independientemente de las posiciones relativas.

En **biomecánica** se conocen *tres articulaciones* de este tipo:

- la esternocostoclavicular, articulación "en silla";
- la muñeca, que es un complejo articular tipo condílea;
- la trapezometacarpiana, segunda articulación en silla, cuyo funcionamiento se ha

analizado muy exhaustivamente (véase tomo I).

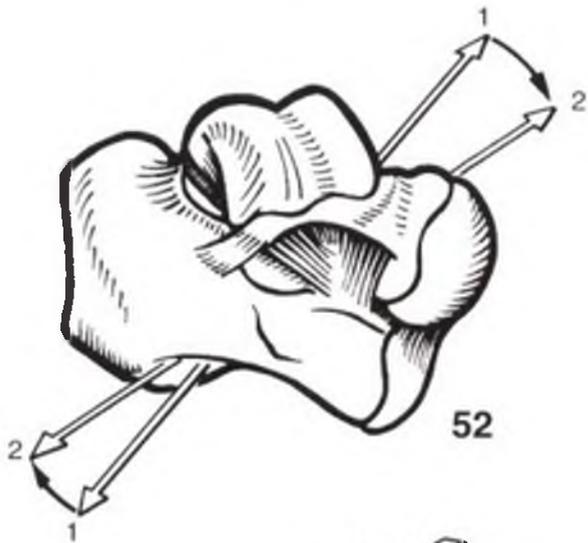
En lo que concierne al retropié, la gran diferencia reside en el hecho de que se trata de un "**cardán heterocinético**". Esto significa que el cardán no es "regular": sus ejes, en vez de ser perpendiculares entre sí en el espacio —se dice que son ortogonales—, *son oblicuos el uno con respecto al otro*. Para materializar este hecho (Fig. 54), se ha superpuesto sobre un esquema del tobillo el modelo mecánico de este cardán heterocinético, en donde se pueden observar:

- el esqueleto de la pierna (A) y el del antepié (B);
- el eje XX' de la tibiotarsiana, transversal, pero ligeramente oblicuo hacia delante y a dentro;
- el eje de Henke, oblicuo de atrás adelante, de abajo arriba y de fuera adentro;
- una pieza intermedia (C), que no tiene ningún equivalente óseo, tetraedro deformado, cuyas dos aristas opuestas están ocupadas por los dos ejes del cardán.

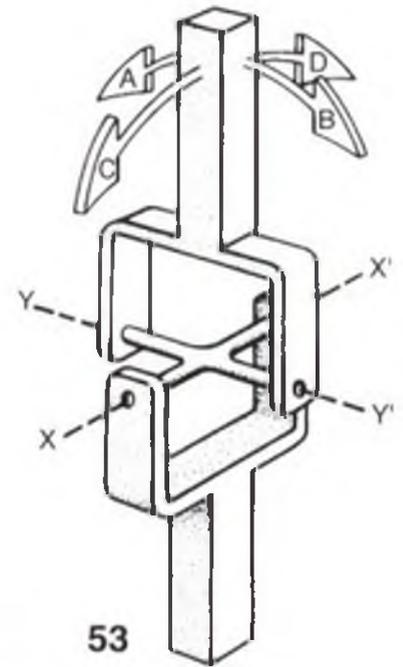
La no "ortogonalidad" de estos ejes crea **direcciones preferenciales** en los movimientos del complejo articular del retropié, los músculos, que se organizan en relación a estos dos ejes (véase pág. 214), sólo pueden realizar **dos tipos de movimientos, quedando los restantes "prohibidos"**:

- la **inversión** (Fig. 55), que dirige el pie hacia la extensión y orienta la planta hacia dentro;
- la **eversión** (Fig. 56), que flexiona el pie sobre la pierna y dirige su planta de modo que queda mirando hacia fuera.

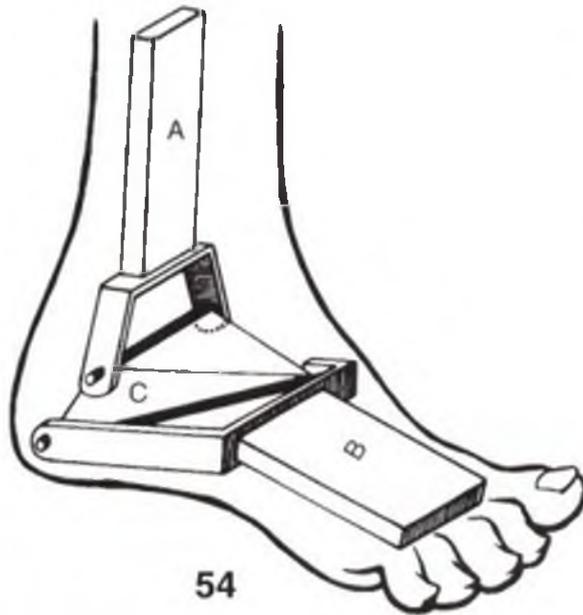
La comprensión del mecanismo de este "cardán heterocinético" es fundamental para interpretar las acciones musculares, la orientación de la planta del pie, su estática y su dinámica.



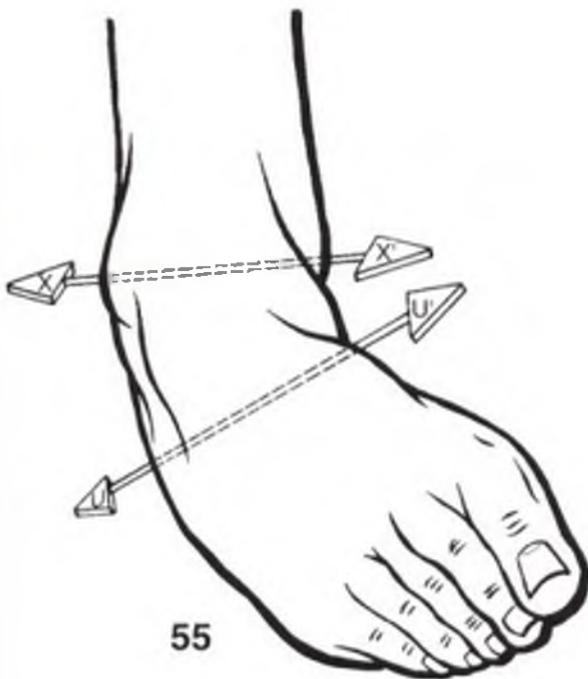
52



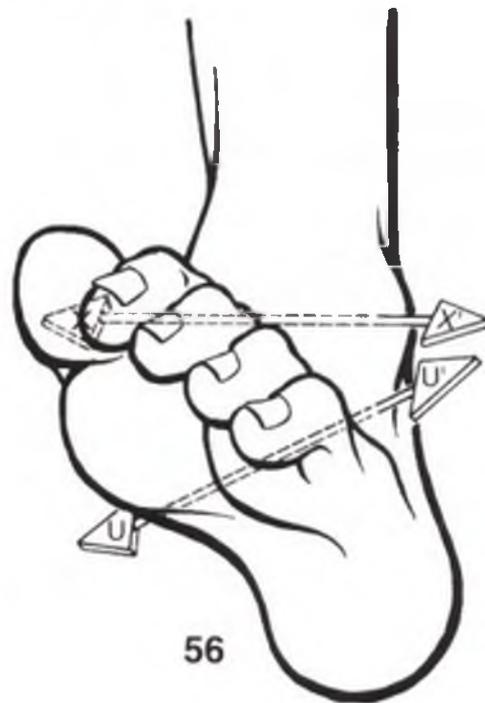
53



54



55



56

LAS CADENAS LIGAMENTOSAS DE INVERSIÓN Y EVERSIÓN

Los movimientos de inversión y de eversión del pie están limitados por dos tipos de resistencias:

- los topes óseos,
- las cadenas ligamentosas del retropié.

LIMITACIÓN DEL MOVIMIENTO DE INVERSIÓN

Como se ha podido comprobar con anterioridad, durante la inversión, el desplazamiento del calcáneo hacia abajo y adentro provoca un ascenso del astrágalo hacia la parte superior de la superficie talámica donde no encuentra ningún tope óseo, mientras que la parte anteroinferior del tálamo permanece al descubierto; simultáneamente, la cabeza del astrágalo queda al descubierto por el escafoides que se desliza hacia abajo y adentro sin ser detenido por ningún tope óseo.

Por lo tanto, ningún tope óseo limita el movimiento de inversión, excepto el maléolo interno que mantiene hacia dentro la polea astragalina.

La **cadena ligamentosa de inversión** es, pues, el único factor que limita este movimiento en el transcurso del cual se puede observar cómo se tensa (Fig. 57), *siguiendo dos líneas de tensión:*

La línea de tensión principal parte del maléolo externo,

- después sigue el **haz anterior (1) del LLE de la tibiotalarsiana**,
- se desdobla hacia el calcáneo y el cuboide pasando por
- el **ligamento interóseo (2)**,
- el **haz calcaneocuboideo del ligamento de Chopart (3)**, su rama externa,
- el **ligamento calcaneocuboideo superoexterno (4)** o dorsal,
- el **ligamento calcaneocuboideo plantar** (sin representar aquí),
- el **haz escafoideo del ligamento de Chopart (5)**,
- a partir del astrágalo, la tensión se transmite al escafoides mediante el **ligamento astragaloescafoideo dorsal (6)**.

La línea de tensión accesoria se inicia en el maléolo interno,

- sigue el **haz posterior del LLI de la tibiotalarsiana** (sin representar aquí),
- y el **ligamento calcaneoastagalino posterior** (sin representar aquí).

Como relevo ligamentoso, el astrágalo constituye,

durante la inversión, dos puntos de llegada y tres puntos de partida ligamentosos.

LIMITACIÓN DEL MOVIMIENTO DE EVERSIÓN

Durante el movimiento de eversión, la superficie posterior principal de la cara inferior del astrágalo "desciende" por la pendiente del tálamo para impactar contra la cara superior del calcáneo, a la altura *del suelo del seno del tarso*; la carilla externa del astrágalo, desplazada hacia fuera, impacta contra el **maléolo externo**, y lo fractura si el desplazamiento continúa. *Por lo tanto, los topes óseos son preponderantes.*

La **cadena ligamentosa de eversión** también incluye dos líneas:

La línea de tensión principal se inicia en el maléolo interno, utilizando los dos planos del **haz anterior del LLI de la tibiotalarsiana**,

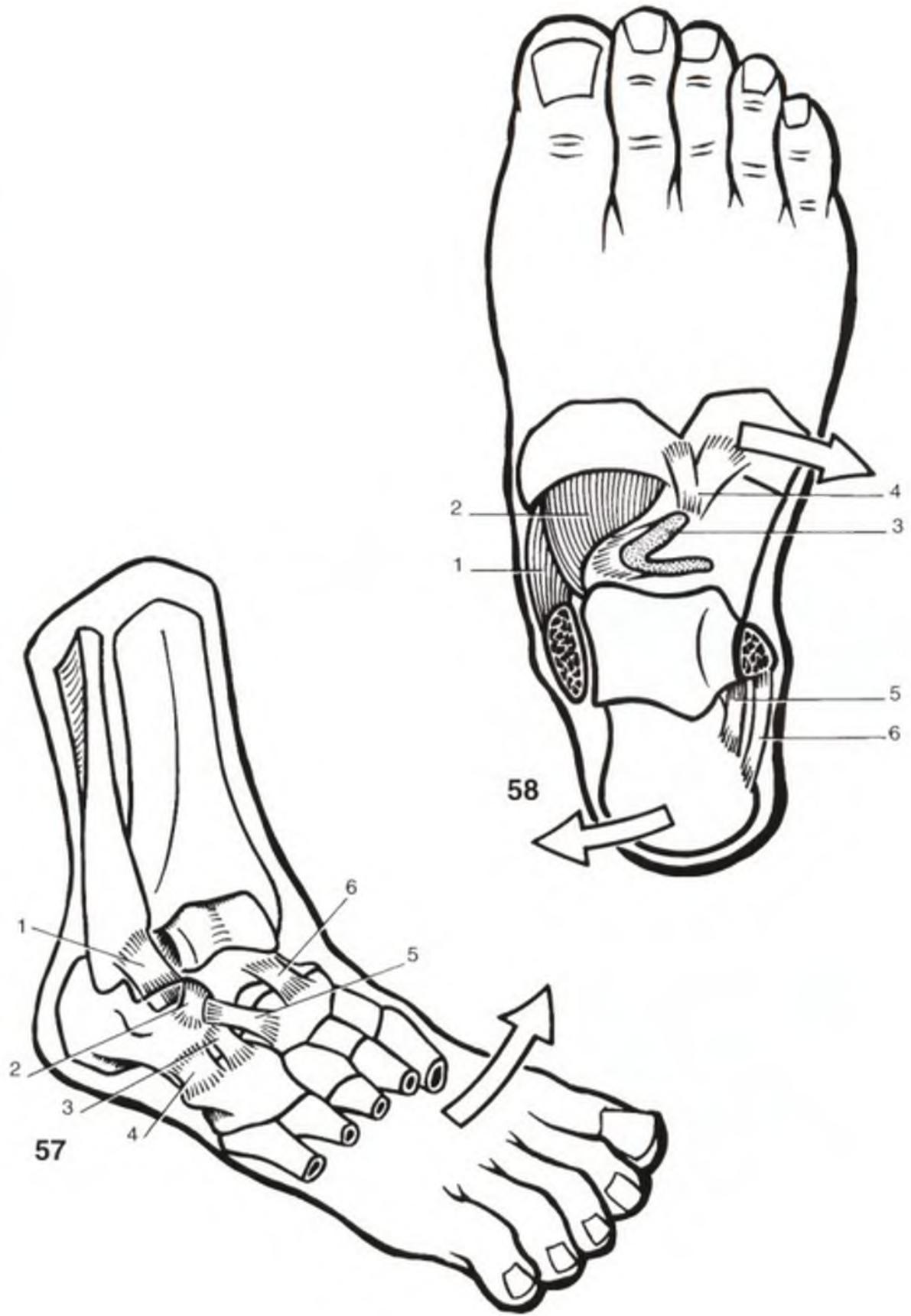
- el **plano superficial**, el **ligamento deltoideo (1)**, la une directamente con el escafoides y el calcáneo, ambos unidos entre sí **por el ligamento glenoideo (2)**;
- el **plano profundo** la une al astrágalo mediante el **haz tibioastagalino** (sin representar aquí), y al calcáneo a través del **ligamento interóseo (3)**,
- a su vez, el calcáneo está unido al cuboide y al escafoides por el **ligamento de Chopart (4)**; se puede constatar que este ligamento asegura la cohesión entre los tres huesos en el transcurso tanto de la inversión como de la eversión;
- la unión plantar está asegurada por el **gran ligamento calcaneocuboideo plantar** (sin representar aquí).

La línea de tensión accesoria se origina en el maléolo externo,

- por un lado, el **haz posterior del LLE de la tibiotalarsiana** (sin representar aquí) hacia el astrágalo y, desde aquí, hacia el calcáneo merced al **ligamento calcaneoastagalino externo (5)**;
- por otro lado, a través del **haz medio del LLE de la tibiotalarsiana (6)** directamente hacia el calcáneo.

En resumen, el relevo astragalino recibe dos llegadas y es el origen de dos salidas ligamentosas.

Globalmente, se puede deducir que *la inversión rompe los ligamentos*, y en particular el haz anterior del LLE de la tibiotalarsiana, y que *la eversión fractura los maléolos* y el externo en primer lugar.



LAS ARTICULACIONES ESCAFOCUNEALES, INTERCUNEALES Y TARSOMETATARSIANAS

(las explicaciones son comunes a las págs. 188 y 196)

Todas estas articulaciones son artrodias que realizan movimientos de deslizamiento y de apertura de escasa amplitud.

En una vista anterior del escafoides y del cuboides (Fig. 59) se pueden distinguir *tres carillas* (Ic, IIc, IIIc) que articulan el escafoides con la primera, segunda y tercera cuñas, y tres carillas más que articulan el cuboides con el quinto metatarsiano (5^o m), cuarto metatarsiano (4^o m) y tercera cuña (III^c); además, el cuboides sujeta el extremo izquierdo del escafoides (articulación escafo-cuboidea: flechas blancas).

En una vista en perspectiva anteroexterna (Figura 60) se puede observar cómo el bloque de las tres cuñas (C₁, C₂ y C₃) se articula con el escafoides y el cuboides: la doble flecha indica cómo la tercera cuña reposa sobre el cuboides, en una carilla (III^c) localizada delante mismo de la carilla de la articulación con el escafoides (articulación cuboideocuneal).

Las articulaciones intercuneales comprenden (Fig. 61: vista superior de las articulaciones escafo-cuneales, intercuneales y la de Lisfranc parcialmente) cada una carillas y ligamentos interóseos: entre la primera y segunda cuña se ha seccionado el ligamento interóseo (19); entre la segunda y tercera cuña, este ligamento (20) se ha dejado intacto.

La articulación tarsometatarsiana, o interlínea de Lisfranc, permite observar (Fig. 63: vista superior), por un lado, las tres cuñas (C₁, C₂ y C₃) por dentro y el cuboides (cub) por fuera; por otro lado, la base de los cinco metatarsianos (M₁, M₂, M₃, M₄ y M₅). Está compuesta por una sucesión de artrodias íntimamente imbricadas. En una vista dorsal de la articulación abierta (Fig. 62 según

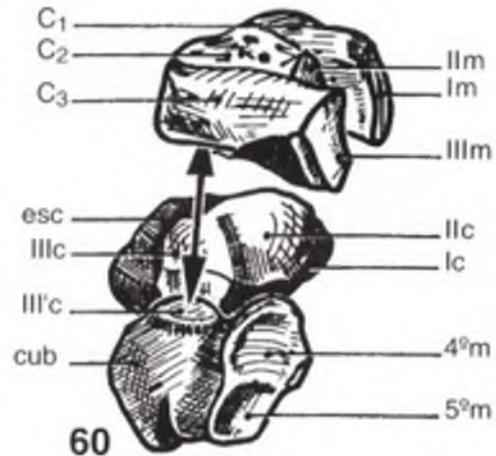
Rouvière) se pueden distinguir las distintas carillas del tarso y las carillas que corresponden a la base de los metatarsianos. La base del segundo meta (M₂) se encaja en la mortaja de las tres cuñas compuesta por: la carilla externa (IImC₁) de la primera cuña (C₁), la carilla anterior (IImC₂) de la segunda cuña (C₂) y la carilla interna (IImC₃) de la tercera cuña (C₃). Además, está sujeta por potentes ligamentos, fáciles de distinguir (Fig. 61) cuando se abre la articulación por arriba, se hace girar sobre su eje al primer metatarsiano (flecha 1) y se desplaza hacia fuera al tercer metatarsiano (flecha 2). Entonces se puede observar:

- por dentro, el **potente ligamento de Lisfranc** (18), que se extiende desde la cara externa de la primera cuña a la cara interna de la base del segundo metatarsiano. Es la clave de la desarticulación;
- por fuera, **un sistema ligamentoso** que incluye fibras directas (21) entre C₂ y M₂ y (22) entre C₃ y M₃ y fibras cruzadas (23) entre C₂ y M₃ y (24) entre C₃ y M₄.

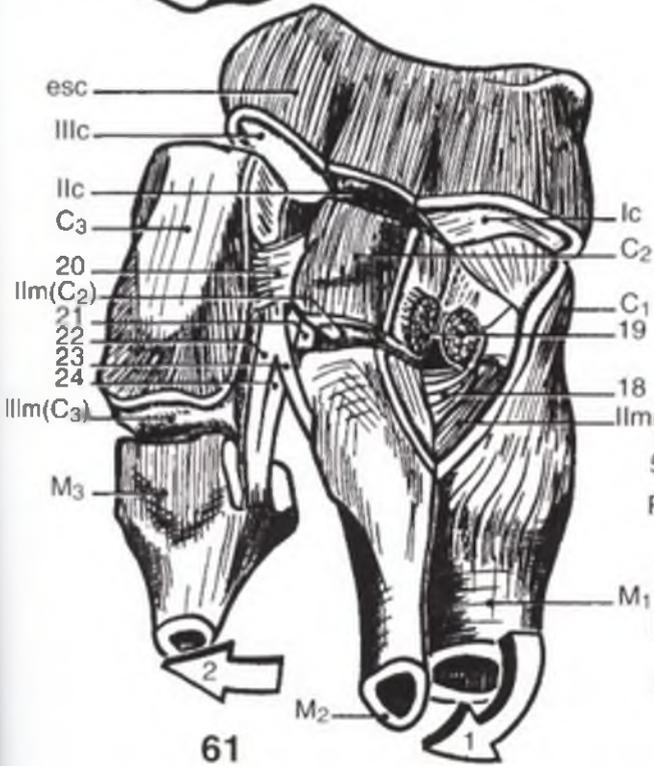
Por otra parte, la solidez de la articulación tarsometatarsiana está asegurada por numerosos ligamentos (Fig. 63: vista dorsal y Fig. 64: vista plantar) que se expanden desde la base de cada metatarsiano hasta el hueso correspondiente del tarso y hacia la base de los metatarsianos vecinos. En particular, en la cara dorsal (Fig. 63) existen ligamentos que se expanden desde la base del segundo metatarsiano hacia todos los huesos vecinos, y hacia la cara plantar (Fig. 64) de los ligamentos extendidos de la primera cuña a los tres primeros metatarsianos. En el lado plantar de la base del primer metatarsiano se inserta el tendón del peroneo lateral largo (P.L.L.) tras recorrer su corredera plantar (línea discontinua 25).



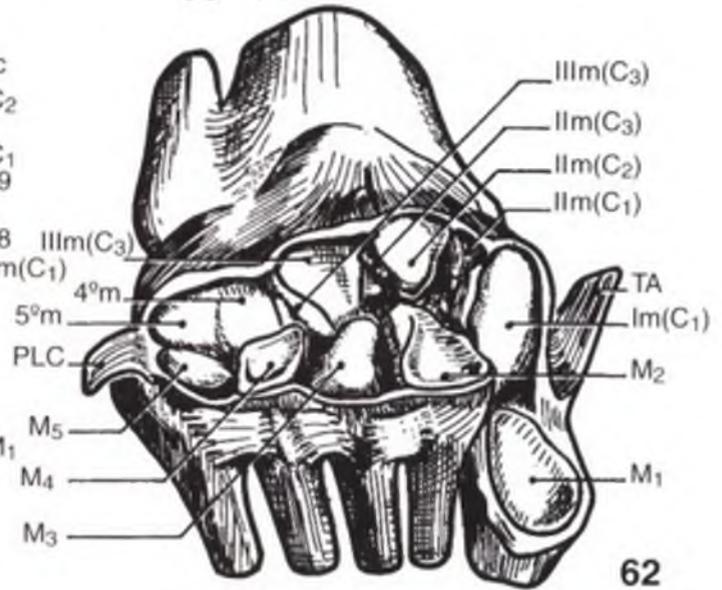
59



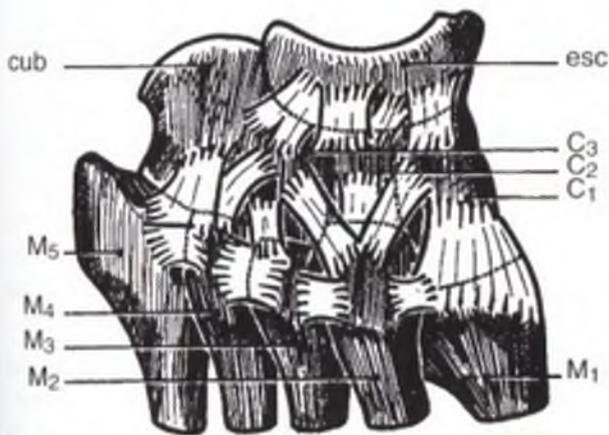
60



61



62



63



64

MOVIMIENTOS EN LAS ARTICULACIONES DEL TARSO ANTERIOR Y EN LA TARSOMETATARSIANA

Las articulaciones intercuneales (Fig. 65: corte frontal) permiten ligeros movimientos verticales que modifican la curva transversal de la bóveda plantar (véase pág. 236). La tercera cuña (C_3) descansa sobre el cuboides (cub), cuyo tercio interno al completo (rayado) sirve de apoyo al arco formado por los cuneiformes.

En sentido longitudinal (Fig. 66: corte sagital), los ligeros desplazamientos de las cuñas con respecto al escafoides (esc) contribuyen a la modificación de la curva del arco interno (véase pág. 230).

Los movimientos en la articulación tarso-metatarsiana se pueden deducir según la forma de la interlínea de Lisfranc y según la orientación de las superficies articulares, perfectamente descritas por la anatomía clásica (Fig. 67: vista superior):

- En conjunto, la interlínea de Lisfranc es *oblicua hacia dentro y afuera, de arriba abajo y de delante a atrás*; su porción interna se localiza dos centímetros por delante de la externa. La oblicuidad general de este eje de flexoextensión de los metatarsianos contribuye, al igual que la oblicuidad del eje de Henke, a los movimientos de eversión-inversión (véase modelo mecánico del pie).

- El avance de las cuñas sigue una *progresión geométrica*:

La tercera cuña (C_3) sobrepasa 2 mm al cuboides (cub);

La tercera cuña sobrepasa 4 mm al segundo (C_2);

La primera cuña (C_1) sobrepasa 8 mm al segundo.

De esta forma, entre las tres cuñas se dibuja la mortaja en la que se encaja la base del segundo metatarsiano. Por lo tanto, éste es el menos móvil de todos, y constituye la parte superior de la bóveda plantar (véase pág. 234).

- Los dos segmentos extremos de la interlínea poseen una oblicuidad opuesta:

- la interlínea M_1/C_1 , oblicua hacia delante y *afuera*, cae, cuando se prolonga, en medio del quinto metatarsiano;
- la interlínea M_5/cub , oblicua hacia delante y *adentro*, finaliza, tras una prolongación idónea, cerca de la cabeza del primer metatarsiano.

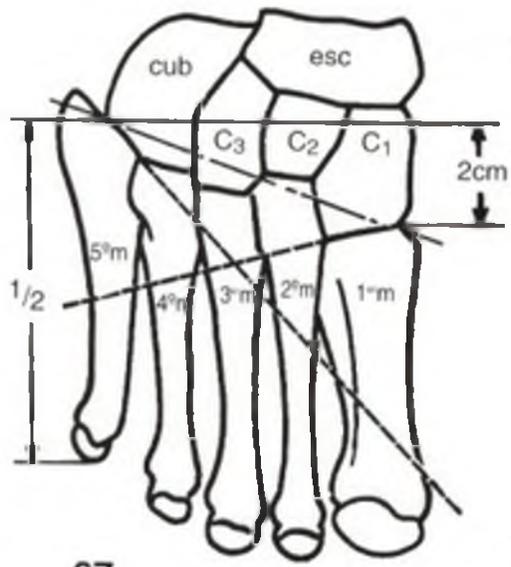
Por lo tanto, el eje de flexoextensión de los metatarsianos localizados en los extremos, los más móviles, no es perpendicular al eje longitudinal de estos metatarsianos, sino oblicuo. En consecuencia, dichos metatarsianos no se desplazan en un plano sagital, sino en una superficie cónica; cuando se flexionan, se desplazan al mismo tiempo en sentido lateral hacia el eje del pie (Fig. 69: vista esquemática superoexterna de la interlínea de Lisfranc con los dos metatarsianos localizados en los extremos):

- el movimiento aa' de la cabeza del primer metatarsiano conlleva un componente de flexión (F) y un componente de abducción (Abd.) de 15° (Fick);
- simétricamente, el movimiento bb' de la cabeza del quinto metatarsiano se compone de una flexión (F) asociada a una aducción (Adu.)

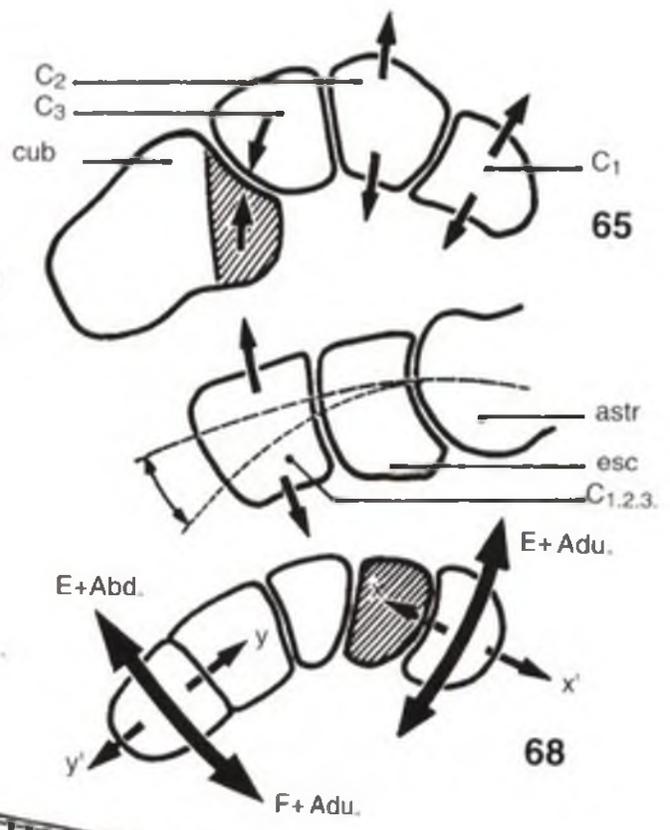
De este modo, no sólo las cabezas de estos metatarsianos descienden, sino que se aproximan al eje del pie, lo que provoca (Fig. 70) **un aumento de la curva del arco anterior** y, en consecuencia, un ahondamiento de la parte anterior de la bóveda plantar. A la inversa, la extensión de los metatarsianos se acompaña de su aplanamiento (véase modelo mecánico del pie al final del volumen).

El movimiento de aproximación de los metatarsianos localizados en los extremos también se ve favorecido (Fig. 68: vista anterior de las superficies cuboideas y cuneales) por la oblicuidad de los ejes transversales (xx' y yy') de sus superficies articulares: el movimiento sigue la flecha gruesa en los dos sentidos.

En definitiva, las modificaciones de la curva del arco interno anterior son la consecuencia de los movimientos acaecidos en la interlínea de Lisfranc.

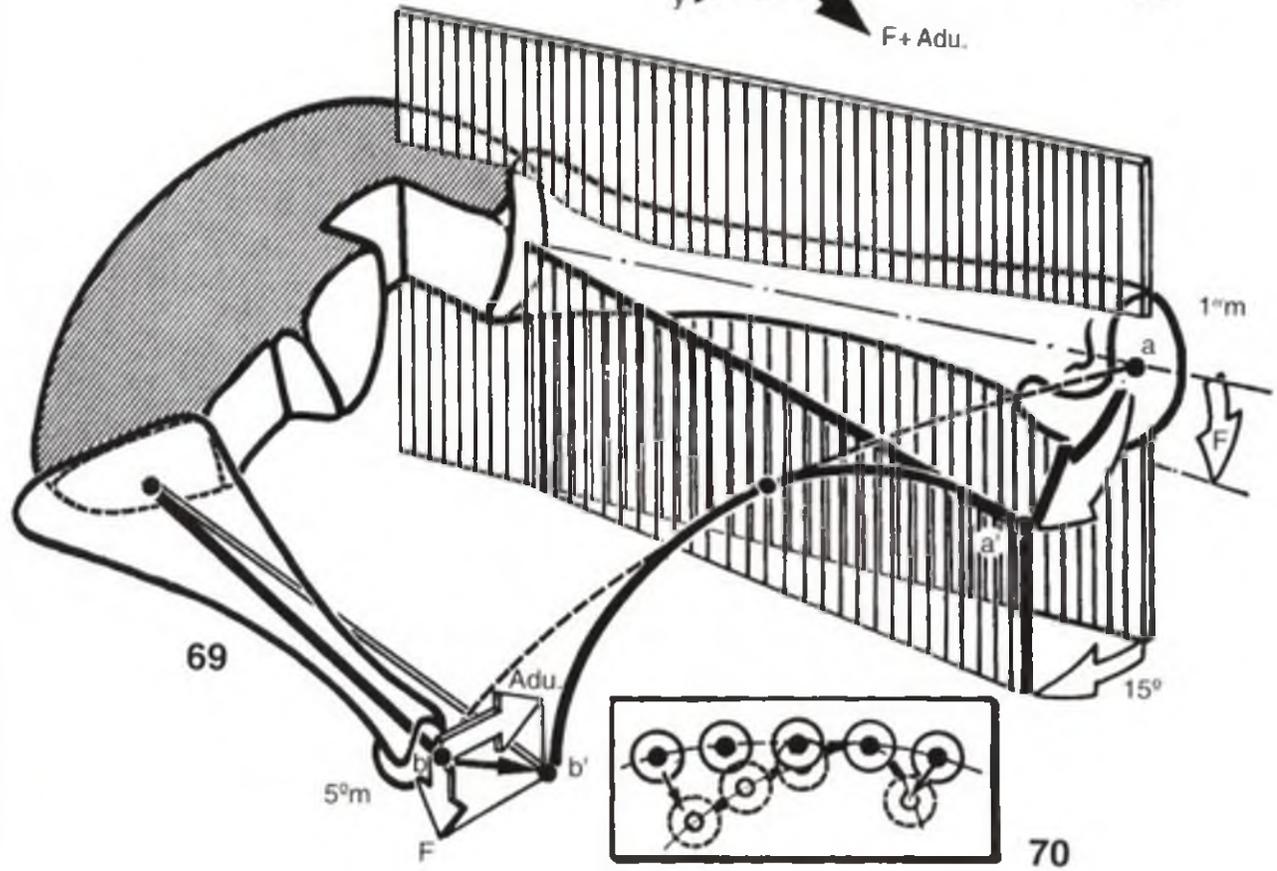


67



65

68



69

70

LA EXTENSIÓN DE LOS DEDOS

No se van a describir las articulaciones metatarsofalángicas y las articulaciones interfalángicas de los dedos de los pies, ya que son similares a las de los dedos de las manos (véase tomo I); las únicas diferencias son de carácter funcional e implican, principalmente a las metatarsofalángicas. De hecho, mientras que en el caso de las metacarpofalángicas la flexión supera la extensión, en el caso de las metatarsofalángicas la **extensión supera la flexión:**

- la extensión **activa** es de 50-60° en comparación a los 30-40° de la flexión activa;
- la extensión **pasiva**, imprescindible en la última fase del paso (Fig. 71), alcanza o sobrepasa los 90° en comparación a los 45-50° de la flexión pasiva.

Los movimientos de lateralidad de los dedos del pie en las metatarsofalángicas son de menor amplitud que los de los dedos de la mano. En particular, el dedo gordo del hombre, a diferencia del mono, *ha perdido todas las posibilidades de oposición*, lo que traduce la adaptación del pie humano a la marcha bípeda en el suelo.

La extensión activa de los dedos del pie se debe a *tres músculos*: dos músculos extrínsecos, el extensor propio del dedo gordo y el extensor común, y un músculo intrínseco, el pedio.

El músculo pedio (Fig. 72) se localiza enteramente en el dorso del pie. Los cuatro cuerpos carnosos que lo componen tienen una inserción común en el suelo calcáneo del seno del tarso, en el desdoblamiento de origen del ligamento anular anterior de la garganta del pie. Los cuatro tendones de poco espesor que los prolongan se unen con el tendón extensor de los cuatro primeros dedos, excepto en el caso del primero que se inserta directamente en la cara dorsal de la primera falange del dedo gordo. El quinto dedo carece de pedio. Por lo tanto, este músculo es exten-

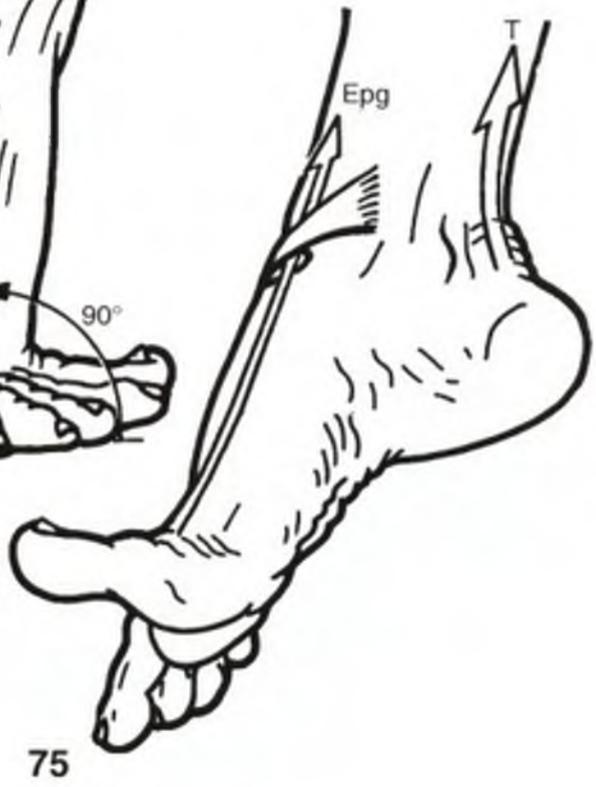
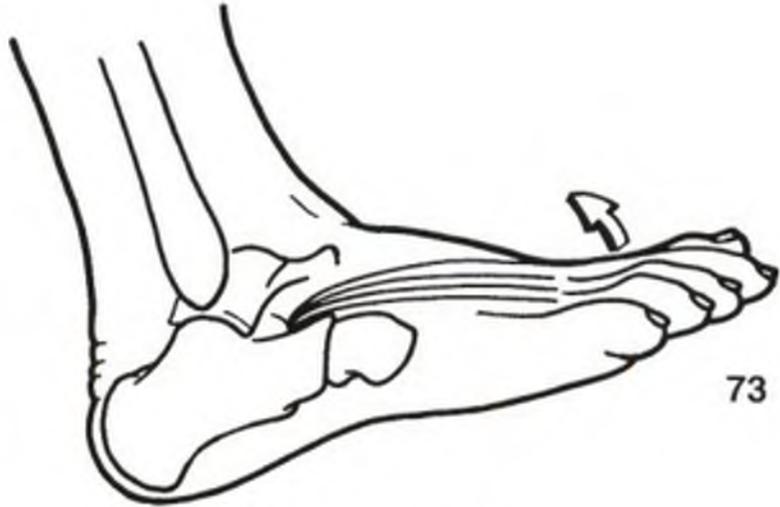
sor de la metacarpofalángica de los cuatro primeros dedos (Fig. 73).

El extensor común de los dedos y el extensor propio del dedo gordo se localizan en el compartimento anterior de la pierna, sus tendones se insertan en las falanges de acuerdo con las modalidades que se analizarán más adelante (véase pág. 208).

El tendón del extensor común (Ecd) (Fig. 74) se dirige a la cara anterior de la garganta del pie por la fronda externa del ligamento frondiforme, se subdivide en cuatro tendones que se insertarán en los cuatro últimos dedos tras haber pasado por debajo de la lámina inferior del ligamento anular anterior (véase también Fig. 89). Por lo tanto, el quinto dedo sólo se extiende mediante el extensor común. Este músculo, como su nombre indica, es extensor de los dedos, pero también es, *sobre todo, flexor del tobillo* (véase pág. 214). Para que su acción en los dedos sea pura, se debe asociar la contracción sinérgica-antagonista de los extensores del tobillo (el tríceps (T) está representado por una flecha).

El tendón del extensor propio del dedo gordo (Epg) (Fig. 75) pasa por debajo de la lámina superior del ligamento anular anterior, en la fronda interna del ligamento frondiforme, para, a continuación, pasar por debajo de la lámina inferior (véase también Fig. 89) y terminar en las dos falanges del dedo gordo: en los bordes laterales de la primera y en la cara dorsal de la base de la segunda. Por lo tanto, es extensor del dedo gordo, pero también y, *sobre todo, flexor de tobillo*. Como en el caso del extensor común, la contracción sinérgica-antagonista de los extensores del tobillo es necesaria para que su acción sobre el dedo gordo sea pura.

Para Duchenne de Boulogne, el verdadero extensor de los dedos del pie es el pedio, más adelante se justificará esta afirmación.



MÚSCULOS INTERÓSEOS Y LUMBRICALES

(las explicaciones son comunes a todas las figuras)

Los músculos interóseos, al igual que en la mano, se dividen en dorsales y palmares (en el caso del pie se les denomina plantares), aunque su disposición es un tanto diferente (Fig. 76: corte frontal, fragmento posterior): **los cuatro interóseos dorsales** (Isd) están centrados en el segundo metatarsiano (en vez de en el tercero como es el caso de la mano) y se insertan (flechas blancas) en el segundo dedo (1^o y 2^o interóseos) o en el dedo más próximo al segundo: 3^o interóseo en el 3^o dedo, 4^o interóseo en el 4^o dedo (Fig. 83). **Los tres interóseos plantares** (Isp) se insertan todos en el borde interno de los tres últimos metatarsianos y terminan (Fig. 84) en el dedo correspondiente al metatarsiano de origen.

La forma en la que terminan los interóseos del pie (Fig. 77: vista dorsal del aparato extensor y Fig. 79: vista lateral de los músculos de los dedos) es parecida a la de la mano:

- en la parte lateral de la base de la primera falange (1) y
- mediante una lámina tendinosa (2) en la cintilla lateral (3) del tendón del extensor.

De hecho, el tendón del extensor común (Ecd) se inserta, como en la mano, en las tres falanges, por medio de:

- unas fibras (4) en *los bordes* de la primera falange (y no en la base);
- una cintilla mediana (5) en la base de la segunda falange y
- dos cintillas laterales (3) en la base de la tercera.

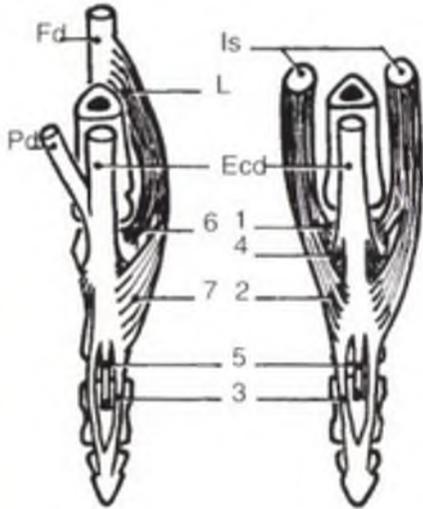
En la porción superior de la articulación metatarsofalángica (Fig. 78: vista dorsal), el tendón extensor de los segundo, tercer y cuarto dedos recibe, por su borde externo, el fino tendón del pedio (Pd).

Como en la mano, existen **cuatro músculos lumbricales** (Figs. 76, 78 y 88) anejos a los tendones del flexor común de los dedos del pie (homólogo al FCP de los dedos de la mano). El tendón de cada lumbrical se dirige *hacia dentro* (Fig. 88) para finalizar (Figs. 78 y 79) como un

interóseo: en la base de la primera falange (6) y en la cintilla lateral (7) del extensor.

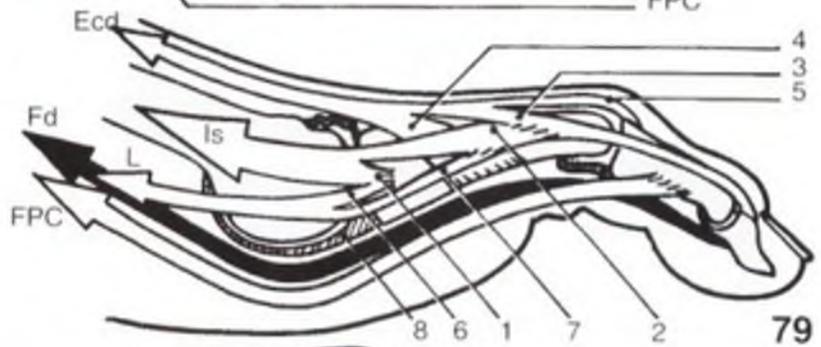
El tendón del flexor de los dedos (Fd) actúa como el FCP de los dedos (Fig. 79 y Fig. 88): pasa próximo al fibrocartilago glenoideo (8) de la metatarsofalángica para, a continuación, *perforar* el tendón del flexor plantar corto (FPC) y finalizar en la base de la tercera falange. Por lo tanto, **el flexor plantar corto**, músculo intrínseco del pie, es el equivalente del FCS de los dedos de la mano: superficial, está perforado por el precedente y finaliza en las caras laterales de la segunda falange. El flexor de los dedos flexiona la tercera falange sobre la segunda (Fig. 81). El flexor plantar corto flexiona la segunda falange sobre la primera. Los interóseos y los lumbricales, como en la mano, son (Fig. 80) flexores de la primera falange y extensores de las dos últimas. Desempeñan un papel fundamental en la estabilización de los dedos. Flexionando la primera falange, proporcionan un punto de apoyo sólido a los extensores de los dedos como flexores del tobillo. Cuando los interóseos y los lumbricales son insuficientes, se produce una deformación en "martillo" o en "garra" de los dedos del pie (Fig. 82): los interóseos no estabilizan la primera falange, de forma que, debido a la tracción del extensor, se hiperextiende para deslizarse por la cara dorsal de la cabeza del metatarsiano. En segundo plano, esta deformación se fija por la luxación dorsal de los interóseos, por arriba del eje (+) de la metatarsofalángica. Además, las dos primeras falanges se flexionan debido al relativo acortamiento de los flexores, y esta deformación queda fija cuando la interfalángica proximal se luxa (flecha) entre las cintillas laterales del extensor, cuya acción se ve entonces invertida.

Como en la mano, la posición de los dedos depende pues del equilibrio entre los distintos músculos. De forma que, como afirma Duchenne de Boulogne, sólo el pedio es realmente extensor de los dedos, y si los verdaderos extensores fuesen los flexores de tobillo se hubieran fijado directamente en los metatarsianos (Duchenne siempre dixit).

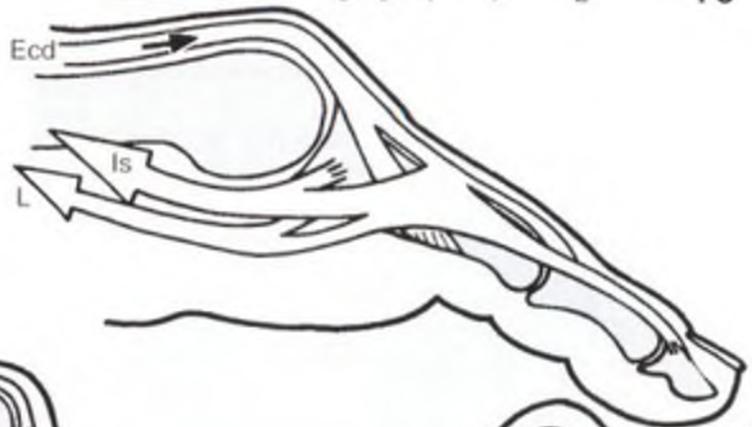


78

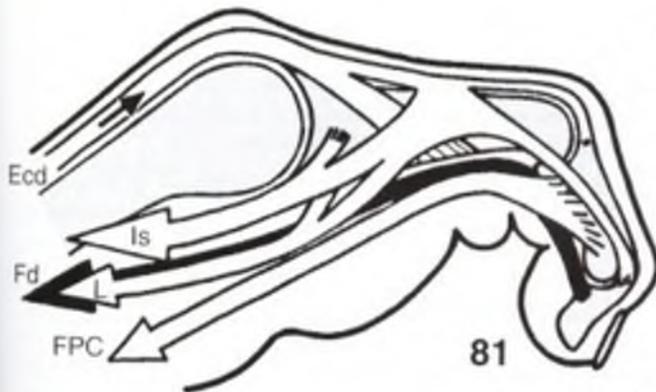
77



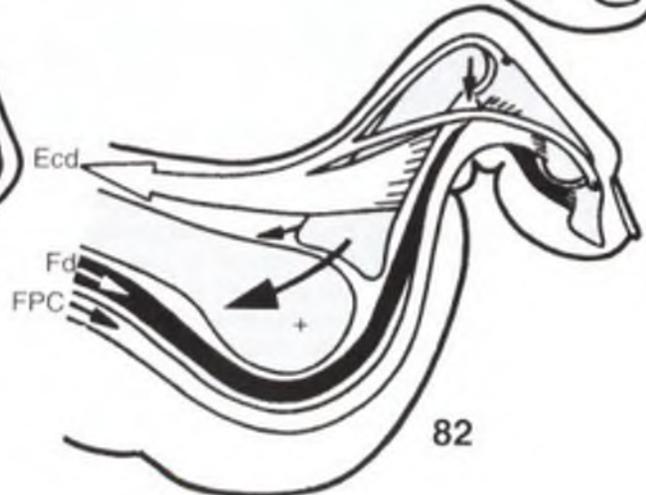
79



80



81



82

MÚSCULOS DE LA PLANTA DEL PIE

(las explicaciones son comunes a la página anterior)

Los músculos de la planta del pie se disponen, desde la profundidad hasta la superficie, en **tres planos**.

A. El plano profundo está compuesto por los interóseos y los músculos anexos al 5º dedo y al dedo gordo:

- **los interóseos dorsales** (Fig. 83: vista inferior) poseen, además de su participación en la flexo-extensión, una acción de abducción de los dedos con respecto al eje del pie (segundo metatarsiano y segundo dedo). La separación del dedo gordo la realiza el aductor del dedo gordo (Adu.g) y la abducción del quinto dedo la efectúa el abductor del quinto dedo (Abd. 5). *Estos dos músculos son los equivalentes de los interóseos dorsales*;
- **los interóseos plantares** (Fig. 84: vista inferior) aproximan los tres últimos dedos al segundo. El dedo gordo se aproxima al eje del pie merced a su abductor, constituido por dos porciones:
 - el abductor oblicuo (Abd. 1) que se origina en los huesos del tarso anterior;
 - el abductor transverso (Abd. 2) que se adhiere la ligamento glenoideo de las tercera, cuarta y quinta articulaciones metatarsofalángicas y al ligamento intermetatarsiano profundo. Desplaza directamente hacia fuera la primera falange del dedo gordo y desempeña una función de sostén del arco anterior (véase pág. 234).
- **los músculos anexos al 5º dedo** (Fig. 85: vista inferior) son tres y se localizan en el compartimento plantar externo:
 - el **oponente del 5º dedo** (Op. 5) es el más profundo; se extiende desde el tarso anterior hasta el quinto metatarsiano, tiene una función análoga, aunque en menor grado, a la del oponente del 5º dedo; ahonda la hóveda y el arco anterior;
 - los otros dos músculos se insertan ambos en el tubérculo externo de la base de la primera falange. Son:
 - el **flexor corto del 5º dedo** (FC.5) que se origina en el tarso anterior;
 - el **abductor del 5º dedo** (Abd.5), citado anteriormente, cuyas inserciones posteriores se localizan (Fig. 86) en la tuberosidad posteroexterna del calcáneo y en la estiloides del 5º metatarsiano. Es uno de los sostenes del arco externo (véase pág. 232).
- **los músculos anexos al dedo gordo** (Figura 85) son tres y se localizan en el compartimento

plantar interno (excepto el abductor). Se insertan en los tubérculos laterales de la base de la primera falange y en los dos huesos sesamoideos anexos a la metatarsofalángica del dedo gordo. Éste es el motivo por el cual también se les denomina *músculos sesamoideos*:

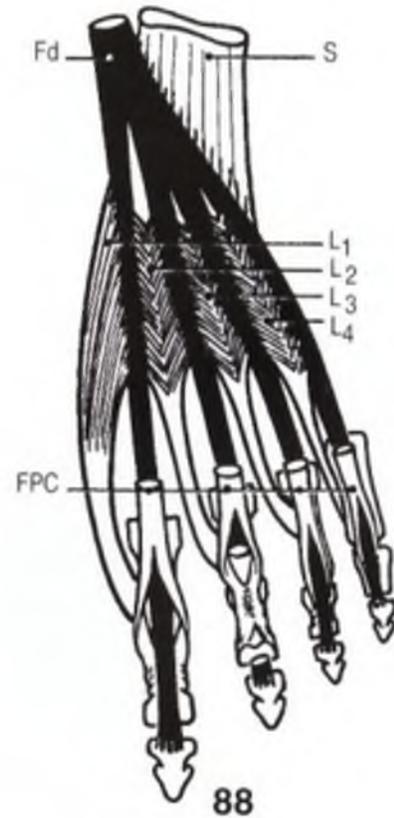
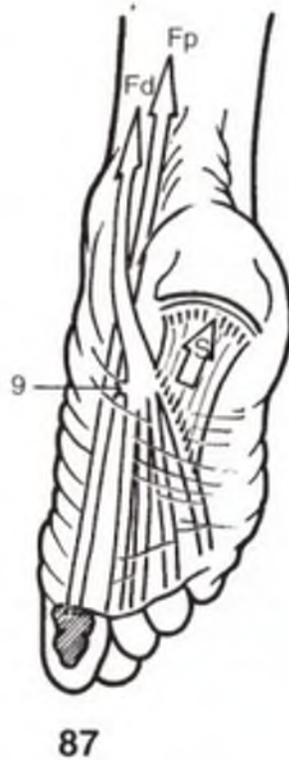
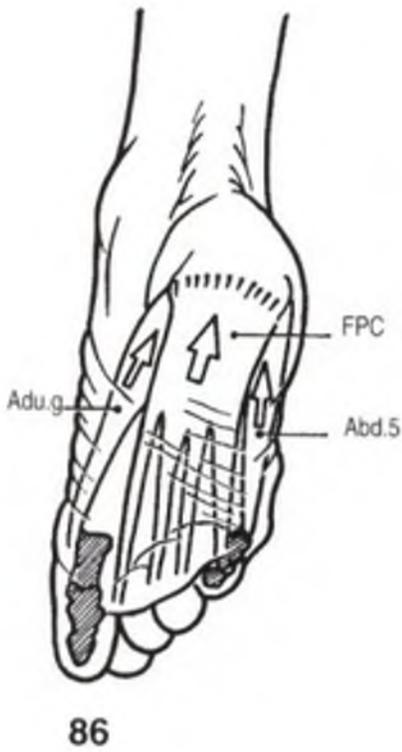
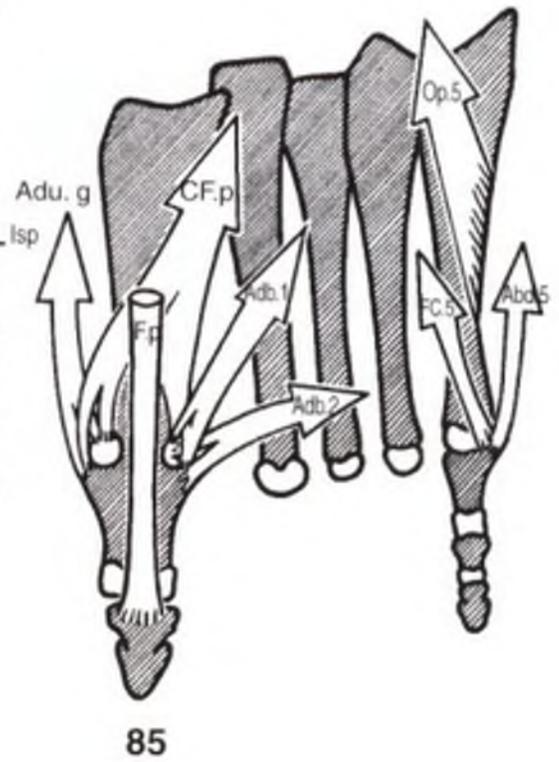
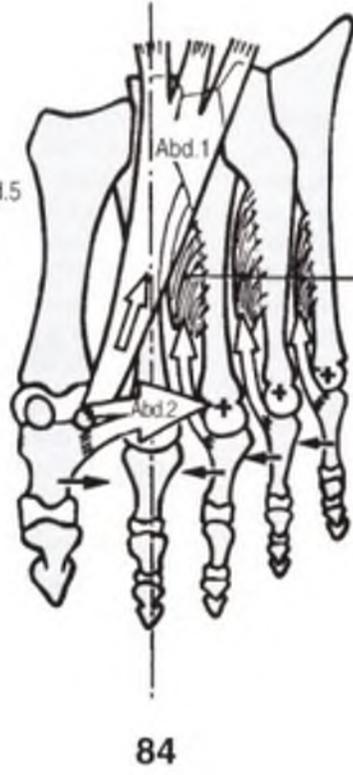
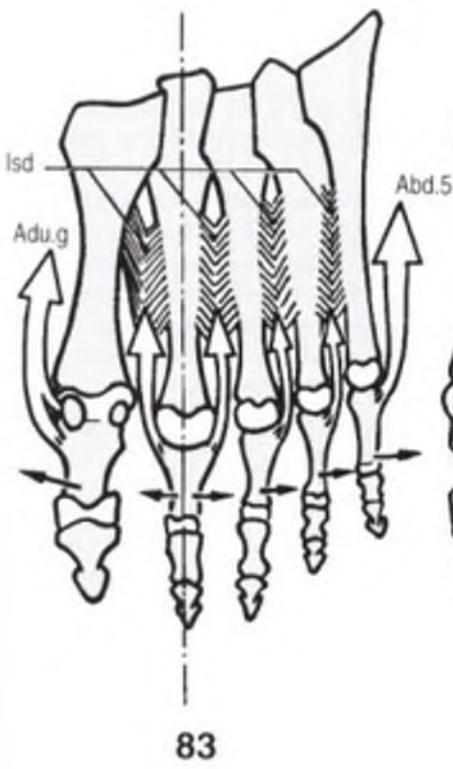
- **en el lado interno**, sesamoideo y falange reciben la *porción interna del flexor corto* (FC.p) y el *aductor* (Adu.g) que se origina en la tuberosidad posteroexterna del calcáneo (Fig. 86) y constituye uno de los sostenes del arco interno (véase pág. 230);
- **en el lado externo**, sesamoideo y falange reciben *las dos porciones del abductor* (Abd. 1 y 2) y la *porción externa del flexor corto del dedo gordo* (FC. p) que se origina en los huesos del tarso anterior.

Los músculos sesamoideos son potentes flexores del dedo gordo: desempeñan un papel importante en la estabilización del dedo gordo (insuficiencia = garra del dedo gordo bajo la acción del extensor corto) y en la primera fase del paso (véase pág. 240).

B. El plano medio está formado por los músculos flexores largos (Fig. 87). El flexor común (Fd) cruza por debajo al flexor propio del dedo gordo (F. p) en la salida del canal calcáneo. Posteriormente, cambian entre sí una anastomosis tendinosa (9) tras lo cual el flexor común se divide en cuatro tendones destinados a los cuatro últimos dedos. Los lumbricales nacen (Fig. 88) de dos tendones vecinos excepto el primero (L.1). Cada tendón perfora para acabar en la tercera falange. La tracción oblicua de estos tendones se compensa por un músculo aplanado expandido por el eje de la planta (Fig. 87) entre las tuberosidades posteriores del calcáneo y el borde externo del tendón del 5º metatarsiano: se trata del cuadrado carnoso de Sylvius (S) o accesorio del flexor común. Su contracción simultánea corrige las desviaciones axiales de los tendones.

El flexor propio del dedo gordo (F. p, Figs. 85 y 87) se desliza entre los dos sesamoideos para insertarse en la segunda falange del dedo gordo a la que flexiona con fuerza.

C. El plano superficial está representado (Figura 86) por un solo músculo, incluido como flexor común en el compartimento plantar medio, el **flexor plantar corto** (FPC), fijo por detrás en las tuberosidades posteriores del calcáneo y destinado a los cuatro últimos dedos. Es el equivalente del FCS de los dedos: sus tendones están *perforados* (Fig. 88) y se insertan en la segunda falange, a la que flexionan.



CORREDERAS TENDINOSAS DE LA GARGANTA Y DE LA PLANTA DEL PIE

El **ligamento anular anterior del tarso** (Fig. 89) adhiere los cuatro tendones anteriores al esqueleto, en la concavidad de la cara anterior de la garganta del pie, sirviéndoles de polea de reflexión sea cual sea el grado de flexión del tobillo. Desde su origen en el suelo del seno del tarso, en la cara superior de la apófisis mayor del calcáneo, este ligamento se divide inmediatamente en *dos láminas divergentes*:

- una **lámina inferior** (a), que se pierde en el borde interno del pie;
- una **lámina superior** (b), que termina en la cresta tibial cerca del maléolo interno:
 - *por dentro* está *atravesada* por el tendón del tibial anterior (TA), cuya vaina serosa asciende dos traveses de dedo por encima de su borde superior;
 - *por fuera* está *reforzada en profundidad* por el **ligamento frondiforme**, cuyas fibras se originan y terminan en el seno del tarso, de modo que forman dos bucles:
 - la **fronda interna**, que contiene el tendón del **extensor propio del dedo gordo** (Epg), envuelta por una vaina serosa que apenas sobrepasa el ligamento anular por arriba;
 - la **fronda externa** destinada a los tendones del **extensor común de los dedos** (Ecd) y del **peroneo anterior** (PA) envueltos en una vaina serosa común localizada un poco más arriba que la anterior.

El resto de los tendones pasan por las correderas retromaleolares.

Por **detrás del maléolo externo** (Fig. 90) se deslizan por una corredera osteofibrosa (1) que emana del ligamento anular externo, los dos tendones paralelos del **peroneo lateral corto** (PLC) por arriba y por delante, y del **peroneo lateral largo** (PLL) por detrás y por abajo. Tras reflejarse en el vértice del maléolo quedan sujetos a la cara externa del calcáneo en *dos correderas osteofibrosas* (3 y 4), apoyadas en el tubérculo de los peroneos (5). Su vaina serosa común se desdobra desde este punto. Entonces, el PLC se fija en la estiloides del 5º metatarsiano (6) y la base del 4º. Se ha resecado un pequeño fragmento (7) para comprobar cuándo el tendón del PLL cambia de dirección para introducirse en la corredera del cuboides. A continuación, vuelve a aparecer en la planta del pie (Fig. 91), envuelto en una nueva vaina serosa, dirigiéndose oblicuamente hacia delante y adentro en una corredera osteofibrosa formada, por arri-

ba, por el esqueleto y, por abajo, por las fibras del *haz superficial del ligamento calcaneocuboideo plantar* (haz profundo: 8) extendidas desde el calcáneo (9) hasta el cuboides y la base de todos los metatarsianos (x) y por las *expansiones terminales* (10) del **tendón del tibial posterior** (TP). El tendón del PLL se fija en la base del 1º metatarsiano (11) y envía expansiones al 2º metatarsiano y la 1ª cuña. De manera casi constante, en su entrada en la corredera, se localiza un sesamoideo (12) que facilita su reflexión.

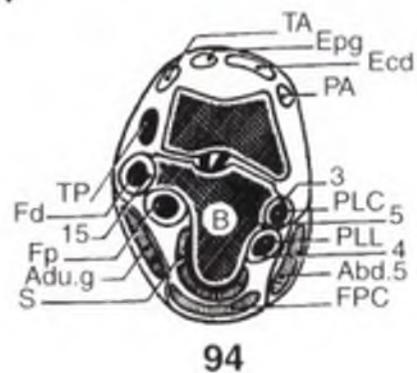
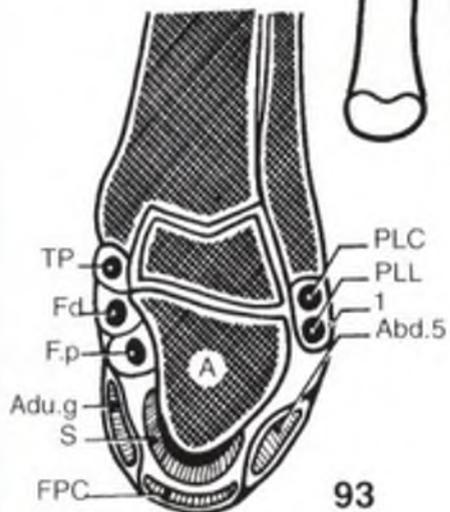
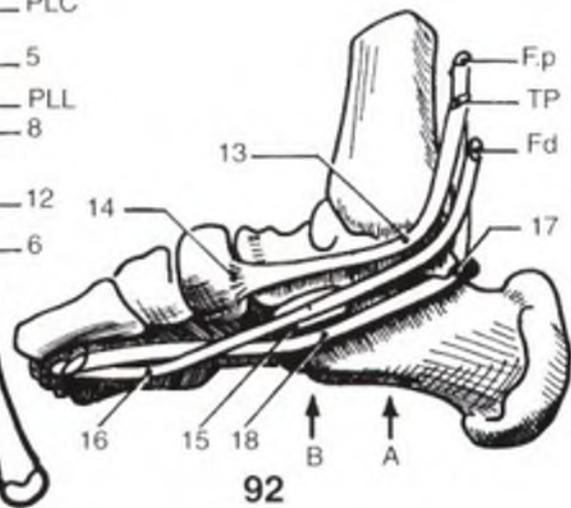
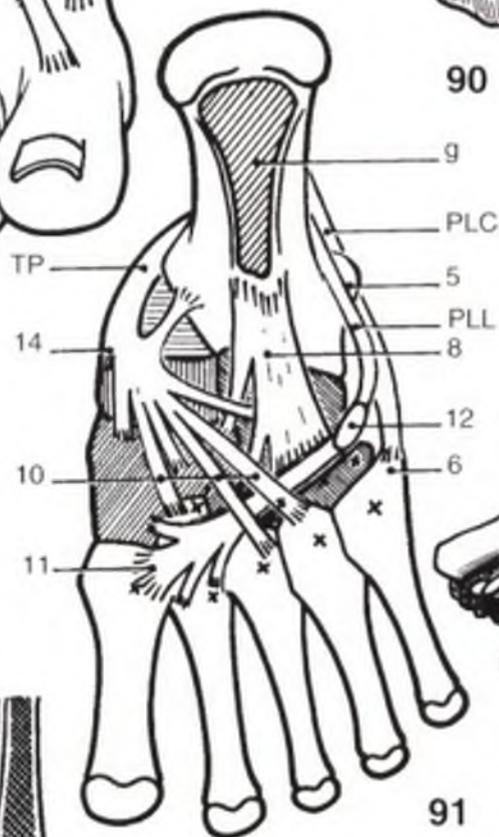
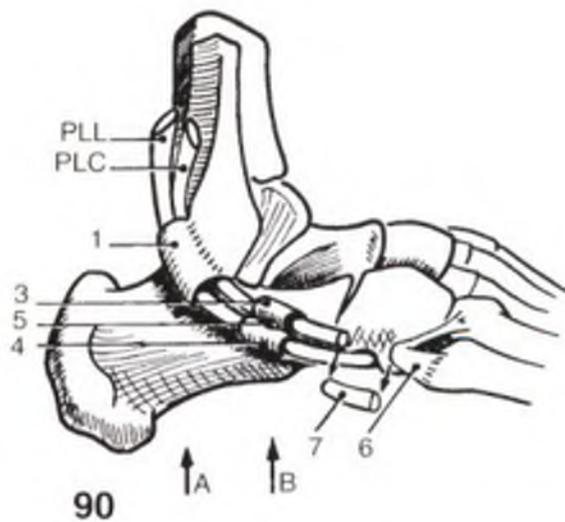
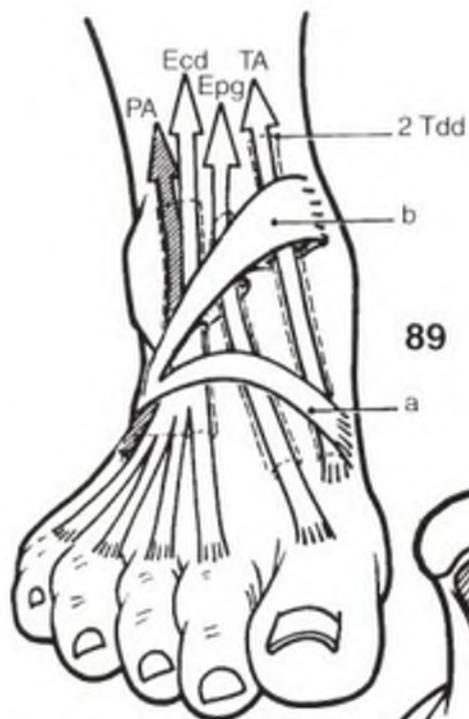
Por lo tanto, la cara plantar del tarso está cubierta por tres sistemas fibrosos:

- las fibras longitudinales del gran ligamento calcaneocuboideo plantar;
- las fibras oblicuas hacia delante y adentro del tendón del peroneo lateral largo;
- las fibras oblicuas hacia delante y afuera de las expansiones del tendón del tibial posterior, destinadas a todos los huesos del tarso y del metatarso excepto los dos metatarsianos localizados en los extremos.

Por **detrás del maléolo interno** (Fig. 92) se deslizan, por correderas y vainas distintas, emanaciones del ligamento anular interno, tres tendones dispuestos de delante atrás y de dentro afuera:

- el **tibial posterior** (TP), en contacto con el maléolo interno; tras haberse reflejado en su corredera (13) sobre el vértice del maléolo, se fija en el tubérculo del escalfoideo (14) y envía numerosas expansiones plantares (10);
- el **flexor común de los dedos** (Fd) se desliza junto al precedente y junto al borde interno del sustentáculo (15, véase también Fig. 94) antes de atravesar por debajo (16) al tendón del flexor propio;
- el **flexor propio del dedo gordo** (F.p) pasa, en primer lugar, entre los dos tubérculos posteriores (17) del astrágalo (véase también pág. 166), y en segundo lugar, bajo el reborde del sustentáculo (18, véase también Fig. 94), de modo que cambia dos veces de dirección.

Dos cortes frontales (fragmentos anteriores, lado derecho), cuyo nivel viene especificado por las flechas A y B en las figuras 90 y 92, ilustran correctamente las disposiciones de los tendones y sus vainas en las correderas retromaleolares: el corte A (Fig. 93) afecta a los maléolos; el corte B (Fig. 94), más anterior, se localiza a la altura del sustentáculo y del tubérculo de los peroneos.



LOS FLEXORES DEL TOBILLO

La movilización del pie y del retropié se efectúa merced a los músculos flexores y extensores del tobillo, actuando en relación a los ejes del complejo articular del tarso posterior, tal como se han definido a propósito del *cardán heterocinético* (Fig. 95); de hecho, parece preferible abandonar el antiguo esquema de Ombredane (Fig. 86) en el cual los ejes XX' y ZZ' son perpendiculares, ya que no corresponde a la realidad. Por definición, los ejes XX' y UU' del cardán heterocinético no son perpendiculares entre sí, lo que introduce direcciones preferentes de movimientos, característica reforzada por la desigual distribución de los músculos. Los dos ejes del cardán determinan cuatro cuadrantes en los cuales se distribuyen diez músculos y trece tendones.

Todos los músculos situados **por delante del eje transversal XX'** son flexores del tobillo, aunque se pueden clasificar en *dos grupos* con respecto al eje de Henke UU':

- los dos músculos localizados por dentro de este eje, a saber, el extensor propio del dedo gordo (Epg) y el tibial anterior (TA), cuanto más alejados estén de este eje más *aductores y supinadores* serán al mismo tiempo: esto significa que el tibial es más aductor-supinador que el extensor propio;
- los dos músculos localizados por fuera de este eje, a saber, el extensor común de los dedos (Ecd) y el peroneo anterior (PA), son *abductores y pronadores* al mismo tiempo. Por la misma razón, el peroneo es más abductor-pronador que el extensor común.

Para conseguir una flexión pura de tobillo, sin componente de aducción-supinación o de abducción-pronación, es necesario que estos dos grupos musculares actúen simultánea y equilibradamente; son, por lo tanto, **antagonistas-sinergistas** (estas acciones pueden reproducirse en el modelo mecánico del pie del final del volumen).

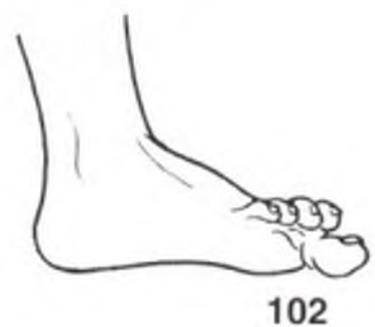
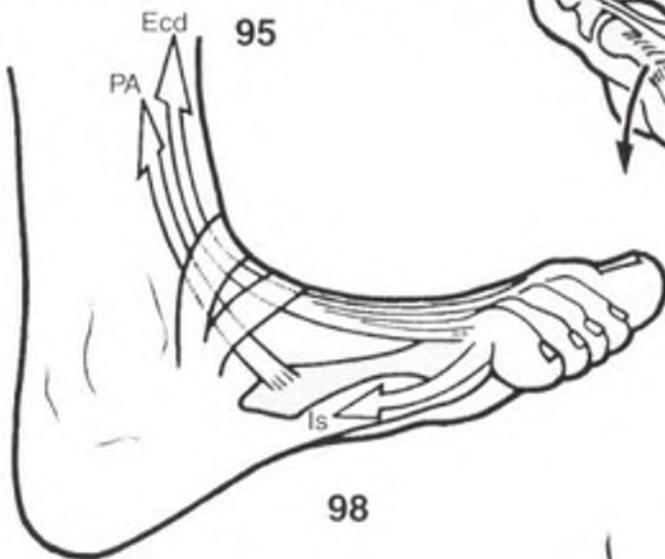
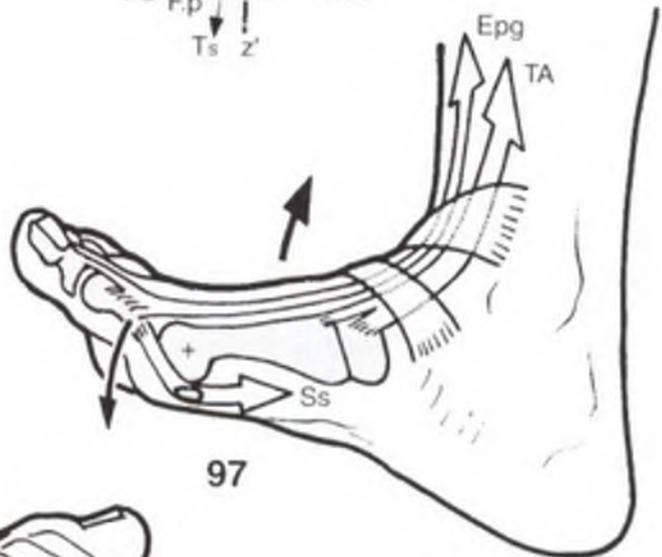
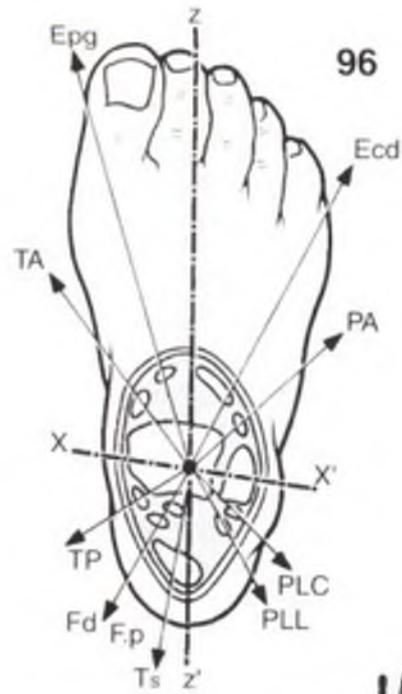
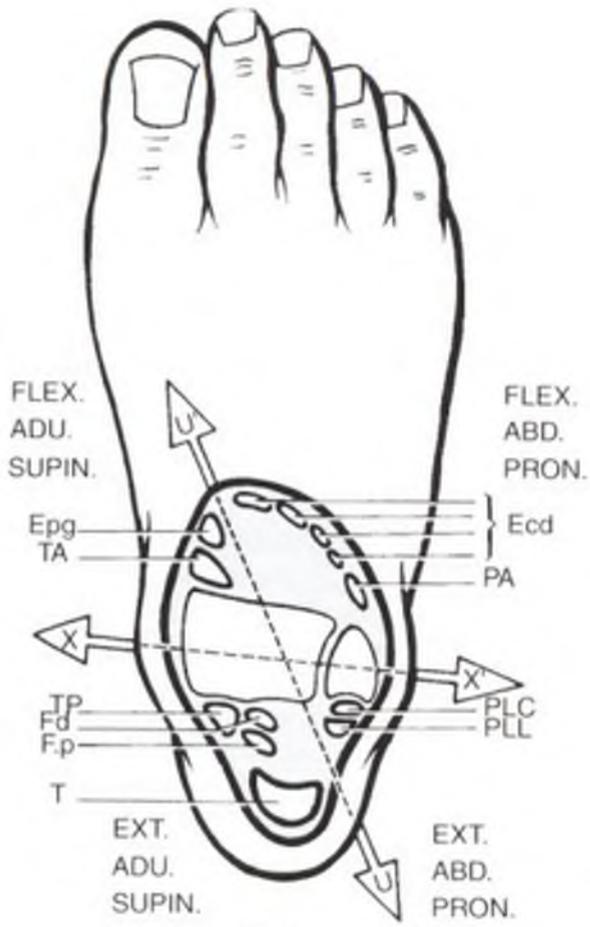
De entre los cuatro flexores del tobillo, dos se insertan directamente en el tarso o en el metatarso:

- el tibial anterior (Fig. 97) se inserta en la primera cuña y primer metatarsiano;
- el peroneo anterior (Fig. 98), músculo inconstante, aunque frecuente (90% de los casos), se inserta en la base del quinto metatarsiano.

Por lo tanto, su acción en el pie es directa sin necesidad de ningún auxiliar.

No sucede lo mismo con los otros dos músculos flexores del tobillo: el extensor común de los dedos y el extensor propio del dedo gordo, que actúan mediante los dedos: si los interóseos (Is) estabilizan los dedos en alineación normal o flexión (Fig. 98), el extensor común es flexor del tobillo, pero si los interóseos están débiles, la flexión del tobillo se realizará a costa de la garra de los dedos (Fig. 102). Igualmente (Fig. 97), el hecho de que los músculos sesamoideos (Ss) estabilicen el dedo gordo permite al extensor propio flexionar el tobillo. Cuando los sesamoideos están débiles, la acción del extensor propio sobre el tobillo se acompañará de dedo gordo en garra (Fig. 100).

Cuando los músculos del compartimento anterior de la pierna se paralizan o se debilitan, eventualidad relativamente frecuente en el caso de patología, no se puede elevar la punta del pie (Fig. 99): se habla entonces de "pie equino" (el caballo, *equus* en latín, realiza la marcha sobre la punta de sus dedos). Durante la marcha, el individuo se ve forzado a levantar la pierna para que la punta del pie no arrastre por el suelo: es la marcha "en step-page". En algunos casos, el extensor común conserva cierta eficacia (Fig. 101): el pie, aunque caído, está desviado hacia fuera, se trata entonces de un pie "equinovalgo".



EL TRÍCEPS SURAL.

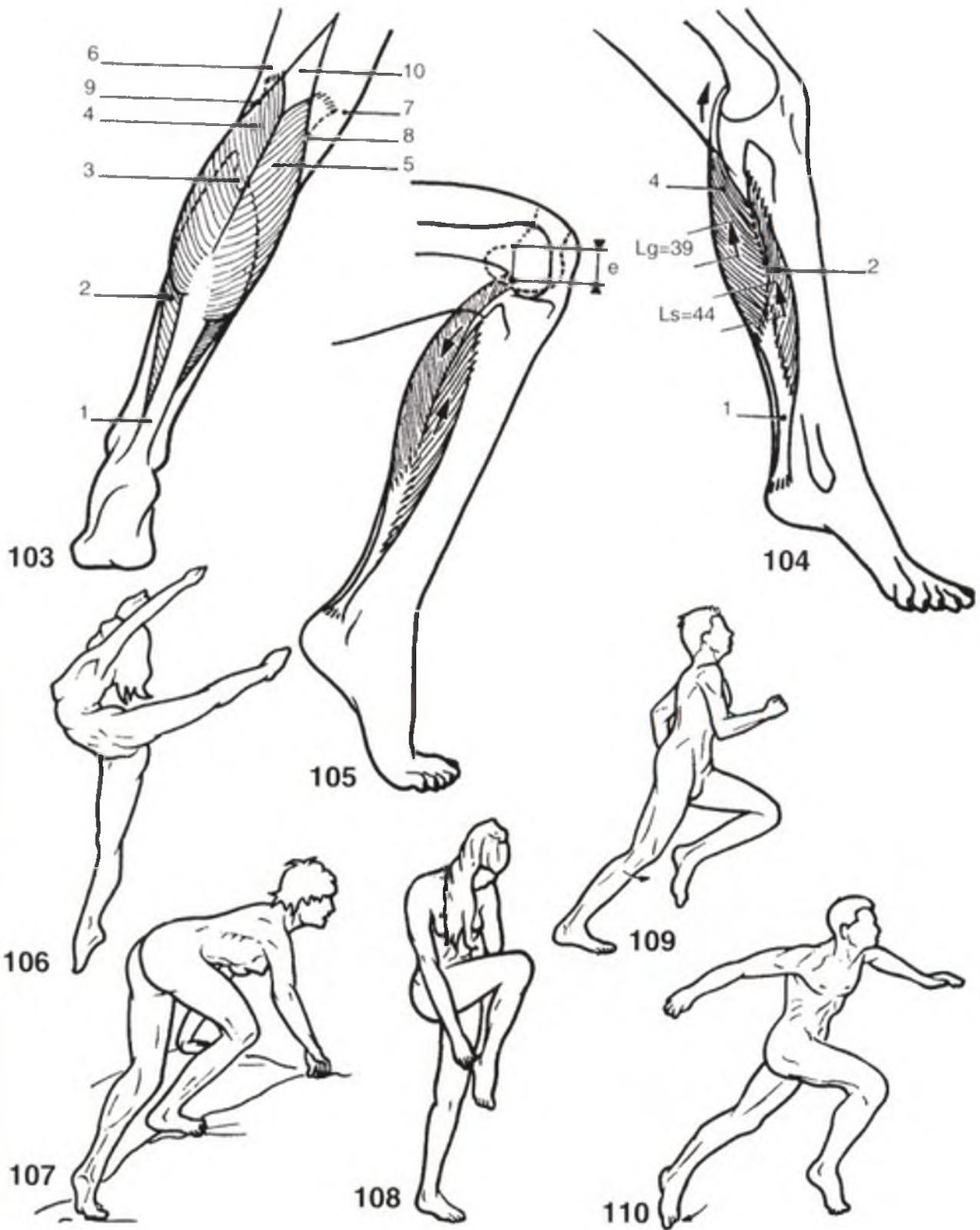
Los músculos extensores del tobillo pasan todos *por detrás del eje XX* de flexoextensión* (Fig. 96). En teoría, existen pues seis músculos extensores de la tibiotalariana (sin contar el plantar delgado, ya que se puede omitir totalmente). En la práctica, sólo el tríceps es eficaz: desde luego, es uno de los músculos más potentes del cuerpo, después del glúteo mayor y del cuadríceps. Por otra parte, su posición ligeramente axial lo convierte en todo un extensor.

Como su nombre indica, el tríceps sural está formado por **tres cuerpos musculares** (Fig. 103) que poseen un tendón terminal común, el *tendón de Aquiles* (1), que se inserta en la cara posterior del calcáneo (véase página siguiente). De las tres porciones, tan sólo una es monoarticular, el **sóleo** (2): que se inserta a la vez en la tibia y en el peroné y en la arcada fibrosa del sóleo (3) que unifica estas dos inserciones. Músculo profundo, representado aquí a través de los gemelos, sólo aparece en la parte inferior de la pierna, a un lado y otro del tendón de Aquiles. Las otras dos porciones son biarticulares; se trata de los gemelos. **El gemelo externo** (3) se inserta por arriba del cóndilo externo del fémur y en la cáscara condílea externa, que contiene a veces un sesamoideo. **El gemelo interno** (5) se inserta a la altura del cóndilo y de la cáscara condílea internos. Ambas porciones carnosas convergen en la línea media, constituyendo la V inferior del rombo *poplíteo* (10). Están sujetos lateralmente por los tendones de los músculos isquiotibiales, cuya divergencia forma la V superior invertida del **rombo poplíteo**: el bíceps (6) por fuera, los músculos de la pata de ganso (7) por dentro; el deslizamiento entre los gemelos y los tendones de los isquiotibiales se ve facilitado por *una bolsa serosa interpuesta en su punto de intersección*: la bolsa serosa del semitendinoso y del gemelo interno (8), constante, la

bolsa del bíceps y del gemelo externo (9), inconstante: bolsas donde se localizan los quistes poplíteos. Gemelos y sóleo finalizan en un sistema aponeurótico complejo, descrito en la página siguiente, que origina el tendón de Aquiles propiamente dicho.

La longitud de las distintas porciones del tríceps (Fig. 104) *es ligeramente desigual*: la longitud del sóleo (Ls) es de 44 mm, la de los gemelos (Lg) es de 39 mm. Esto explica el hecho de que la eficacia de los gemelos, músculos biarticulares, *está supeditada al grado de flexión de la rodilla* (Fig. 105): entre la flexión y la extensión máximas, el desplazamiento de la inserción superior de los gemelos comporta un alargamiento o un acortamiento relativo (e) igual o superior a su longitud (Lg). En consecuencia, cuando la rodilla está extendida (Fig. 106), los gemelos, estirados pasivamente, pueden desarrollar su máxima potencia; esta disposición permite transferir al tobillo parte de la potencia del cuadríceps. Sin embargo, cuando la rodilla está flexionada (Fig. 108), los gemelos totalmente distendidos (e mayor que Lg), pierden toda eficacia, *sólo interviene el sóleo*, aunque su potencia sería insuficiente para asumir la marcha, la carrera o el salto si las citadas actividades no implicaran necesariamente la extensión de la rodilla. Por lo tanto, los gemelos no son flexores de la rodilla.

Todos los movimientos en los que intervienen la extensión de la rodilla y la de tobillo a la vez, como trepar (Fig. 107) o la carrera (Figs. 109-110), favorecen la acción de los gemelos. **El tríceps sural desarrolla su máxima potencia** cuando, partiendo de una posición de flexión del tobillo y extensión de la rodilla (Fig. 109), se contrae para extender el tobillo (Fig. 110) y proporcionar el impulso motor *en la última fase del paso*.



EL TRÍCEPS SURAL

(continuación)

El aparato aponeurótico del tríceps sural es muy complejo (Fig. 111; vista anterior; se ha extirpado la tibia): incluye las aponeurosis de origen y las de terminación que componen, a continuación, el tendón de Aquiles:

- las aponeurosis de origen son tres:
 - las dos cintillas aponeuróticas de los gemelos, el interno (1) y el externo (2), que se localizan en la parte lateral de la zona de inserción de los gemelos, por arriba de los cóndilos femorales;
 - la gruesa lámina aponeurótica del sóleo (3) que se origina en la tibia y el peroné, estando separados estos dos puntos de origen por la *arcada del sóleo*; la parte inferior de esta lámina está profundamente escotada "*en orifloma*", con una lengüeta interna (4) y una externa (5).
- las aponeurosis de terminación son dos:
 - una gruesa lámina común terminal (6), paralela a la lámina del sóleo, que se continúa con el tendón de Aquiles (A) insertándose en el calcáneo (C);
 - una lámina sagital (7), perpendicular a la precedente a cuya cara anterior se adhiere; la particularidad de esta lámina sagital es que se afina y asciende hacia la cara anterior de la lámina del sóleo, tras haber pasado por su escotadura.

De atrás adelante se encuentran pues, sucesivamente, tres planos aponeuróticos: el de las cintillas de los gemelos, a continuación, el de la lámina común terminal y, por último, el de la lámina del sóleo; en cuanto a la lámina sagital, está a caballo sobre el plano de esta última.

Las fibras musculares del tríceps se organizan en relación al citado sistema aponeurótico (Fig. 112):

- las fibras de los gemelos (Gin y Gex) parten directamente de la superficie en forma de acento circunflejo supracondíleo y de la cara anterior de cada una de las cintillas; se dirige hacia abajo y adelante y hacia el eje de la pierna para insertarse en la cara posterior de la lámina terminal.

Las fibras musculares del sóleo se disponen en dos capas:

- una capa posterior (Sp), cuyas fibras se expanden por la cara anterior de la lámina terminal y también un poco sobre las caras laterales de la lámina sagital;

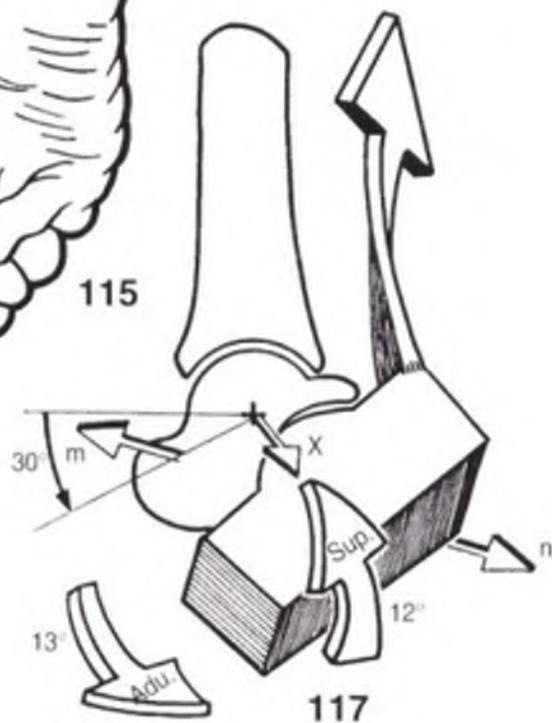
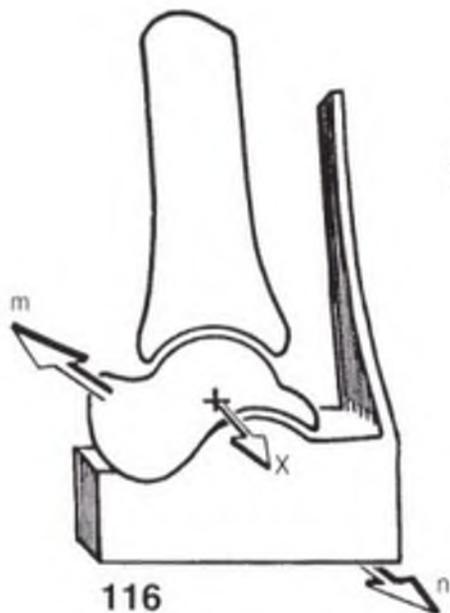
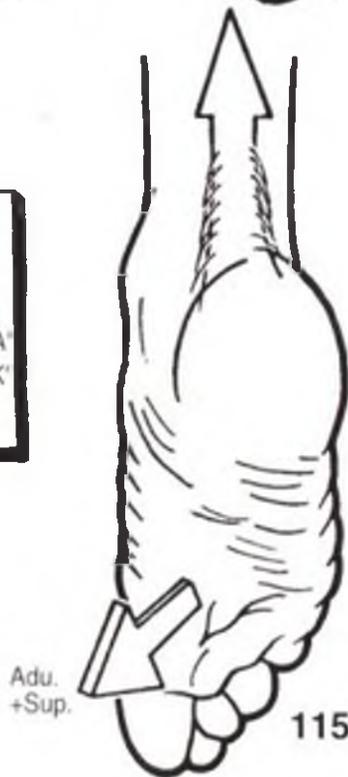
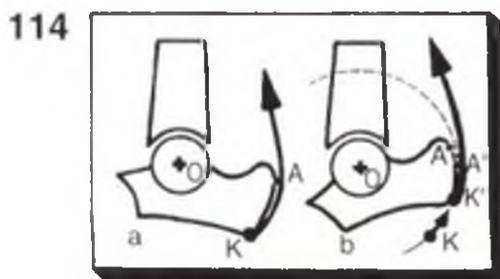
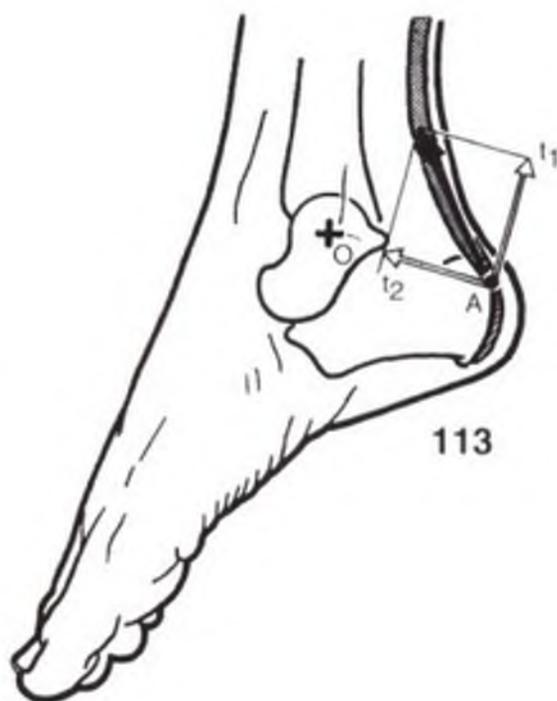
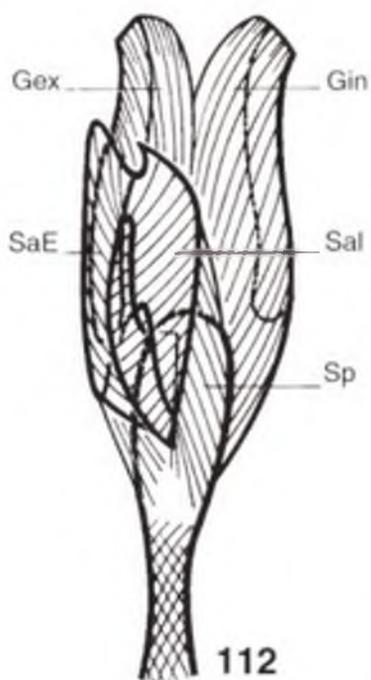
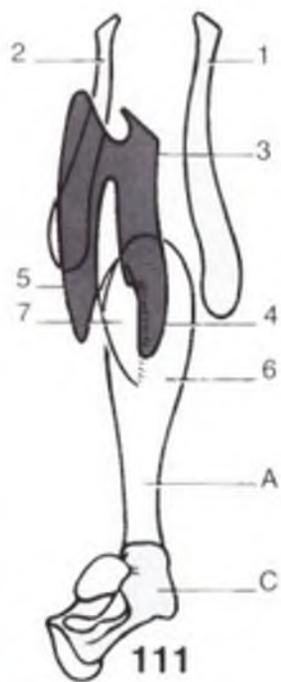
- una capa anterior cuyas fibras internas (SaI) se insertan en la cara interna de la lámina sagital y cuyas fibras externas (SaE) se insertan en la cara externa de la lámina sagital.

Este esquema también recuerda la estructura en espiral del tendón de Aquiles que le proporciona la elasticidad.

La fuerza del tendón de Aquiles se ejerce sobre el extremo posterior del calcáneo (Fig. 113), en una dirección que forma un ángulo muy acentuado con su brazo de palanca AO. La descomposición de esta fuerza T demuestra que el componente eficaz t_1 -perpendicular al brazo de palanca- es más importante que el componente centrípeto t_2 . De modo que el músculo trabaja en excelentes condiciones mecánicas.

El componente eficaz t_1 predomina sobre t_2 , independientemente del grado de flexoextensión del tobillo. Esto se debe al modo de inserción del tendón de Aquiles (Fig. 114) que se lleva a cabo en la parte inferior de la cara posterior del calcáneo (punto K), mientras que una bolsa serosa lo separa de la parte superior. La fuerza muscular se ejerce no en el punto de inserción (K), sino en el punto tangente (A) del tendón con la cara posterior del calcáneo. En la flexión (Fig. 114, a), este punto A se localiza relativamente alto en la cara posterior del calcáneo. En la extensión (Fig. 114, b), el tendón se "desenrolla" y se despega de la cara posterior del calcáneo, y el punto de tangencia A "desciende" en relación al hueso, aunque la dirección del brazo de palanca A'O permanece ligeramente horizontal, formando un ángulo constante con la dirección del tendón. Este modo de inserción del tendón de Aquiles permite pues que éste se "desenrolle" sobre el segmento de polea compuesto por la cara posterior del calcáneo de forma que aumenta la eficacia del tríceps durante la extensión. Es idéntica a la inserción en el olécranon del tríceps braquial (véase tomo I).

Cuando la contracción del tríceps alcanza su máximo (Fig. 115), se puede comprobar cómo se asocia a la extensión un movimiento de aducción-supinación que dirige la planta del pie hacia atrás y adentro (flecha). Este componente terminal de aducción-supinación se debe a que el tríceps actúa sobre la tibiotalariana a través de la subastragalina (Fig. 116). Así pues, moviliza sucesivamente estas dos articulaciones (Fig. 117): primero la tibiotalariana, a la que extiende 30° en torno al eje transversal XX', y a continuación la subastragalina, provocando una basculación del calcáneo en torno al eje de Henke (inn), lo que determina una aducción de 13° y una supinación de 12° (Biesalski y Mayer, 1916).



LOS OTROS EXTENSORES DEL TOBILLO

Todos los músculos que pasan por detrás del eje transversal XX' de flexoextensión (Fig. 118) son extensores del tobillo. Además del tríceps sural (T), **otros cinco músculos** tiene una acción extensora en la tibiotarsiana, —el plantar delgado (no descrito aquí) es demasiado débil para tomarlo en cuenta; sólo reviste interés como "banco de tendón"; desafortunadamente es inconstante.

Por fuera (Fig. 119), el peroneo lateral corto (PLC) y el largo (PLL), localizados por fuera del eje de Henke UU' (Fig. 95), son *abductores a la vez que pronadores* (véase página siguiente).

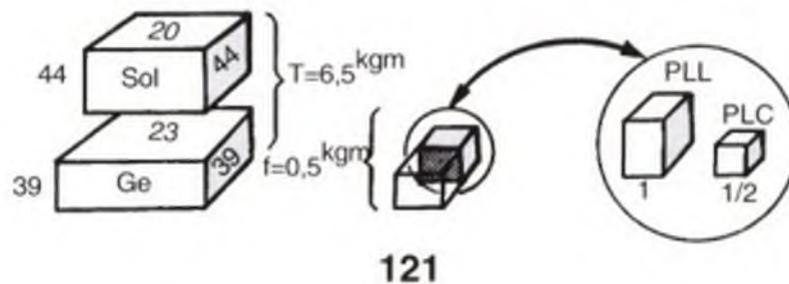
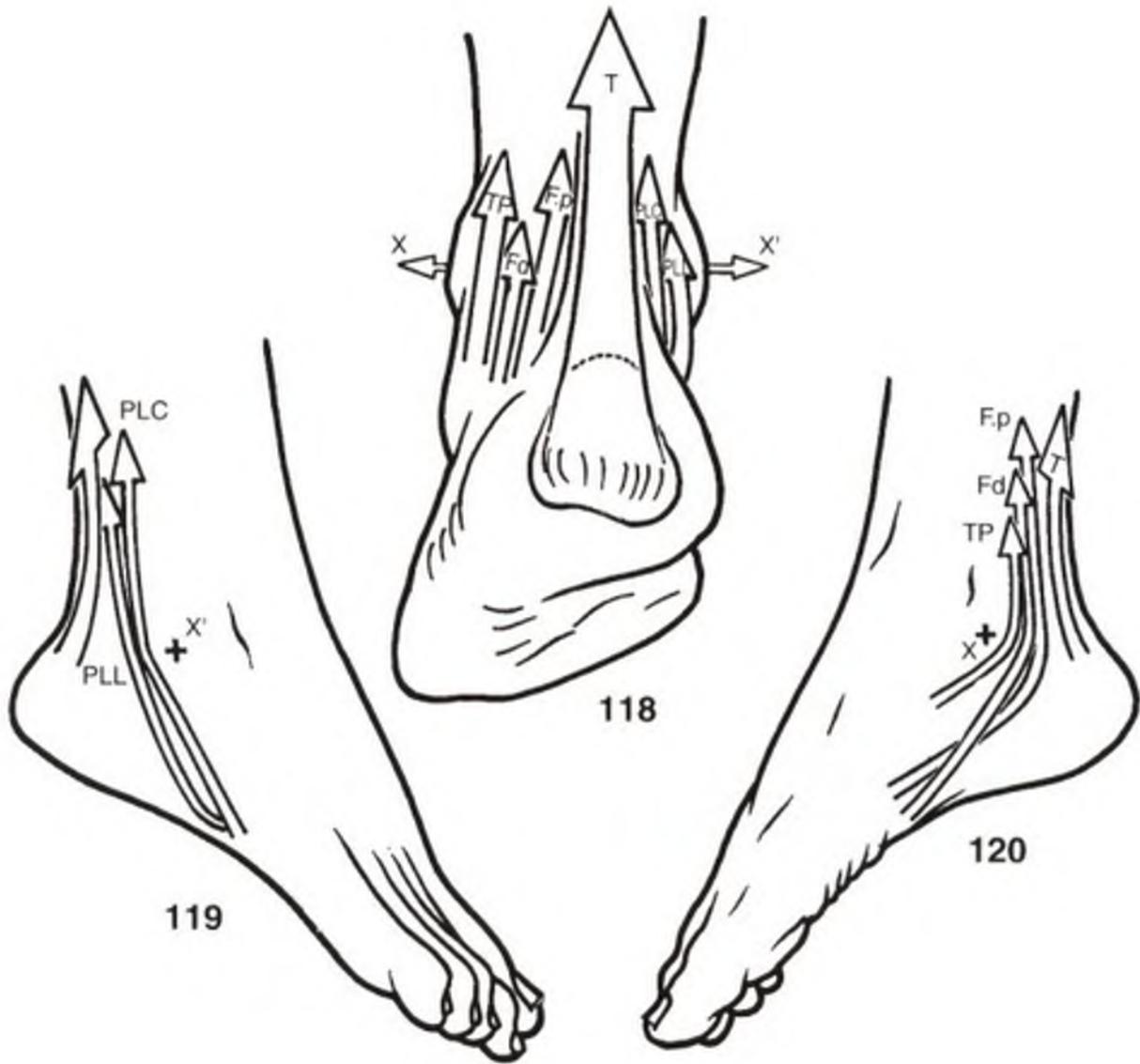
Por dentro (Fig. 120), el tibial posterior (TP), el flexor común de los dedos (Fd) y el flexor propio del dedo gordo (F.p), localizados por dentro del eje UU' (Fig. 95), son *aductores a la vez que supinadores* (véase pág. 224).

Por lo tanto, la **extensión pura** proviene de la **acción sinérgica-antagonista** de los músculos del grupo externo y del grupo interno.

Sin embargo, la acción extensora de estos músculos, que se podrían denominar "**extensores accesorios**", es muy modesta comparada con la del tríceps sural (Fig. 121). De hecho, la potencia

del tríceps es de 6.5 kgm mientras que la potencia global de otros extensores (f) es de 0.5 kgm, es decir la *catorceava parte de la potencia total de extensión*. Como se sabe que la potencia de un músculo es proporcional a la superficie de sección fisiológica y a su longitud, se puede esquematizar en un volumen cuya base es la *superficie de sección* y la altura la *longitud*. El sóleo (Sol), cuya sección es de 20 cm² y la longitud de 44 mm, tiene una potencia algo inferior (880) a la (897) de los gemelos (Ge), cuya sección global es de 23 cm² y la longitud de 39 mm. Por otra parte, la potencia de los peroneos (cubo de color gris) representa *la mitad* de la potencia global de los extensores accesorios. El peroneo lateral largo es dos veces más potente que el peroneo lateral corto.

Por lo tanto, cuando se rompe el tendón de Aquiles, los músculos extensores accesorios pueden extender activamente el tobillo, con el pie libre sin apoyo. Aunque sólo el tríceps permite la elevación sobre la punta del pie. La pérdida de la elevación activa sobre la punta del pie —posición también denominada "espíritu de la Bastilla"— es, pues, el test que permite diagnosticar la ruptura del tendón de Aquiles.



LOS MÚSCULOS ABDUCTORES-PRONADORES: LOS PERONEOS

Los músculos peroneos, que pasan por detrás del eje transversal XX' y por fuera del eje de Henke UU', son simultáneamente (Fig. 122):

- *extensores* (flecha 1);
- *abductores* (flecha 2), desviando hacia fuera el eje ZZ';
- *pronadores* (flecha 3), orientando hacia fuera el plano general de la planta del pie.

El **peroneo lateral corto** (PLC), que se inserta (Fig. 123) en la estiloides del quinto metatarsiano, es, principalmente, abductor del pie; para Duchenne de Boulogne es incluso el único abductor directo (véase también Fig. 90). Es, en todo caso, más abductor que el peroneo lateral largo. Participa (Fig. 124) en la pronación (flecha 3) del antepié elevando (flecha a) los radios metatarsianos externos. En esta acción se ve reforzado por el peroneo anterior (PA) y el extensor común de los dedos (sin representar), que también son abductores-pronadores y, al mismo tiempo, flexores del tobillo. Por lo tanto, la acción abducción-pronación pura es el resultado de la acción *sinérgica-antagonista* de los peroneos laterales por un lado y del peroneo anterior y del extensor común de los dedos por el otro.

El **peroneo lateral largo** (PLL) (Figs. 123 y 125) desempeña un papel primordial tanto en los movimientos del pie como en la estática y dinámica de la bóveda plantar:

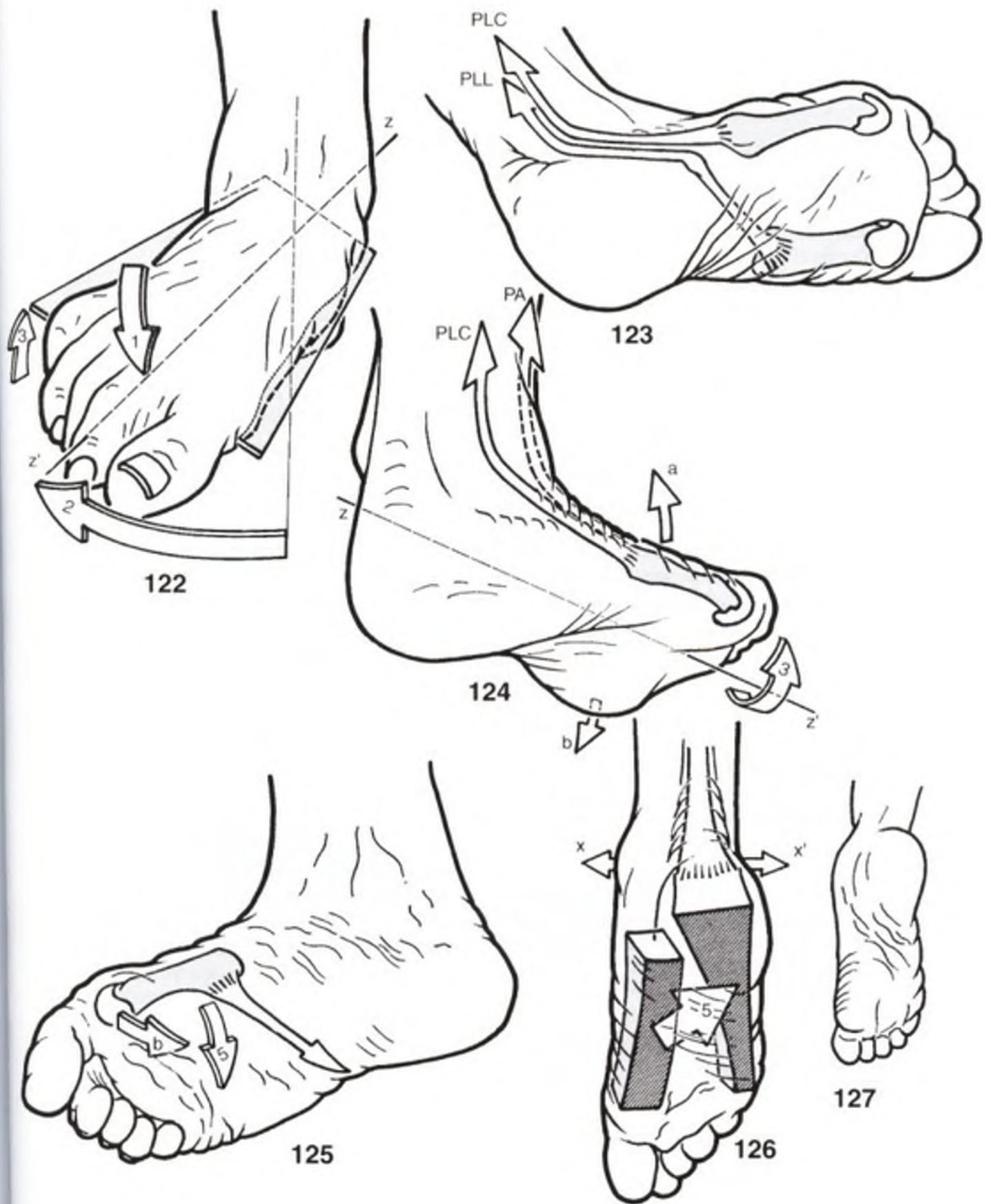
1. Como el peroneo lateral corto, es *abductor*, y su contracción desplaza el antepié hacia fuera (Fig. 127), en bayoneta, mientras que el maléolo interno se hace prominente;

2. Es *extensor* de forma directa e indirecta:

- directamente (Figs. 124 y 125), descendiendo de la cabeza del primer metatarsiano;
- indirectamente: desplazando el primer metatarsiano hacia fuera (Fig. 125, flecha 5), aproxima los metatarsianos internos de los externos. Sin embargo (Fig. 126), el tríceps sólo extiende directamente los metatarsianos externos (esquematisados en forma de viga). "Embragando" los metatarsianos internos sobre los externos (flecha 5), el peroneo lateral largo permite que la fuerza del tríceps se reparta por todos los radios de la planta. La confirmación queda patente en las parálisis del peroneo lateral largo, en las que el tríceps sólo extiende el arco externo: el pie gira entonces en supinación. La **extensión pura del pie** es, pues, el resultado de la contracción *sinérgica-antagonista* del tríceps y del peroneo lateral largo: *sinérgica* en la extensión y *antagonista* en la pronosupinación.

3. Es *pronador* (Fig. 124), de modo que descendiendo (flecha b) la cabeza del primer metatarsiano cuando el antepié no está apoyado en el suelo. La pronación (flecha 3) es el resultado de la elevación del arco externo (a) asociado al descenso del interno (b).

También se verá (pág. 234) cómo el peroneo lateral largo acentúa la curva de los tres arcos de la bóveda plantar y constituye su principal sostén muscular.



LOS MÚSCULOS ADUCTORES-SUPINADORES: LOS TIBIALES

Los tres músculos retromaleolares internos, localizados por detrás del eje XX' y por delante del eje UU' (Fig. 95) son simultáneamente (Fig. 128):

- *extensores* (flecha 1);
- *aductores* (flecha 2), desviando hacia dentro el eje longitudinal del pie;
- *supinadores* (flecha 3), orientando hacia dentro el plano general del pie;

El tibial posterior (TP), el más importante de los tres, se inserta (Fig. 129) en el tubérculo del escafoides (color gris). Atravesando la tibiotalariana, la subastragalina y la mediotarsiana, actúa simultáneamente en estas tres articulaciones:

- desplazando el escafoides hacia dentro (Figura 130), es un **potente aductor** (para Duchenne de Boulogne es más aductor que supinador). De esta forma, es un *antagonista directo del peroneo lateral* corto, que desplaza el tarso anterior hacia fuera (Fig. 131) mediante el quinto metatarsiano;
- gracias a sus expansiones plantares en los huesos del tarso y del metatarso (véase Fig. 91), es **supinador** y desempeña un papel primordial en el sostén y orientación de la bóveda plantar (véase pág. 234). Se ha podido achacar a la ausencia congénita de estas expansiones del tibial posterior en la determinación de un pie plano valgo. Los 52° de amplitud de la supinación se distribuyen en 34° en la subastragalina y en 18° en la mediotarsiana (Biesalski y Mayer);
- no sólo es extensor (Fig. 132) de la tibiotalariana (flecha a), sino que también extiende la mediotarsiana descendiendo el escafoides (flecha b): el movimiento del antepié prolonga el del tobillo (véase pág. 163, Fig. 5).

En sus acciones de extensión y de aducción, el tibial posterior se ve reforzado por el flexor propio del dedo gordo y el flexor común.

El tibial anterior y el extensor propio del dedo gordo (Fig. 132) pasan *por delante* del eje transversal XX' y por dentro del eje de Henke UU' (Fig. 95). De modo que son *flexores del tobillo* al mismo tiempo que *aductores y supinadores*.

El tibial anterior (Fig. 128) es más supinador que aductor. Actúa elevando todos los elementos del arco interno (Fig. 132):

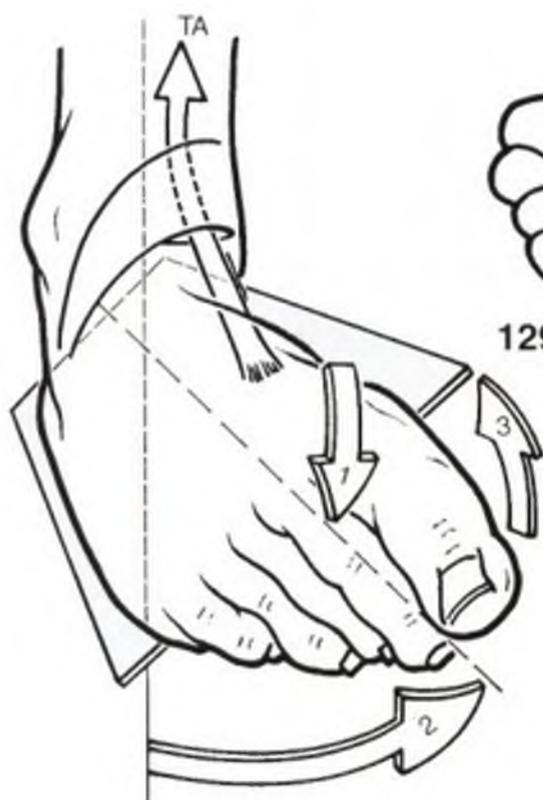
- eleva la base del primer metatarsiano sobre la primera cuña (flecha c), por lo que la cabeza del primer metatarsiano asciende;
- eleva la cuña sobre el escafoides (flecha d) y el escafoides sobre el astrágalo (flecha e) antes de flexionar la tibiotalariana (flecha f).

Al aplanar el arco interno durante la supinación, es *antagonista directo del peroneo lateral largo*:

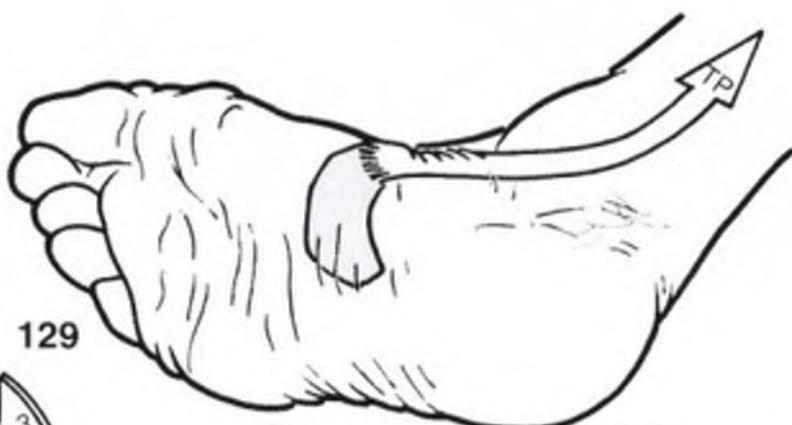
- su acción aductora es más moderada que la del tibial posterior;
- es flexor del tobillo y su *contracción sinérgica-antagonista* con el tibial posterior determina una aducción-supinación pura sin flexión ni extensión;
- su contractura comporta un pie talus varus con flexión de dedos (Fig. 134), sobre todo del dedo gordo.

El extensor propio del dedo gordo (Fig. 133) es un aductor-supinador más débil que el tibial anterior. Puede suplirle en la flexión de tobillo, pero entonces se da con frecuencia un dedo gordo en garra.

La potencia de los supinadores (2,82 kgm) supera la de los pronadores (1,16 kgm): sin apoyo, el pie gira espontáneamente en supinación. Este desequilibrio compensa por adelantado la tendencia natural del pie en *apoyo* a girar en pronación (véase pág. 236) cuando el peso del cuerpo lo dirige contra el suelo.



128



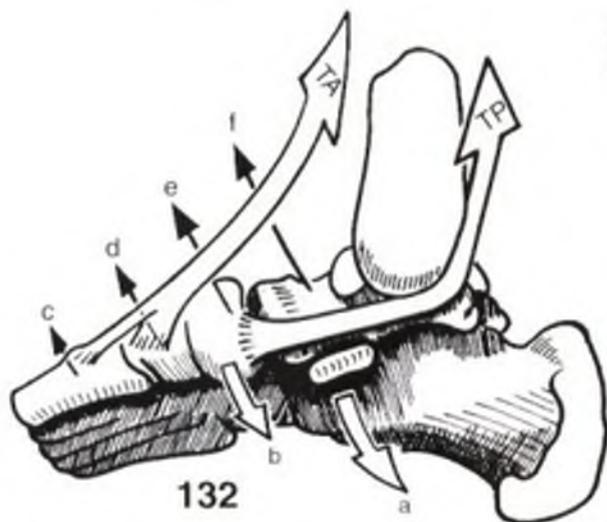
129



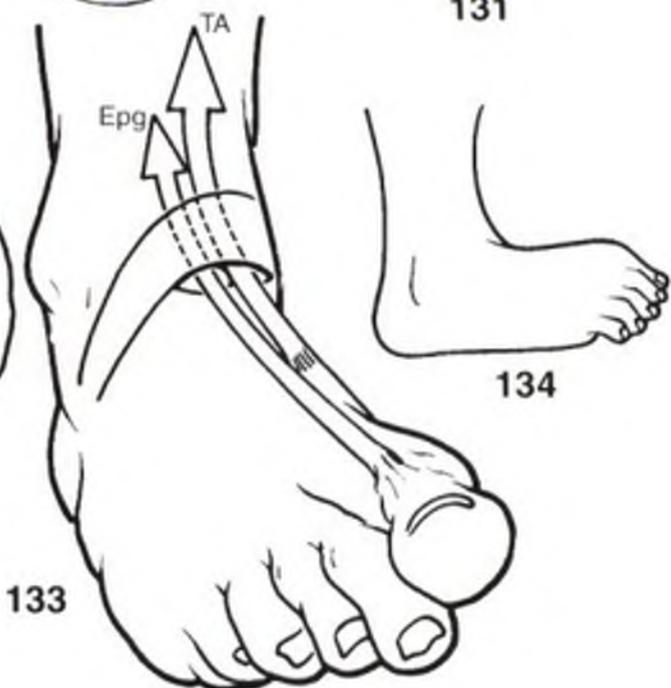
130



131



132



133



134

CAPÍTULO V

LA BÓVEDA PLANTAR

La bóveda plantar es un **conjunto arquitectónico** que asocia con armonía todos los elementos osteoarticulares, ligamentosos y musculares del pie. Gracias a sus modificaciones de curva y a su elasticidad, la bóveda es capaz de adaptarse a cualquier irregularidad del terreno y transmitir al suelo las fuerzas y el peso del cuerpo en las mejores condiciones mecánicas y en las circunstancias

más diversas. Desempeña el papel de **amortiguador** indispensable para la flexibilidad de la marcha. Las alteraciones que pueden acentuar o disminuir sus curvas repercute gravemente en el apoyo en el suelo, de modo que alteran obligatoriamente la carrera y la marcha, o incluso la simple bipedestación.



LA BÓVEDA PLANTAR EN CONJUNTO

Considerada en conjunto, la estructura de la planta del pie puede definirse como una bóveda sujeta por **tres arcos**. Los arquitectos e ingenieros realizaron una bóveda parecida (Fig. 1: pabellón del CNIT de Defensa): se fija en el suelo mediante tres puntos, A, B y C, dispuestos sobre un plano horizontal (Fig. 2), en los vértices de un triángulo equilátero. Se ha colocado un arco que delimita los laterales de la bóveda entre dos apoyos consecutivos AB, BC o CA. El peso de la bóveda recae (Fig. 3) en la *clave de la bóveda* (flecha) y se reparte a través de los dos arbotantes hacia los puntos de apoyo A y B, también denominados "*estribos del arco*".

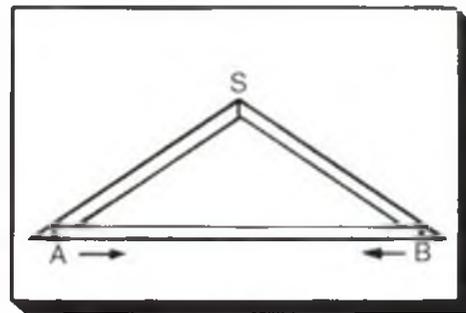
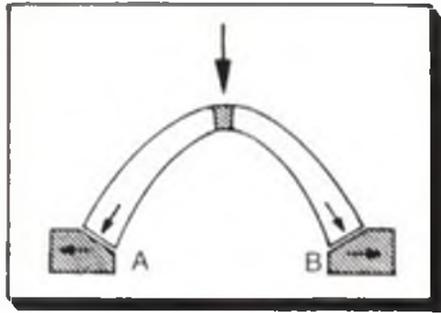
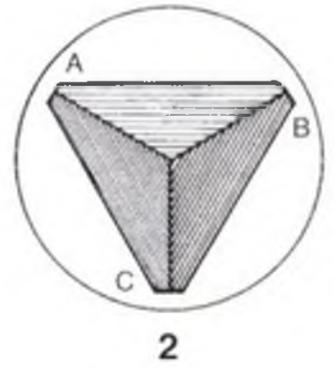
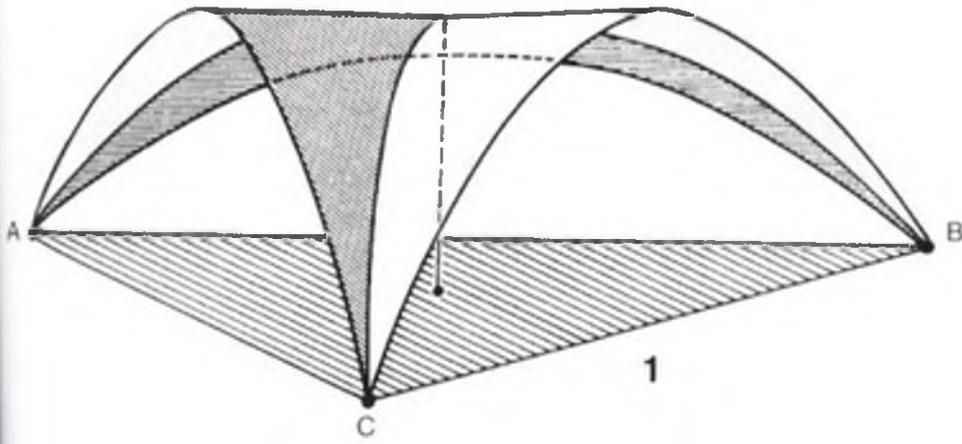
Algunos autores posteriores a Lapidus, como De Doncker y Kowalski, critican el concepto de bóveda, que consideran demasiado estático, y opinan, sin duda con ciertas justificaciones, que los arcos externos y anteriores no son más que construcciones del espíritu. Prefieren comparar el pie a una "armadura de carpintería" (Fig. 4), parte de armazón con *dos vigas* (SA) y (SB), articuladas conjuntamente en el *remate* (S), y sujetas en la base por un *tirante de cubierta* (AB) que impide que el triángulo se derrumbe bajo la carga sobre el remate. Por lo tanto, el pie no tendría más que una sola bóveda axial con un tirante de cubierta principal compuesto esencialmente por potentes ligamentos plantares y músculos plantares y dos tirantes laterales secundarios, a la altura de lo que se denominaba hasta entonces los arcos interno y externo. Ciertamente, este concepto corresponde mejor a la realidad anatómica, y particularmente, en lo que concierne a los elementos ligamentosos y musculares que forman cuerdas de arcos y que, de hecho, también se les puede comparar con tirantes de cubierta. Sin embargo, los términos de bóveda y de arcos

están tan expandidos y tan aceptados en el lenguaje, que es preferible seguir utilizándolos de forma paralela a los términos de armadura de carpintería y tirantes de cubierta. Como es frecuente en biomecánica, dos nociones que a simple vista parecen contradictorias no se excluyen y participan en un concepto sintético. Por lo tanto, se continuará empleando los términos de bóveda plantar y arcos.

La **bóveda plantar** (Fig. 5: vista interna, transparente) no forma un triángulo equilátero, pero al tener tres arcos y tres puntos de apoyo, su estructura es comparable: sus puntos de apoyo (Fig. 6: el pie visto desde arriba, supuestamente transparente) están incluidos en la zona de contacto con el suelo, o **huella plantar** (a rayas). Corresponden a la *cabeza del primer metatarsiano* (A), a la *cabeza del quinto metatarsiano* (B) y a las *tuberosidades posteriores del calcáneo* (C). Cada punto de apoyo es común a los dos arcos contiguos.

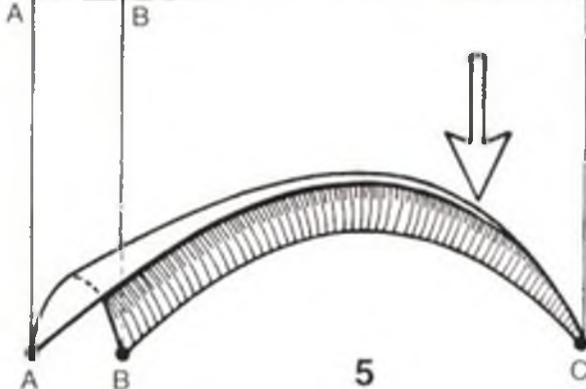
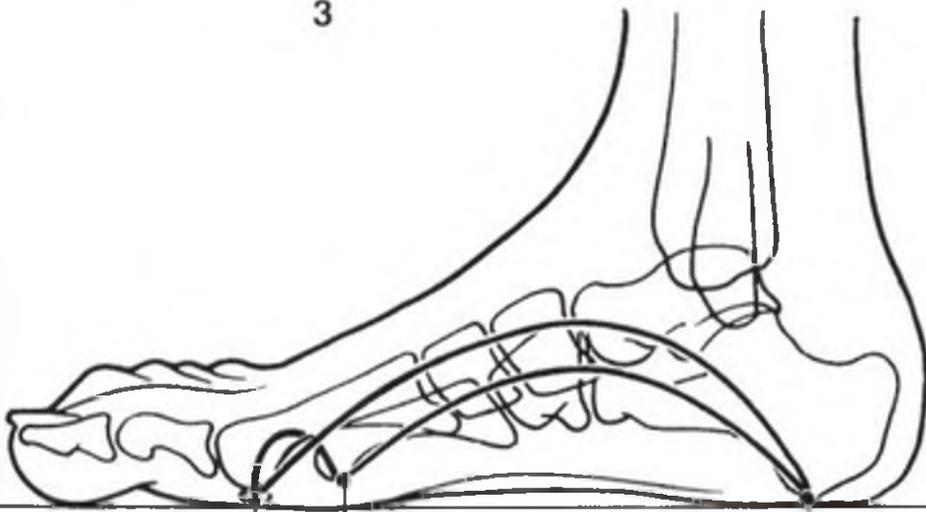
El **arco anterior**, el más corto y bajo, se localiza entre los dos puntos de apoyo *anteriores* A y B. El **arco externo**, de longitud y altura intermedias, se localiza entre los dos puntos de apoyo *externos* B y C. Por último, el **arco interno**, el más largo y alto, se localiza entre los dos puntos de apoyo *internos* C y A. Es el más relevante de los tres, tanto en el plano estático como dinámico.

De modo que la forma de la bóveda plantar (parte inferior de la Fig. 5) se asemeja a la de una vela triangular repleta por el viento. Su vértice está desplazado hacia atrás y el peso del cuerpo se ejerce en su vertiente posterior (flecha) en un punto (cruz negra de la Fig. 6) localizado en el centro de la garganta del pie.

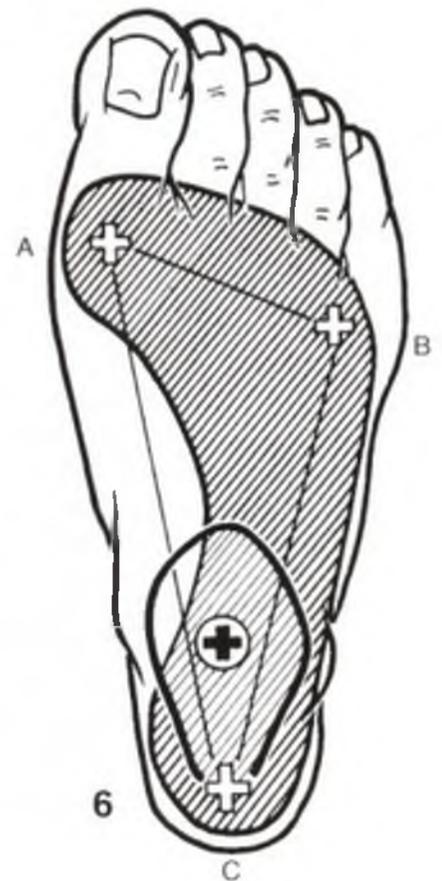


3

4



5



6

EL ARCO INTERNO

Entre sus dos puntos de apoyo anterior (A) y posterior (C), el arco interno (Fig. 7), incluye cinco piezas óseas; de delante atrás:

- *el primer metatarsiano* (M_1), cuyo único contacto con el suelo es su cabeza;
- la primera cuña (C_1), sin contacto alguno con el suelo;
- el *escafoides* (*esc*), clave de bóveda (a rayas) de este arco, localizado a 15-18 mm por arriba del suelo;
- el *astrágalo* (*astr*), que recibe las fuerzas transmitidas por la pierna y las reparte (véase Fig. 34) por la bóveda;
- el *calcáneo* (*calc*), cuyo único contacto con el suelo es mediante su extremo posterior.

La transmisión de las fuerzas mecánicas se puede constatar (Fig. 8) en la **disposición de las trabéculas óseas**:

- *las trabéculas originadas en la cortical anterior de la tibia* recorren, oblicuas hacia abajo y atrás, el arbotante posterior, atravesando el cuerpo del astrágalo para expandirse en el *abanico subtalámico* hacia el estribo posterior del arco;
- *las trabéculas originadas en la cortical posterior de la tibia* se orientan hacia abajo y adelante en el cuello y la cabeza del astrágalo para atravesar el escafoides y el arbotante anterior: cuña y metatarsiano.

El arco interno conserva su concavidad *merced a los ligamentos y los músculos* (Fig. 7).

Numerosos **ligamentos plantares** unen las cinco piezas óseas: cuneometatarsiana, escafo-cuneal, pero sobre todo la *calcaneoescaloidea inferior* (1) y la *calcaneoastragalina* (3). Resisteen todas las fuerzas violentas, aunque de corta duración, a la inversa de los músculos que se oponen a las deformaciones prolongadas.

Los músculos que unen dos puntos más o menos alejados del arco forman cuerdas parciales o totales. Actúan como **verdaderos tensores**.

El tibial posterior (TP) constituye una cuer-

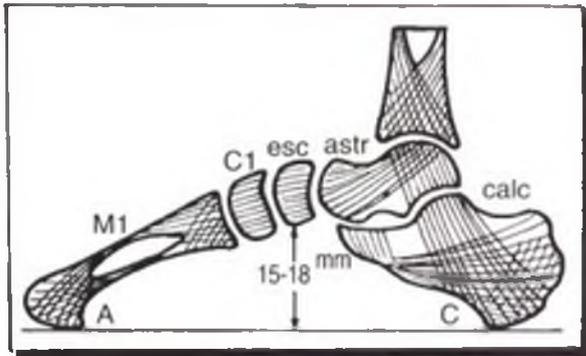
da parcial (Fig. 10) situada cerca del vértice del arco, aunque el papel que desempeña es primordial. De hecho (Fig. 9), dirige el escafoides hacia abajo y atrás, bajo la cabeza del astrágalo (círculo a trazos); a un acortamiento relativamente poco importante (e) corresponde un cambio de orientación del escafoides que determina un descenso del arbotante anterior. Además, las expansiones plantares de su tendón (Fig. 7, 3) se entremezclan con los ligamentos plantares de modo que inciden sobre los tres metatarsianos medios.

El peroneo lateral largo (PLL) influye también sobre el arco interno cuya cavidad aumenta (Fig. 11) flexionando el primer metatarsiano sobre la primera cuña, y éste a su vez sobre el escafoides (Fig. 9) (véase también su acción sobre la curva transversal, pág. 234).

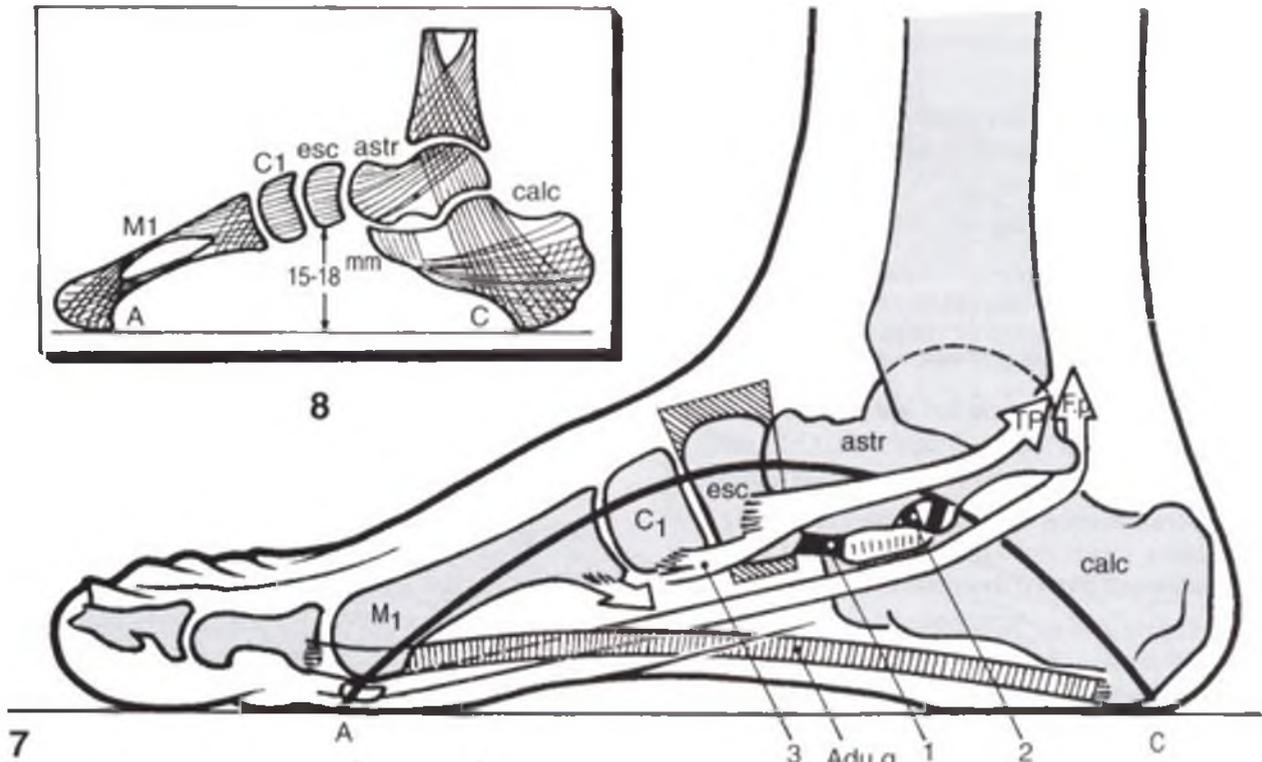
El flexor propio del dedo gordo (F.p) forma una curva subtotal (Fig. 12) del arco interno; por lo tanto, actúa con potencia en su concavidad, ayudado por el **flexor común de los dedos** (Fd) que lo cruza por debajo (Fig. 13). El flexor propio también desempeña el papel de **estabilizador del astrágalo y del calcáneo**: pasando entre sus dos tubérculos posteriores, se opone (Fig. 14) al retroceso del astrágalo (r) bajo el empuje del escafoides (flecha blanca): en primer lugar, se tensa el ligamento interóseo (2) de modo que, *el astrágalo se desplaza hacia delante mediante el tendón* que lo propulsa como si se tratara de la cuerda de un arco que lanza la flecha. Al pasar por debajo de la prominencia del sustentáculo tálico (Fig. 15), el tendón del flexor propio, por el mismo mecanismo, eleva el extremo anterior del calcáneo que recibe el empuje vertical (flecha blanca) de la cabeza del astrágalo.

El aductor del dedo gordo (Adu.g) constituye la cuerda total del arco interno (Fig. 16). Por lo tanto, es un tensor particularmente eficaz: acentúa la concavidad del arco interno aproximando sus dos extremos.

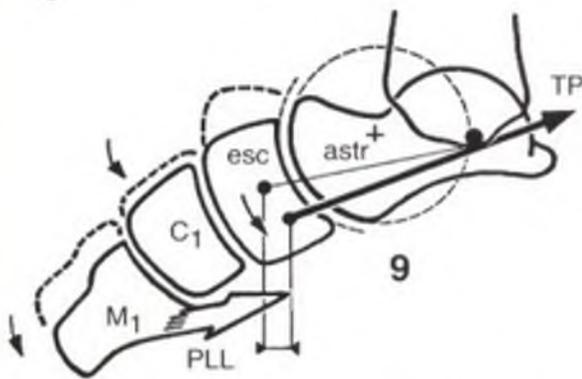
Sin embargo (Fig. 17), el extensor propio del dedo gordo (Epg) —en ciertas condiciones— y el tibial anterior (TA), ambos insertos en la convexidad del arco, disminuyen su curva y lo aplanan.



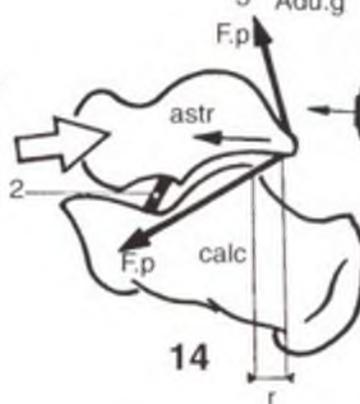
8



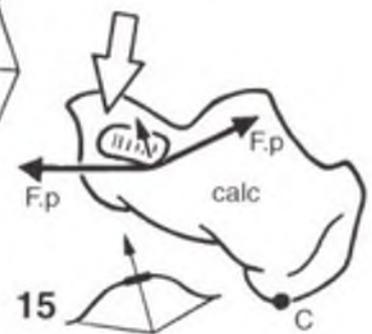
7



9



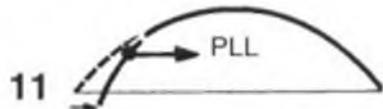
14



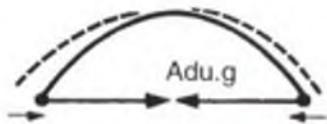
15



10



11



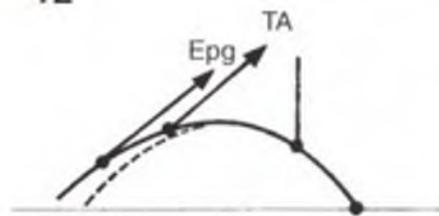
16



12



13



17

EL ARCO EXTERNO

El arco externo no contiene más que **tres piezas óseas** (Fig. 18):

- *el quinto metatarsiano* (5^om), cuya cabeza constituye el punto de apoyo anterior (B) del arco anterior;
- *el cuboides* (cub), sin contacto alguno con el suelo;
- *el calcáneo* (calc), cuyas tuberosidades posteriores constituyen el punto de apoyo posterior (C) del arco.

Este arco, a diferencia del interno que se despega del suelo, está poco distanciado (3-5 mm) y contacta con el suelo a través de las partes blandas.

La **transmisión de fuerzas mecánicas** (Fig. 19) se efectúa a través del astrágalo, sujeto al calcáneo mediante dos sistemas trabeculares:

- Originadas en la cortical anterior de la tibia, las *trabéculas posteriores* se expanden hacia *el abanico subtalámico*;
- Originadas en la cortical posterior de la tibia, las trabéculas anteriores atraviesan en primer lugar el astrágalo, cuya cabeza reposa en parte en la apófisis mayor del calcáneo y, en segundo lugar, el cuboides, a través del cual alcanzan el quinto metatarsiano y el apoyo anterior.

Además del abanico subtalámico, el calcáneo contiene dos sistemas trabeculares principales:

- *un sistema arciforme superior*, cóncavo hacia abajo, que se condensa en una lámina compacta en el suelo del seno del tarso, sus fibras trabajan en compresión;
- *un sistema arciforme inferior*, cóncavo hacia arriba, que se condensa en la cortical inferior del hueso y trabaja en elongación.

Entre estos dos sistemas se halla un punto débil (+).

Mientras que el arco interno es todo flexibilidad gracias a la movilidad del astrágalo sobre el calcáneo, *el arco externo es mucho más rígido* para así poder transmitir el impulso motor del tríceps (Fig. 125, pág. 223). Esta rigidez se debe a la potencia del **gran ligamento calcaneocuboideo plantar**, cuyos haces profundo (4) y superficial (5) impiden el bostezo inferior de las articulaciones calcaneocuboidea y cuboideometatarsiana (Fig. 20) bajo el peso del cuerpo (Ne-

cha). La clave de bóveda del arco está compuesta por la **apófisis mayor del calcáneo** (D) donde se oponen las fuerzas del arbotante posterior CD y anterior BD. Cuando se ejerce verticalmente una fuerza demasiado violenta sobre el arco, mediante el astrágalo —caída sobre los pies desde un sitio elevado— se dan dos consecuencias (Fig. 21):

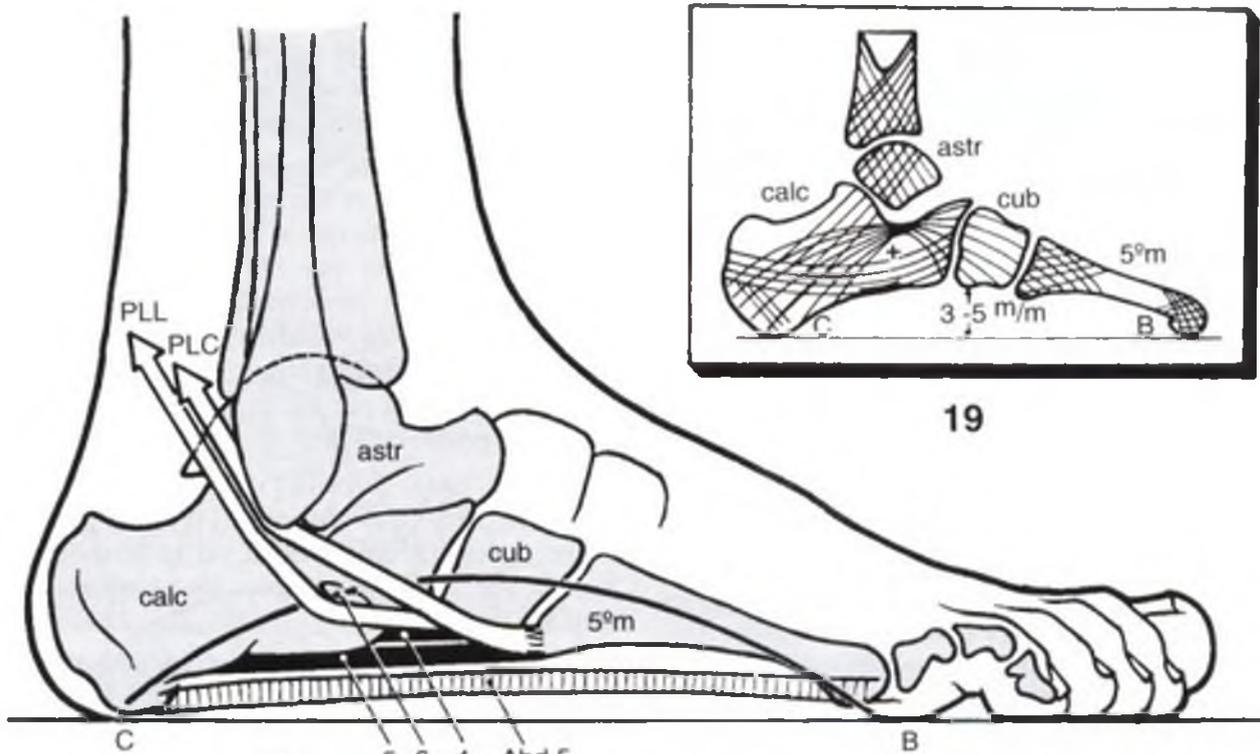
- el ligamento calcaneocuboideo plantar resiste, pero el arco se rompe a la altura de su clave de bóveda y la apófisis mayor se desprende por un trazo vertical que pasa por el punto débil;
- el tálamo se hunde en el cuerpo del calcáneo: el ángulo de Boehler (PTD) generalmente obtuso (Fig. 20) hacia abajo se ve anulado e incluso invertido en PTD;
- en el lado interno, la apófisis menor se desprende con frecuencia por un trazo sagital (sin representar).

Este tipo de fracturas del calcáneo son muy complicadas de reducir, ya que no sólo es necesario levantar el tálamo, sino que también se tiene que enderezar la apófisis mayor, sin lo cual el arco interno permanecería hundido.

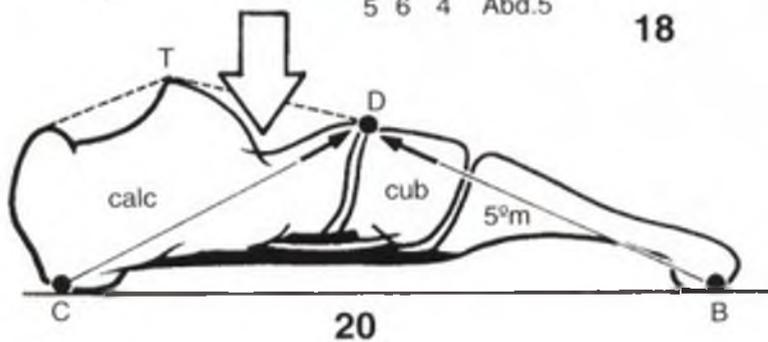
Tres músculos son los *tensores activos* del citado arco:

- **el peroneo lateral corto** (PLC) es una cuerda parcial (Fig. 22) del arco, pero, al igual que el ligamento calcaneocuboideo, impide el bostezo inferior de las articulaciones (Fig. 23);
- **el peroneo lateral largo** (PLL), que sigue hasta el cuboides un trayecto paralelo al precedente, desempeña el mismo papel; pero, además (Fig. 24), enganchado al calcáneo mediante el tubérculo de los peroneos (6), sujeta elásticamente su extremo anterior como el flexor propio del dedo gordo en el lado interno;
- **el abductor del quinto dedo** (Abd.5) constituye la cuerda total del arco externo (Fig. 25) como su pareja el aductor del dedo gordo: tiene una acción análoga.

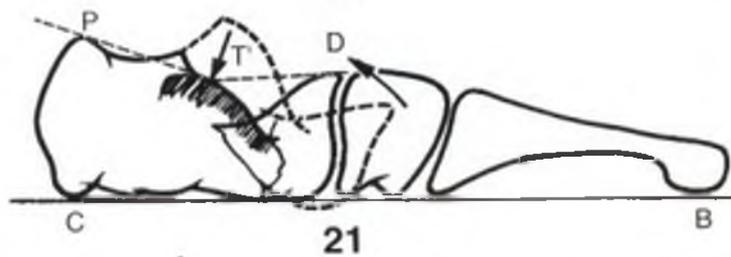
El peroneo anterior (PA) y el extensor común de los dedos (Ecd) —en ciertas condiciones— disminuyen la curva del arco externo al actuar sobre su convexidad. Sucede lo mismo con el tríceps (T).



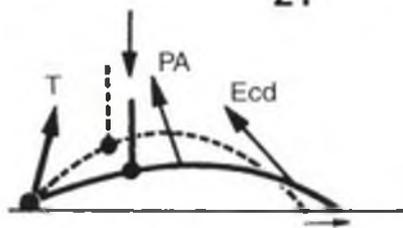
19



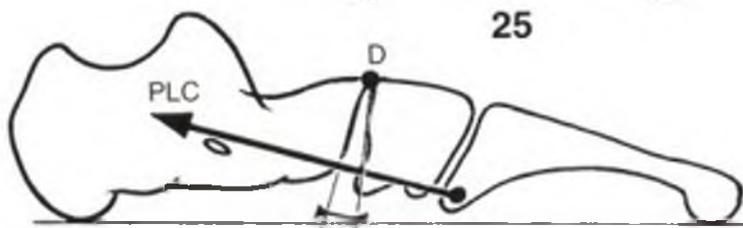
18



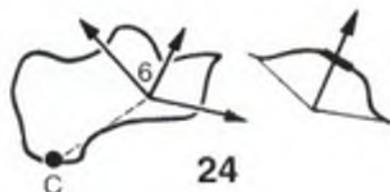
21



26



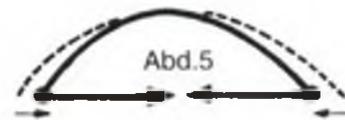
23



24



22



25

EL ARCO ANTERIOR Y LA CURVA TRANSVERSAL

El arco anterior (Fig. 27, corte I) se localiza desde **la cabeza del primer metatarsiano, descansando a su vez sobre los dos sesamoides**, a 6 mm del suelo (A), hasta **la cabeza del quinto metatarsiano (B)**, también a 6 mm del suelo. Este arco anterior pasa por la cabeza de **otros metatarsianos: la segunda cabeza, la más elevada (9 mm), constituye la clave de la bóveda**. La tercera (8, 5 mm) y la cuarta cabeza (7 mm) están en una posición intermedia.

La concavidad de este arco está poco acentuada y contacta con el suelo a través de las partes blandas, constituyendo lo que algunos denominan "el talón anterior del pie". Este ligamento está subtendido por el ligamento intermetatarsiano, sin gran eficacia, y por un solo músculo, el **haz transverso del abductor del dedo gordo (Abd.g)**, que forma una serie de cuerdas parciales y totales entre la cabeza del primer metatarsiano y la de los otros cuatro. Es un músculo relativamente poco potente y fácil de forzar. *El arco anterior se desploma con frecuencia* —antepié plano— o incluso invertido —antepié convexo—, lo que provoca la formación de callos debajo de las cabezas metatarsianas descendidas (véase pág. 150).

Los cinco radios metatarsianos finalizan en el arco anterior. El primer radio (Fig. 29) es el más erguido, y forma, según Fick, un ángulo de 18 a 25° con el suelo. A continuación, este ángulo metatarsiano/suelo disminuye regularmente: 15° para el segundo (Fig. 30), 10° para el tercero (Fig. 31), 8° para el cuarto (Fig. 32) y sólo 5° para el quinto metatarsiano (Fig. 33) casi paralelo al suelo.

La curva transversal de la bóveda prosigue de delante hacia atrás. **A la altura de las cuñas (Fig. 27, corte II)**, el arco transversal no contiene más que cuatro huesos y no contacta con el suelo más que a través de su extremo a la altura del cuboides (cub). La primera cuña (C₁) está totalmente suspendida, sin ningún contacto con el suelo; la segunda cuña (C₂) constituye la clave de la bóveda (a rayas) y forma, con el segundo metatarsiano que lo prolonga hacia delante, el **eje del pie, la cúspide de la bóveda**. Este arco

está subtendido por el tendón del peroneo lateral largo (PLL), que de esta forma actúa con gran potencia sobre la curva transversal.

A la altura del escafoides y del cuboides (Fig. 27, corte III), el arco transversal no contacta con el suelo más que a través de su extremo externo compuesto por el cuboides (cub). El escafoides (esc), suspendido por encima del suelo, descansa "en voladizo" sobre el cuboides mediante su extremo externo. La curva de este arco queda sujeta por las expansiones plantares del tibial posterior (TP).

Una vista inferior del pie (izquierdo) supuestamente transparente (Fig. 28) muestra cómo la **curva transversal** de la bóveda está sujeta por **tres músculos**, sucesivamente de delante hacia atrás:

- *el abductor del dedo gordo (Abd.g)*, de dirección transversal;
- *el peroneo lateral largo (PLL)*, el más importante desde el punto de vista dinámico y que constituye un sistema tensor oblicuo hacia delante y hacia dentro, que **actúa sobre los tres arcos**;
- *las expansiones plantares del tibial posterior (TP)*, desempeñando un papel ante todo estático, y que constituyen un sistema tensor oblicuo hacia delante y hacia fuera.

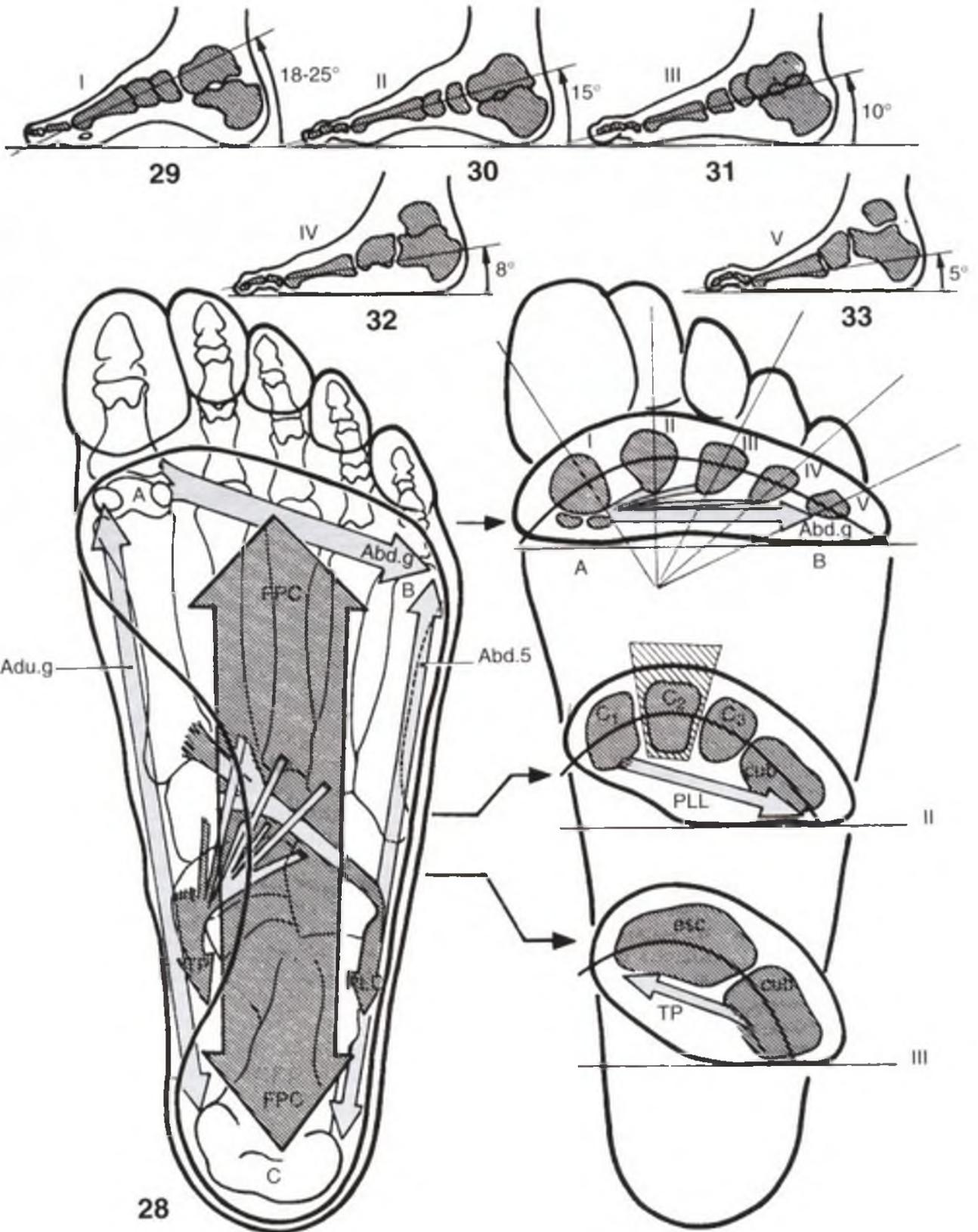
La **curva longitudinal** del conjunto de la bóveda plantar está controlada por:

- *el aductor del dedo gordo (Adu.g)** por dentro, más el flexor propio (sin representar);

*Nota del autor: es abductor con respecto al plano sagital y aductor con respecto al eje del pie.

- *el abductor del quinto dedo (Abd.5)* por fuera.

Entre estos dos tensores extremos, el flexor común de los dedos (sin representar) y su accesorio y el flexor plantar corto (FPC) sujetan la curva de los tres radios medios al igual que la del externo.



DISTRIBUCIÓN DE LAS CARGAS Y DEFORMACIONES ESTÁTICAS DE LA BÓVEDA PLANTAR

El peso del cuerpo, transmitido por el miembro inferior, se ejerce sobre el tarso posterior (Fig. 34) a la altura de la polea astragalina a través de la articulación tibiotarsiana. De ahí, las fuerzas se reparten en tres direcciones, hacia los tres puntos de apoyo de la bóveda (Seitz, 1901):

- *hacia el apoyo anterior e interno (A)*, a través del cuello del astrágalo, en el arbotante anterior del arco interno,
- *hacia el apoyo anterior y externo (B)*, a través de la cabeza del astrágalo y de la apófisis mayor del calcáneo, en el arbotante anterior del arco externo.

La dirección divergente de estas dos líneas de fuerza, hacia A y hacia B, forma un ángulo agudo de 35-40°, abierto por delante, que corresponde ligeramente al ángulo comprendido entre el eje del cuello y el eje del cuerpo del astrágalo:

- *hacia el apoyo posterior (C)*, a través del cuello del astrágalo, la articulación subastragalina y el cuerpo del calcáneo (abanicco subtalámico), en los arbotantes posteriores y unidos con los arcos interno y externo.

La relativa repartición de las fuerzas sobre los tres puntos de apoyo de la bóveda (Fig. 35) es fácil de recordar si se piensa que cuando se aplican 6 kgm sobre el astrágalo UNO corresponde al apoyo anteroexterno (B), DOS al apoyo anterointerno (A) y TRES al apoyo posterior (C) (Morton, 1935). En bipedestación, vertical e inmóvil, el talón es el que soporta la mayor fuerza, la mitad del peso del cuerpo. Entonces se puede entender que cuando esta fuerza se concentra en medio centímetro cuadrado de tacón de aguja, éste perfora los suelos de plástico.

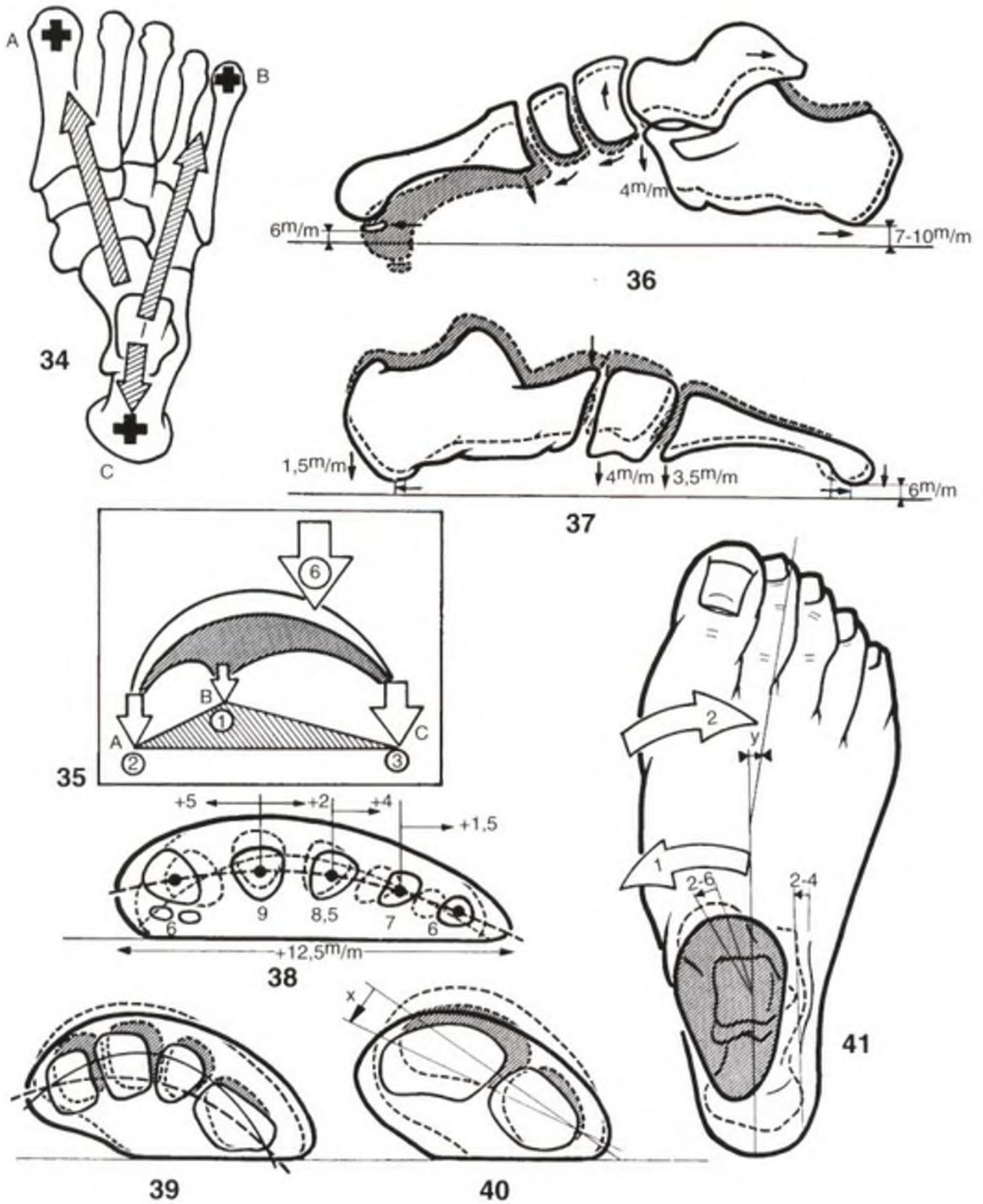
Bajo carga, cada arco se aplanan y se elongan:

- **en el arco interno** (Fig. 36): las tuberosidades posteriores del calcáneo, distantes del suelo de 7 a 10 mm, descienden 1.5 mm, la apófisis mayor 4 mm; el astrágalo retrocede sobre el calcáneo; el escafoides asciende sobre la cabeza del astrágalo al tiempo que desciende en relación al suelo;

las articulaciones escafo-cuneales y cuneo-metatarsianas se entreabren hacia abajo; el ángulo de alineación del primer metatarsiano disminuye; el talón retrocede y los sesamoideos avanzan ligeramente;

- **en el arco externo** (Fig. 37): los mismos desplazamientos verticales del calcáneo; descenso de 4 mm del cuboides, de 3.5 mm de la estiloides del quinto metatarsiano; las articulaciones calcaneocuboidea y cuboideometatarsiana se entreabren hacia abajo; retroceso del talón y avance de la cabeza del quinto metatarsiano;
- **en el arco anterior** (Fig. 38): el arco se aplanan y se expande a un lado y otro del segundo metatarsiano. La apertura aumenta 5 mm entre el primer y el segundo metatarsianos, 2 mm entre II y III, 4 mm entre III y IV, 1.5 mm entre IV y V, de modo que en total *el antepié se ensancha 12.5 mm bajo apoyo*. Durante la fase anterior del paso, la curva del arco anterior desaparece y todas las cabezas metatarsianas contactan con el suelo, según diversas presiones;
- la curva transversal también disminuye a la altura de las cuñas (Fig. 39) y a la altura del escafoides (Fig. 40) al mismo tiempo que estos dos arcos tienden a bascular en torno a su apoyo externo un ángulo x proporcional al aplanamiento del arco interno.

Además (Fig. 41), la cabeza del astrágalo se desplaza hacia dentro de 2 a 6 mm y la apófisis mayor de 2 a 4 mm. En consecuencia, aparece *una rotura-torsión del pie localizada en la mediometatarsiana*: el eje del retropié se desplaza hacia dentro mientras que el eje del antepié se desvía hacia fuera, de modo que forman un ángulo y con el precedente. El retropié gira en aducción-pronación (flecha 1) y ligera extensión, mientras que el antepié realiza un movimiento relativo de flexión-abducción-supinación (flecha 2). Este fenómeno está especialmente acentuado en el caso del pie plano valgo (véase pág. 248).



EL EQUILIBRIO ARQUITECTURAL DEL PIE

El pie tiene una estructura triangular (Fig. 42) con:

- un lado inferior (A), la base o bóveda, subtendidas por los músculos y los ligamentos plantares;
- un lado anterosuperior (B), donde se localizan los flexores del tobillo y los extensores de los dedos;
- un lado posterior (C), que comprende los extensores del tobillo y los flexores de los dedos.

Una forma normal de la planta del pie, que condiciona su correcta adaptación al suelo, es el resultado de un equilibrio entre las fuerzas propias a cada uno de estos tres lados (Fig. 43), organizados sobre tres radios esqueléticos articulados

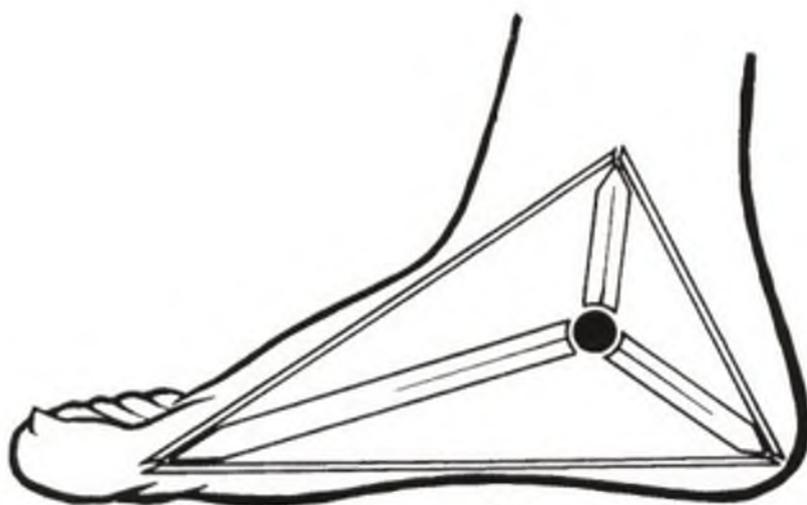
entre sí a la altura del tobillo y del complejo articular del tarso posterior:

- una acentuación de la curva plantar, provocando un pie cavo, puede deberse tanto a una retracción de los ligamentos plantares o a una contractura de los músculos plantares como a una insuficiencia de los músculos flexores del tobillo,
- un aplanamiento de la curva plantar, o pie plano, se puede deber tanto a una insuficiencia de las formaciones ligamentosas o musculares plantares como a un tono exagerado de los músculos anteriores o posteriores.

Nuevamente, se vuelve a hallar la noción de equilibrio trilateral (Fig. 44), ilustrada por la tabla de vela que nos permitió entender el equilibrio dinámico de la rodilla.



42



43



44

DEFORMACIONES DINÁMICAS DE LA BÓVEDA PLANTAR DURANTE LA MARCHA

Durante la marcha, el desarrollo del paso va a someter a la bóveda plantar a fuerzas y deformaciones que demuestran claramente su *papel de amortiguador elástico*. El desarrollo del paso se realiza en **cuatro fases**.

Primera fase: Toma de contacto con el suelo (Fig. 45).

Cuando el miembro oscilante lanzado hacia delante está a punto de contactar con el suelo, el tobillo está alineado o incluso en ligera flexión (Fig. 45) debido a la acción de los flexores de la tibiotarsiana (Fi). Por lo tanto, el pie contacta con el suelo **mediante el talón**, es decir el punto de apoyo posterior (C) de la bóveda. Inmediatamente, bajo el impulso de la pierna (flecha blanca), el resto del pie contacta con el suelo (flecha 1) mientras que el tobillo se extiende pasivamente.

Segunda fase: Máximo contacto (Fig. 46).

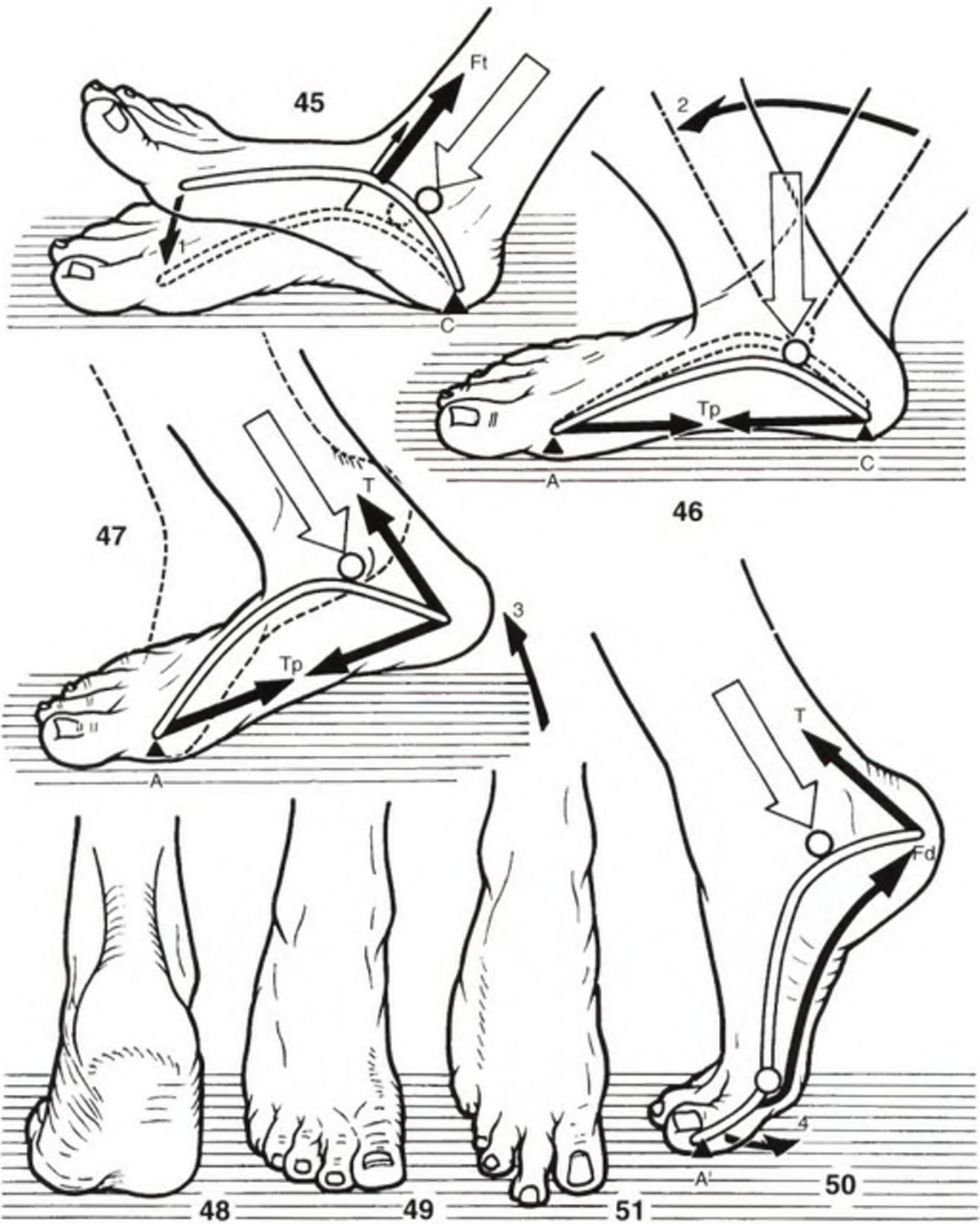
Entonces, la planta del pie contacta con el suelo con toda su superficie de apoyo (Fig. 46) que representa la *huella plantar*. El cuerpo, propulsado por el otro pie, va a pasar por arriba y luego por delante del pie en apoyo (fase de apoyo unilateral). El tobillo pasa pasivamente de la extensión anterior a la flexión (flecha 2). Al mismo tiempo, el peso del cuerpo (flecha blanca) incide totalmente sobre la bóveda plantar que se aplana. Simultáneamente, la contracción de todos los tensores plantares (Tp) se opone a este desplome de la bóveda (primer efecto amortiguador); aplanándose, la bóveda se elonga ligeramente: al inicio del movimiento, el apoyo anterior (A) avanza ligeramente, pero al final, cuando el apoyo anterior contacta cada vez más con el suelo debido al peso del cuerpo, el apoyo posterior C, el talón, retrocede. La superficie de la huella plantar es máxima cuando la pierna pasa por la vertical del pie.

Tercera fase: Primer impulso motor (Fig. 47).

Ahora, el peso del cuerpo se halla por delante del pie en apoyo, la **contracción de los extensores del tobillo (T)**, y **en especial la del tríceps**, va a levantar el talón (flecha 3). Mientras, la tibiotarsiana se extiende activamente, el conjunto de la bóveda realiza una rotación en torno a su apoyo anterior (A). El cuerpo se eleva y se dirige hacia delante: se trata del primer impulso motor, el más importante, puesto que ponen en juego músculos muy potentes. Sin embargo, la bóveda, apresada entre el suelo por delante, la fuerza muscular por detrás y el peso del cuerpo en medio (palanca de segundo genero, denominada interresistente) tendería a aplanarse si no interviniesen una vez más los tensores plantares (Tp): es el segundo efecto amortiguador, que permite reservar una parte de la fuerza del tríceps para restituirla al final del impulso. Por otra parte, es en el momento del apoyo anterior cuando el arco interno se aplana (Fig. 48) y el antepié se expande por el suelo (Fig. 49).

Cuarta fase: Segundo impulso motor (Fig. 50).

El impulso aportado por el tríceps se prolonga por un segundo impulso (flecha 4), debido a la **contracción de los flexores de los dedos (Fd)**, sobre todo los músculos sesamoideos y el flexor propio del dedo gordo. El pie, desplazado una vez más hacia arriba y hacia delante, abandona su apoyo sobre el talón anterior y ya no contacta más que con los tres primeros dedos, sobre todo el dedo gordo, en la fase terminal del apoyo (A'). Durante este segundo impulso motor, la bóveda plantar se resiste, una vez más, al aplanamiento merced a los tensores plantares, entre los cuales destacan los flexores de los dedos. Es al final de esta fase cuando la *energía reservada anteriormente* se restituye. El pie se levanta del suelo mientras que el otro comienza a desarrollar su paso: de modo que ambos pies han contactado simultáneamente un pequeño instante con el suelo (fase del doble apoyo). En la siguiente fase, denominada apoyo unilateral, la bóveda del pie oscilante —el que acaba de despegar del suelo— recupera su posición normal.



DEFORMACIONES DINÁMICAS SEGÚN LA INCLINACIÓN LATERAL DE LA PIERNA SOBRE EL PIE

Se han analizado en las páginas anteriores las modificaciones que acaecen a la bóveda plantar durante el paso, es decir las distintas inclinaciones de la pierna sobre el pie *en el plano sagital*. Sin embargo, durante la marcha o la carrera *en curvas o terreno accidentado*, es necesario que la pierna pueda inclinarse sobre el pie *en el plano frontal*, es decir por fuera y por dentro de la huella plantar. Estos movimientos de inclinación lateral se localizan en la **subastragalina y la mediotarsiana** y determinan modificaciones de la forma de la bóveda plantar. Por el contrario, la tibiotarsiana no participa: el *astrágalo, atrapado en la pinza bimalleolar, se mueve en relación a los demás huesos del tarso*.

La inclinación de la pierna hacia dentro, en relación al pie considerado fijo (Fig. 51), tiene *cuatro consecuencias*:

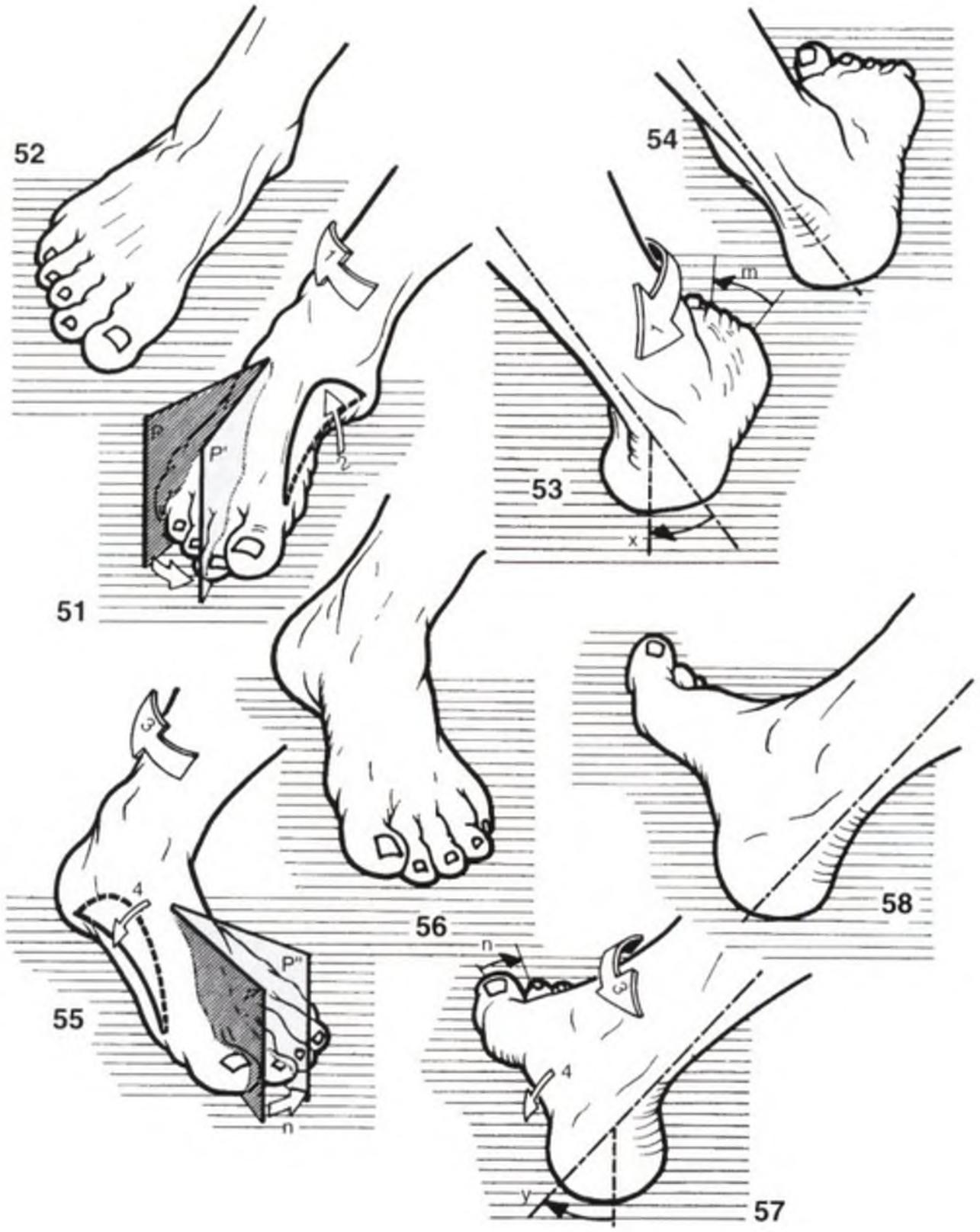
1. *Rotación externa de la pierna sobre el pie* (flecha 1), que sólo aparece cuando la planta del pie contacta con firmeza con el suelo. Se manifiesta por el retroceso del maléolo externo, claramente visible si se compara con la posición en la cual el pie, perpendicular a la pierna, no contacta con el suelo más que con su borde interno (Fig. 52). Esta rotación externa de la pinza bimalleolar implica el deslizamiento del astrágalo hacia fuera, en especial de su cabeza en el escafoides.
2. *Abducción-supinación del retropié* (Fig. 53). La abducción se debe a una fracción de rotación externa sin compensar. En cuanto a la supinación, deriva del movimiento del calcáneo hacia dentro, perfectamente constatable por detrás (ángulo x) y en comparación con un pie sin apoyo en el suelo (Fig. 54): este varo del calcáneo se reconoce por la incurvación del borde interno del tendón de Aquiles.
3. *Aducción-pronación del antepié* (Fig. 51). Para que el arco anterior contacte con el suelo, el antepié debe desplazarse hacia dentro: el eje del antepié, que pasa por el

segundo metatarsiano, y el plano sagital P, que pasa por este eje, se desvía hacia dentro un ángulo m (P' representa la posición final de este plano y P su posición inicial) que mide esta aducción. Además, el antepié realiza una pronación, pero es un tanto evidente que estos **movimientos de aducción-pronación son movimientos relativos a los del retropié** localizados en la articulación mediotarsiana.

4. *Ahondamiento del arco interno* (Fig. 51). Esta acentuación de la curva del arco interno (flecha 2) es la consecuencia de los movimientos relativos del retropié y del antepié. La elevación del escafoides en relación al suelo, fenómeno a la vez pasivo (deslizamiento hacia fuera de la cabeza del astrágalo) y activo (contracción del tibial posterior) lo pone de manifiesto. La modificación de la curva global de la bóveda plantar queda patente en la *huella plantar*, cuyo golfo se ahonda, como en el caso de *un pie cavo varo*.

La inclinación de la pierna hacia fuera (Fig. 55) tiene *cuatro consecuencias simétricas*:

1. *Rotación interna de la pierna sobre el pie* (flecha 3): retroceso del maléolo interno (comparar con la Fig. 56, en la que el pie sólo contacta con el suelo por su borde externo), deslizamiento del astrágalo hacia dentro, cuya cabeza sobresale en el borde interno del pie.
2. *Aducción-pronación del retropié* (Fig. 57): aducción por rotación interna no totalmente compensada, pronación por valgo (ángulo y) del calcáneo (comparar con la Fig. 58).
3. *Abducción-supinación del antepié* (Figura 55): ángulo de abducción (n) entre los planos P y P'.
4. *Aplanamiento del arco interno* (flecha 4), con aumento de la superficie de la huella plantar, como en el caso de *un pie plano valgo*.



ADAPTACIÓN DE LA BÓVEDA PLANTAR AL TERRENO

El hombre de ciudad camina siempre sobre un terreno liso y resistente, con los pies protegidos por el calzado. Sus bóvedas plantares tienen que realizar pocos esfuerzos de adaptación y los músculos, que son su principal sostén, acaban por atrofiarse: el pie plano es la consecuencia del progreso y ciertos antropólogos no dudan en predecir tiempos en que el hombre "caminará" con unos pies reducidos al estado de muñones. Esta teoría se basa en la atrofia de los dedos y en la pérdida de la oposición del dedo gordo, todavía presente en el mono.

Sin embargo, aún no ha llegado ese momento y el hombre, incluso "civilizado", es capaz, todavía, de andar con los pies desnudos en la arena o entre las rocas. Este "retorno al estado natural" beneficia considerablemente a la bóveda plantar (entre otros), que reencuentra sus posibilidades de adaptación.

Adaptación a las asperezas del terreno a las que el pie se agarra (Fig. 59) gracias al ahondamiento de la bóveda.

Adaptación a las inclinaciones del suelo en relación a los pies:

- el apoyo anterior es más amplio en las *inclinaciones hacia fuera* (Fig. 60) merced a la longitud decreciente de dentro afuera de los radios metatarsianos;
- *de pie, en una pendiente transversal* (Fig. 61), el pie "de abajo" está en supinación, mientras que el pie "de arriba" está en eversión o en talus valgus;
- *la escalada* (Fig. 62) necesita el anclaje del pie de abajo, en posición de pie cavo varo, perpendicular a la línea de declive, mientras que el pie de arriba contacta con el suelo en flexión máxima y paralelo a la pendiente;
- *el descenso* (Fig. 63) fuerza, a veces, a adoptar actitudes del pie en eversión para conseguir una adherencia máxima.

De este modo, al igual que la palma de la mano, que permite la prensión gracias a las modificaciones de su curva y de su orientación (véase tomo I), la planta del pie puede, con algunas limitaciones, adaptarse a las irregularidades del terreno para asegurar el mejor contacto posible con el suelo.



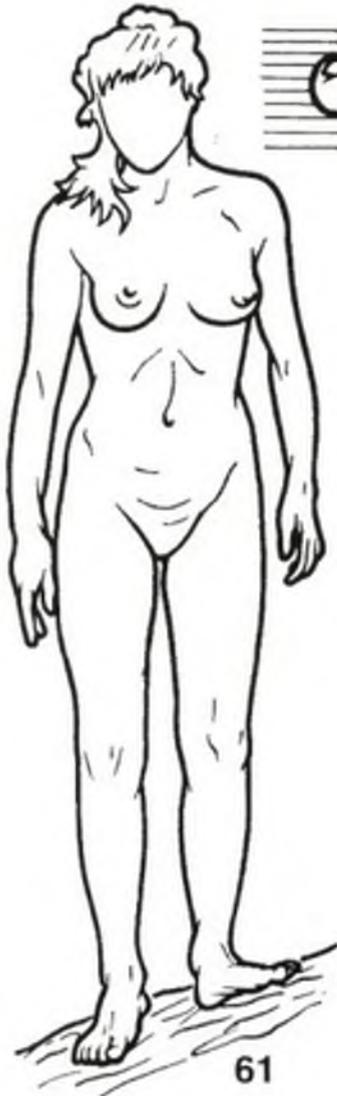
59



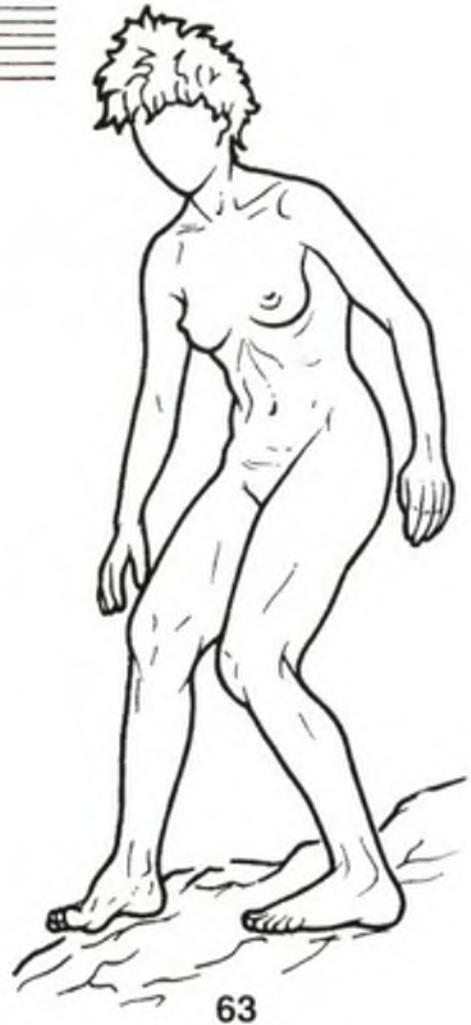
60



62



61



63

LOS PIES CAVOS

La curva y la orientación de la bóveda plantar dependen de un equilibrio extremadamente delicado entre las distintas acciones musculares, que el modelo de Ombrédanne (Fig. 64) permite analizar:

- la bóveda está aplanada por el peso del cuerpo (flecha blanca) y por la contractura de los músculos que se insertan en su convexidad: el tríceps (1), el tibial y peroneo anteriores (2), el extensor común de los dedos y el extensor propio del dedo gordo (3); en el caso de los dos últimos, a condición de que las primeras falanges queden estabilizadas por los interóseos (7);
- la bóveda está ahondada por la contractura de los músculos que se insertan en su concavidad: el tibial posterior (4), los peroneos laterales (5), los músculos plantares (6) y los flexores de los dedos (8). También se puede ahondar por una relajación de los músculos de la convexidad. Por el contrario, una relajación de los músculos de la concavidad provoca un aplanamiento de la bóveda.

La insuficiencia o la contractura de uno solo de los músculos destruye todo el equilibrio y conlleva una deformación; Duchenne de Boulogne afirma que, desde este punto de vista, vale más que la parálisis afecte a todos los músculos antes que a uno solo, ya que entonces el pie conserva una forma y una actitud casi normales. Estos desequilibrios musculares se pueden estudiar en el modelo mecánico del pie (modelo mecánico del pie al final del volumen).

Se distinguen tres tipos de pies cavos:

1. El pie cavo "posterior" (Fig. 65), denominado de tal manera porque la alteración se localiza en el arbotante posterior: insuficiencia del tríceps (1). Los músculos de la concavidad predominan (6) determinando el pie cavo; los flexores de tobillo (2) flexionan el pie. De modo que aparece un pie cavo talo "posterior" (Fig. 66), que, por otra parte, puede inclinarse lateralmente en *valgo* (Fig. 67) debido a una contractura de los abductores (extensor común, peroneos laterales y anterior).
2. El pie cavo "medio" (Fig. 68), poco frecuente, debido a la contractura de los músculos plantares (6) por plantillas demasiado rígidas, por ejemplo, o por retracción de la aponeurosis plantar (enfermedad de Ledderhose).
3. El pie cavo "anterior", del que existen distintas variedades cuyo punto en común es una actitud en equino (Fig. 69) con dos características:
 - el equino del antepié (e) por descenso de los arbotantes anteriores,
 - la desnivelación (d) entre los talones anterior y posterior, más o menos reducible en apoyo.

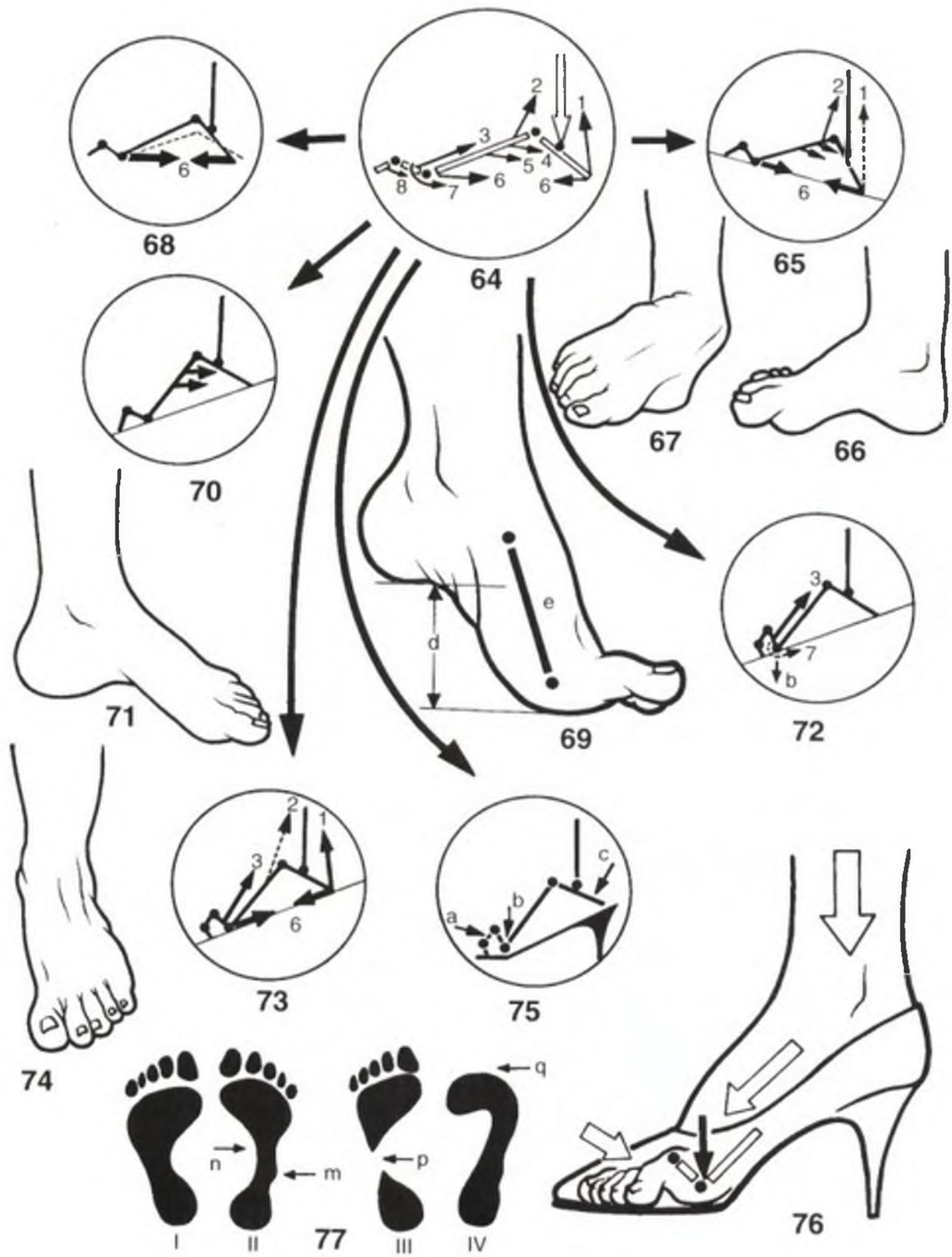
Según el mecanismo, se define la variedad del pie cavo anterior como se expone a continuación:

- la contractura del tibial posterior (4) y de los peroneos laterales (5) origina el descenso del antepié (Fig. 70). La contractura de los peroneos laterales puede bastar por sí sola para provocar un pie cavo (Fig. 71), que entonces se inclina en *valgo*: *pie cavo valgo equino*;
- un desequilibrio de las metatarsofalangicas (Figura 72) es una causa frecuente del pie cavo: la insuficiencia de los interóseos (7) deja el predominio a los extensores de los dedos (3) que hiperextienden la primera falange; provocando a continuación un descenso de la cabeza de los metatarsianos (b), que desciende a su vez el antepié y de ahí el pie cavo;
- el descenso de las cabezas metatarsianas se puede dar también (Fig. 73) por una insuficiencia del tibial anterior (2): el extensor común (3) intenta suplirle de modo que bascula las primeras falanges; los músculos plantares, sin contrarrestar, agravan la curva y el tríceps determina un ligero equino; el predominio del extensor común de los dedos origina una inclinación lateral en *valgo* (Fig. 74): *pie cavo valgo equino*;
- una causa frecuente del pie cavo es el calzado demasiado pequeño o el tacón alto (Fig. 75): los dedos tropiezan con la punta del zapato y se hiperextienden (a), con lo cual descienden las cabezas metatarsianas (b); bajo la influencia del peso del cuerpo (Fig. 76) el pie se desliza sobre el plano inclinado y el talón se aproxima a los dedos (a), acentuando todavía más la curva de la bóveda.

El análisis de la huella plantar facilita el diagnóstico del pie cavo (Fig. 77): en relación a la huella normal (I), el inicio del pie cavo (II) se caracteriza por una prominencia convexa en el borde externo (m) y por un aumento de la profundidad del "golfo" (n) del borde interno; a continuación (III), el fondo del "golfo" alcanza el borde externo (p) dividiendo la huella en dos; en los pies cavos inveterados (IV), a las características precedentes se añade la desaparición de la huella de los dedos (q) debido a la garra de los mismos.

Sin embargo, conviene saber que en el pie plano valgo de los niños y adolescentes se puede observar una huella de pie cavo con interrupción de la banda de apoyo externa: el valgo del calcáneo, el aplanamiento del arco interno provoca un ligero "despegue" del externo, que pierde contacto con el suelo por su parte media, lo que puede inducir a error. Aunque es fácil reconocer esta causa de *falsa huella del pie cavo*:

- los dedos contactan todos con el suelo;
- elevando el arco interno o, todavía mejor, haciendo girar el esqueleto de la pierna en rotación externa, con el pie apoyado, se puede observar cómo la banda de apoyo externo se completa, mientras que el arco interno se ahonda de nuevo.



LOS PIES PLANOS

El hundimiento de la bóveda plantar se debe a la *debilidad de sus medios naturales de sostén*, músculos y ligamentos. Bastan los ligamentos para mantener la curva normal de la bóveda durante un corto período de tiempo, ya que la huella plantar de una amputación es normal excepto si se seccionan los ligamentos. Sin embargo, en el ser vivo, si los soportes musculares se debilitan, los ligamentos acaban por distenderse y la bóveda se hunde definitivamente.

Por lo tanto, el pie plano se debe, ante todo, a una insuficiencia muscular (Fig. 78), insuficiencia del tibial posterior (4) o, más frecuentemente, del **peroneo lateral largo** (5). Sin apoyo, el pie adopta una actitud en varo (Fig. 79), puesto que el peroneo lateral largo es abductor. Sin embargo, en el momento en el que el peso del cuerpo descansa sobre la bóveda, el arco interno se hunde (Fig. 80) y *el pie gira en valgo*. Este valgo se debe a dos factores:

1. La curva transversal de la bóveda, normalmente sujeta por el tendón del peroneo lateral largo (Fig. 81), se aplanan (Fig. 82), al mismo tiempo que desciende el arco interno: le sigue una rotación del antepié (e) sobre su eje longitudinal de modo que la planta del pie contacta con el suelo en toda su amplitud, a la vez que el antepié se desplaza (d) hacia fuera.
2. El calcáneo gira en pronación (Fig. 83) sobre su eje longitudinal y tiende a inclinarse sobre su cara interna. Este valgo, visible y medible por el ángulo que forma el eje del talón con el tendón de Aquiles, sobrepasa los 5° de variación fisiológica para alcanzar los 20° en el caso de algunos pies planos; para ciertos autores, esto

podría deberse a una malformación de las superficies de la subastragalina y a una laxitud anormal del ligamento interóseo, mientras que para otros estas lesiones serían secundarias.

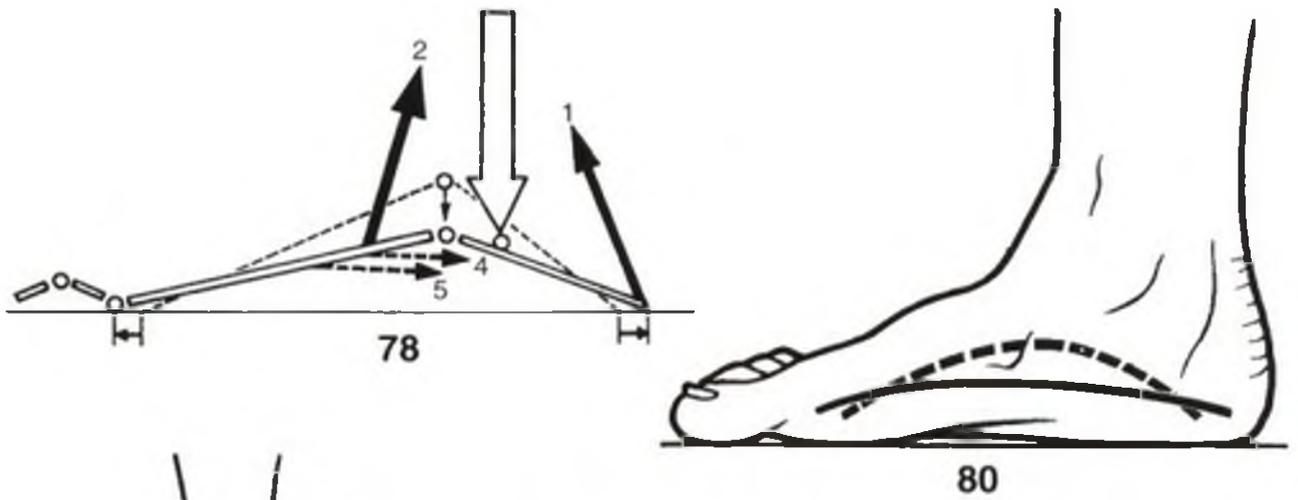
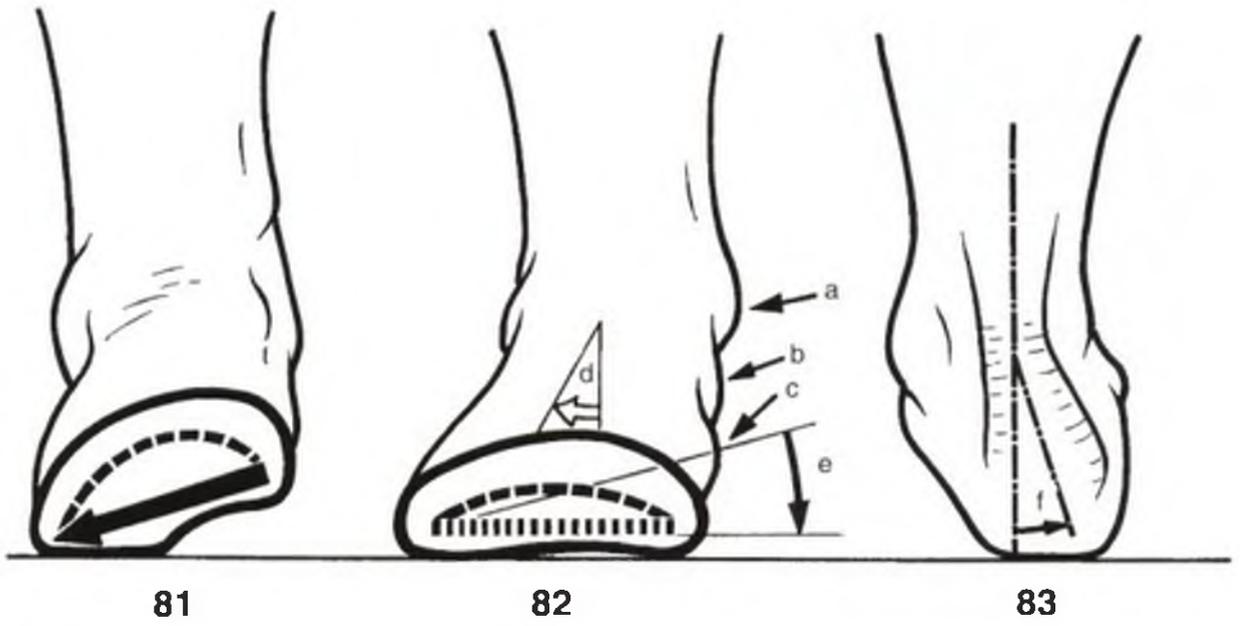
En cualquiera de los casos, este valgo desplaza el centro de presión hacia el borde interno del pie y la cabeza del astrágalo se desplaza hacia abajo y adentro. Aparecen entonces en el borde interno del pie, con más o menos nitidez, tres prominencias (Fig. 82):

- el maléolo interno (a) prominentemente anormal,
- la parte interna de la cabeza del astrágalo (b),
- el tubérculo del escafoides (c).

La prominencia del tubérculo del escafoides representa el vértice del ángulo abierto hacia fuera que forman juntos el eje del retropié y el del antepié: la aducción-pronación del retropié está compensada por una abducción-supinación del antepié, a continuación desaparece la bóveda cuyo mecanismo fue manifestado por los autores clásicos (Hohmann, Boehler, Hauser, Delchef, Socur).

Este conjunto de deformaciones ha sido ya descrito, aunque no tan minuciosamente, a propósito de las fuerzas estáticas ejercidas sobre la bóveda (página 237, Fig. 41). Se trata de una alteración bastante extendida, conocida con el nombre de *pie plano valgo doloroso o tarsalgia del adolescente*.

El análisis de la **huella plantar** facilita el diagnóstico del pie plano (Fig. 84): en relación a la huella normal (I), se da una repleción progresiva del "golfo" interno (II y III), y el pie plano acaba incluso por hacerse convexo (IV) en los pies planos inveterados.



84

LOS DESEQUILIBRIOS DEL ARCO ANTERIOR

En el transcurso de las deformaciones de la bóveda plantar, el arco anterior puede desequilibrarse en sus apoyos o deformarse en su *curva*.

En general, el desequilibrio es secundario a un pie cavo anterior: el equino del antepié acentúa las presiones que soporta el arco anterior según tres posibilidades:

1. *El equino del antepié es simétrico* (Fig. 85), sin pronación, ni supinación; la curva del arco se conserva; por lo tanto, existe una **sobrecarga de los dos puntos de apoyo** que conlleva la aparición de un callo debajo de las cabezas del primer y quinto metatarsianos;
2. *El equino del antepié se asocia con una pronación* (Fig. 86) debido al descenso predominante del radio interno (contractura del tibial posterior o del peroneo lateral largo); la curva del arco permanece, **la sobrecarga se centra en el apoyo interno** del mismo, apareciendo un callo debajo de la cabeza del primer metatarsiano;
3. *El equino del antepié se asocia con una supinación* (Fig. 87); la curva del arco permanece, **la sobrecarga se centra en el punto de apoyo externo** (callo debajo de la cabeza del quinto metatarsiano).

En algunos pies cavos anteriores, la curva normal del arco anterior se puede deformar:

- simplemente *enderezada* (Fig. 88) o inexistente: se trata de un **antepié plano**, la sobrecarga se reparte por todas las cabezas metatarsianas (callo debajo de cada cabeza);
- totalmente *invertida* (Fig. 89): en este caso se denomina **antepié redondo o convexo**; la sobrecarga representada por los callos se localiza en la cabeza de los tres metatarsianos medios.

La **inversión del arco anterior** se debe a la deformación de los dedos en garra o en martillo; se citó con anterioridad que la causa de esta deformación podría ser un desequilibrio entre interóseos y extensores; muy frecuentemente es la consecuencia de calzado demasiado pequeño, o de tacones altos (lo que equivale a un calzado muy pequeño); los dedos tropiezan (Fig. 90) y se doblan; la cabeza de la primera falange se desplaza hacia abajo a la par que aparece callo; la cabeza metatarsiana se desplaza también hacia abajo (callo) provocando el hundimiento del arco.

La utilización de calzado puntiagudo para algunos pies de conformación especial también favorece este fenómeno: **pie ancestral** (o *Neanderthal foot* o *Pes anti-*

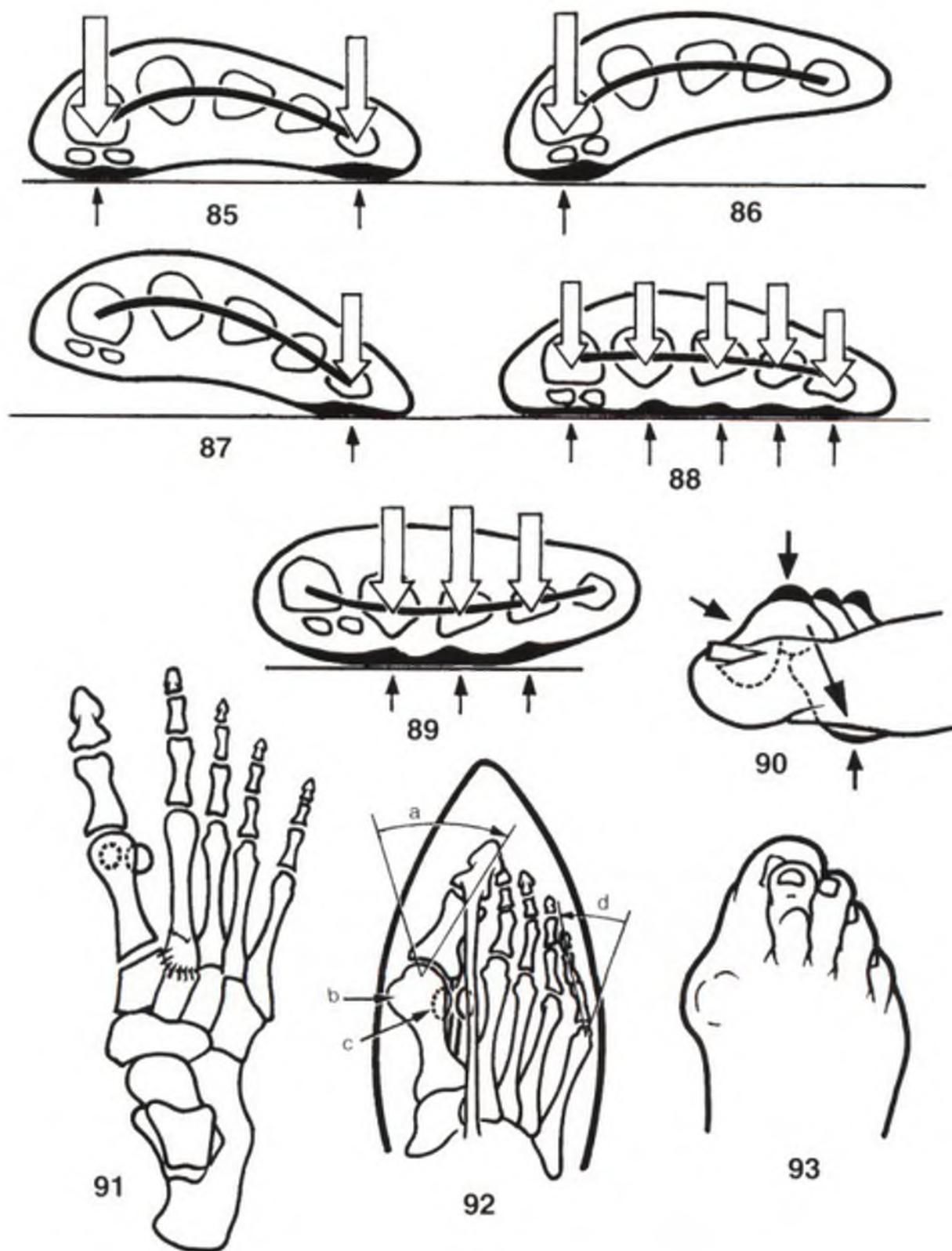
cus), que recuerda el pie prehumano con dedo gordo prensor (Fig. 91), también favorece este fenómeno:

- el primer metatarsiano es corto, hipermóvil y, sobre todo, muy separado del segundo (metatarso varo o abducto), desplazando el dedo gordo en una dirección oblicua hacia delante y *hacia dentro*;
- el segundo metatarsiano sobresale claramente de los otros, lo que le acarrea un apoyo al final del paso derivando en una sobrecarga, articulación dolorosa en la base y algunas veces incluso fractura de marcha (pie forzado);
- quinto metatarsiano muy separado hacia fuera (quinto metatarsiano valgo o abducto).

Cuando este antepié ampliamente expandido está aprisionado en un calzado puntiagudo (Fig. 92), el dedo gordo se desplaza hacia fuera (a). El desequilibrio se volverá pronto permanente, fijo por las retracciones capsulares, la luxación hacia fuera de los sesamoideos (c) y de los tendones, acompañado de una exostosis (b) de la cabeza del metatarsiano, en la cual aparece una callosidad; así se conforma un **hallux valgus**. El dedo gordo atravesado desplaza los dedos medios (Fig. 93) de modo que agrava la deformación en martillo de los mismos. El quinto dedo se deforma a la inversa (d): se trata del **quintus varus**, que contribuye también a la garra de los dedos medios. De esta manera el arco se vuelve convexo.

El tipo morfológico del pie desempeña un gran papel en la aparición de estas deformaciones. Por referencia a las artes plásticas y gráficas, se distinguen *tres variedades de pies*:

- el **pie griego**, como se puede observar en las estatuas de la época clásica: el segundo dedo es más largo, después el dedo gordo y el tercer dedo, casi iguales, a continuación el cuarto y, por último, el quinto. Este tipo de pie es el que mejor tiene repartidas las cargas sobre el antepié;
- el **pie polinesio**, o pie "cuadrado", como se puede observar en los cuadros de Gauguin, donde los dedos son casi todos iguales, al menos los tres primeros. Este tipo de pie "no tiene historia";
- el **pie egipcio**, visible en las estatuas de los faraones, donde el dedo gordo es el más largo y los otros se clasifican por talla y orden decrecientes. Es el tipo de pie más "expuesto": la relativa longitud del dedo gordo lo obliga a inclinarse hacia fuera en el calzado (hallux valgus) además de sobrecargarlo en la fase anterior del paso, factor de artrosis metatarsofalángica (hallux rigidus).



BIBLIOGRAFÍA

- BARNETT C.H. DAVIES D.V y MAC CONALL M.A. – *Synovial Joints. Their structure and mechanics*, 1961. CC. THOMAS. Springfield U.S.A.
- BARNIER L. – *L'analyse des mouvements*. 1950. P.U.F., Paris.
- BELLUGUE P. – *Introduction à l'étude de la forme humaine: anatomie plastique et mécanique*. Édition posthume à compte d'auteur. Paris. 1962.
- BIESALSKI N. y MAYER L. – *Die physiologische Sehnen transplantation*, 1916. J. Springer. Berlin, Alemania.
- BONNELL F., JAEGER J. H. y MANSAT C. – *Les laxités chroniques du genou*. Masson. 1984.
- DORLOT J.M., CHRISTEL P., WITWOET J. y SEDEL L. – Déplacements des insertions des ligaments croisés durant la flexion du genou normal. Suppl. II. *Rev. Chir. Orthop.* 1984, 70, pp. 50-3.
- De DONCKER E. y KOWALSKI C. – Le pied normal et pathologique. Notions d'anatomie, de physiologie et de pathologie des déformations du pied. Extrait des *Acta Orthopédica Belgica*, 1970, 36, nº 4-5.
- DUCHENNE G.B.A. (DE BOULOGNE). – *Physiologie des mouvements*. 1867, Reedición en facsimil. Annales de Médecine Physique. Lille, 1959; Ed. americana traducida por KAPLAN E. B. 1949. Lippincott. Filadelfia y Londres.
- FICK R. – *Handbuch der Anatomie und mechanik g Gelenk* 1911. Gustav Fischer. Iéna. Alemania.
- FISCHER O. – *Kinematik Organischer Gelenke*. 1907. F. Vieweg & Son. Braunschweig, Alemania.
- FRAIN P., FONTAINE C. y D'HONDT D. – Contraintes du genou par dérangement méniscoligamentaire. Étude de l'Articulation Condylotibiale Interne. *Rev. Chir. Orthop.* 1984, 70, 5, 361-g.
- HENCKE W. – *Handbuch der Anatomie und mechanik der Gelenke*. 1863. C.F. Wintersche Verlashandlung, Heidelberg, Alemania.
- KAPANDJI I.A. – *The knee ligament as determinants of trochleo-condylar profile*. *Med. & Biol. Illustration*. Enero 1967, vol. XVII, nº 1, pp. 26-32.
- LAPIDUS. – Kinesiology and mechanical antomy of the tarsal joints. *Clin Orthop.* 1963, 30, 30-4.
- MAC CONAILL M.A. – *Studies on the anatomy and function of bones and joints*. 1996. F. Gaynor Evans. Nueva York, U.S.A.
- MAC CONAILL M.A. – The geometry and algebra of articular kinematics. 1996. *Bio Med. Eng.* 1, 205-12.
- MAC CONAILL & BASMADJIAN J. V. – *Muscles and movements; a basis for human kinesiology* 1969, Williams & Wilkins. Baltimore, U.S.A.
- MENSCHIK A. – *Mechanik des Kniegelenkes*. *Z. Orthop.* 112 1974 pp. 481-95.
- MORTON D. J. – *The human foot*, 1935. Columbia University Press. Nueva York, U.S.A.
- POIRIER P. & CHARPY A. – *Traité d'Anatomie humaine* 1926, 4ª ed., Masson. Paris, Francia.
- RASH P.J. & BURKE R.K. – *Kinesiology and applied anatomy* 1971. 4ª ed., Lea & Febiger. Filadelfia, U.S.A.
- ROCHER C.H. y RIGAUDA. – *Fonctions et bilans articulaires* 1964. Kinésithérapie & Rééducation, Masson. Paris, Francia.
- ROUD A. – *Mécanique des articulations et des muscles de l'homme*. 1913, Libraire de l'Université. F. Rouge & Co., Lausana, Suiza.

ROUVIERE H. – *Anatomie Humaine descriptive et topographique*. 1948, 4ª ed., Masson, Paris, Francia.

SEGAL P., SEGAL M. – *La rodilla*. Masson, Barcelona 1985.

STEINDLER A. – *Kinesiology of the human body*. 1995, Charles C. Thomas, Springfield, U.S.A.

STRASSER H. – *Lehbuch der Muskel und Gelenk-mechanik*. 1917, J. Springer., Berlin, Alemania.

TESTUT L. – *Traité d'anatomie humaine*. 1921, Doin Ed., Paris, Francia.

VANDERVAEL F. – *Analyse des mouvements du corps humain*. 1956, Maloine, Paris, Francia.

MODELOS RECORTABLES DE MECÁNICA ARTICULAR

RECOMENDACIONES

Si se quiere realizar uno de estos modelos, en primer lugar se debe calcar el dibujo en cartón, del tipo bristol grueso. Para ello, se puede pegar directamente la hoja correspondiente previamente desprendida (aunque esto no es lo idóneo puesto que no se puede corregir en caso de error), o bien pegar una fotocopia de la página que interesa, o incluso reproducir el dibujo con papel carbón, esta última es la mejor solución, ya que se evitan las molestias que generan el papel pegado.

La fabricación de estos modelos es fácil con la condición de seguir atentamente las instrucciones que acompañan las láminas, ilustradas con esquemas de montaje. Nunca se debe empezar a recortar sin haber leído totalmente las instrucciones. Si se comete un error, se puede cambiar la pieza a otro cartón del mismo grosor y comenzar de nuevo.

Los plegados son claros y regulares siempre que se tenga cuidado y se practique antes una ligera incisión en el cartón, de un cuarto de su grosor, con un *cutter*, por el lado exterior del pliegue. Por lo tanto, es necesario estar muy atento al sentido del plegado, indicado siempre de la misma manera:

- los plegados indicados con una línea de trazos discontinua deben recortarse por el anverso y plegarse por el reverso (para memorizarlo recordar que el anverso es la cara impresa y el reverso la vuelta de la hoja);
- los plegados indicados con una línea de cruces se deben recortar por el reverso y plegar por el anverso. Para señalar las líneas de plegado en el reverso, lo más cómodo es perforar con una aguja fina cada extremo de las mismas.

Para pegar los modelos, es necesario un pegamento de celulosa de secado rápido. Las superficies rayadas delimitadas por líneas punteadas (atención, no confundir estas líneas punteadas con los trazos de un plegado) representan las zonas que se deben pegar en el anverso. Las superficies cuadrículadas corresponden a las zonas que se deben pegar en el reverso. Siempre que esto ha sido posible, se han indicado las superficies que se van a pegar conjuntamente con la misma letra. Pegar de uno en uno, y esperar a que uno esté bien seco para pasar al siguiente en la misma pieza. Entretanto, se pueden ir pegando otras piezas distintas. Mientras se estén secando, es mejor colocar las piezas en una tabla de madera mediante gomas o alfileres que fijan un pliegue y mantienen una lengüeta.

Excepcionalmente, en el caso del modelo V, los plegados que representan charnelas articulares se deben realizar sin incisiones por razones de solidez ulterior.

Como material accesorio, se precisa:

- cartón grueso (1 mm) para reforzar algunas piezas

(modelos I y III) o servir de base (modelo III):

- alfileres con cabeza gruesa de colores (modelos IV y V); en papelerías (para señalar mapas y gráficos);
- sujeciones metálicas de pequeño tamaño (en el caso del modelo II), en papelerías;
- goma elástica de 1 mm de grosor por 4 mm de ancho, longitud 1,5 m; en tiendas donde se venden modelos reducidos de motores de avión;
- goma elástica cuadrada de 1,5 x 1,5 mm, longitud 2,5 m (ídem);
- hilo grueso, bramante o cordoncillo trenzado (es el mejor).

Las gomas elásticas y los cordoncillos se utilizan en los modelos IV y V para realizar los tendones y los ligamentos; se fijan mediante alfileres en los puntos o rombos (en el caso de las gomas elásticas) señalados con una cifra. Los alfileres atraviesan el cordoncillo o el bramante por encima del nudo de sujeción.

Modelo I: Las plaquitas articuladas. Estabilidad anteroposterior de la rodilla

Este modelo permite comprender cómo, gracias a los ligamentos cruzados, el deslizamiento anteroposterior es imposible, sin que ello impida la flexoextensión de la rodilla.

Realización (Lámina I):

1. recortar las dos plaquitas A y B (Lámina I);
2. en un cartón más resistente, recortar otras dos plaquitas de las mismas dimensiones;
3. en una hoja de papel corriente, recortar tres tiras de 1 cm de ancho por 14 cm de largo;
4. en la plaquita A, pegar el extremo de cada una de las tiras en las zonas rayadas a', b' y c', con la precaución de que queden paralelas con el lado mayor de la plaquita;
5. pegar encima de la plaquita A y de los extremos de las tres tiras una de las plaquitas de cartón grueso; debe recubrir con exactitud la plaquita A;
6. poner el conjunto sobre la mesa, el cartón grueso debajo, y doblar por encima de la plaquita A las tres tiras de papel, que deben quedar paralelas entre sí y con el lado mayor de la plaquita;
7. colocar encima la plaquita B, con el anverso hacia arriba, orientando la zona rayada a' hacia el lado del extremo libre de la tira media;

8. doblar sobre la plaquita el extremo libre de las tres tiras que se pegarán en a, b y c;
9. pegar por encima la segunda plaquita de cartón grueso y esperar a que quede bien seco.

El esquema de montaje (Fig. 1, lámina I) pone de manifiesto el cruce de las tiras que representan a los ligamentos cruzados, pero en el montaje real, la tensión de las tiras debe impedir cualquier separación de las plaquitas (se han trazado separadas para que el dibujo resulte más cómodo).

Utilización:

Con este modelo se puede demostrar que es imposible deslizar una plaquita sobre otra en el sentido de la longitud.

No obstante, si sólo se toma la plaquita superior y se inclina hacia un lado, la plaquita inferior gira en torno a una charnela constituida por el lado más pequeño y más bajo, y viceversa en el caso de una inclinación opuesta. Las dos plaquitas parecen no tener ningún nexo entre sí, y sin embargo están articuladas por cada uno de sus extremos.

Los cóndilos y las glenoides realizan un montaje análogo, aunque con la diferencia de que las "tiras" no son iguales entre sí, ni están fijas a los extremos en una base de igual longitud. En consecuencia resulta una rotación, no sólo en torno a dos ejes, sino en torno a una sucesión de ejes alineados sobre la curva de los cóndilos (este punto lo precisa el modelo siguiente).

Modelo II: Determinismo experimental del contorno de la tróclea y de los cóndilos

Este modelo traza por sí mismo el contorno de la tróclea y de los cóndilos, lo que aclara la función de los ligamentos en el determinismo de la forma de las superficies articulares.

Realización (Lámina II):

1. Recortar las distintas piezas de este modelo:
 - A: la meseta tibial;
 - B: una pieza denominada "base femoral" que se fija en C;
 - C: la platina rectangular en la que se va a realizar el trazado; en trazos gruesos la referencia del contorno articular con la diáfisis femoral;
 - R: la rótula, prolongada por abajo por el ligamento rotuliano;
 - AR: un alerón rotuliano;
 - LCAE: el ligamento cruzado anteroexterno;

LCPI: el ligamento cruzado posterointerno y las tres tiras para confeccionar las "arandelas".

2. Efectuar el plegado en acordeón de las tiras que constituirán las "arandelas", luego realizar un agujero a la vez en las seis partes plegadas.
3. Realizar a cada extremo del LCPI un doble pliegue antes de perforar los agujeros 3 y 4. ¡Cuidado!, hacer una muesca en la arandela del agujero 4, pero sin cortar el LCPI.
4. Perforar los agujeros en las otras piezas, exactamente en los sitios indicados.

El montaje se lleva a cabo siguiendo el esquema (Fig. 3) mediante sujeciones metálicas de tamaño reducido. Los agujeros coinciden en cada pieza, montarlas por orden numérico sin olvidar colocar una arandela en los agujeros 5, 6 y 7. Por último, la base femoral se fija en la platina C en la zona rayada, a través de los agujeros 8 y 9.

Utilización:

El modelo está listo para funcionar (fig. 4):

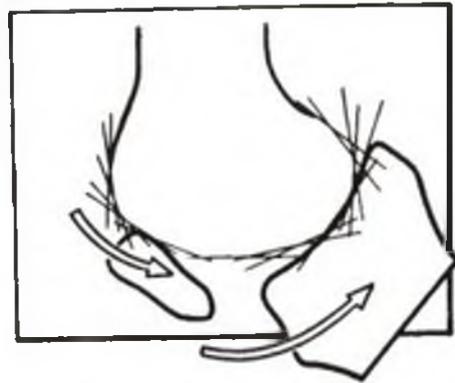
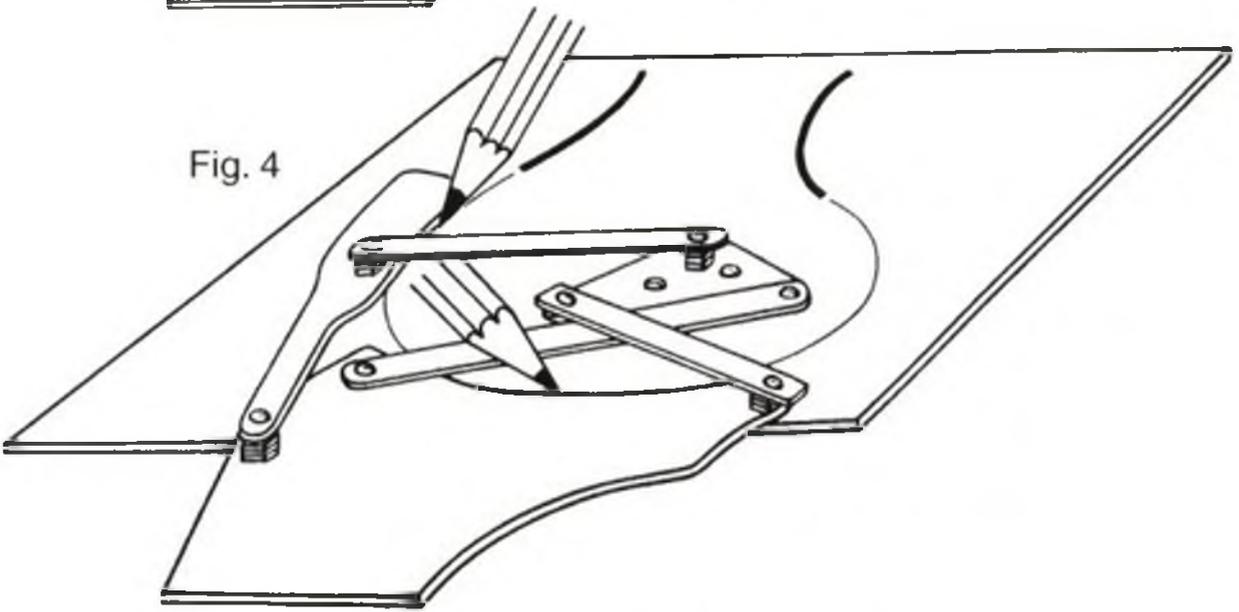
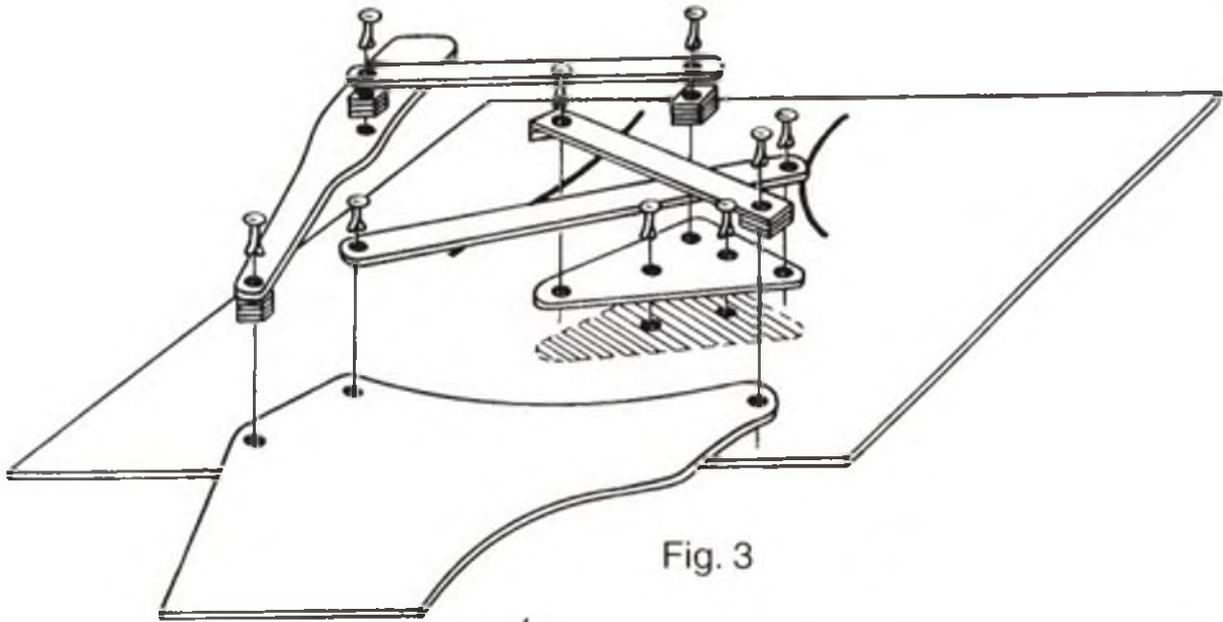
Partiendo de la posición de extensión —meseta tibial desplazada lo máximo posible hacia la izquierda— (gracias a la muesca de la arandela del agujero 4), se traza con lápiz el contorno posterior de la rótula y el contorno superior de la meseta tibial en el mayor número posible de posiciones de flexión.

A medida que la plataforma tibial se desplaza hacia la derecha, se puede observar cómo su cara superior describe la curva del cóndilo al mismo tiempo que la cara posterior y el ángulo posterosuperior de la rótula dibujan el contorno de la tróclea (Fig. 5). Si el modelo se ha montado correctamente, estas dos curvas se unen con los dos trazos gruesos.

Así se demuestra que el contorno de la tróclea y de los cóndilos no son más que la curva envolvente de las respectivas posiciones sucesivas de los patillos tibiales y de la rótula en un sistema mecánico definido por la longitud relativa y la disposición de los ligamentos cruzados y de las conexiones ligamentosas de la rótula. Se podrían realizar perfectamente otros contornos modificando uno o varios elementos de este conjunto mecánico.

Modelo III: Exposición del papel desempeñado por los ligamentos cruzados y laterales

Este modelo permite poner de manifiesto la tensión electiva de los ligamentos cruzados y laterales en el caso de algunos movimientos (véase pág. 134). Así se puede explicar de forma específica el papel de "llamada" del cóndilo sobre la glenoide que desempeñan los ligamentos cruzados durante la flexoextensión.



Realización (Lámina I):

Antes de recortar, reforzar las dos piezas de este modelo pegándolas en un cartón grueso (1 mm).

A continuación, instalar, tal como figura en el esquema de montaje, las gomas elásticas que representan los dos ligamentos cruzados y el ligamento lateral interno; para ello, coger gomas elásticas de distintos colores en forma de pulsera y cortarlas. Hacer un nudo en un extremo y pasarlas a través de los agujeros del perfil tibial de atrás adelante, de tal forma que el nudo quede en la parte posterior. Después, pegar el perfil tibial en la mitad inferior de un cartón rectangular resistente (véase esquema de montaje, Fig. 2, lámina I). Si los nudos molestan al pegar, despejar un poco de cartón a su nivel.

Pasar luego cada goma por el agujero correspondiente del perfil femoral, de delante hacia atrás:

- el cruzado anteroexterno, parte de a y se fija en b;
- el cruzado posterointerno parte de d y se fija en e,
- el ligamento lateral interno se origina en f y se fija en e.

La tensión de estos ligamentos se regula y posteriormente se bloquea con una pegatina dispuesta hacia la parte posterior.

Utilización:

Si se hace rodar el perfil femoral sobre el perfil tibial sin que se deslice, se puede comprobar de inmediato que:

- el cruzado anteroexterno se elonga durante la flexión, lo que corresponde a la puesta en tensión de la goma. Para que el ligamento conserve la misma longitud, es preciso desplazar el cóndilo hacia delante: es el movimiento de "llamada" del cóndilo por el ligamento cruzado;
- del mismo modo, al partir de la posición de flexión, el cruzado posterointerno se estira durante la extensión (puesta en tensión). Para que recupere su longitud inicial, es preciso desplazar el cóndilo hacia atrás ("llamada").

Haciendo que el cóndilo femoral rueda en el sitio (es decir con deslizamiento) sobre la glenoide, se puede comprobar que el ligamento lateral está más tenso en la extensión que en la flexión.

Modelo IV: Superficies articulares de la rodilla y ligamentos

Este modelo permite comprender por qué se puede afirmar que la rodilla es una tróclea modificada (véase pág. 88). También se puede observar cómo intervienen los ligamentos para asegurar la estabilidad rotatoria de la rodilla (véase pág. 136).

Realización (Lámina III):

Este modelo lo constituyen dos piezas principales A y B y dos piezas accesorias idénticas C y D. También se le añaden cuatro cordoncillos que representan los ligamentos.

Pieza A:

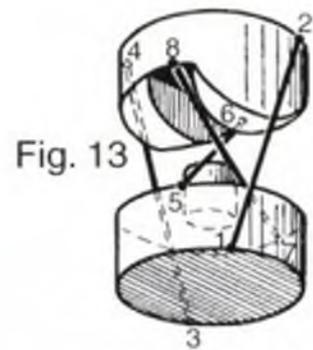
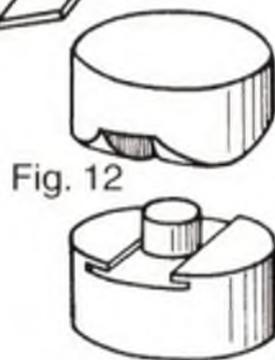
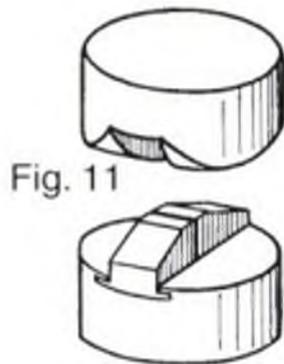
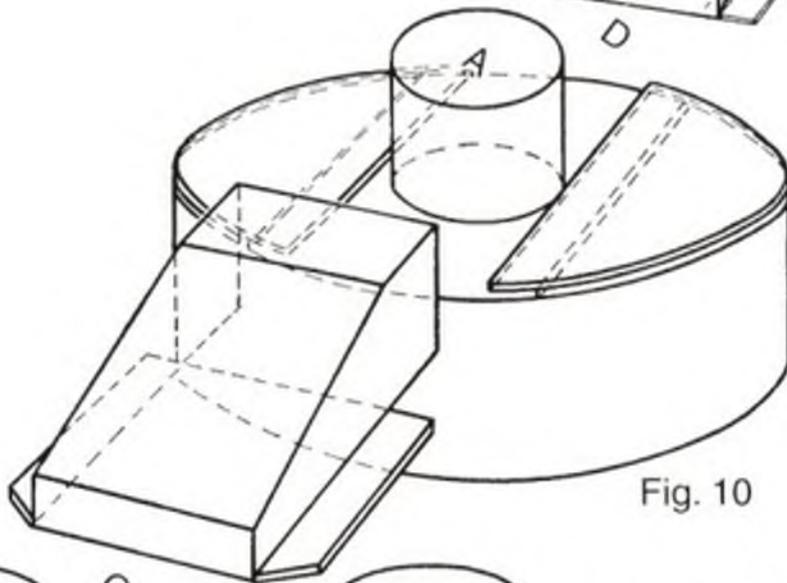
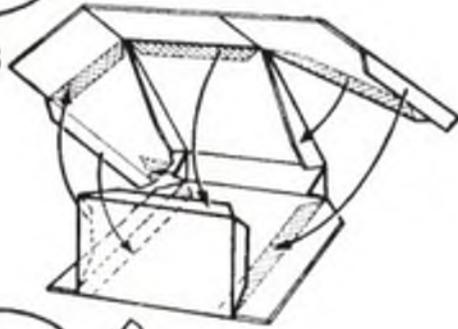
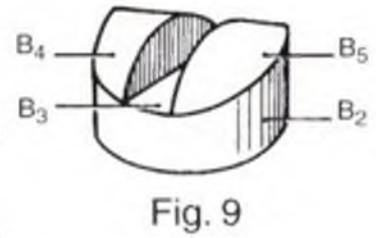
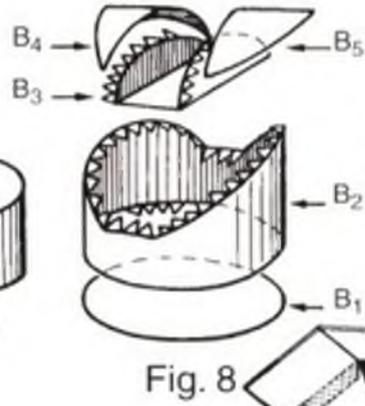
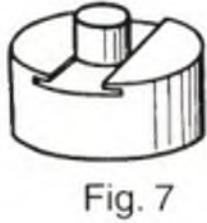
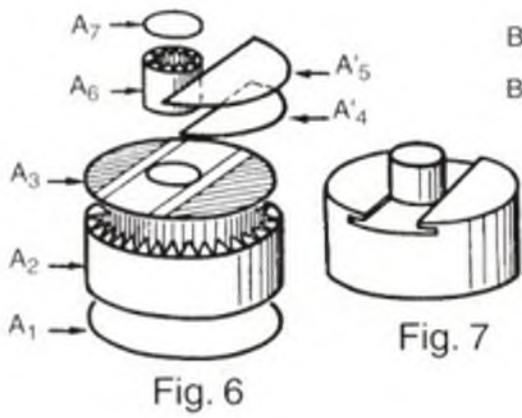
1. Recortar las nueve partes constitutivas A_1 , A_2 , A_3 , A'_1 y A'_2 , A'_3 y A''_1 , A''_2 , A''_3 , A_4 y por último A_5 . Antes anotar con lápiz las letras que se sitúan por fuera del contorno: esto facilitará el montaje. Atención con las lengüetas para pegar;
2. Hacer un cilindro con A_1 , pegando la lengüeta a en el reverso del borde opuesto. Esperar a que se seque completamente (fig. 6).
3. Doblar los dos bordes de las lengüetas hacia el interior y pegar el fondo A_1 en las lengüetas del borde inferior (el que contiene los puntos 1 y 2). Pegar del mismo modo la cubierta A_2 , en la que no se ha recortado ni se han hecho incisuras, ni se ha pegado nada. Dejar secar.
4. Hacer un cilindro pequeño con A_3 y A_4 (cubierta) y pegarlo en el centro de A_1 .
5. En A_4 y a cada lado del cilindro pequeño, en primer lugar pegar las zonas rayadas reservadas para las piezas A'_1 y A'_2 . A continuación, pegar por encima las piezas A'_3 y A''_1 , de tal modo que su lado rectilíneo esté paralelo al de las dos piezas anteriores y que llegue hasta el cilindro pequeño central.

De esta forma, la cara superior de la pieza A incluye (Fig. 7) un cilindro pequeño central limitado por dos correderas. Constituye la meseta tibial.

Pieza B:

1. Recortar las cinco partes constitutivas B_1 , B_2 , B_3 , B_4 y B_5 ;
2. Hacer el cilindro con B_1 (Fig. 8).
3. Pegar el fondo B_1 .
4. Preparar la pieza B_2 : incisión en el reverso para doblar hacia el anverso en ángulo recto. Pegar sus dos extremos b' y b'' en las lengüetas correspondientes b'_1 y b''_1 de B_1 (partes rectilíneas del borde superior). Doblar las lengüetas para pegar hacia el interior en el caso del cilindro y hacia el exterior en el caso de B_2 .
5. Pegar por encima B_3 y B_4 a las que antes se habrán dado una ligera forma curva.

De este modo, se ha realizado una ranura profunda que separa dos superficies convexas (Fig. 9) que representan la tróclea femoral con su garganta y sus dos carillas.



Piezas C y D:

1. Recortar con sumo cuidado C y D y realizar las incisuras para los pliegues (están todas en el anverso).
2. Plegar según indica el esquema.
3. Pegar en primer lugar la lengüeta *a* al reverso de *a*, después doblar y pegar los lados en sus lengüetas.

Estas dos piezas C y D se encajan por su base en las correderas de A y recubren el pequeño cilindro central por su parte excavada (Fig. 11).

Utilización:

1. La rodilla es una tróclea modificada.

Primero se coge la pieza A, completada por C y D (Fig. 11). En esta cresta mediana se encaja la pieza B, que puede realizar sobre A movimientos de rodadura y de deslizamiento, pero es imposible que B gire sobre A en torno al eje de los cilindros: es el caso de una tróclea pura cuya cresta media impide cualquier movimiento de rotación axial. Si ahora se quitan los dos extremos de la cresta eliminando las piezas C y D, sólo queda el pivote central (Fig. 12), alrededor del cual la tróclea no sólo puede efectuar los movimientos de flexoextensión, sino también los movimientos de rotación axial. En esta tróclea modificada el pivote central representa la meseta de las espinas tibiales.

2. La estabilidad rotadora de la rodilla está asegurada por los ligamentos.

Con un cordoncillo fijo a sus extremos por alfileres se formarán los ligamentos de este modelo articular (fig. 13):

- ligamento lateral interno: entre 1 y 2;
- ligamento lateral externo: entre 3 y 4;
- ligamento cruzado anteroexterno: entre 5 y 6;
- ligamento cruzado posterointerno: entre 7 y 8.

Tensar lo suficiente estos ligamentos a la inversa de la figura, donde están distendidos adrede.

Intentar hacer girar la pieza A en rotación externa: los ligamentos laterales se tensan y limitan el movimiento. También se puede constatar la tensión de los ligamentos cruzados que limitan la rotación interna.

Realizando los movimientos de flexoextensión de B sobre A se pueden evidenciar los movimientos de rotación automática (si los ligamentos se han dispuesto correctamente).

Modelo V: El pie

Este modelo mecánico está dotado de las principales articulaciones y de los tendones principales, de modo que

permite analizar la estática y la dinámica de la bóveda plantar, las acciones musculares y las actitudes patológicas. Su fabricación no es difícil, pero requiere minuciosidad y paciencia.

Realización:

1. En primer lugar realizar cada parte constitutiva como se indica a continuación:
 - A) pierna y tibiotarsiana;
 - B) tarso posterior y subastragalina-meditarsiana;
 - C) parte externa del tarso anterior;
 - D) parte interna del tarso interior;
 - E) y F) soportes de la articulación de Lisfranc; 1, II, III, IV, V) metatarsianos y dedos;
2. Reunirlas.
3. Colocar las gomas elásticas —que representan los ligamentos y el tono muscular— y los cordoncillos —que representan los tendones—. Es la parte más interesante de la construcción, puesto que permite comprender mediante la práctica los equilibrios musculares y articulares.

I. Partes constitutivas

A) Recortar la pieza A (Lámina IV) y realizar las incisiones con vistas al plegado; prestar atención al lado de la incisura (véanse recomendaciones) y no confundir los trazos (incisión en el anverso) con los punteados que delimitan las zonas que se deben pegar. Antes de doblar los pliegues, anotar en el reverso de la cara A, las anotaciones que figuran en la misma. De hecho, quedarán en el interior de la pieza al enrollar en semicilindro la cara A, (véase Fig. 14). Para pegar la pieza, el reverso de la lengüeta *a* de A_1 debe coincidir con el anverso *a* de A_2 ; y el anverso de la lengüeta *b* de A_2 coincide con el reverso *b* de A_1 . El círculo A_3 se coloca sobre las lengüetas dobladas hacia el interior del borde superior de $A_{1,2}$ (véase Fig. 15).

B) Recortar la pieza B (Lámina V), pero antes anotar con lápiz en los lados correspondientes las letras que están por fuera del contorno de la pieza: esto facilitará mucho la tarea de pegar. Todas las incisiones del plegado están en el anverso. Doblar la pieza (Fig. 16) y pegar las lengüetas en el lado que corresponda: de este modo se obtiene un volumen poliédrico (Fig. 17) del que sólo contacta con el "suelo" la cara B_1 . La cara B_2 es posterior. La arista B_1/B_2 representa el eje de la tibiotarsiana. La arista B_3/B_4 representa el eje de Henke común a las articulaciones subastragalina y mediotarsiana. Así, la pieza B representa, desde el punto de vista funcional, la totalidad del astrágalo y la parte posterior del calcáneo (la anterior se moviliza con el cuboides).

C) Cortar la pieza C (Lámina V) como se ha hecho con B. Trazar las incisiones, pero cuidado, no hay ningu-

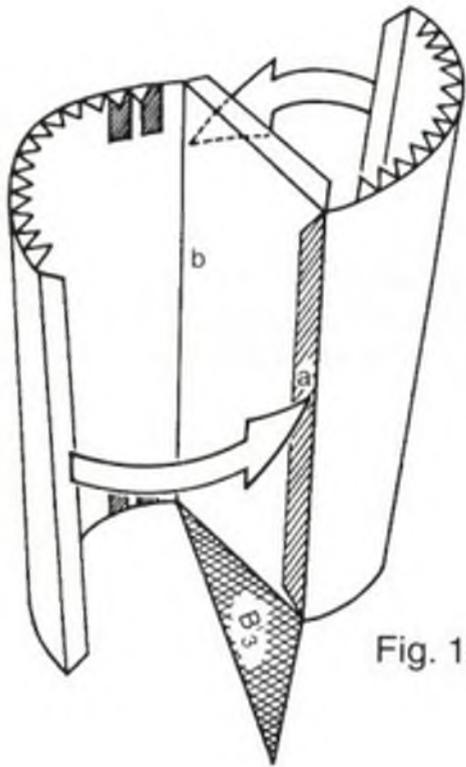


Fig. 14

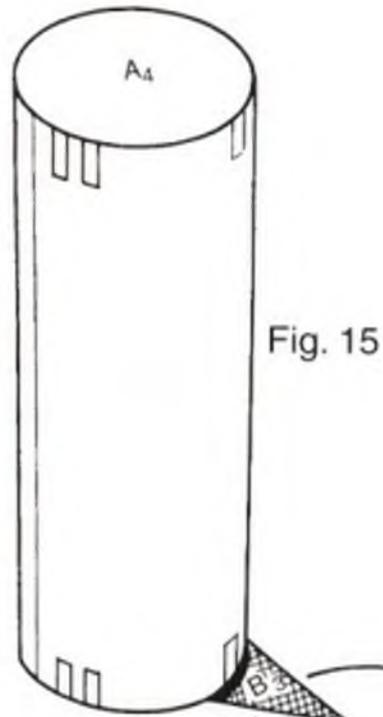


Fig. 15

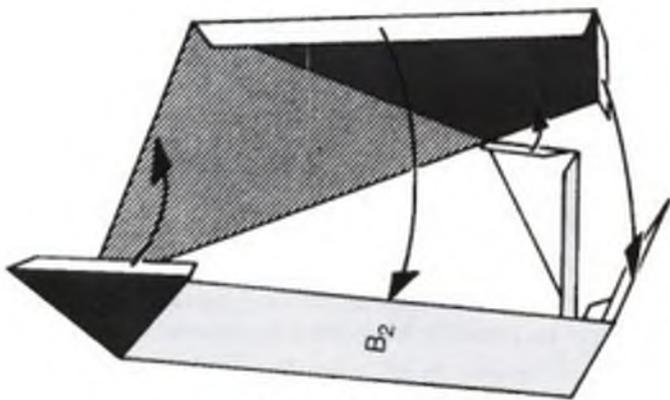


Fig. 16

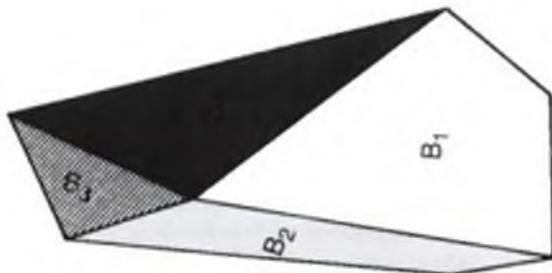


Fig. 17

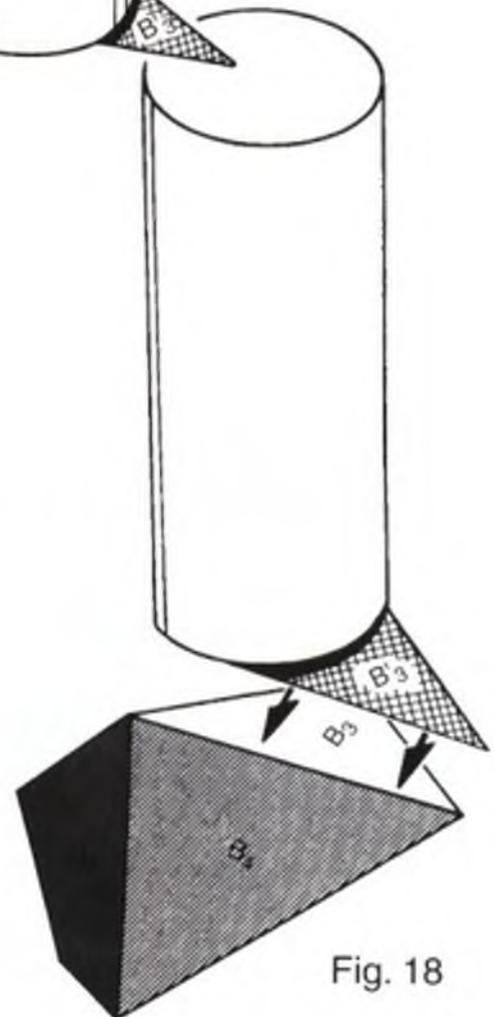


Fig. 18

na incisión en el reverso entre C_1 y B_1' (charnela). Pegar las lengüetas con su lado homólogo, prestar atención a la lengüeta a que se pega en el reverso de C_1 a lo largo del pliegue inverso C_1/B_1' , que representa el eje de Henke en la pieza C. La arista C_1/C_1' representa el eje de la articulación entre el tarso anterointerno y el tarso anteroexterno, grosso modo la escafofocuboidea. La pieza C representa pues, desde el punto de vista funcional, la parte anterior del calcáneo y la totalidad del cuboides.

D) Recortar la pieza D (Lámina V) y trazar las incisiones del plegado (salvo D_1/C_1' ; charnela). Al pegar, no tiene importancia si la lengüeta b no es la que se pega en el reverso de D_1 , a lo largo de la arista D_1/C_1' que representa el eje de la escafofocuboidea. La pieza D, que tiene la forma de una pirámide triangular provista de una enorme lengüeta (C_1') corresponde al escafoides y a las tres cuñas.

E) y F) Recortar sin realizar ningún pliegue las piezas E, E_1' , F y F_1' (Lámina IV) que van a constituir los soportes de la articulación de Lisfranc.

I, II, III, IV, V) Recortar estas piezas (Lámina VI) teniendo especial cuidado en seguir con precisión los contornos de las bases cuya forma determina la orientación de los metatarsianos (véase más adelante). Atención, las lengüetas pequeñas de la base son frágiles, ya que se deben vaciar según el cuadrado negro (con un *cutter*). También se vaciarán los otros dos cuadrados negros situados cerca del dedo haciendo un orificio algo más pequeño que la goma (véase más adelante: colocación de las gomas). Cuidado con el sentido de los pliegues: incisiones en el reverso para las articulaciones interfalángicas y ninguna incisión en el caso de la articulación tarsometatarsiana. No confundir la zona del reverso que se debe pegar (rayada) con una lengüeta que se debe plegar: por lo tanto, ninguna incisión en este caso. El pliegue de la base no debe de estar muy marcado, aunque sí debe realizarse con exactitud, puesto que determina la orientación del metatarsiano. Cuando se empiece a pegar, no olvidarse de la pequeña lengüeta situada cerca de la metatarsofalángica; ya que origina una cara para el apoyo de la cabeza del metatarsiano en el suelo. Las pequeñas lengüetas vaciadas se doblan en ángulo recto sobre el reverso de modo que constituyen una polea para el pedio (véase más adelante).

II. Acoplamiento

Las partes constitutivas están ya secas y dispuestas para el montaje.

1. Montaje de A con B (Fig. 18):

Encolar el reverso de B_1' de la pieza A y pegarlo sobre B_1 de B haciendo que coincidan con exactitud. De este modo queda constituida la articulación tibiotarsiana.

2. Montaje de C con D (Fig. 19):

Encolar el reverso de C_1' de D y pegarlo en la parte de C_1 que le corresponde. De esta manera queda constituida la articulación escafofocuboidea,

prolongada por delante por la escafofocuneal.

3. Montaje del conjunto AB con el conjunto CD (Fig. 20: vista superior; Fig. 21: vista inferior).

Encolar el reverso de B_1' de C y pegarlo con exactitud sobre toda la cara de B_1 de B, lo que conforma el complejo articular subastragalino-meditarsiano (eje de Henke). De este modo quedan constituidos todo el retropié y el tobillo (Fig. 22: vista anteroinferior).

4. Acoplamiento de los tres primeros metatarsianos.

Poner F_1' , cuyo anverso se ha embadurnado de cola previamente, sobre una tablilla. Colocar sucesivamente, por encima, el anverso de la base de los tres metatarsianos haciendo que coincidan con exactitud con la zona que les corresponde en F_1' . La base de cada uno de los metatarsianos debe estar en contacto con la de su vecino. Encolar el reverso de F y recubrir en la base de los metatarsianos ya pegados sobre F_1' . Fijar el todo con alfileres y dejar secar el tiempo suficiente para que las tres capas de cartón formen un conjunto sólido. De esta manera quedan constituida la parte interna de la interlínea de Lisfranc.

5. Acoplamiento de los dos últimos metatarsianos.

Hacer lo mismo que en el caso anterior con E_1' (antes, marcar el rombo 1 en el reverso), la base de los VI y V metatarsianos y E. De este modo queda constituida la parte externa de la interlínea de Lisfranc.

6. Montaje de la articulación de Lisfranc.

Encolar la zona rayada del anverso de E y pegarla en C_1' en la cara inferior de C, fijándola con fuerza con alfileres para evitar cualquier desplazamiento durante el secado. Realizar lo mismo con F, que se pega sobre D_1 en la cara inferior de D.

III. Instalación de los ligamentos y tendones

Antes de comenzar con esta instalación, se deben pegar los puntos de inserción y las correderas:

- reverso de B_1' sobre B_1 , el pliegue apenas está marcado. Esta pieza constituye las inserciones posteriores de los músculos plantares (pequeños cuadrados perforados);
- anverso de C_1' (doblado en ángulo agudo) sobre la zona rayada de C_1 . Esta zona proporciona la inserción al pedio (se han colocado cinco porciones en vez de cuatro a propósito);
- pegar sobre la pieza A las correderas del tibial anterior (TA), del peroneo anterior (PA), del tibial posterior (TP) y de los peroneos laterales (PLC, PLL), correderas recortadas de la lámina IV. Cuidado con el sentido de los pliegues;
- pegar en la pieza B las correderas del tibial poste-

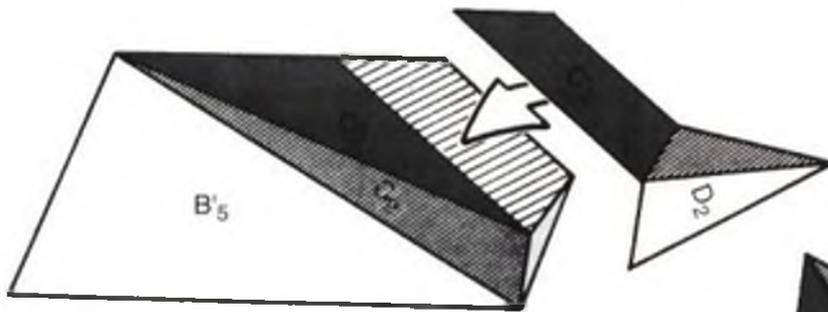


Fig. 19

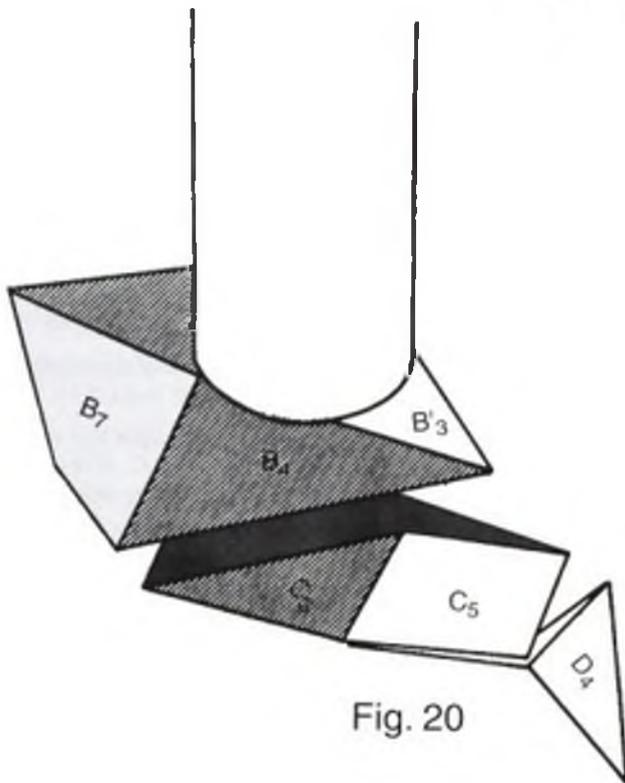


Fig. 20

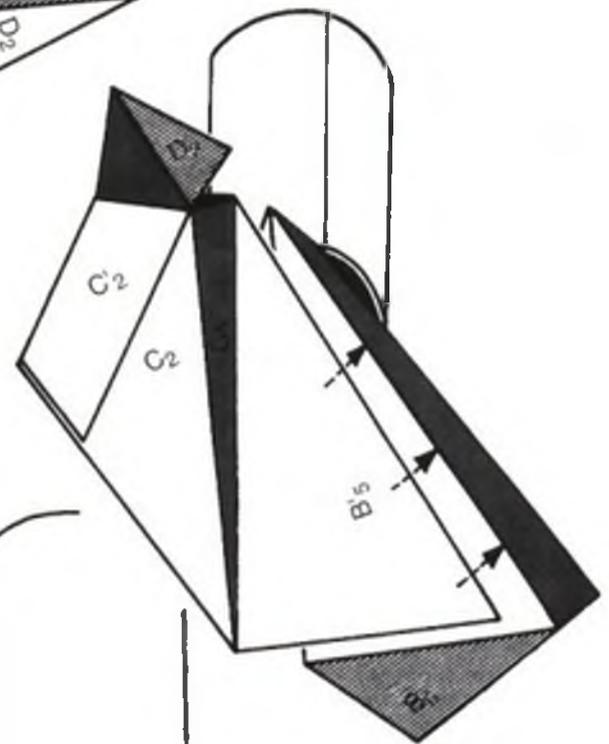


Fig. 21

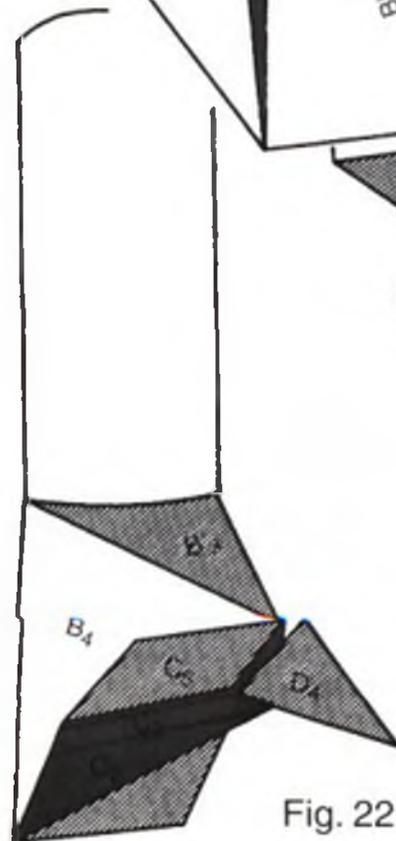


Fig. 22

rrior (TP) y de los peroneos (PLC, PLL.) recortadas de la lámina V:

- pegar en la pieza C la corredera del peroneo lateral largo (PLL.) recortada de la lámina V.

1. Instalación de las gomas

Estas gomas representan los ligamentos y el tono muscular de base.

Con las gomas planas se construyen cinco ligamentos y un músculo de la manera siguiente:

Clavar un alfiler en el extremo de la goma y, a continuación, colocarla en el lugar del modelo que le corresponde. Tensándola moderadamente, aproximarla a su segundo punto de inserción; cortarla dejando 3 o 4 cm de sobra para poder adecuarla a posteriori, y clavar el segundo alfiler en dicho punto atravesando la goma. Para que quede sujeta, los alfileres deben atravesar las paredes adyacentes de la misma arista:

- a) en la cara inferior del tarso (Fig. 27; vista inferointerna) entre los rombos 1 de E₁ y 2 de B₁;
- b) a lo largo del borde interno del tarso (Fig. 27) entre los rombos 3 de D₁ y 4 de B₁;
- c) en la cara externa del tarso (Figs. 23 y 26) entre los rombos 5 de C₁ y 6 de B₁, en la parte media de la corredera de los peroneos;
- d) en el borde externo de la garganta del pie (Figs. 23 y 26) entre los rombos 7 de C₁ y 8 de A₁;
- e) en el borde interno de la garganta (Fig. 27) entre el punto 9 de D₁ que también fija el PLL y el rombo 10 de A₁;
- f) en la cara posterior del tobillo (Figs. 25, 26 y 27) entre los rombos 11 de B₁ y 12 de A₁. Esta goma elástica representa el tono de los extensores, específicamente el del tríceps cuyo tendón no se ha incluido.

Con la goma elástica cuadrada se fabricarán los músculos plantares y dorsales:

- a) los músculos plantares (Figs. 26 y 27): cortar cinco tiras de 30 cm y hacer un nudo grueso en uno de los extremos. Pasar cada tira por un agujero cuadrado de B₁ de arriba abajo de modo que el nudo quede en la parte superior. El otro extremo de cada tira se pasa hacia abajo con un alfiler, por el agujero situado en la cara plantar del metatarsiano correspondiente. La tensión se regulará más tarde gracias a la dificultad de la goma elástica para deslizarse por los agujeros que, por lo tanto, se deben recortar un poco más estrechos que el calibre de las gomas elásticas;
- b) los músculos dorsales (Figs. 24 y 25): cortar cinco

tiras de 25 cm y hacer un nudo grueso en uno de los extremos. Pasar cada tira de abajo arriba por un agujero de C₁, de tal modo que el nudo quede en la parte inferior. Pasar el otro extremo por la pequeña lengüeta del metatarsiano correspondiente (este agujero, más amplio, facilita el deslizamiento) y, a continuación, pasarla por el agujero (más estrecho) de la cara dorsal del mismo metatarsiano.

Regular la tensión de todas estas gomas no es tarea fácil y sólo se consigue con intentos sucesivos que ponen de manifiesto los factores de equilibrio de la bóveda plantar. Por último, los extremos libres de las gomas se repliegan al interior del metatarsiano correspondiente.

2. Instalación de los cordoncillos

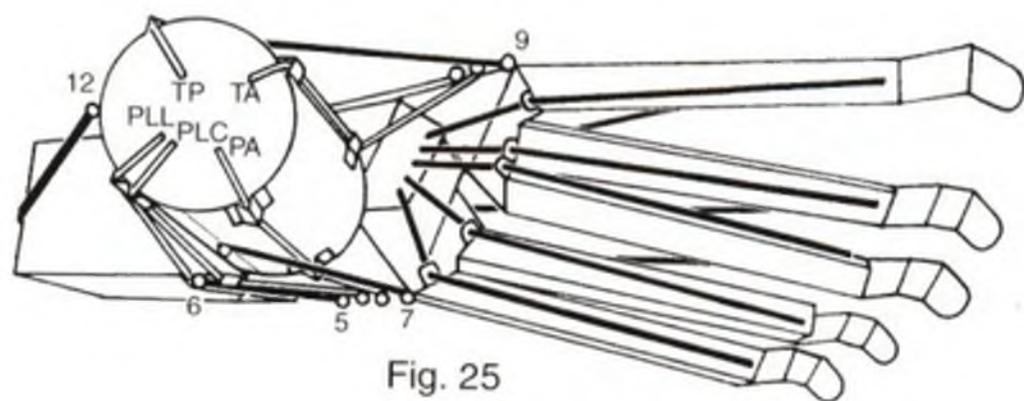
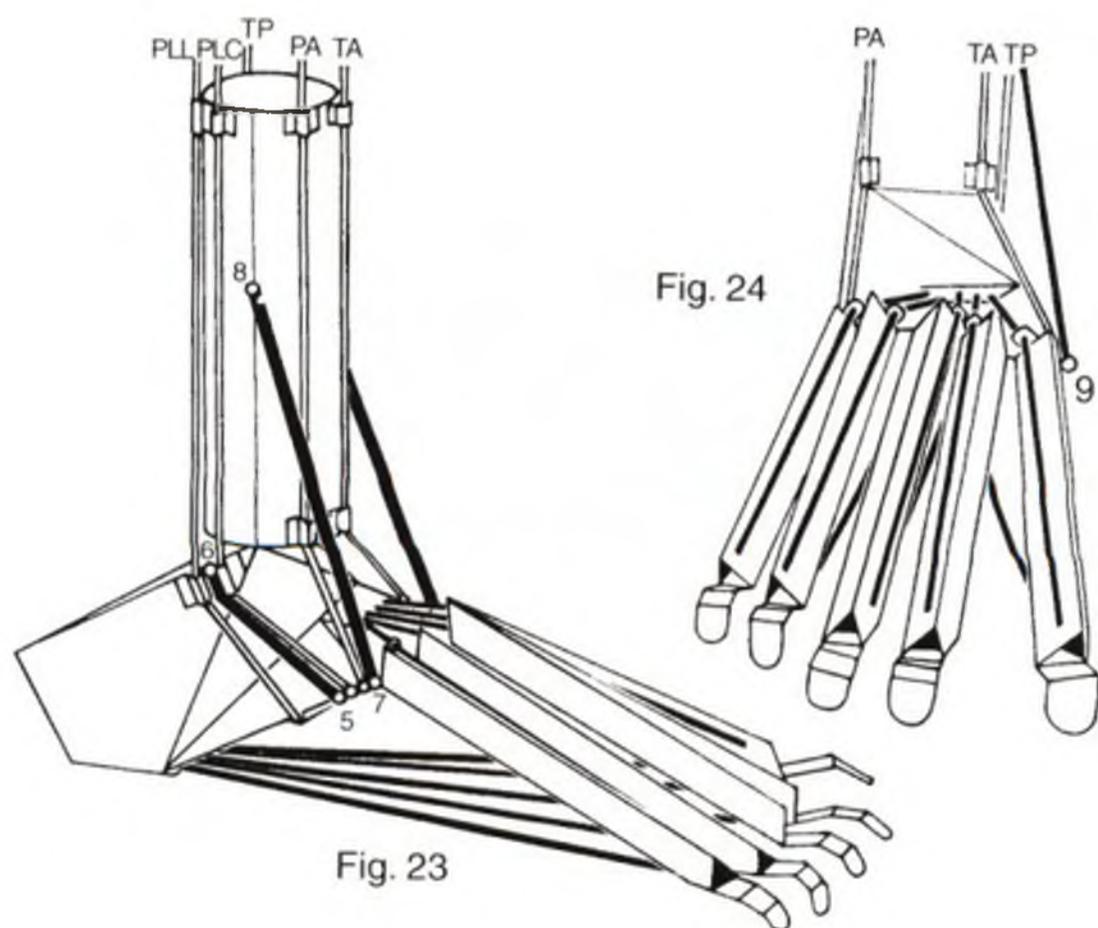
Representan los tendones.

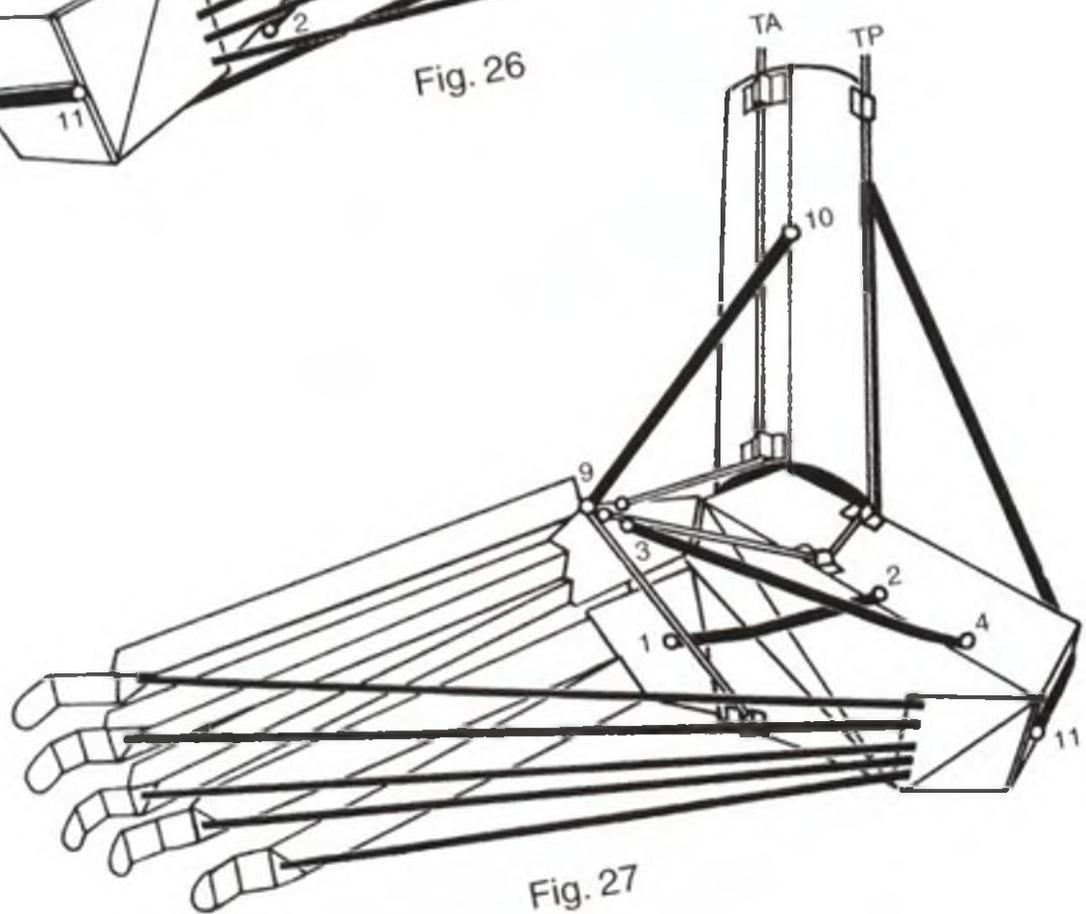
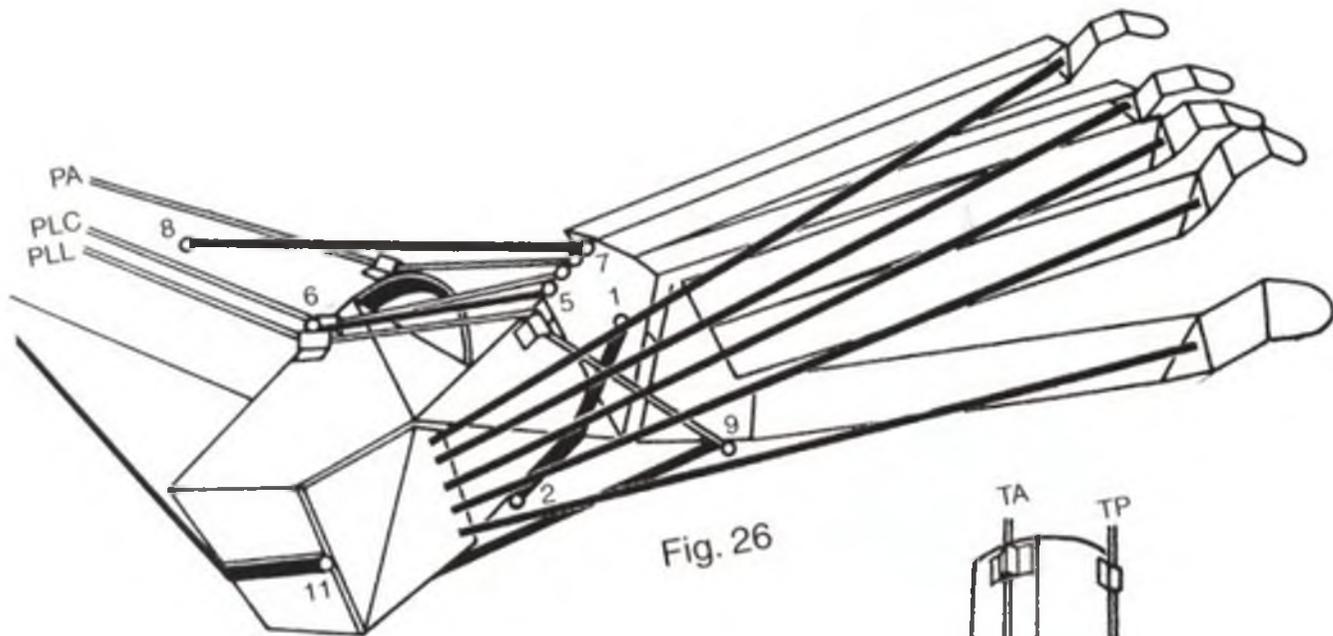
La inserción de cada tendón se fija mediante un alfiler que atraviesa el cordoncillo por encima de su nudo de sujeción. Con anterioridad, se ha pasado el cordoncillo por las correderas que le corresponden:

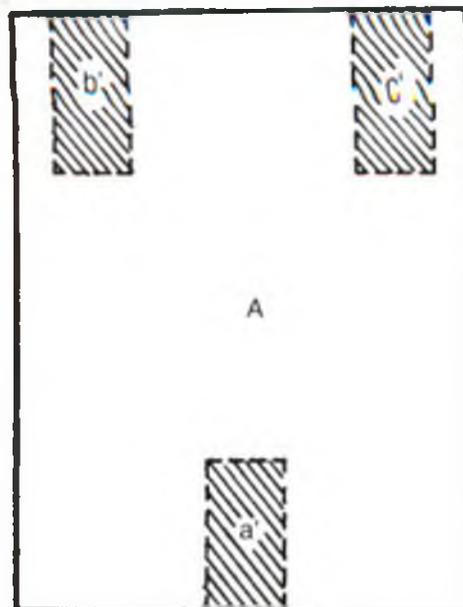
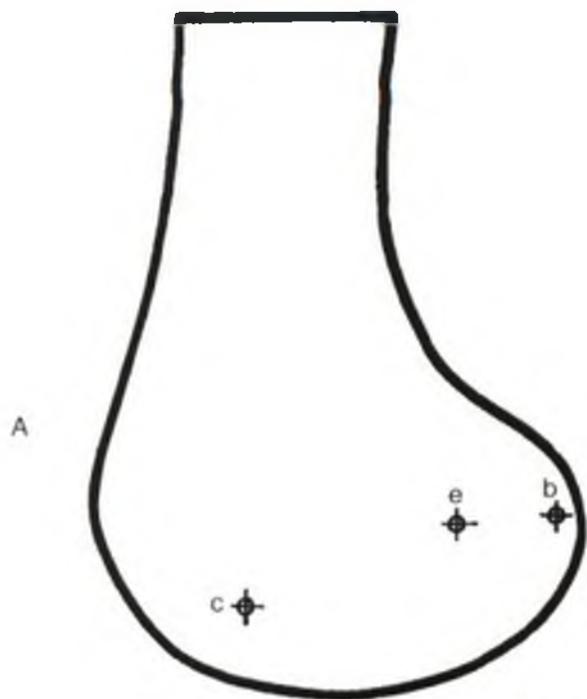
- a) el tibial anterior (TA) que en este modelo se confunde con el extensor propio del dedo gordo, pasa por dos correderas de A₁ antes de fijarse en D₁ (Fig. 27);
- b) el peroneo anterior (PA), que se confunde con el extensor común de los dedos, pasa por dos correderas en A₁ y se fija en C₁ (Figs. 23 y 26);
- c) el tibial posterior (TP) pasa por una corredera de A₁ y por dos de B₁ antes de fijarse en D₁ (Fig. 27);
- d) el peroneo lateral corto (PLC) pasa por una corredera de A₁ de B₁ antes de fijarse en C₁ (Figs. 23 y 26), también se puede fijar en V, muy cerca de la articulación;
- e) el peroneo lateral largo (PLL) pasa también por una corredera de A₁ y de B₁ (Fig. 23), y por otra situada en el borde externo de C₁ (Fig. 26) para fijarse en el punto 9 de D₁ (Fig. 27). También se puede fijar en I, muy cerca de la articulación.

Utilización:

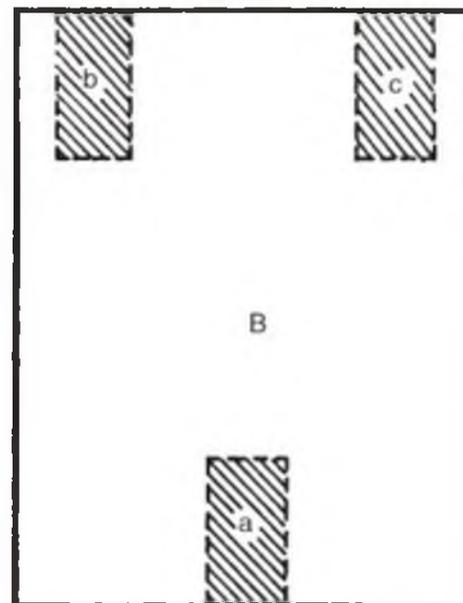
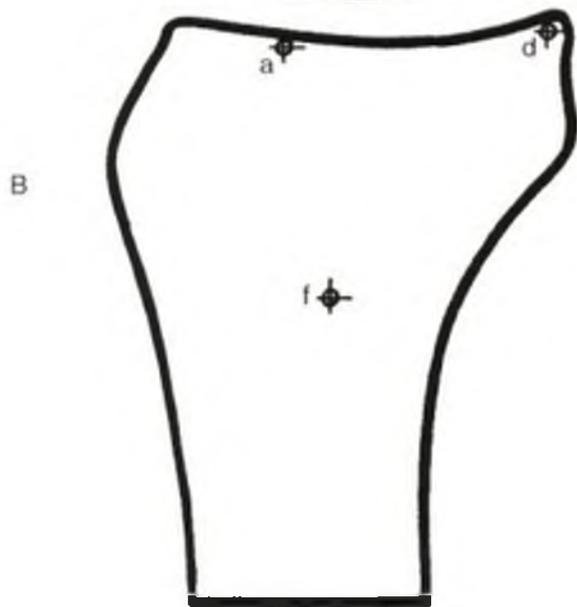
Gracias a las asas anudadas de los extremos libres de cada tendón, la tracción ejercida sobre uno o varios de ellos permite la demostración de casi todos los movimientos del pie y de todas las orientaciones de la bóveda. Aplastando la bóveda con la pierna sobre un plano duro, se obtiene un pie plano valgo típico. El aplastamiento del arco interno provoca la separación de los dedos del pie, la flexión plantar de los metatarsianos los aproxima. De este modo, se pueden multiplicar los ejemplos de acciones fisiológicas y de trastornos patológicos susceptibles de reproducirse por este modelo.



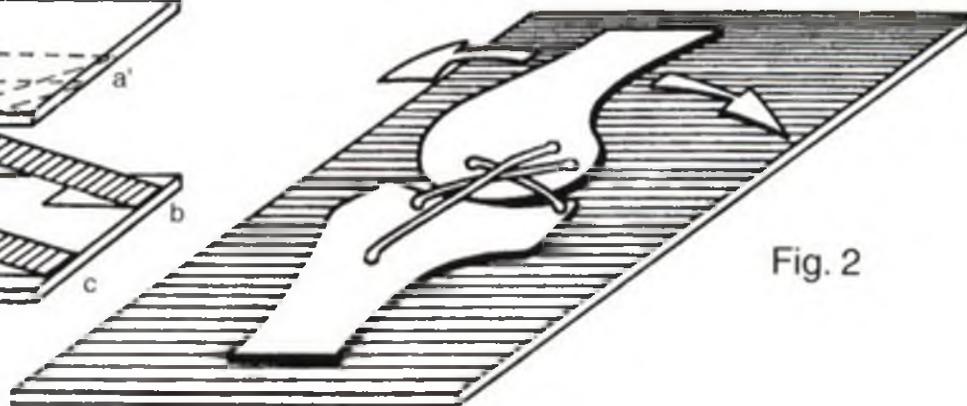
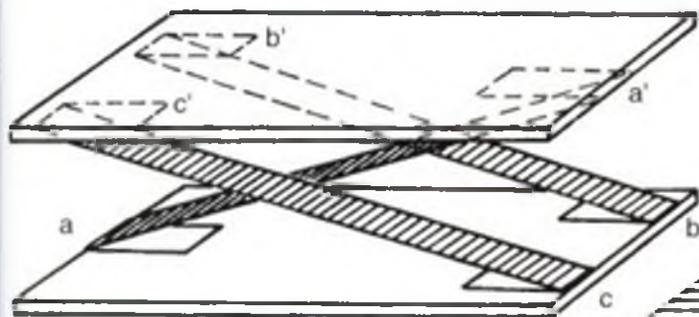




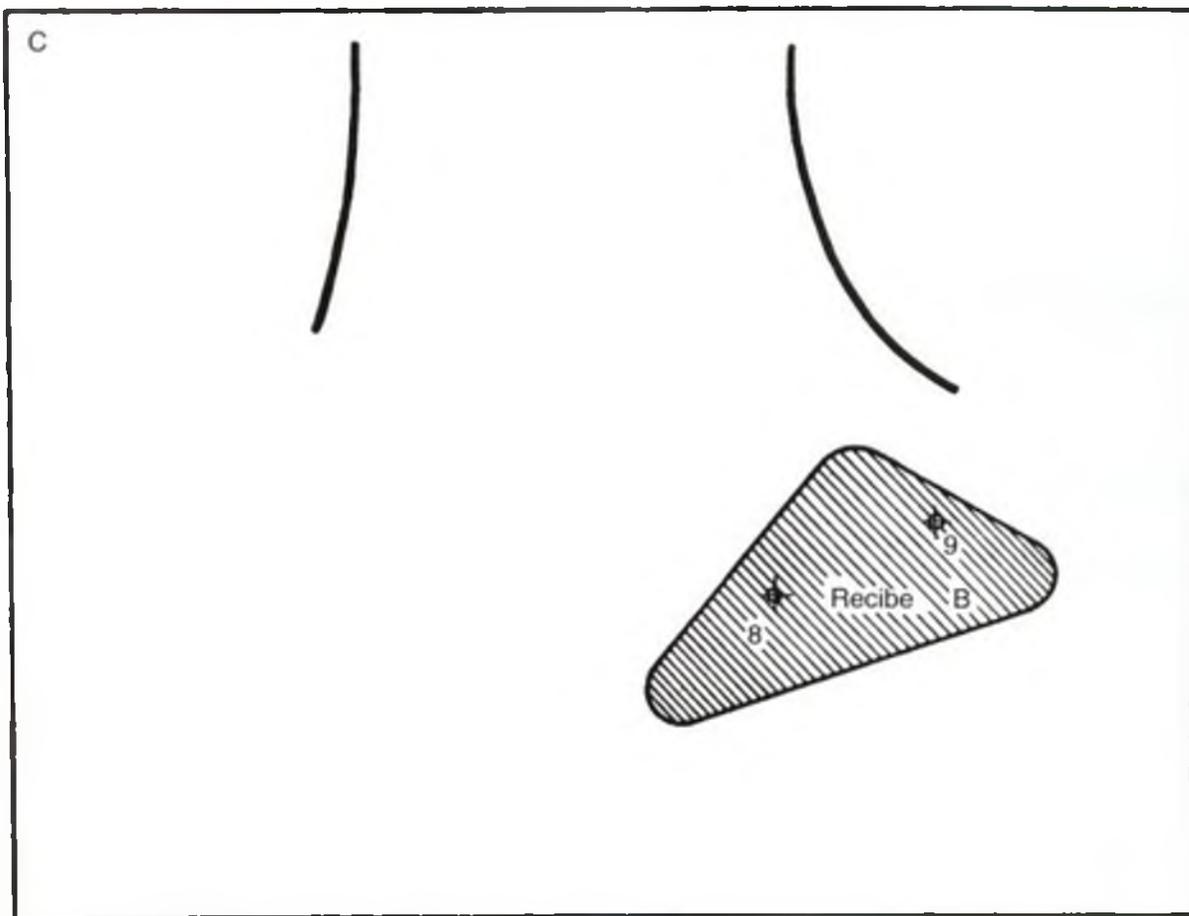
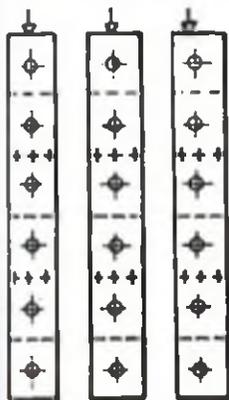
Modelo I



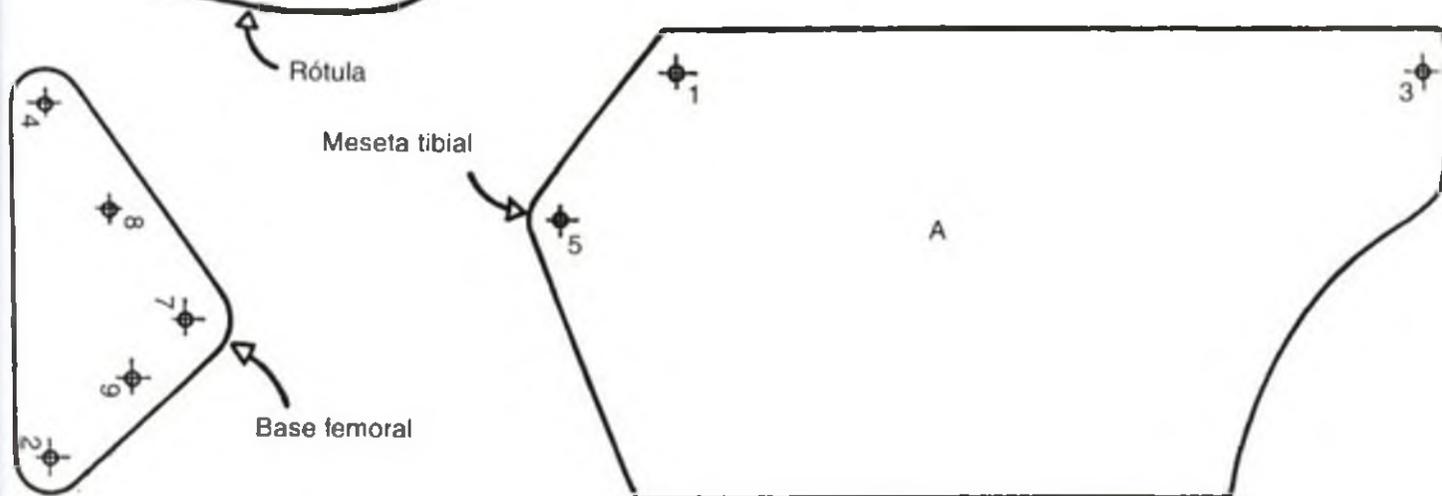
Modelo III



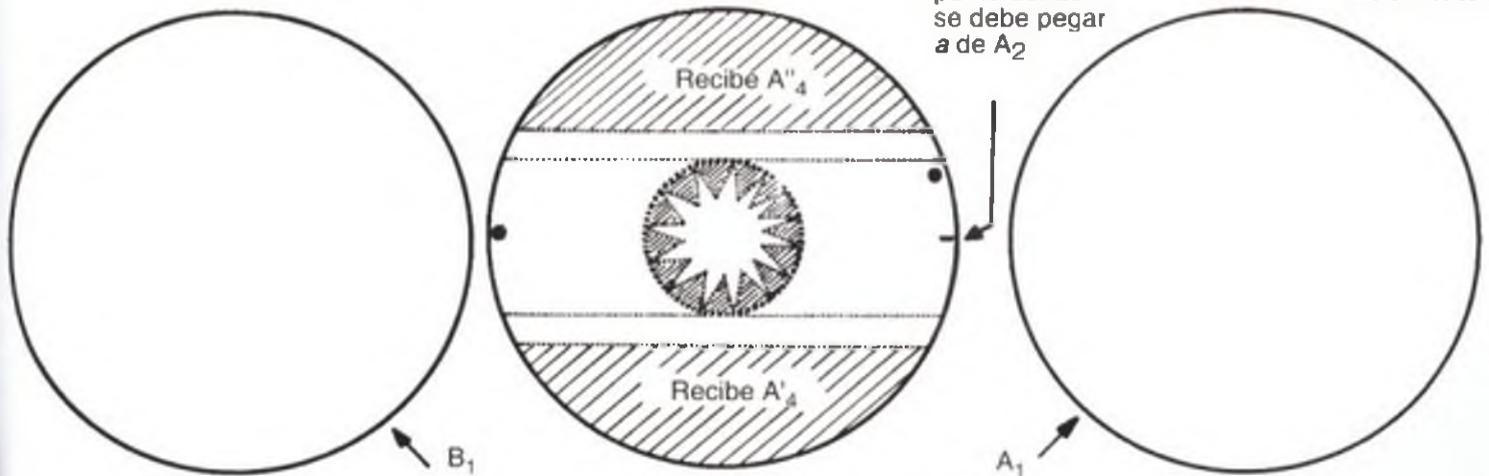
Cuñas de 6 arandelas



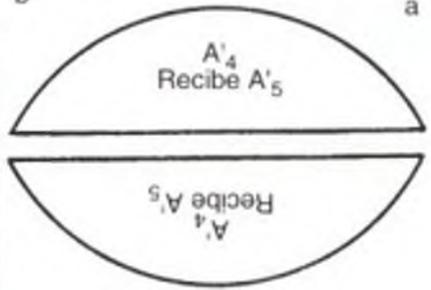
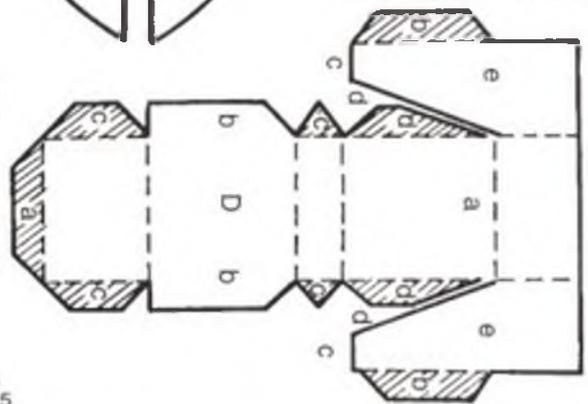
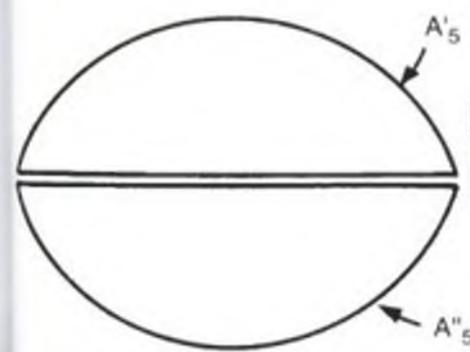
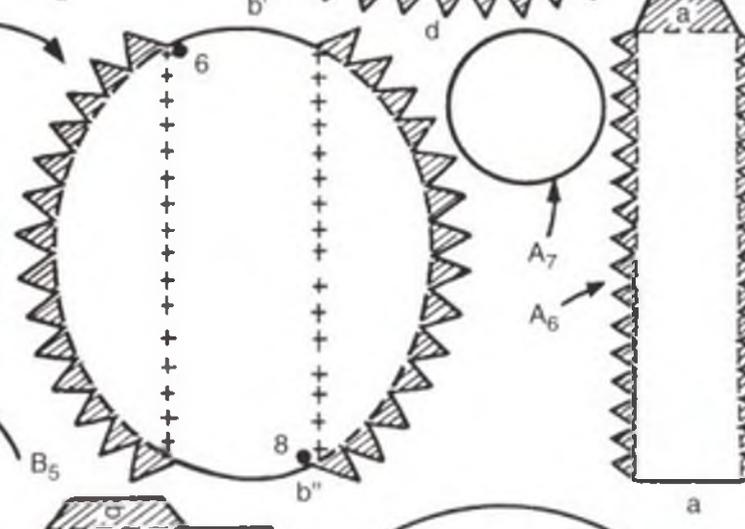
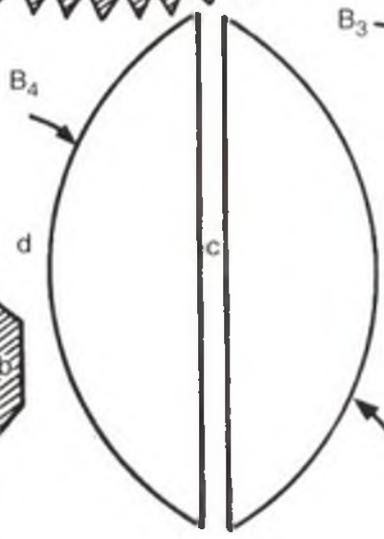
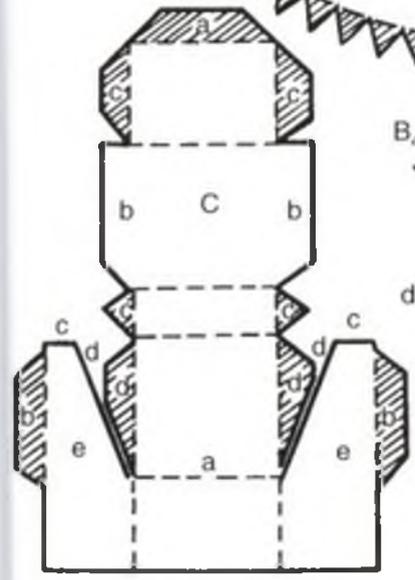
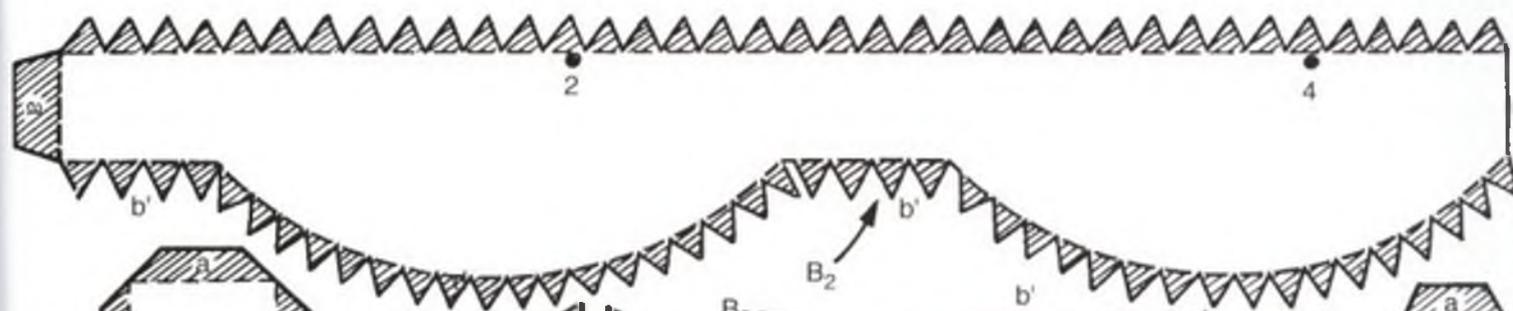
Modelo II

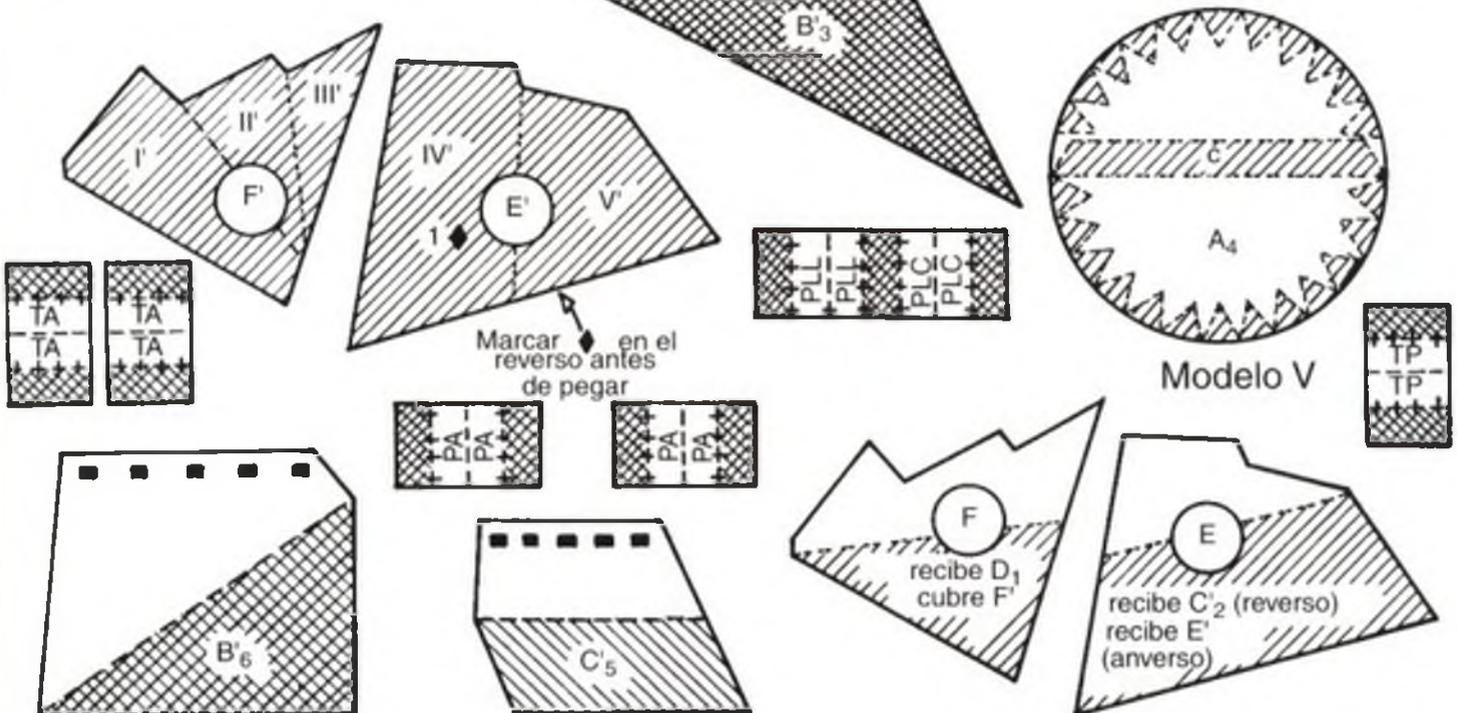
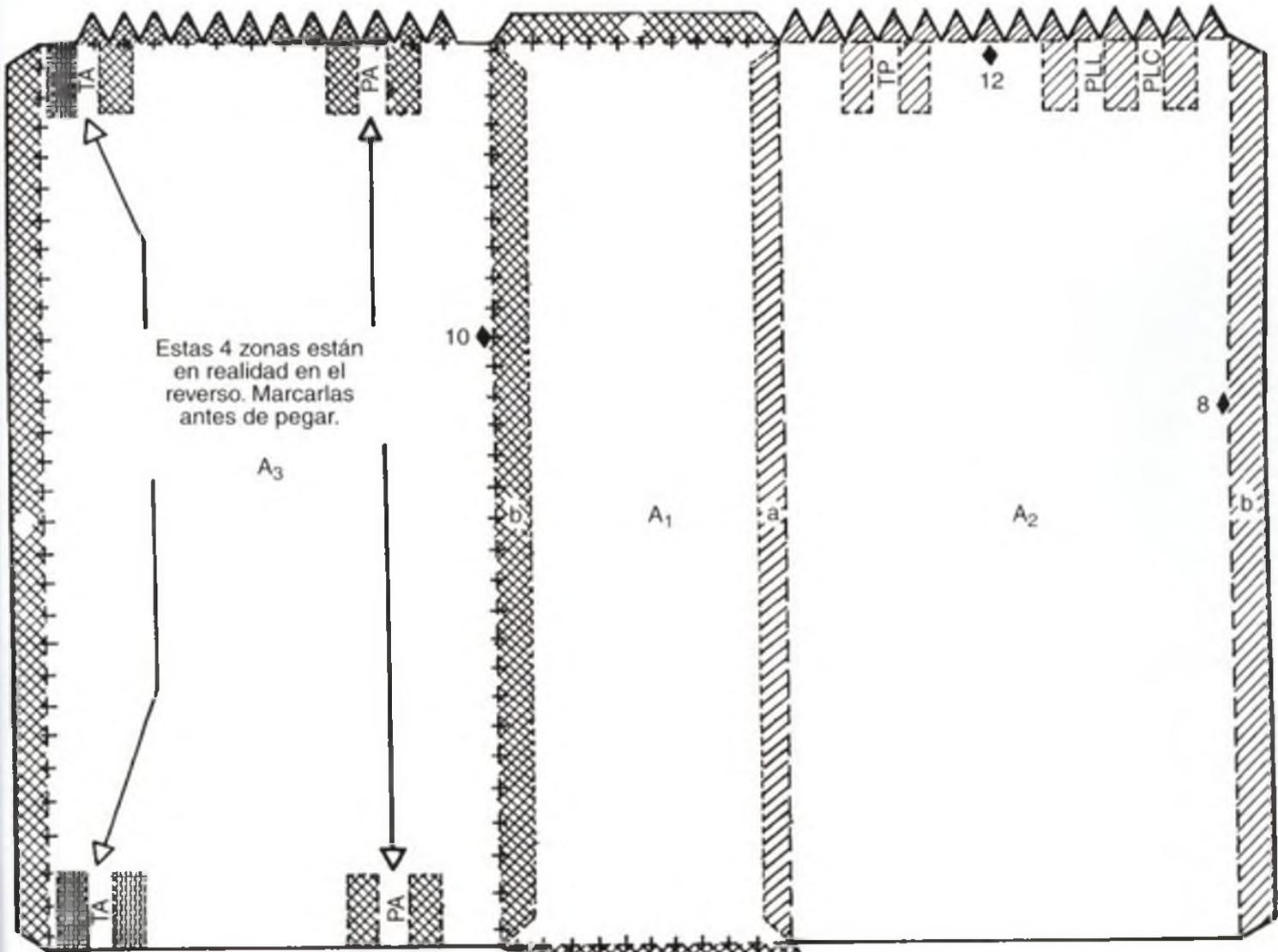


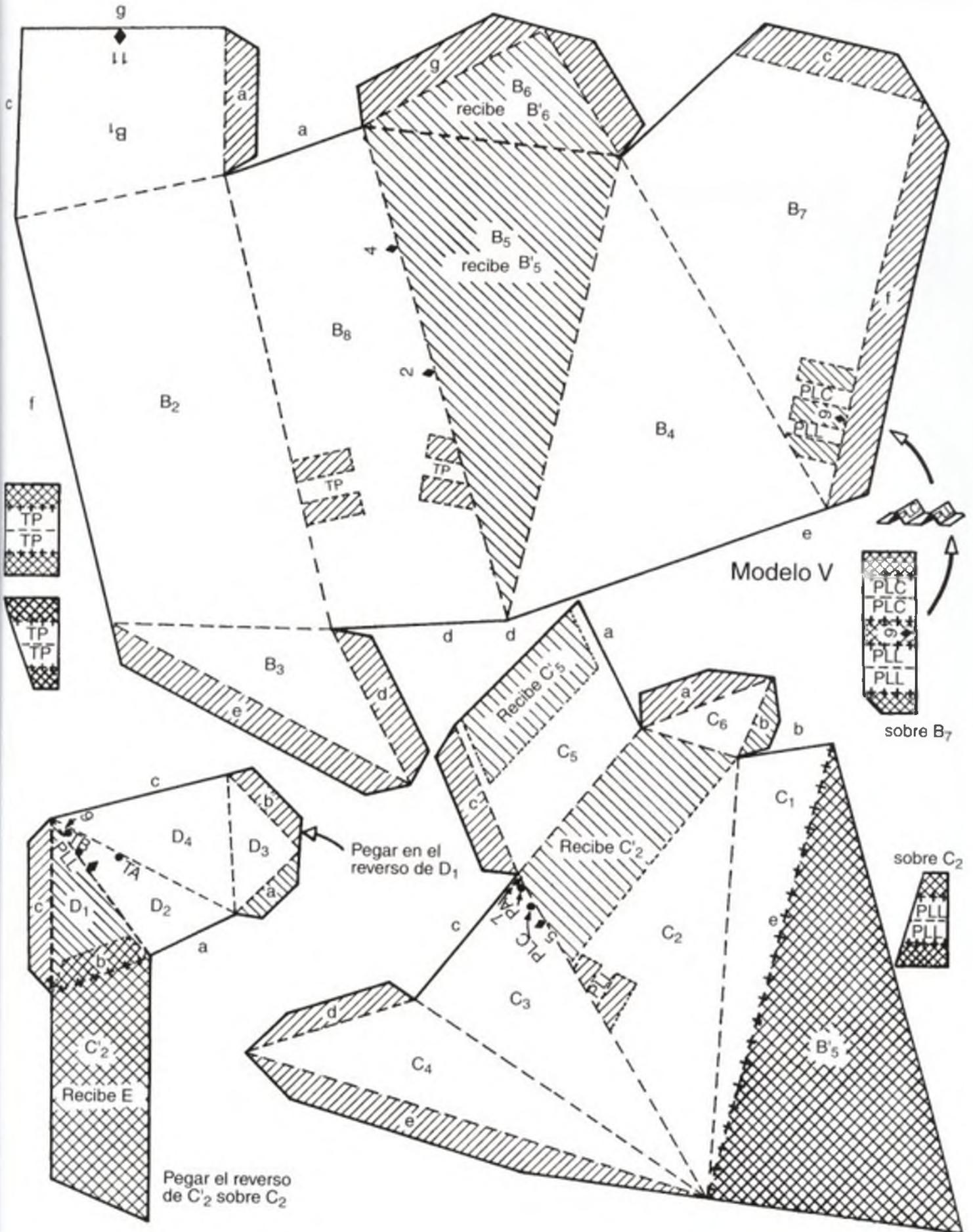
punto donde se debe pegar a de A₂

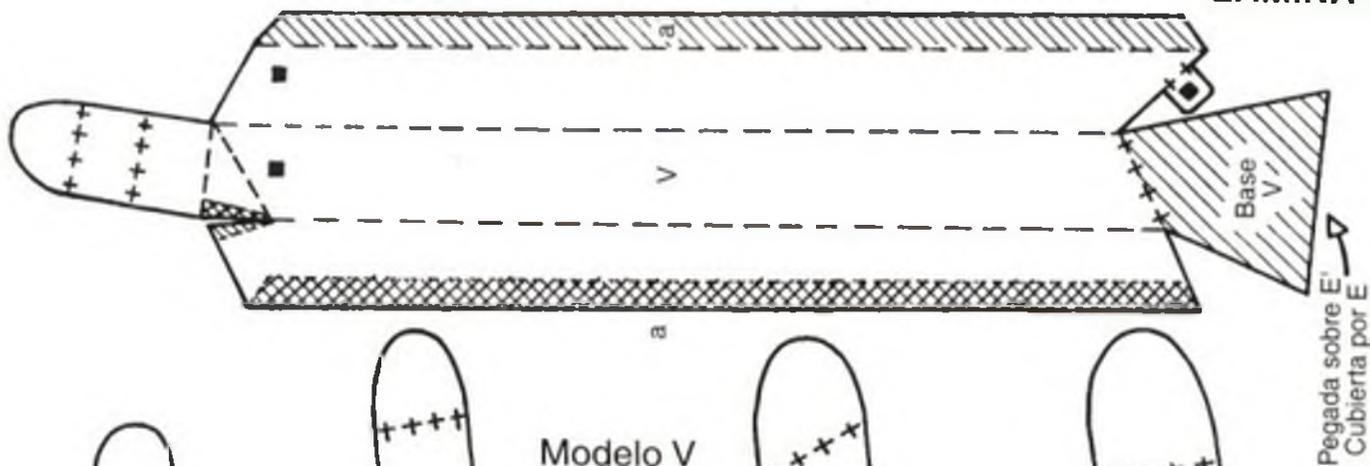


Modelo IV

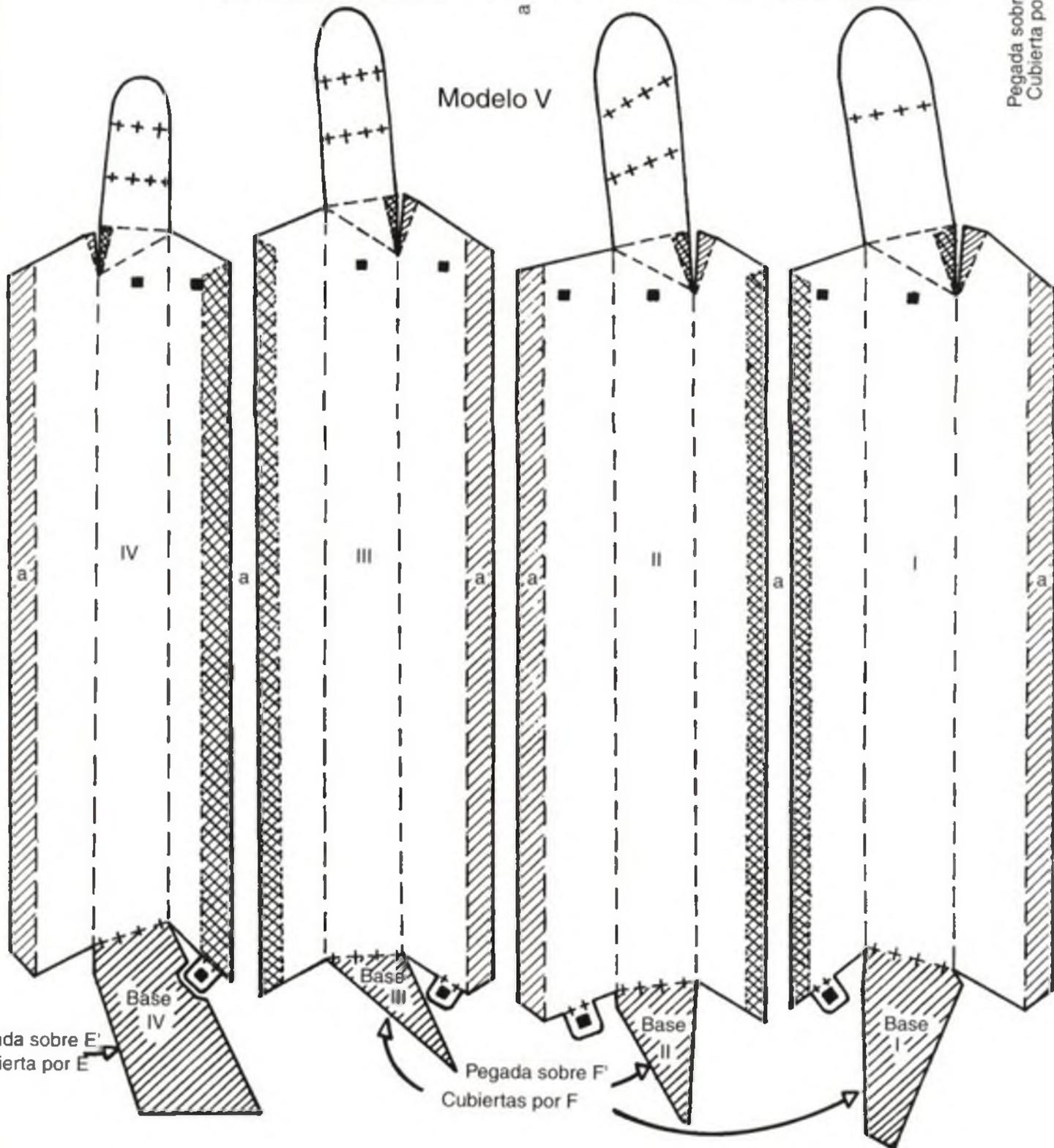








Modelo V



Pegada sobre E' Cubierta por E

Pegada sobre F' Cubiertas por F

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

1° m	Primer metatarsiano (pág. 205)	Ecd	Extensor común dedos (págs. 207, 209, 213, 215, 233)
2° m	Segundo metatarsiano (pág. 205)	Fd	Expansiones directas del cuádriceps (pág. 129)
3° m	Tercer metatarsiano (pág. 205)	Ei	Espina Innominada (pág. 31)
4° m	Cuarto metatarsiano (págs. 197, 203, 205)	Fil	Espina iliaca (págs. 57, 67)
5° m	Quinto metatarsiano (págs. 197, 203, 205, 233)	EIP	Escotadura isquiopúbica (pág. 33)
A	Aductor mayor (págs. 61, 69)	EP	Escotadura iliopúbica (pág. 33)
A'	Haz inferior del Aductor mayor o tercer aductor (págs. 53, 61)	Ep	Espolón cervical inferior de Merkel (pág. 31)
Abd	Abducción (págs. 171, 197, 205)	Epg	Extensor propio del dedo gordo (págs. 207, 209, 213, 215, 221, 231, 235)
Adb 1	Abductor oblicuo (pág. 211)	esc	Escafoides (págs. 197, 203, 205, 230, 231)
Adb 2	Abductor transverso (pág. 211)	Exa	Expansión aponeurótica del glúteo menor (pág. 37)
Adb 5	Abductor del 5° dedo (pág. 211, 213, 233, 235)	F	Flexión (págs. 69, 205)
Adb g	Abductor del dedo gordo (pág. 235)	F.p	Flexor propio del dedo gordo (págs. 211, 213, 215, 231)
Ad	Abductores (pág. 49)	FC.5	Flexor corto del 5° dedo (pág. 211)
Adu	Abducción (pág. 171, 197, 205)	FC.p	Porción interna del flexor corto (pág. 211)
Adu g	Abductor del dedo gordo (pág. 211, 213, 233, 235)	Fd	Fosa digital (pág. 35)
AG	Aponeurosis glútea (pág. 57)	Fd	Flexor de los dedos (págs. 209, 211, 213, 215, 221, 241)
AM	Aductor mediano (págs. 51, 63, 67, 69)	FDP	Flexor plantar corto (págs. 209, 211, 213, 235)
Am	Aductor menor (pág. 63)	Fs	Fosa supratroclear (pág. 99)
astr	Astrágalo (págs. 197, 205, 230, 231, 233)	Fsc	Fondo de saco subcuadricipital (págs. 99, 101, 109)
B	Bíceps femoral (págs. 53, 61, 151, 153)	Fsr	Fondos de saco retrocondíleos (pág. 101)
B'	Porción corta del bíceps (pág. 153)	Ft	Flexores de la tibiotarsiana (pág. 241)
C	Ceja cotiloidea (págs. 27, 29, 33)	G	Glúteo mayor (págs. 53, 55, 57, 59, 61, 65)
CC	Cuadrado crural (págs. 61, 65)	g	Garganta troclear (pág. 91)
C'	Eje del cótilo (pág. 27, 29)	G'	Haces más elevados del glúteo mayor (pág. 53)
C ₂	Segunda cuña (págs. 203, 205)	GE	Glenoide externa (págs. 87, 103, 105)
C ₃	Tercera cuña (págs. 203, 205)	Ge	Gemelos (págs. 99, 151)
Ca	Cápsula articular (págs. 33)	Gex	Gemelo externo (pág. 219)
calc	Calcáneo (Págs. 197, 231, 233)	GI	Glenoide interna (págs. 87, 103)
Cco	Cáscaras condíleas (pág. 99)	Gin	Gemelo interno (pág. 219)
Cf	Eje del cuello femoral (págs. 27, 29)	GM	Glúteo mediano (págs. 33, 49, 53, 55, 59, 65, 67)
CM	Cintilla Maissiat (págs. 57, 119, 129)	Gm	Glúteo mediano (págs. 37, 51, 53, 54, 67, 71)
CP	Cavidad posterior (pág. 33)	ha	Haz anterior púbico (pág. 33)
Cr	Crural (pág. 147)	Hi	Huella iliaca (pág. 35)
cub	Cuboides (págs. 197, 203, 205, 233, 235)	hi	Haz iliopretrocantiano (pág. 37)
D	Eje diafisario (págs. 27, 29)	hm	Haz medio (pág. 33)
DXi	Deltoides glúteo (pág. 57)	hp	Haz posterior isquiático (pág. 33)
E	Extensión (págs. 69, 205)	hs	Haz mayor iliopretrocantéreo (pág. 37)
E	Cóndilo externo (pág. 91)	I	Iliaco (pág. 51)
e	Escotadura intercondílea (pág. 91)	I	Cóndilo interno (pág. 91)
Ec	Espina ciática (pág. 31)		
Ec	Expansiones cruzadas del cuádriceps (pág. 129)		

lc=C	Primera cuña (págs. 203, 205)	Ps	Psoas (págs. 51, 69)
Is	Interóseos (págs. 211, 215)	Psp	Plica suprapatellaris (pág. 101)
Isd	Interóseos dorsales (págs. 209, 211)	R	Rótula (págs. 87, 103)
Isp	Interóseos plantares (págs. 209, 211)	r	Ranura cóndilo troclear (pág. 91)
IT	Isquiotibiales (pág. 53)	RA	Recto anterior (págs. 32, 51, 147)
L.I	Lumbricales (pág. 211)	Re	Rodete cotiloideo (págs. 27, 29, 33)
LB	Ligamento iliofemoral o de Berlín (págs. 37, 39)	Rech	Rampas capsulares de Chevrier (pág. 99)
LCAE	Ligamento cruzado anterexterno (págs. 99, 105, 129)	RE	Rotadores externos (págs. 145, 153)
LCPI	Ligamento cruzado posterointerno (págs. 99, 105, 129)	RI	Rotadores internos (págs. 67, 151, 153)
Lf	Lámina fibrosa (pág. 37)	Ri	Recto interno (págs. 51, 61, 63, 119, 151, 153)
Lg	Longitud gemelos (pág. 217)	S	Cuadrado carnoso Sylvius (pág. 211)
Lif	Ligamento isquiofemoral (págs. 37, 39)	Sa	Sartorio (págs. 51, 119, 151, 153)
Litt	Ligamento iliotendinopretrocántero (pág. 33)	SaE	Capa anterior de las fibras externas del sóleo (pág. 219)
Lpf	Ligamento pubofemoral (pág. 37)	Sal	Capa anterior de las fibras internas del sóleo (pág. 219)
LR	Ligamento redondo (pág. 33)	SLA	Subluxación anterior (pág. 145)
Lr	Fondo saco laterrotuliano (pág. 109)	SLP	Subluxación posterior (pág. 141)
Is	Longitud sóleo (pág. 217)	SM	Semimembranoso (págs. 53, 60, 119, 151, 153)
LT	Ligamento transverso del acetábulo (pág. 33)	Sol	Sóleo (pág. 221)
LL.E	Ligamento lateral externo (págs. 103, 105, 115, 129)	Sp	Capa posterior del sóleo (pág. 219)
LLI	Ligamento lateral interno (págs. 103, 105, 115, 129)	Ss	Músculos sesamoideos (pág. 215)
Me	Menisco externo (págs. 99, 103, 105, 107, 129)	ST	Semitendinoso (págs. 53, 61, 151, 153)
Mi	Menisco interno (págs. 99, 103, 105, 107, 129)	Supin.	Supinación (pág. 197)
Ml	Media luna articular (págs. 27, 29)	T	Triceps (págs. 207, 211, 215, 220)
Msc	Músculo subcrotal (pág. 109)	T1	Haz directo del manguito cilíndrico de la cápsula articular (pág. 33)
Obe	Obturador externo (págs. 49, 61, 65, 67)	T2	Haz reflejo (pág. 33)
Obi	Obturador interno (págs. 61, 65, 71)	T3	Haz recurrente (pág. 33)
Op.5	Oponente del 5º dedo (pág. 211)	TA	Tibial anterior (págs. 203, 213, 215, 225, 231)
Pec	Pectíneo (págs. 51, 61, 63, 65)	Tdd	Traves de dedo (pág. 213)
PA	Peroneo anterior (págs. 213, 215, 223)	TF	Trasfondo cotiloideo (págs. 27, 29)
Pd	Pedio (pág. 209)	TFI.	Tensor de la fascia lata (págs. 51, 55, 57, 59, 67, 69, 71, 129, 141, 145, 153)
Pe	Carrilla tibial externa (peronea) (pág. 175)	TG	Tubérculo de Gerdy (pág. 57)
Pl	Psoasiliaco (págs. 37, 51)	Ti	Carrilla tibial interna (pág. 175)
Pif	Plica infrapatellaris (pág. 101)	Tma	Trocanter mayor (pág. 35)
PLC	Peroneo lateral corto (págs. 203, 213, 215, 221, 223, 225, 233)	Tme	Trocanter menor (pág. 35)
PLL	Peroneo lateral largo (págs. 189, 203, 213, 215, 221, 223, 225, 233, 235)	Tp	Tibial posterior (págs. 175, 189, 195, 213, 215, 235)
Pm	Piramidal (págs. 49, 55, 65, 71)	Tp	Tensores plantares (pág. 241)
Pmp	Plica media patellaris (pág. 101)	Tr	Tendón recurrente del recto anterior (pág. 37)
Pop	Poplíteo (págs. 99, 103, 153)	Ts	Tienda del ligamento redondo (pág. 145)
Pp	Pliegue perilímico (pág. 33)	VE	Vasto externo (pág. 147)
Pr	Plano tangencial a la ceja cotiloidea (págs. 27, 29)	VI	Vasto interno (pág. 147)
Pron.	Pronación (pág. 197)		



El miembro inferior, campeón de la locomoción

El miembro posterior de los cuadrúpedos ha permanecido el mayor tiempo evolutivo como miembro sustentador y locomotor. La bipedestación consagró totalmente el miembro inferior a la locomoción, aunque trabaja en compresión mientras que el miembro superior trabaja en descompresión. Soporta la pelvis a la vez que es el zócalo del eje flexible del tronco: el raquis.

La cadera, menos móvil que el hombro, es la más estable y más robusta de todas las articulaciones del cuerpo humano, gracias a su par de acoplamiento del 50%. Concentra la mayor potencia muscular; puesto que actúa sobre el gran brazo de palanca del miembro inferior. La rodilla, articulación intermedia, regula tanto la longitud como las capacidades de amortiguación del miembro inferior, con el objetivo de adaptarse a todas las condiciones de la locomoción. Es la articulación del cuerpo más perfeccionada, alternando la estabilidad en extensión con una gran movilidad en flexión. También es la más "alocada" desde el punto de vista mecánico, ya que utiliza soluciones muy ingeniosas que ilustran perfectamente los caracteres de la biomecánica, con sus ejes sin materializar a la par que evolutivos y su juego mecánico integrado en "la construcción", compensado por las "juntas para recuperar el juego", los meniscos. El tobillo, la articulación más sencilla de flexoextensión en apariencia, recurre a la estructura de dos huesos de la pierna para combinar la estabilidad en flexión y la estabilidad en extensión. Se integra en el conjunto más complejo de las articulaciones del tarso, consagradas a la adaptación del apoyo plantar en terrenos irregulares. Se pueden modelar mediante un cardán heterocinético que permite los movimientos de everción-inversión del pie. Aunque el pie humano no cuenta con las ventajas del pie del mono, es decir, un pulgar capaz de oponerse, le permite no sólo andar, correr y saltar, sino trepar por paredes rocosas, nadar...

La inestabilidad estructural del edificio de los miembros inferiores a la que le condenó la evolución hacia la bipedestación se ve compensada por el ajuste permanente que realizan los mecanismos nerviosos del equilibrio, lo que explica el enigma planteado por la esfinge de Edipo: "¿Qué criatura anda a cuatro patas por la mañana, a dos patas a medio día y a tres patas por la noche?"

La comprensión del funcionamiento de esta estructura tan relevante provoca una fascinación que el lector no puede ignorar.

