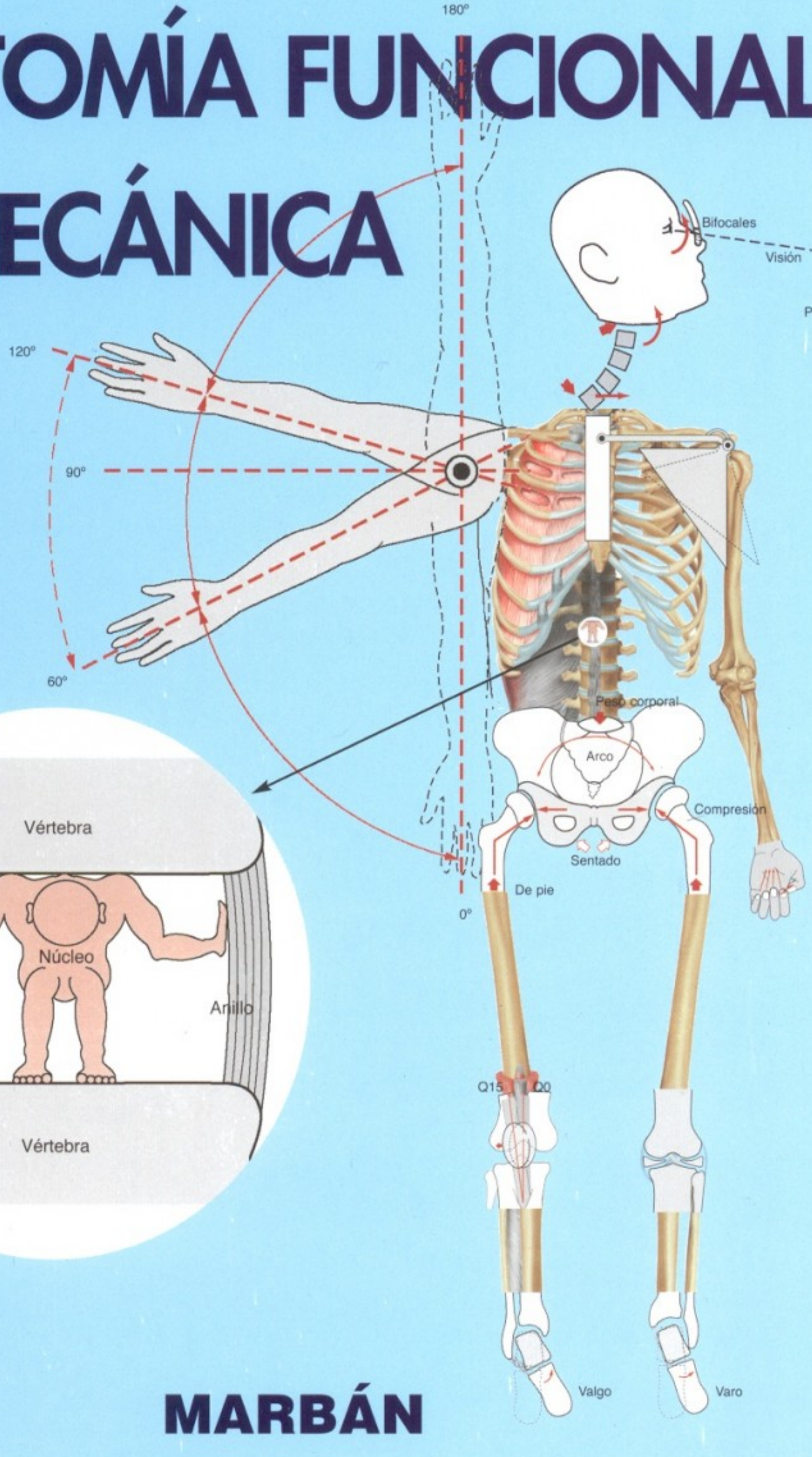
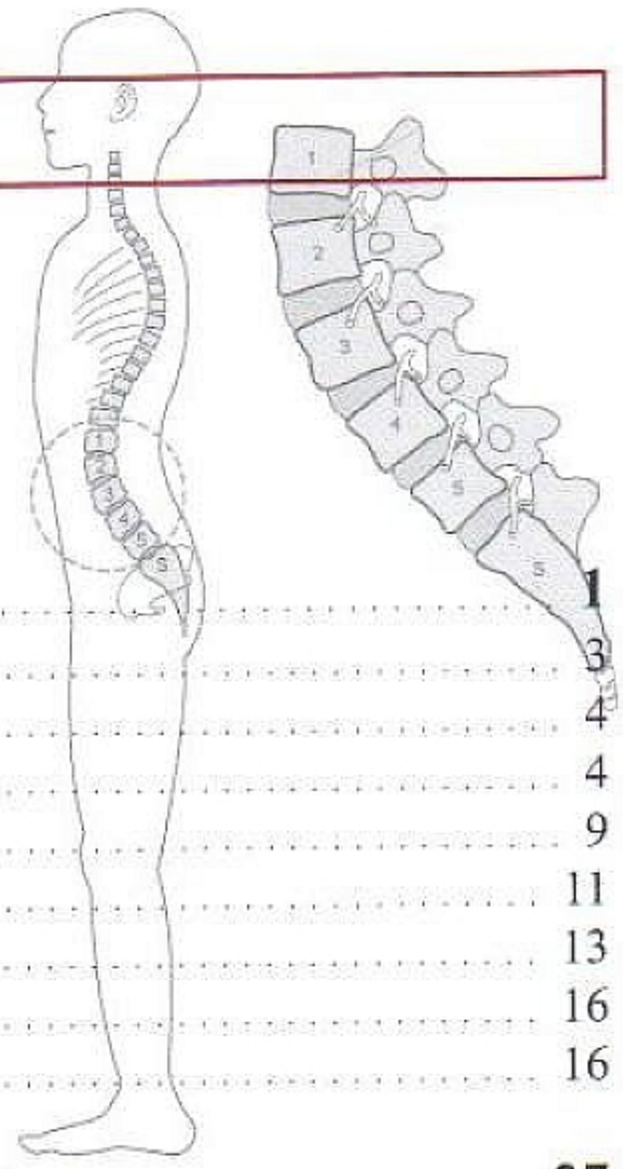
Rene Cailliet

ANATOMÍA FUNCIONAL, BIOMECÁNICA



MARBÁN

CONTENIDO



1. Aspectos de la anatomía funcional **1**

Patrones 3
Función musculoesquelética 4
Tono muscular 4
Contracción muscular 9
Efecto de la tensión en la contracción muscular 11
Características de la contracción muscular 13
Colágeno 16
Articulaciones 16

2. Anatomía funcional de la columna lumbosacra **27**

Estructura y función de la columna 27
Columna estática 27
Columna lumbosacra 27
Columna dinámica 36
Elementos de la columna posterior 43
Función de los músculos en la actividad de la columna 48
Ritmo lumbosacro 53
Función de los ligamentos en la columna 56
Inestabilidad de la columna 58
Estabilidad de la columna estática 62
Anatomía funcional de la patología discal 71
Sistema neurológico de la columna lumbar 74

3. Anatomía funcional de la columna cervical **85**

Complejo cervical superior 85
Ligamentos del segmento occipito-atlanto-axoideo de la columna cervical 90
Complejo cervical inferior 94
Articulación uncovertebral 94
Movimiento de la columna cervical 100
Función de las apófisis unciformes y de las articulaciones de Luschka 102
Inervación del segmento cervical superior 106
Musculatura de la columna cervical 109

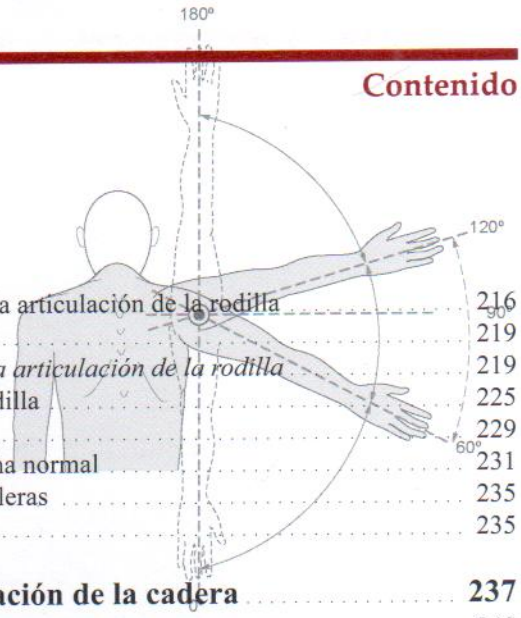
4. Anatomía funcional del hombro **113**

Articulación escapulocostal 113
Músculos que actúan sobre la escápula 114
Articulación glenohumeral 122
Manguito de los rotadores 123
Acción cinética de los músculos de la articulación glenohumeral 127
Movimiento cinético de la articulación glenohumeral 132

Ritmo escapulohumeral ... 136
Mecanismo bicipital de acción glenohumeral ... 138
Orificio torácico superior ... 141
Anatomía funcional de los síndromes dolorosos ... 143

5. Anatomía funcional del codo, la muñeca, la mano y los dedos ... 145
Codo ... 145
Músculos extrínsecos ... 150
Muñeca ... 152
Ligamentos de la muñeca ... 157
Huesos del carpo ... 159
Túnel cubital ... 162
Hueso escafoides (navicular) ... 162
Mano y dedos ... 165
Metacarpianos ... 165
Articulación metacarpofalángica ... 168
Falanges ... 170
Control musculotendinoso extrínseco ... 172
Tendones flexores ... 172
Músculos intrínsecos ... 174
Mecanismos extensores digitales ... 179
Ligamentos retinaculares ... 182
Músculos intrínsecos de las eminencias tenar e hipotenar ... 184
Control nervioso de la mano ... 188
Nervio mediano ... 188
Nervio cubital ... 189
Nervio radial ... 190
Anatomía funcional de síndromes dolorosos frecuentes en la mano ... 191

6. Anatomía funcional de la rodilla ... 193
Articulación tibiofemoral ... 193
Meniscos ... 193
Estabilidad articular ... 196
Ligamentos colaterales ... 199
Riego sanguíneo de las estructuras de la articulación tibiofemoral ... 199
Ligamentos capsulares y colaterales ... 202
Ligamentos colaterales laterales ... 203
Ligamentos cruzados ... 204
Articulación femorrotuliana ... 207
Articulaciones tibiofemoral y femorrotuliana ... 208
Control de los ligamentos de la flexión-extensión ... 209
Ligamentos colaterales durante la flexión-extensión ... 211
Movimiento de los meniscos ... 215



Acción muscular en el movimiento de la articulación de la rodilla ... 216
Articulador femororrotuliano ... 219
Movimiento rotuliano durante la articulación de la rodilla ... 219
Músculos posteriores del muslo y la rodilla ... 225
Inervación ... 229
La articulación de la rodilla en la marcha normal ... 231
La rodilla en la subida y bajada de escaleras ... 235
Deformidad de la rodilla ... 235

7. Anatomía funcional de la articulación de la cadera ... 237
Amplitud de movimientos de la cadera ... 240
Músculos de la articulación de la cadera ... 242
Glúteo mayor ... 242
Glúteos medio y menor ... 243
Músculos iliopsoas ... 243
Músculos de la corva ... 243
Músculo tensor de la fascia lata ... 244
Músculo sartorio ... 245
Triángulo femoral ... 248
La cadera en la marcha ... 249

8. Anatomía funcional del pie y el tobillo ... 251
Articulación del tobillo ... 251
Huesos y articulaciones del pie ... 256
Articulación astragalocalcánea ... 259
Ligamentos astragalocalcáneos ... 263
Articulación astragaloescafoidea ... 264
Articulación calcaneocuboidea ... 265
Articulación transversa del tarso ... 265
Arcos del pie ... 267
Arcos transversos ... 267
Arcos longitudinales ... 268
Fascia plantar ... 269
Articulaciones metatarsofalángicas ... 273
Inserciones del tendón en los dedos ... 275
Músculos del pie ... 275
Músculos extrínsecos del pie ... 275
Músculos intrínsecos del pie ... 280
Inervación del pie ... 285
Riego sanguíneo del pie ... 289
El pie en la marcha normal ... 291
Relación pie-tobillo durante la marcha ... 292
Determinantes de rotación de la marcha ... 292

capítulo 1

Aspectos de la anatomía funcional

Las características neuromusculares de las cuatro extremidades y de la columna vertebral tienen una implicación similar y forman parte de un todo. El SNC y el musculoesquelético son los dos mayores sistemas involucrados de forma primaria en la obtención de una respuesta a los cambios del entorno. Estos dos sistemas están abastecidos por una fuente de energía disponible inmediatamente para completar las tareas previstas. El problema que se presenta en el sistema musculoesquelético es que la fuerza desarrollada en cada articulación durante la actividad fisiológica diaria puede llevar al debilitamiento y a la discapacidad desde la disfunción si la función normal se altera de alguna manera.

Una vez que se prevé una tarea musculoesquelética, se pone en marcha una secuencia de actividades normales que culminan en la realización completa de la tarea prevista (Fig. 1.1). El último paso lo llevan a cabo las articulaciones del sistema musculoesquelético. Estas articulaciones están presentes en las cuatro extremidades y en la columna vertebral[1], y tienen un mecanismo similar para desarrollar la actividad prevista[2].

Todas las actividades neuromusculares se llevan a cabo en forma de «patrones», los cuales están codificados en el SNC. En un principio se pensó que estos patrones se encontraban en la corteza cerebral de la corteza premotora, pero hoy en día se acepta que también están en el tronco cerebral, cerebelo y médula espinal[3]. La meta de la tarea se inicia probablemente dentro de la corteza, pero se modifica en el mesencéfalo y cerebelo. El impulso nervioso se transmite a la médula espinal y es enviado a los músculos que activan las articulaciones (Fig. 1.2). Existe un mecanismo de retroalimentación sensorial instantáneo que informa al cerebro de la realización de la tarea y modifica la eficacia del movimiento.

La corteza motora y el mesencéfalo no contienen mapas ordenados de los patrones neuromusculares. Estos mapas son complejos mosaicos de neuronas que están constantemente reestructurándose y exhibiendo una plasticidad distinta, indicando modificaciones frecuentes por el entrenamiento y la experiencia[4-9].

La actividad motora se produce en dos estadios: planificación y ejecución. En cada estadio se planea la actividad concreta deseada, pero los detalles de su ejecución, incluyendo los ángulos de movimiento y las fuerzas musculares, no se consideran. Estos últimos estadios de movimiento, fuerza, duración y especificidad se ejecutan en los sistemas musculoesqueléticos más distales en una secuencia fija. Lo que muchos neurofisiólogos se preguntan es si el cerebro representa movimiento. La respuesta es que el movimiento está mínimamente representado en el cerebro.

El movimiento musculoesquelético es una actividad compleja que requiere la interacción de la corteza, el mesencéfalo, el tronco encefálico, la médula espinal y el músculo esquelético para llevar a cabo la tarea propuesta con la mayor eficacia y el mínimo gasto de energía. En un principio, al cerebelo se le consideraba el controlador de las actividades de única articulación; ahora se le considera una especie de motor complejo que dirige todos los movimientos de muchas articulaciones que actúan sincronizadamente, algo que cualquier movimiento conlleva[10].

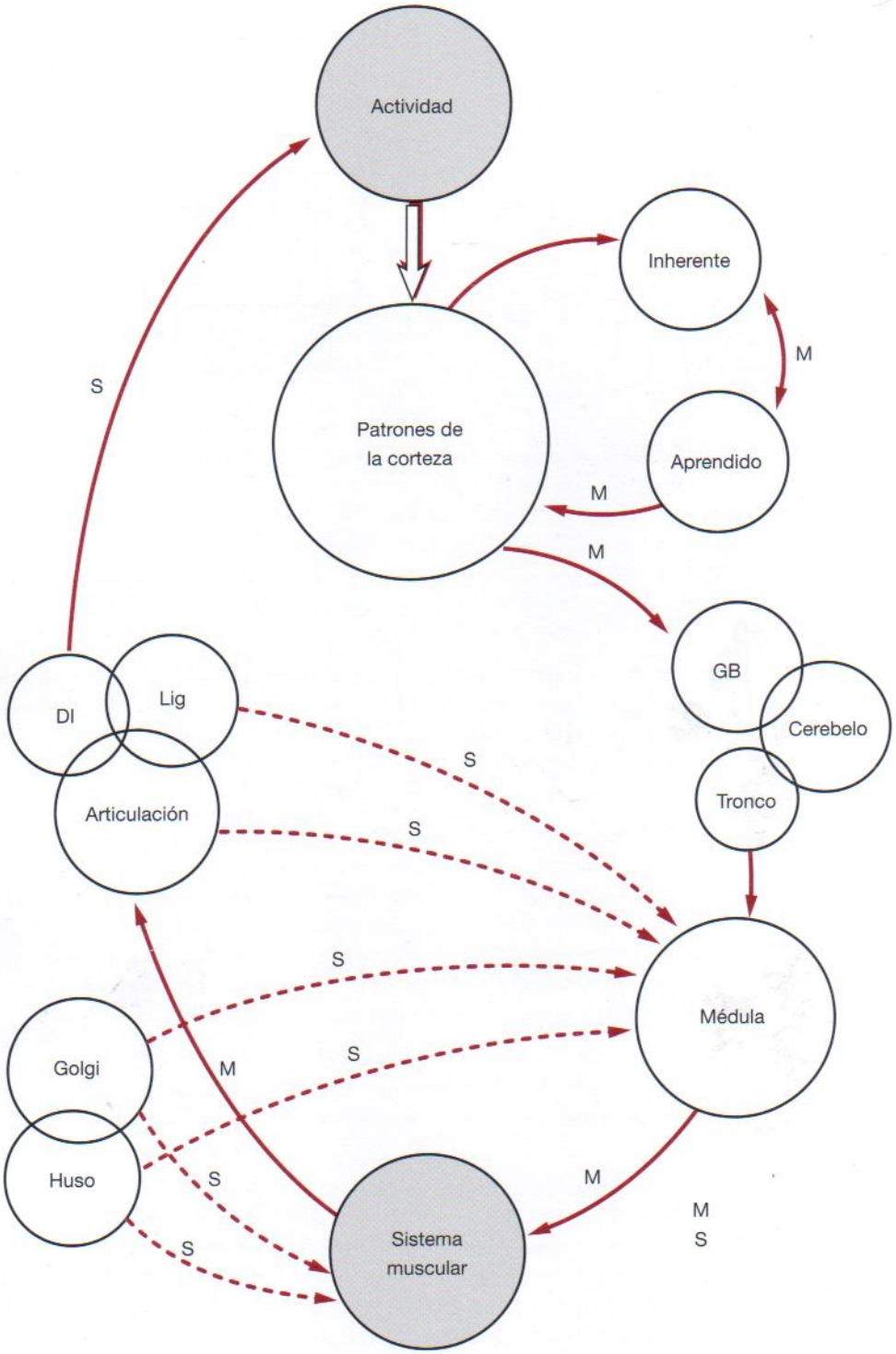


Figura 1.1. Función neuromuscular. Una vez que se ha decidido una actividad, ésta se realiza siguiendo unos patrones que se codifican en el sistema nervioso central y que son inherentes pero se modifican con el aprendizaje y el entrenamiento. La función que se desarrolla con la transmisión de impulsos desde la médula espinal hasta el sistema muscular activa las articulaciones. GB, ganglio basal; M, motor; S, sensorial; Lig, ligamento; y DI, disco (intervertebral).

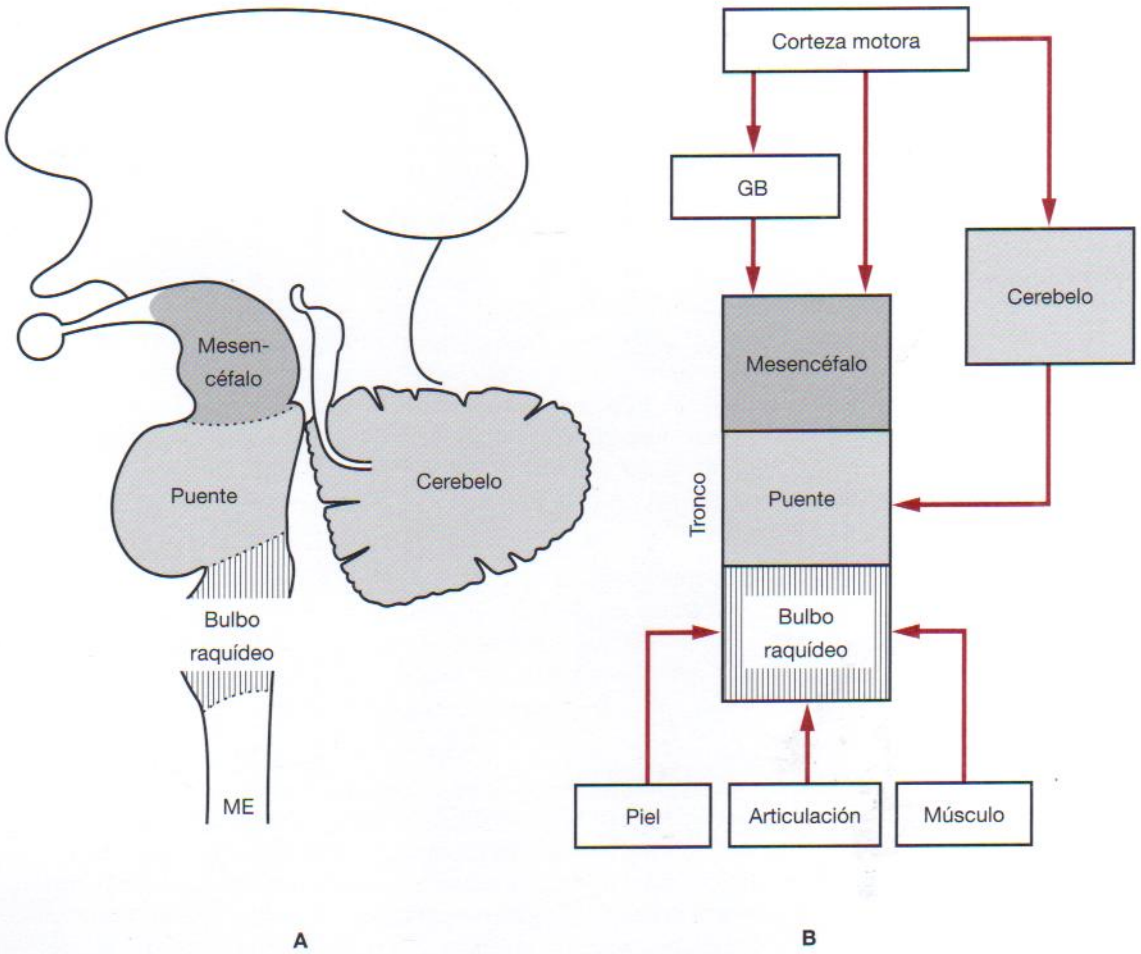


Figura 1.2. Subdivisión del tronco encefálico. A, Anatomía macroscópica del tronco encefálico. ME, médula espinal. **B,** Función del tronco encefálico, GB, ganglio basal.

Patrones

Todas las actividades neuromusculares siguen un patrón que implica a muchas articulaciones en muchas direcciones simultáneamente, con fuerzas que varían en cada caso. No hay planos individuales simples de movimiento, sino múltiples movimientos en ejes que van cambiando. El movimiento en un eje concreto requiere actividad tanto isométrica como isocinética, así como una interacción agonista-antagonista.

Normalmente, el movimiento conocido como flexión y extensión es raro como movimiento único, puesto que todo movimiento articular combina flexión-extensión, flexión lateral y rotación. Esto es así en todas las articulaciones del cuerpo humano. La mayoría del movimiento cinético se da, además, con un patrón rítmico y a diferentes velocidades y con fuerzas distintas en actividades simultáneas. Todos estos factores deben evaluarse a la hora de establecer patrones que se aplicarán a todas las articulaciones, pertenezcan a las extremidades o a la columna.

Función Musculoesquelética

Como se muestra en la Figura 1.1, los músculos inervados por impulsos procedentes de la médula espinal activan los músculos de manera isométrica e isocinética, con contracciones simultáneas agonista-antagonista.

En una extremidad inactiva o en la columna vertebral, cuando se necesita controlar la fuerza de la gravedad, el sistema muscular responde con un tono adecuado.

Tono muscular

El tono muscular ha sido estudiado de forma extensa y está completamente establecido; sin embargo, su mecanismo sigue siendo incierto. Los músculos que mantienen el tono se consideran «silentes», es decir, que no son eléctricamente activos[11-16]. Basmajian[12] sugiere que la definición del tono muscular debe ser modificada para proponer «que el tono general del músculo está determinado por la elasticidad pasiva y la turgencia de los tejidos muscular y fibroso, y que la contracción muscular puede no ser continua, pero es una respuesta del sistema nervioso central al estímulo». Es una provocativa, y, sin embargo, sencilla explicación del tono.

La «estabilidad» articular ha sido defendida durante siglos y, sin embargo, el papel del tono muscular en la estabilidad no está completamente aclarado. Las estructuras intrínsecas de cada articulación, cápsula, cartílagos, meniscos y discos en la columna vertebral se consideran capaces de asegurar la estabilidad de la articulación si todos los tejidos son normales. Normalmente, sin embargo, los tejidos intrínsecos mencionados resultan inadecuados para ofrecer estabilidad sin el refuerzo del sistema muscular.

Se considera que los músculos «relajados» de una articulación estática son silentes con respecto a la actividad eléctrica, ya que nunca se ha observado que tengan actividad denominada «tonus», la cual es probablemente una «constante variación de la actividad tónica del lazo del sistema gamma que responde a un estímulo extremo». El tono general se muestra como un aumento brusco de la actividad eléctrica cuando una persona se desplaza del centro de gravedad o a una extremidad, como ocurre en la articulación glenohumeral del hombro, que se activa en abducción o anteversión desde la posición anatómica.

Las fibras musculares extrafusales, activadas por cualquier movimiento, se determinan desde centros supraespinales y espinales (Fig. 1.3). Todas las funciones musculares son implementadas por fibras musculares extrafusales, cuya función está guiada en cuanto a fuerza, velocidad y extensión de contracción por las fibras extrafusales y el aparato de Golgi (Figs. 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 y 1.8).

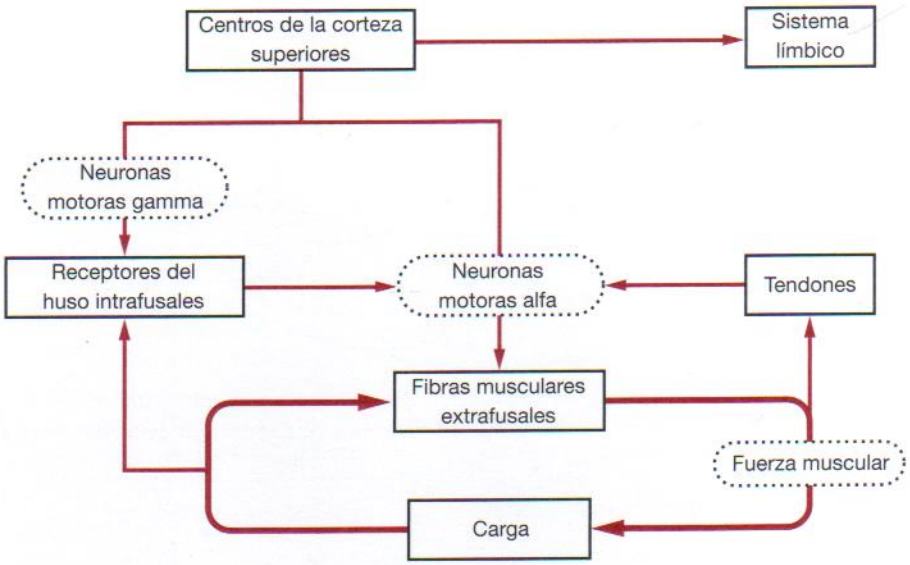


Figura 1.3. Centros motores supraespinales y espinales. Los centros motores supraespinales y espinales se muestran como centros de planificación y ejecución motora desde los centros motores subcorticales hasta las fibras musculares extrafusales. Existe una retroalimentación sensorial instantánea.

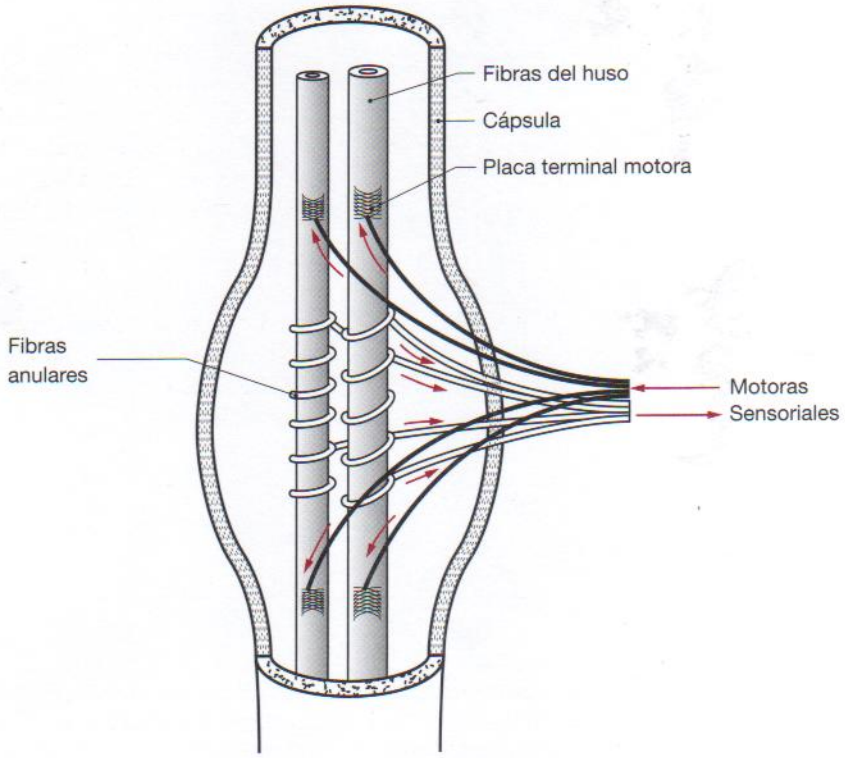


Figura 1.4. Huso muscular. Huso neuromuscular simplificado. Las dos fibras intrafusales están rodeadas por una cápsula de tejido conjuntivo que contiene tanto las fibras motoras como las sensoriales. Las fibras motoras inervan las fibras musculares extrafusales.

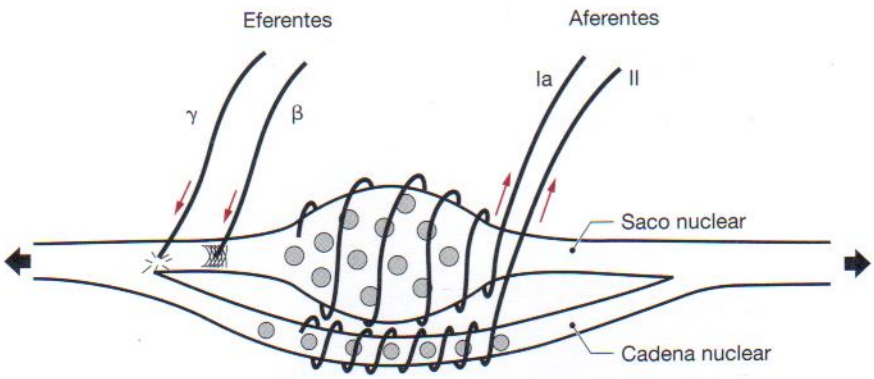


Figura 1.5. Inervación del huso neuromuscular. El sistema del huso neuromuscular está compuesto por un saco nuclear y una cadena nuclear. Ambos están inervados por las fibras aferentes Ia y II. El control motor de estos componentes son nervios gamma y beta eferentes que «reajustan» la dinámica del huso.

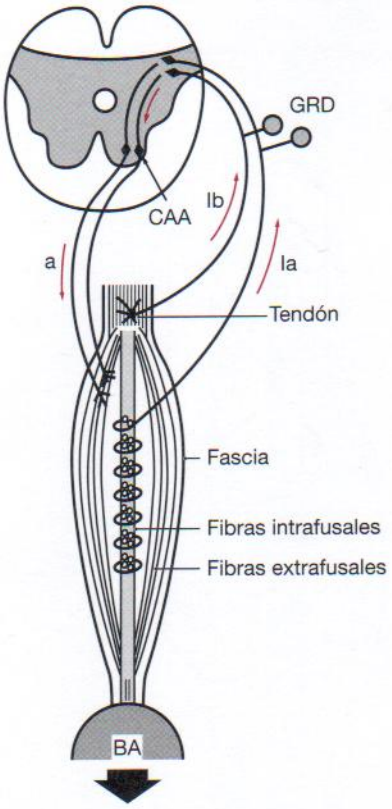


Figura 1.6. Sistema del huso neuromuscular. Las fibras intrafusales discurren paralelas a las fibras extrafusales. Cuando se estiran, mandan una señal a la médula espinal vía fibras Ia, procedentes del uso neuromuscular, y Ib, procedentes del aparato de Golgi. Estos impulsos pasan a través del ganglio de la raíz dorsal (GRD) en su camino hacia la materia gris de la médula espinal. Desde allí se mandan impulsos a las células del asta anterior (CAA) que inerva a las fibras musculares extrafusales. La fascia se acorta pasivamente o se alarga junto con las fibras extrafusales. BA, inserción ósea de las fibras musculares.

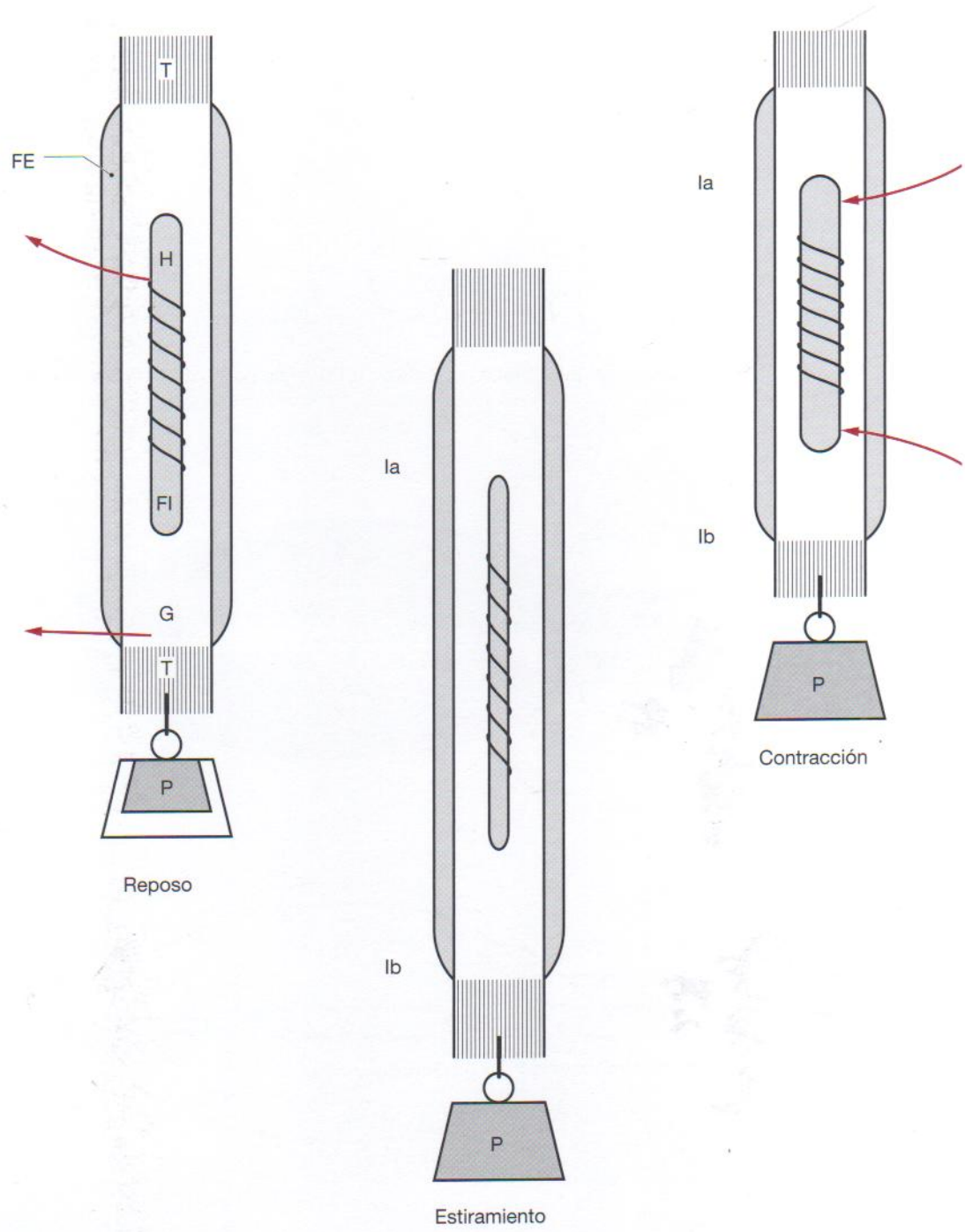


Figura 1.7. Alineamiento mecánico funcional del huso neuromuscular y órgano tendinoso de Golgi. En el músculo en reposo las fibras extrafusales (FE) están inactivas. Las intrafusales (FI) conocidas como huso (H) «informan» a la médula espinal vía fibras Ia de la longitud de las fibras extrafusales (y de la del huso). La tensión (T) generada es conducida a la médula vía fibras Ib, que proceden del órgano tendinoso de Golgi (G). En la contracción de las fibras extrafusales al sostener un peso (P) mayor del soportado en reposo intervienen todas las fibras. El sistema del huso neuromuscular se «reajusta» continuamente vía fibras gamma.

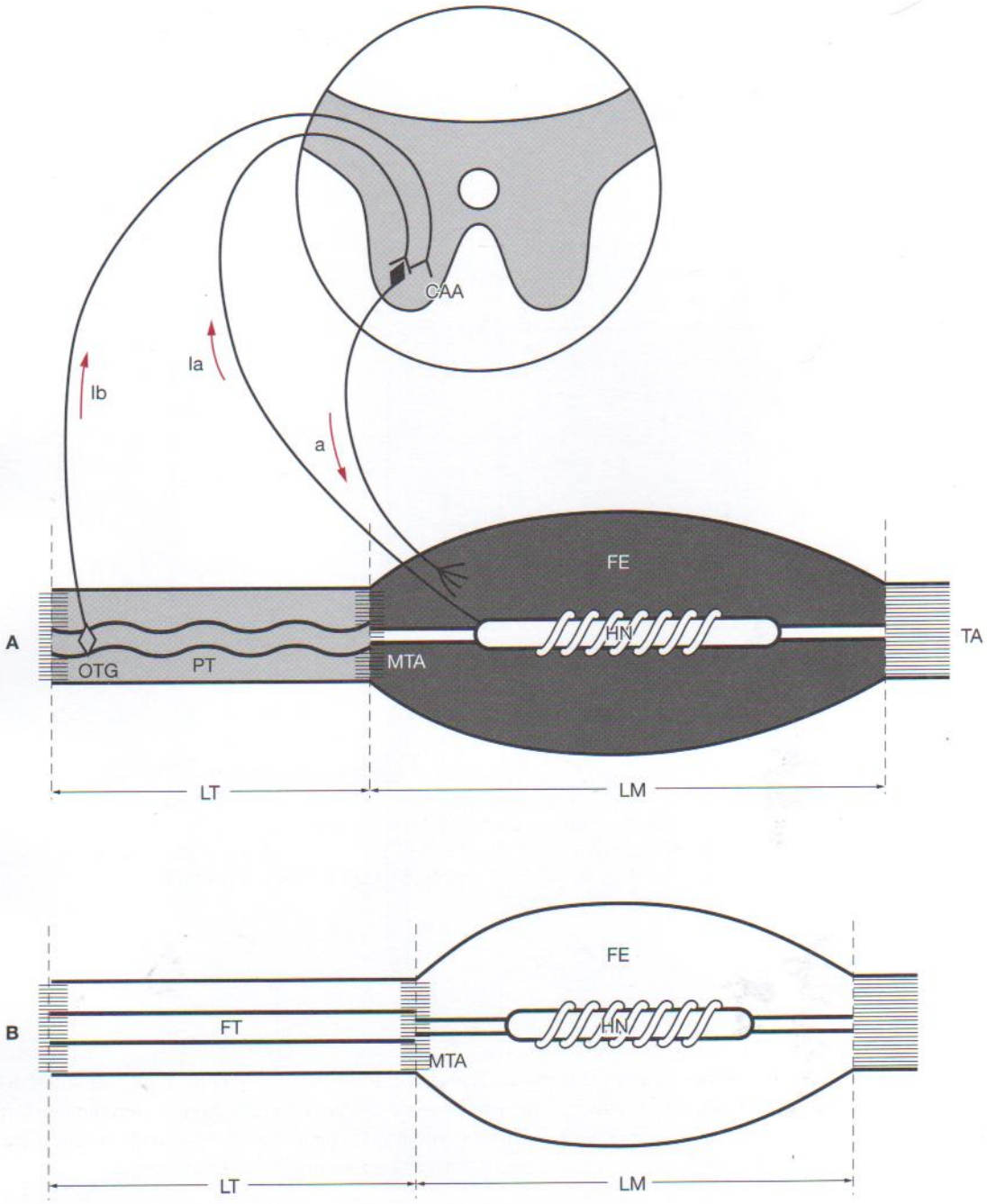


Figura 1.8. Mecanismo musculotendinoso. El sistema del huso neuromuscular (HN) mide la longitud de la fibra muscular (LM) y el órgano tendinoso de Golgi (OTG) monitoriza la tensión de las fibras. El estiramiento del sistema del uso neuromuscular activa las fibras Ia, y la activación del (OTG) es vía fibras Ib. La respuesta de la fibra extrafusal activada (FE) se lleva a cabo a través de fibras motoras del asta anterior (CAA) vía fibras alfa. En el descanso (A), las fibras del tendón (TF) se encuentran ligeramente enrolladas, pero al contraerse el músculo el (OTG) se acorta (LT) y las fibras aumentan su enrollamiento. MTA, músculo, tensión articular; TA tensión, articulación.

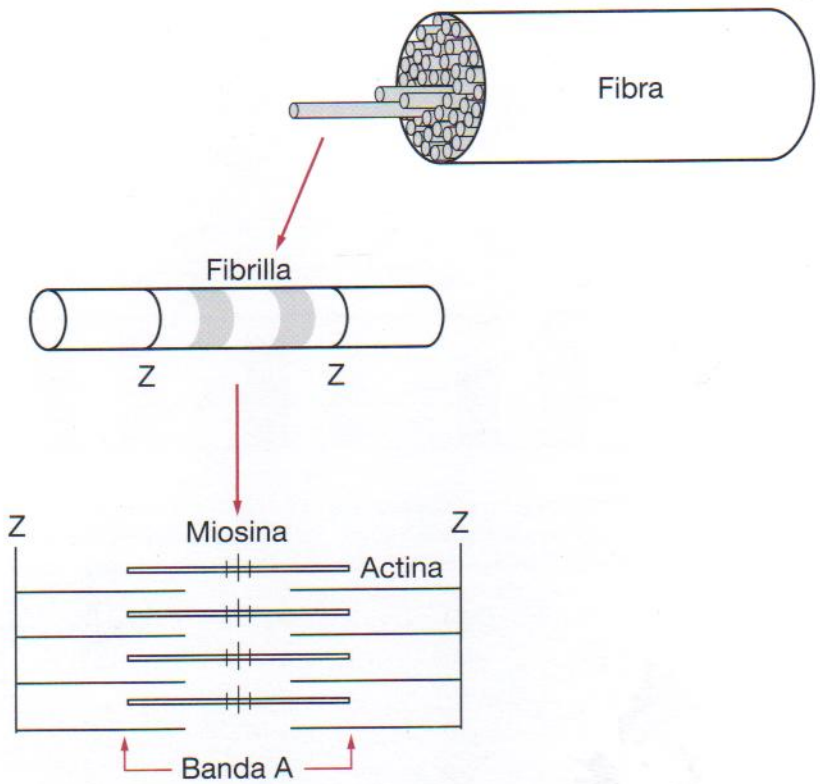


Figura 1.9. Organización del músculo esquelético: fibra extrafusal. Dentro del fascículo muscular hay fibrillas musculares ordenadas de forma paralela. Estas fibrillas son paquetes paralelos de miosina y actina, que se deslizan unas sobre otras durante la contracción. El sarcómero es la estructura entre dos líneas Z. La banda A representa el lugar donde se entrecruzan la actina y la miosina.

Contracción muscular

Una exposición de la anatomía funcional neuromusculoesquelética no estaría completa sin la revisión de la fisiología de las fibras musculares extrafusales. Durante la activación, un potencial de acción nervioso, originado en el asta anterior de la médula, viaja a lo largo de la fibra nerviosa motora aferente que termina en la fibra muscular. En la unión neuromuscular existe una terminación arborizada en la superficie de la fibra muscular (Fig. 1.9). El axoplasma no penetra en el sarcoplasma de la fibra, sino que permanece en la superficie (Fig. 1.10).

Cada terminación nerviosa segrega acetilcolina, que es un neurotransmisor que abre los canales proteínicos de esta sustancia contenidos dentro de la membrana[17] (Fig. 1.11). El aparato subneural de la unión neuromuscular muestra una actividad acetilcolinérgica excesivamente alta (Fig. 1.12).

Los iones de calcio discurren a través de estos canales hasta las porciones interiores del músculo, causando una contracción mediante el deslizamiento de los filamentos que se encuentran unidos[18] (Fig. 1.13). Lo que provoca el deslizamiento de un filamento con respecto a otro es una fuerza mecánica generada por la interacción de los puentes cruzados de los filamentos de miosina sobre los de actina (Fig. 1.14).

Estas fuerzas se encuentran inhibidas durante el descanso, pero cuando se produce el potencial de acción en la fibra motora aferente se libera una gran cantidad de calcio[19]. El enlace normal se produ-

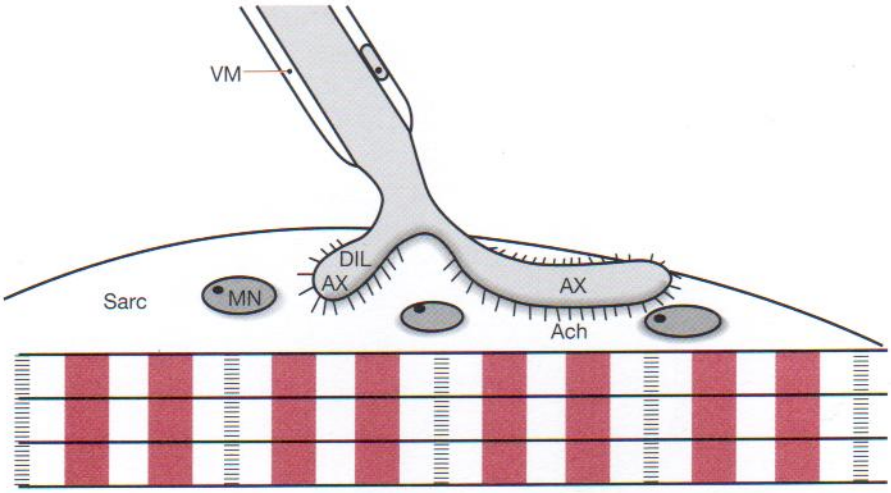


Figura 1.10. Unión mioneural: placa motora. Las ramas nerviosas terminales forman un canal bajo el sarcoplasma (Sarc), en el que se deposita la acetilcolina (Ach) que activa la fibra muscular. A esto se le denomina aparato subneural. AX, axoplasma; DIL AX, dilatación del axoplasma, que tiene unas pequeñas protusiones en forma de cabello; MN, mitocondria; VM, vaina mielínica del axón.

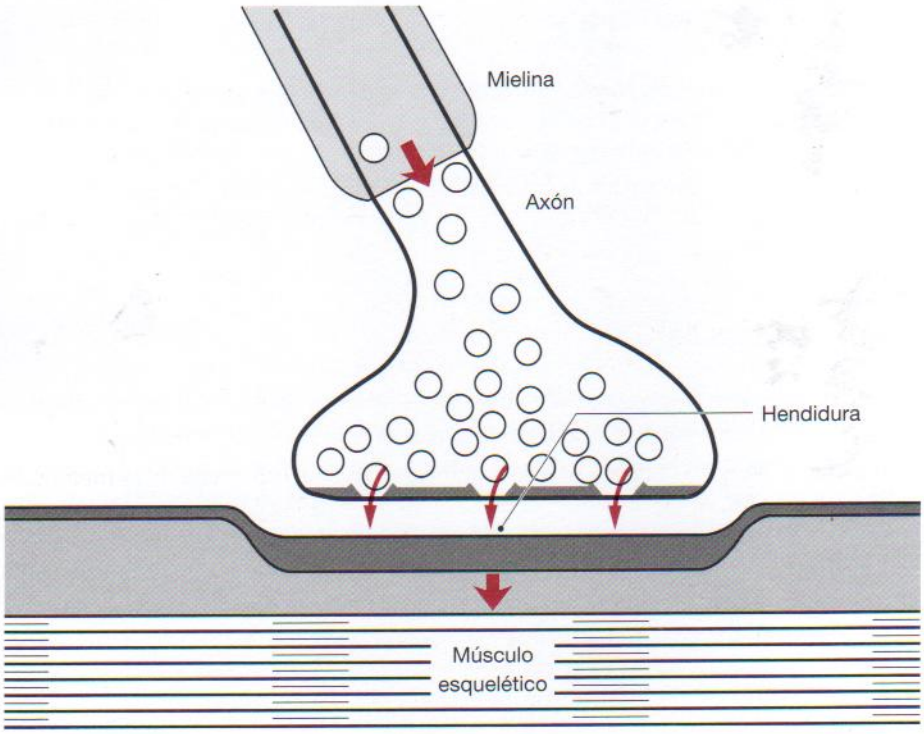


Figura 1.11. Placa neuromuscular. Las vesículas llenas de neurotransmisores químicos (flechas gruesas) descienden por el axón, que está rodeado por una vaina de mielina. Cuando el impulso procedente del «botón» pasa a través de la hendidura sináptica (flechas finas curvadas), se activa la fibra muscular esquelética.

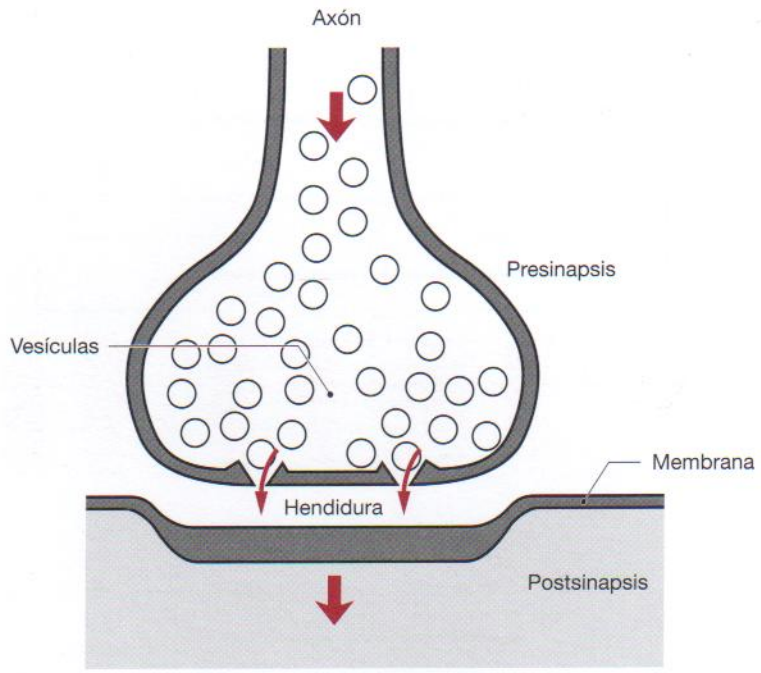


Figura 1.12. Elementos químicos sinápticos. El «botón» presináptico segrega los neurotransmisores químicos en vesículas, que atraviesan la hendidura (flechas finas curvadas), para penetrar y estimular el órgano receptor postsináptico. Las flechas gruesas indican la dirección en la que se desplazan los neurotransmisores.

ce mediante la acción de la adenosina trifosfato (ATP) y el magnesio. Para que este enlace se establezca de forma normal, es necesaria la presencia del complejo troponina-tropomiosina (p. ej., los filamentos de miosina no pueden unirse a sus lugares de giro)[20,21].

El deslizamiento es el resultado de la unión de las cabezas de los filamentos de miosina sobre los lugares correspondientes en los filamentos de actina, los cuales entonces «rotan» químicamente y hacen que el puente se desplace mecánicamente, al moverse el filamento de actina sobre el de miosina (Fig. 1.15). La rotación de la cabeza de miosina se conoce como el «golpe de fuerza». Cuanto mayor es el número de puentes cruzados que se contraen, mayor es la fuerza de contracción.

Se asume que la energía necesaria para la contracción muscular procede de la ruptura de ATP en adenosina difosfato (ADP). Antes de la contracción, las cabezas de los puentes cruzados contienen ATP, que se rompen en ADP mediante la acción de la adenosina-trifosfatasa, produciendo la energía requerida. Una vez que la cabeza de miosina ha rotado y ha causado una inclinación del puente, la ADP se retira. Esto permite que la cabeza se retire del filamento de actina y se una a un nuevo lugar.

Efecto de la tensión en la contracción muscular

La adición de tensión a un músculo incrementa la tensión que dicho músculo puede generar cuando se contrae. Si el músculo se estira antes de que se contraiga, las fibrillas se separan y se solapan. No existe tensión en el músculo hasta que se produce este solapamiento. La tensión se incrementa proporcionalmente a él, y alcanza un máximo que coincide con el máximo solapamiento.

La tensión dentro de un músculo está determinada por el número de fibras que se contraen, ya que no lo hacen simultáneamente. Si el músculo se estira hasta su máxima longitud o más, permanece una

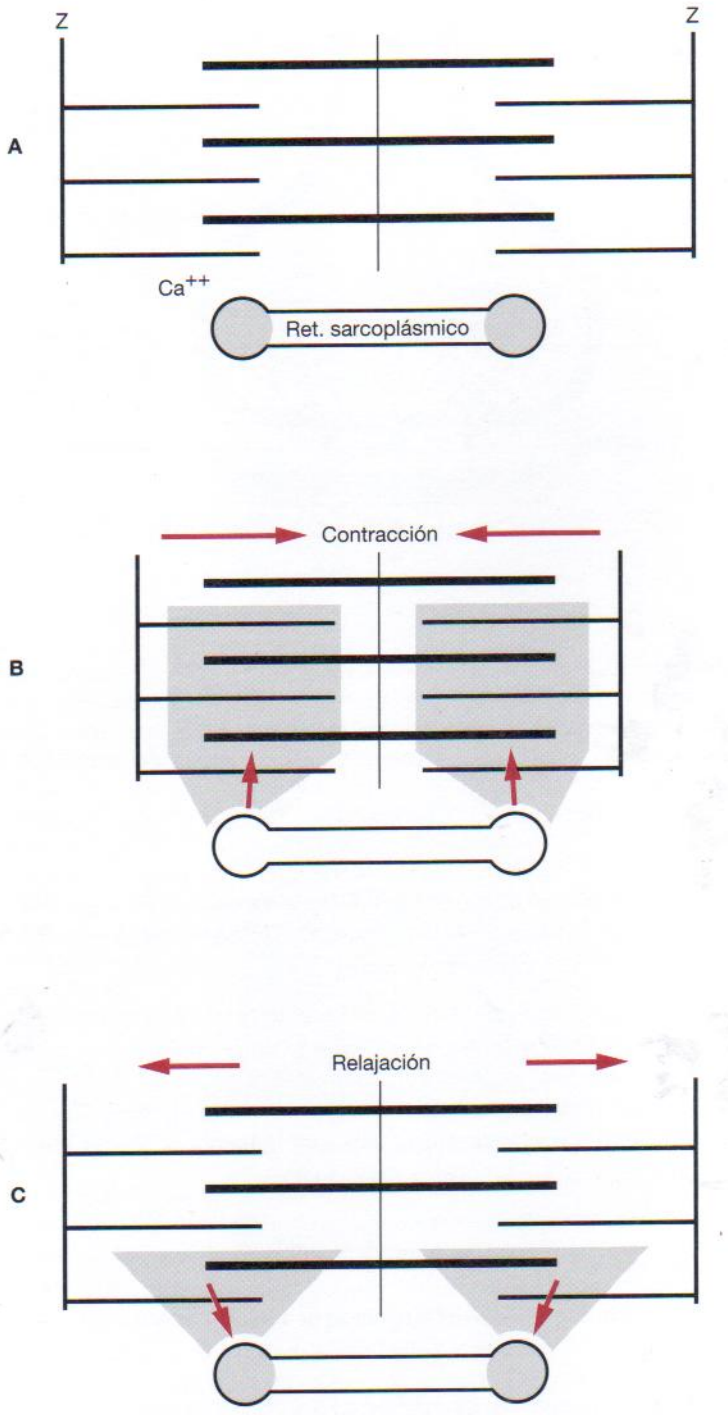


Figura 1.13. Contracción del músculo esquelético. A, Músculo relajado en el que el calcio (área sombreada) se encuentra retenido en el retículo sarcoplásmico. Las líneas gruesas corresponden a las fibras de miosina y las finas paralelas a la actina. **B,** Deslizamiento de la miosina y la actina durante la contracción muscular, manteniendo las líneas Z estrechamente unidas. **C,** Cuando el músculo se relaja, el calcio es bombeado al retículo sarcoplásmico.

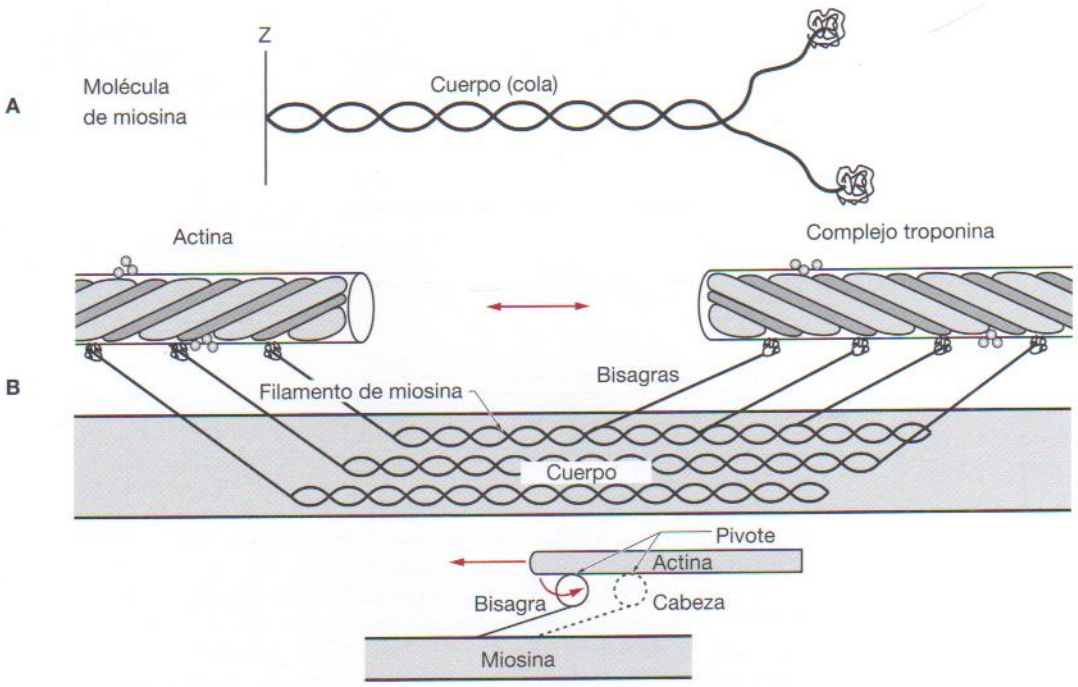


Figura 1.14. Mecanismo de la contracción muscular: Concepto. La molécula de miosina es una hélice (dos cadenas proteínicas) que incluyen un «cuerpo» con una «cabeza» (parte superior de la figura). La parte media del dibujo muestra un filamento de miosina constituido por más de 200 moléculas empaquetadas, alternando con filamentos paralelos de actina que se encuentran separados y se deslizan sobre los de miosina. El filamento oscuro de la actina, que es una hélice de dos filamentos, contiene tropomiosina. Unidas a las moléculas de tropomiosina se encuentran las moléculas de troponina. El filamento de actina y su complejo troponina-tropomiosina inhiben la actividad. Cuando el calcio penetra en el complejo troponina-tropomiosina se neutraliza y comienza la contracción. Se acepta que la contracción ocurre alrededor de un punto de giro (parte inferior de la figura) produciéndose una «bisagra» (filamento de miosina, región de la cabeza) que se desliza (flecha curvada) sobre el filamento de actina. A esta acción se la conoce como golpe de fuerza.

«tensión de reposo» antes de que el músculo se contraiga debido a la elongación de las fuerzas elásticas dentro de los tejidos conectivos del paquete muscular.

Características de la contracción muscular

Cuando una contracción se produce sin acortamiento se denomina *isométrica*. Si hay acortamiento se denomina *isotónica* o *isocinética*. La fuerza de contracción depende de la carga y de la distancia a la que se espera que se produzca la contracción. Cuando un músculo se contrae contra una carga, hay porciones del mismo que no se contraen. Estos tejidos son los tejidos conectivos del paquete muscular, que incluyen su fascia y el tendón asociado (Fig. 1.16). Los puentes cruzados del músculo también se elongan y crean tensión. La elongación total de estos tejidos que influye en la fuerza resultante constituye el *componente elástico* de una contracción muscular.

Los músculos esqueléticos son constantemente «remodelados» con respecto a fuerza, velocidad, angulación y reclutamiento para llevar a cabo la actividad prevista. Se alteran sus diámetros, longitud, fuerza e irrigación. Se ha sugerido que las proteínas contráctiles de los músculos se recambian cada dos semanas.

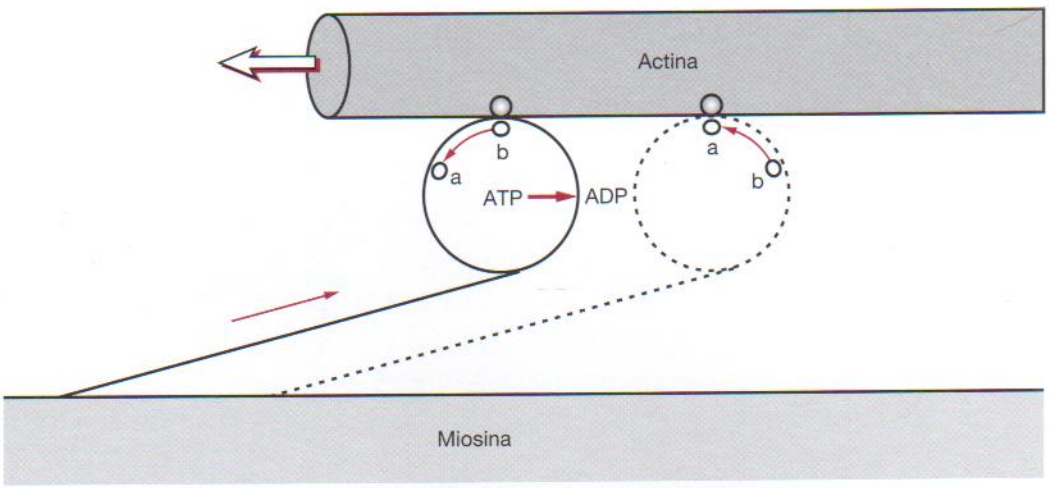


Figura 1.15. Movimiento de la cabeza del filamento de miosina. La cabeza del filamento de miosina (círculo discontinuo) se muestra (a) fijo al punto de rotación del filamento de actina. La cabeza rota (b) y posteriormente se fija al punto de rotación. La rotación produce tensión en el puente, ocasionando el deslizamiento del filamento de actina. El adenosintrifosfato (ATP) se divide y pasa a ser adenosindifosfato (ADP), que libera la energía necesaria para la contracción muscular.

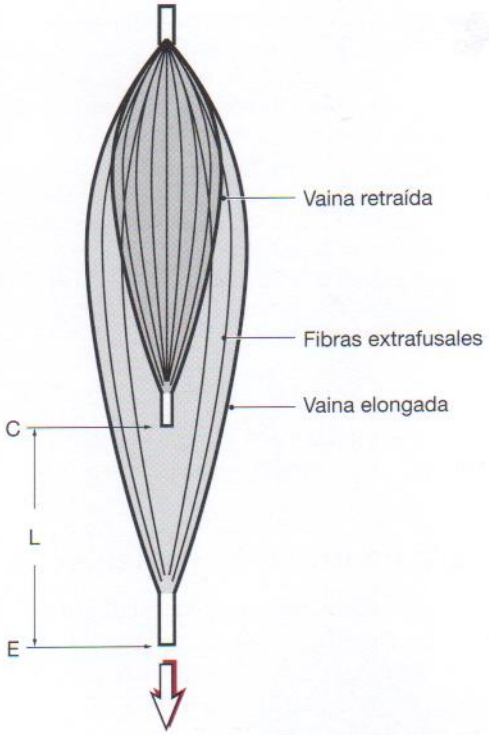


Figura 1.16. Características musculofasciales. Un paquete muscular se puede elongar hasta lo que permita su vaina. La tensión se atribuye a la elongación de esta vaina. Las fibras extrafusales del músculo se elongan activamente, mientras que la vaina fascial lo hace de forma pasiva (E) y se acorta de forma pasiva cuando el músculo se contrae (C). L, longitud fisiológica del paquete muscular.

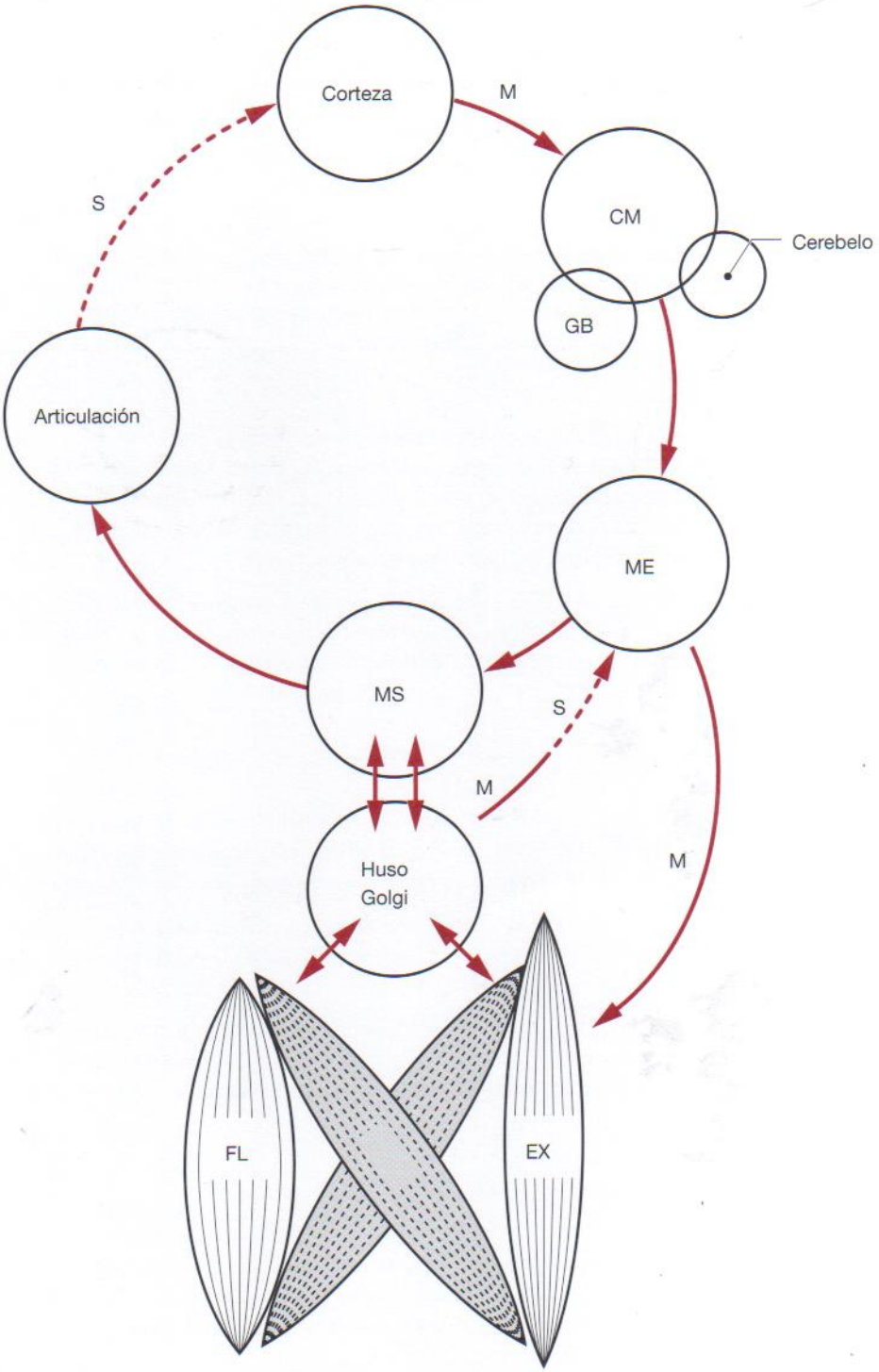


Figura 1.17. Contracción de los músculos agonistas-antagonistas. Secuencia neurológica de la contracción muscular. La «idea» se inicia en el nivel cortical, es moderada en el tronco cerebral y desciende por la médula espinal (ME), donde los músculos (MS) se activan. Los flexores (FL) (agonistas) y extensores (EX) (antagonistas) son moderados por los husos neuromusculares. M, motor; S, sensorial; CM, mesencéfalo; GB, ganglios basales.

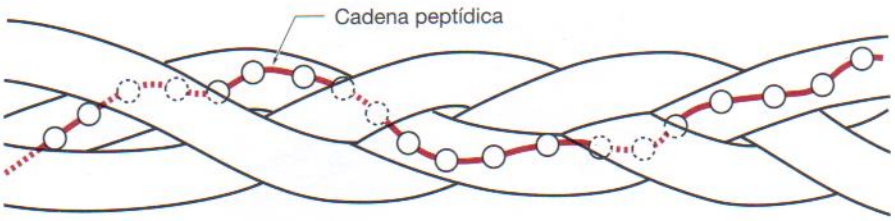


Figura 1.18. Fibra de colágeno. La molécula de colágeno tipo I está compuesta por cadenas peptídicas entre las que se encuentran la 1 α-2 y la 2 α-1, en las que cada tercera molécula es una glicina. Las tres cadenas peptídicas entrecruzadas forman una fibra de colágeno trihelicoidal.

El incremento de la masa muscular se conoce como *hipertrofia*, y el descenso de la masa muscular como *atrofia*. Los primeros resultados de un incremento en las fibras musculares se dan tras la contracción de máxima fuerza asociada a un estiramiento simultáneo (tensión) durante la contracción. Las miofibrillas se dividen para formar nuevas fibrillas, y este incremento en fibrillas produce la hipertrofia. El sistema enzimático que posibilita la glucólisis también aumenta.

La contracción muscular necesaria para completar una «tarea» requiere la contracción de los agonistas y la contracción simultánea de los grupos musculares antagonistas[22-30] (Fig. 1.17). Se dará más información acerca de los sistemas neuromusculares de cada extremidad y la columna vertebral cuando se traten éstos.

Colágeno

La base de la estructura y de la función es el colágeno, que es también el soporte de la mayoría, si no de todos los tejidos blandos del cuerpo (Fig. 1.18). La fibra de colágeno es fundamental para la comprensión de la estructura y la función de tendones, cartílagos, meniscos y especialmente del disco intervertebral.

Las fibras de colágeno consisten en cadenas de aminoácidos enrolladas que se mantienen juntas electroquímicamente. Estas fibras construyen ligamentos, tendones, fibras del disco anular, componentes del cartílago y la piel, y son componentes de otros tejidos blandos del cuerpo.

Los ligamentos están constituidos por filas paralelas de fibras de colágeno que permiten una limitada elongación y pueden ser estiradas entre un 6% y un 8% de su longitud en reposo[31] (Fig. 1.19). Como la función muscular, las fibras de colágeno se tratarán específicamente con cada extremidad y la columna vertebral.

Articulaciones

Las articulaciones constituyen los órganos finales en la secuencia neuromuscular propuesta, y son movilizados por los músculos que intervienen también en dicha secuencia. Por sus planos, determinan la dirección o direcciones permitidas para esa articulación, y también limitan la dirección y extensión del movimiento de esa articulación específica.

Se ha conseguido entender la función mecánica articular mediante la asociación de la ingeniería con las ciencias médicas. Hay dos tipos fundamentales de superficie articular: condílea y troclear (Fig. 1.20). La condílea es uniformemente cóncava o convexa, y la troclear es convexa en un plano y cóncava en el plano perpendicular.

Según las curvaturas opuestas en una articulación se pueden considerar como congruentes o incongruentes, dependiendo del arco de curvatura y de su relación con la superficie opuesta[32-34] (Fig. 1.21).

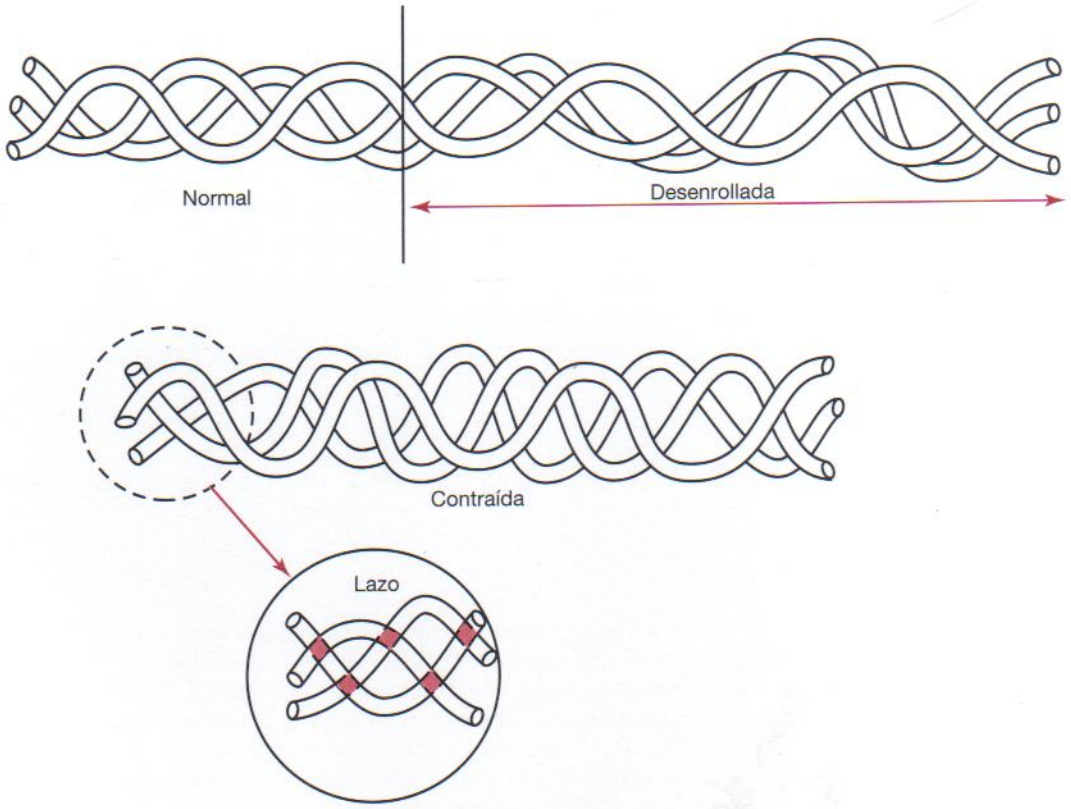


Figura 1.19. Elongación de las fibras colágenas. La fibra de colágeno se encuentra enrollada durante el reposo (normal). Durante la elongación, la fibra se desenrrolla (desenrrollada), y con la contracción (contraída) aumenta el grado de enrrollamiento. Las fibras trihelicoidales se encuentran enlazadas en cada intersección. Con la desaparición de la tensión que originó la elongación, las fibras retoman su situación original.

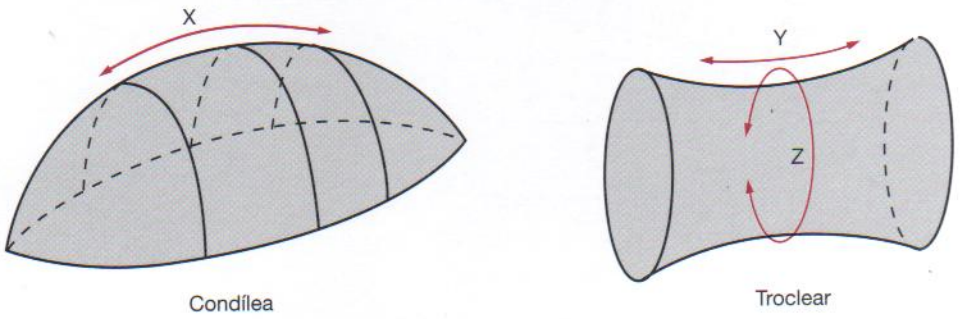


Figura 1.20. Superficies articulares. Dos superficies articulares básicas: condílea y troclear. La condílea es uniformente convexa (X) en cada punto a lo largo de su superficie. La superficie troclear es convexa (Z) en un plano y cóncava (Y) en el plano perpendicular.

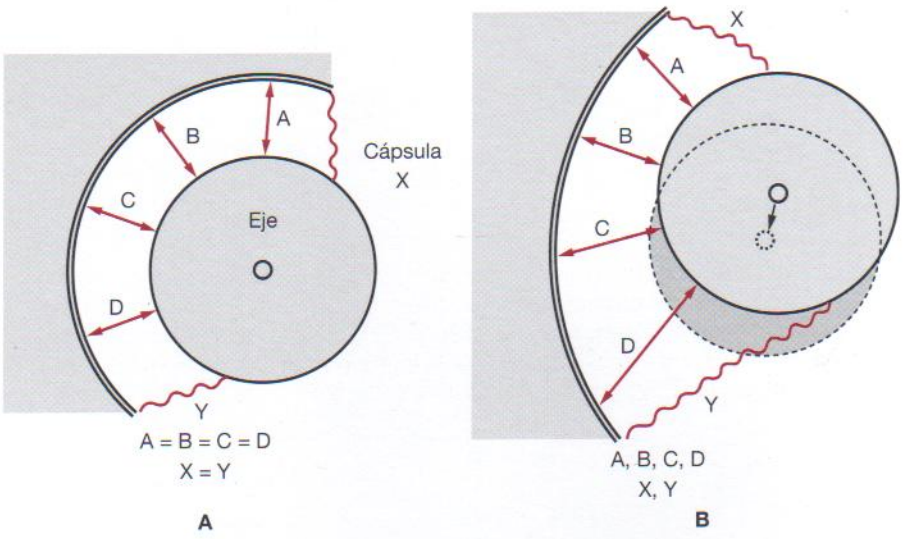


Figura 1.21. Congruencia e incongruencia de las articulaciones. A, Una articulación es totalmente congruente cuando dos superficies articulares se hallan simétricamente relacionadas y equidistantes en todos sus puntos: A = B = C = D. El eje de rotación permanece en el mismo sitio durante la misma, y la cápsula conserva su simetría. **B,** Articulación incongruente con ambas superficies asimétricas (curvaturas diferentes). A, B, C y D no son idénticas, y la posición del eje cambia durante la rotación y el deslizamiento.

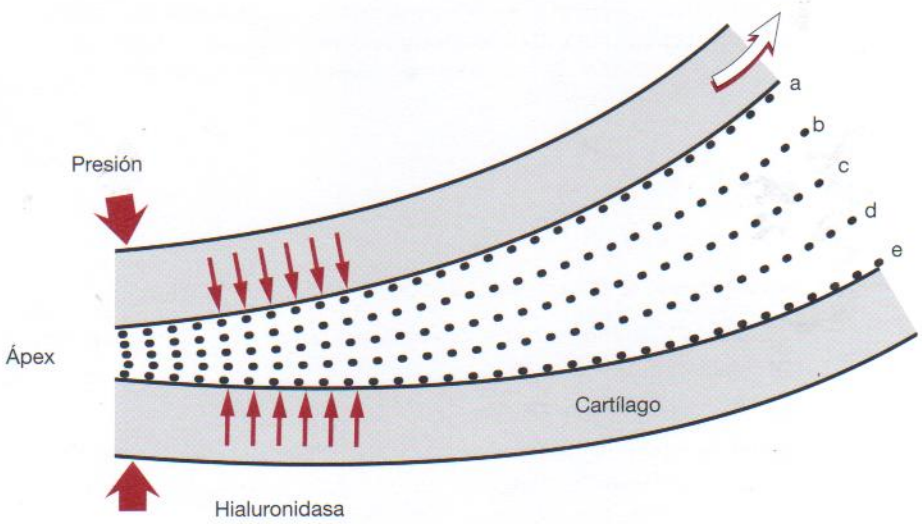


Figura 1.22. Lubricación de la articulación. Las pequeñas moléculas de lubricante (hialuronidasa) cubren ambas superficies y se hallan esparcidas dentro de la articulación (a, b, c, d, e). Las flechas curvadas muestran el movimiento articular, que combinado con compresión envía lubricante desde la parte más estrecha de contacto (ápex) a las porciones más anchas de la articulación. La asimetría de la articulación se hace, de este modo, imprescindible para una adecuada lubricación.

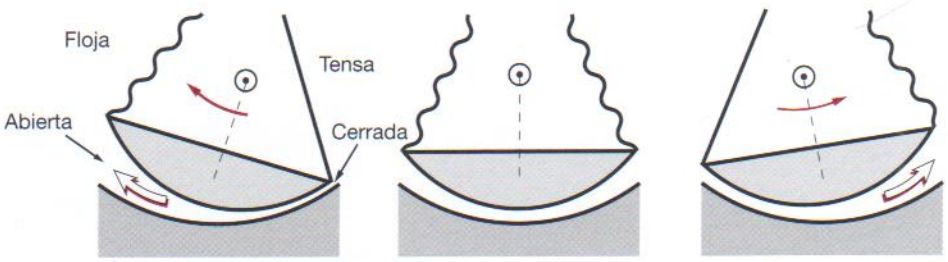


Figura 1.23. Superficies articulares asimétricas. Las superficies articulares asimétricas de una articulación incongruente hacen fluir el líquido sinovial (flecha blanca curvada) hacia el espacio articular abierto. Los ligamentos de la articulación permanecen tensos en el lado más lejano de la rotación alrededor del eje (círculo con línea discontinua). El ligamento y la cápsula se vuelven laxos en el lado opuesto.

En una congruente verdadera, las superficies opuestas son idénticas en su curvatura, y existe un contacto equidistante entre todos los puntos de las curvas, lo que es aceptable mecánicamente pero funcionalmente inaceptable con respecto a la lubricación. Esto provocaría un estrecho contacto que fijaría la articulación debido a una lubricación deficiente[34]. Todas las articulaciones deben ser, por lo tanto, incongruentes en algún grado (Fig. 1.22, 1.23).

Las articulaciones también pueden ser clasificadas en inmóviles (sinartrosis), ligeramente móviles (anfiartrosis) o libremente móviles (diartrosis). Las sinartrosis tienen dos superficies óseas separadas únicamente por una membrana.

Las articulaciones diartroidiales se caracterizan porque sus superficies están cubiertas por lechos cartilaginosos limitados a ambos lados por una sinovial. Las articulaciones también se clasifican de acuerdo con su movimiento:

- Enartrosis (esfera y superficie que se adaptan a ella)
- Troclear (bisagra)
- Condílea
- Trocoide (eje)
- Artrodia (superficie plana), o
- Encaje recíproco

Una definición más avanzada de las articulaciones puede incluir:

- Deslizamiento; una superficie se desliza sobre la otra en una dirección, sin movimiento angular o rotatorio.
- Angular; los dos huesos opuestos forman un ángulo cambiante.
- Circunducción; los huesos opuestos forman un arco o un círculo alrededor de un cono.
- Rotación; uno de los huesos de la articulación se mueve alrededor de un eje central sin movimiento de alejamiento de dicho eje (Figs. 1.24, 1.25).

Las articulaciones diartrodiales poseen una superficie cartilaginosa interpuesta entre las dos superficies opuestas. El cartílago es necesario para el movimiento libre y sin dolor de la articulación y con una adecuada lubricación. El cartílago también suaviza y amortigua los impactos articulares (Fig. 1.26). El cartílago es un tejido avascular que toma sus nutrientes a través del hueso subcondral (Fig. 1.27).

El cartílago puede absorber presión y fuerzas tangenciales, teniendo en cuenta que no se debe sobrepasar la flexibilidad de las fibras de colágeno contenidas en su estructura. Las fuerzas tangenciales

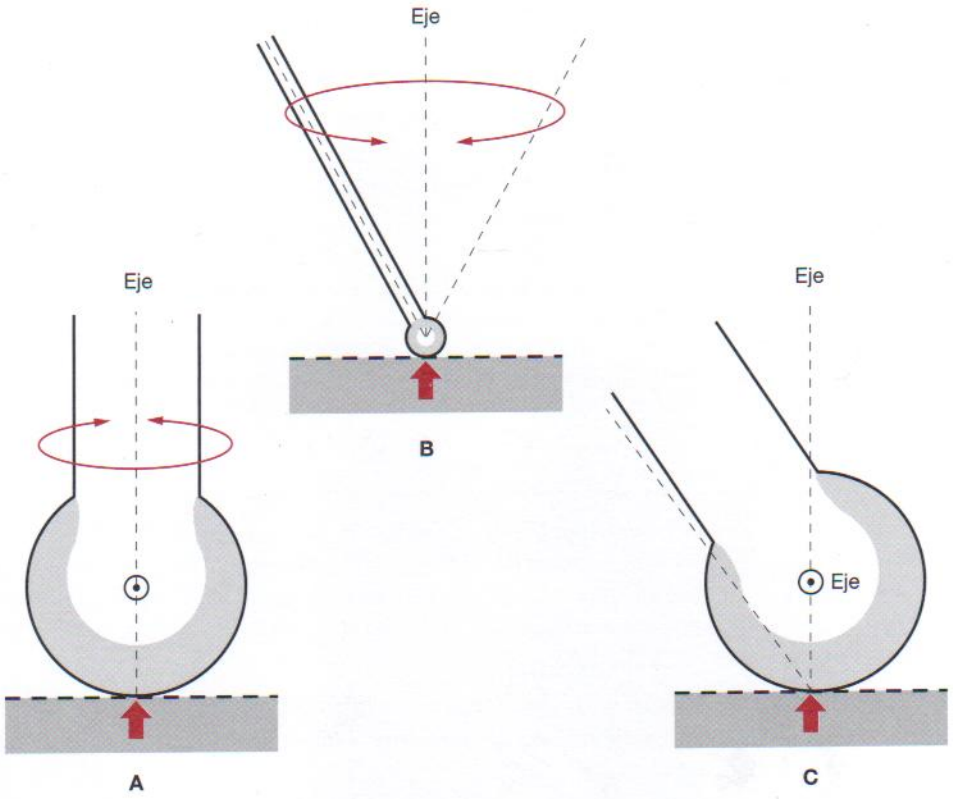


Figura 1.24. Movimiento articular. Giro o rotación. Se considera un ejemplo de auténtico giro al que se realiza de forma completa alrededor de un punto **(A)**. Si se produce un cambio en el eje perpendicular **(B)** durante el giro, hablamos de giro-rotación **(C)**.

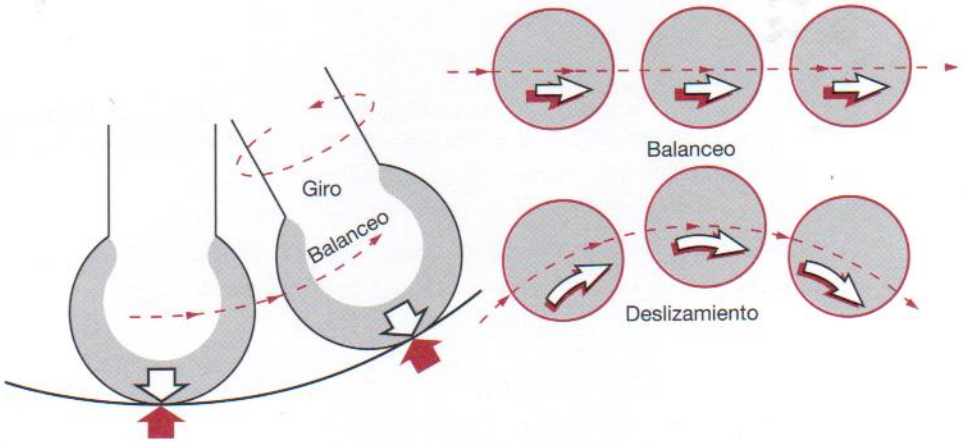


Figura 1.25. Movimiento articular. Movimientos de desplazamiento en un solo plano denominados balanceo. No hay rotación ni giro. Si se acompaña de rotación simultánea recibe el nombre de deslizamiento en arco.

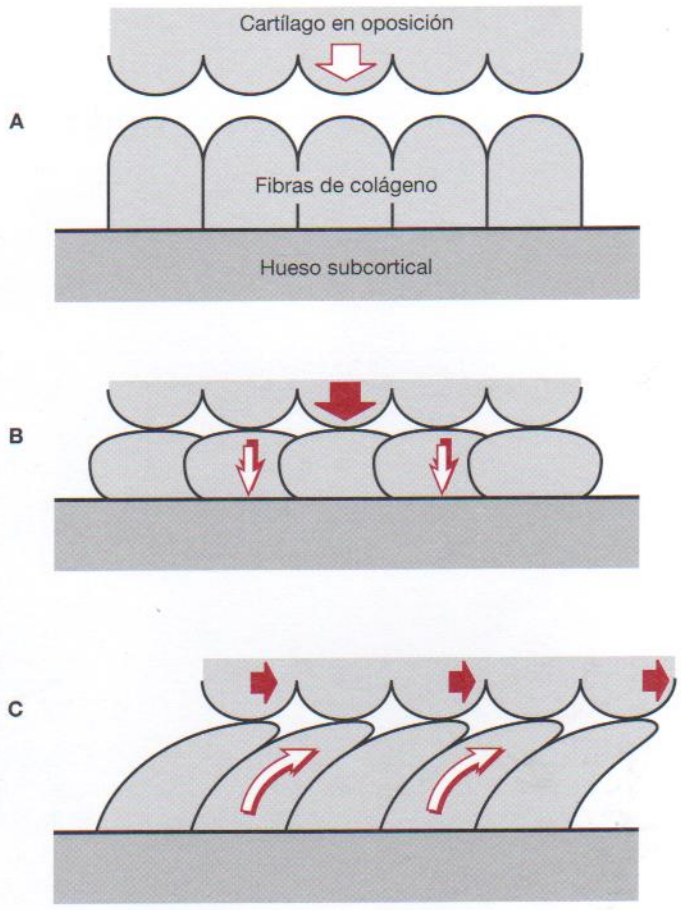


Figura 1.26. Cartílago. A, Cartílago con sus fibras espirales colágenas que actúan como resortes. **B,** Efectos de la presión sobre el cartílago, que comprime las fibras espirales colágenas. **C,** Efectos en el cartílago de fuerzas tangenciales.

son las más lesivas (Fig. 1.28). La degradación del cartílago articular se produce por la liberación de enzimas proteolíticas de los condrocitos, células sinoviales y neutrófilos[35-38]. Esas proteínas se conocen como *colagenasas* cuando destruyen el colágeno, *estromelisina* cuando destruyen la matriz y *neutrófilo-elastasa* cuando destruyen la elastina.

La presión sobre el cartílago exprime la hialuronidasa, que es un lubricante que minimiza la fricción y actúa como adhesivo, manteniendo juntas las superficies articulares opuestas.

Se cree que los cambios degenerativos en el cartílago se producen como resultado de varias fuerzas: 1) fuerzas longitudinales tangenciales que proceden del exterior y de contracciones musculares, 2) fuerzas compresivas no fisiológicas (excesivas) y 3) impacto sobre el hueso subcondral que causa microfracturas. Las fuerzas tangenciales que se consideraron predominantes en la degeneración articular están siendo cuestionadas actualmente. En estudios de laboratorio sobre animales la laceración del cartílago, considerada como algo raro en humanos, ha revelado interesantes resultados, en los que la laceración bajo la lámina calcificada causa un abombamiento hemorrágico en la hendidura, el cual termina por vascularizarse más adelante por medio de los vasos subcondrales (Fig. 1.29).

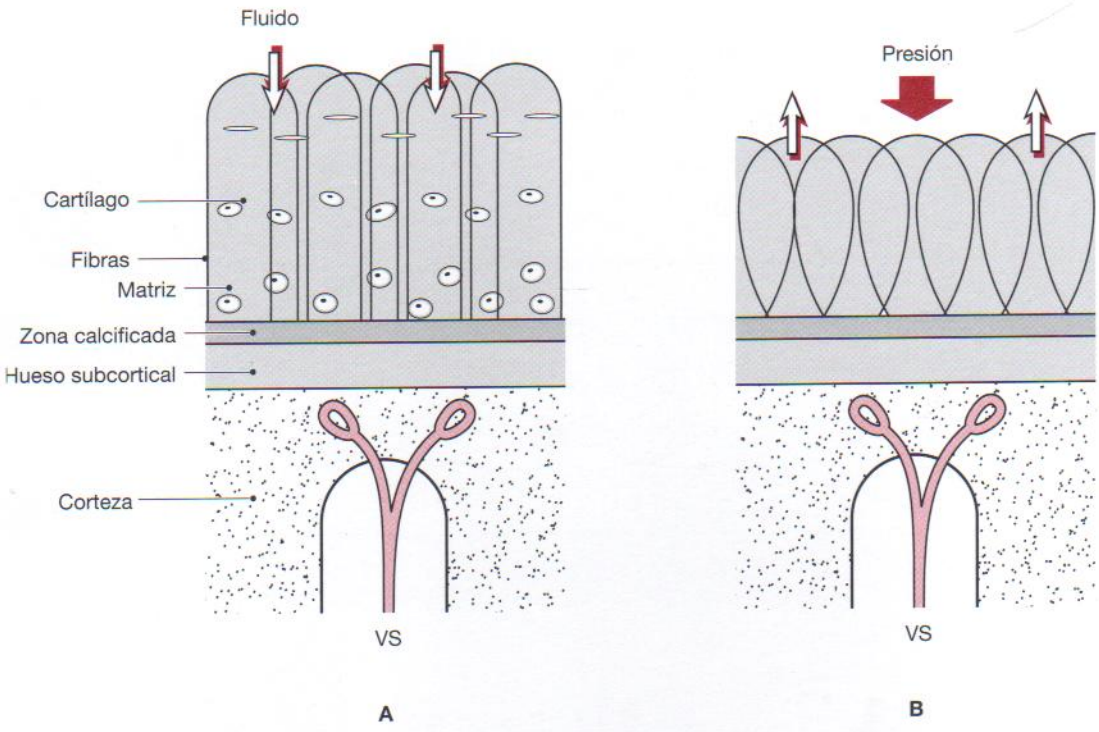


Figura 1.27. Nutrición del cartílago. A, Cartílago bañado en fluido vascular procedente de los vasos sanguíneos terminales (VS). **B,** La presión (flecha sólida), causa la exudación del líquido lubricante (sinovial) a través de la cápsula (flechas huecas).

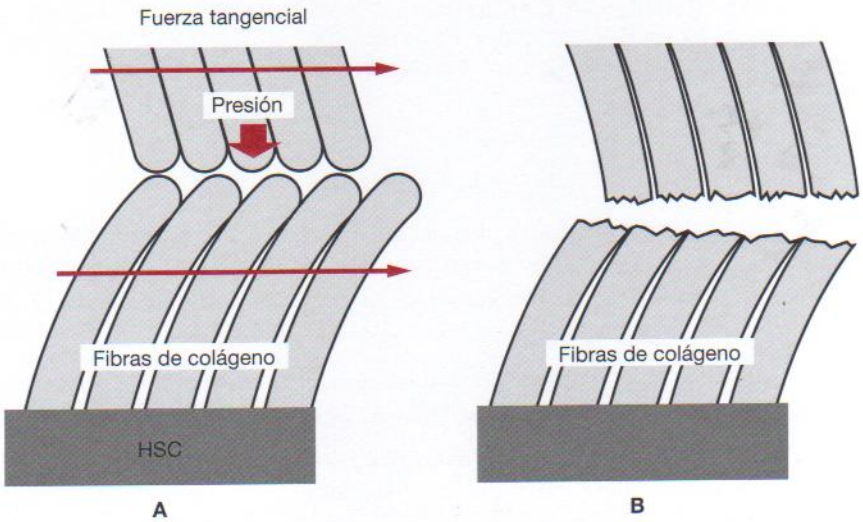


Figura 1.28. Daño resultante de la presión tangencial sobre el cartílago. A, Fuerzas tangenciales y de presión sobre el cartílago. HSC, hueso subcortical. **B,** Separación de las puntas de las fibras de colágeno, enrolladas dentro del cartílago como resultado de una presión excesiva, sobre todo cuando dicha presión es tangencial.

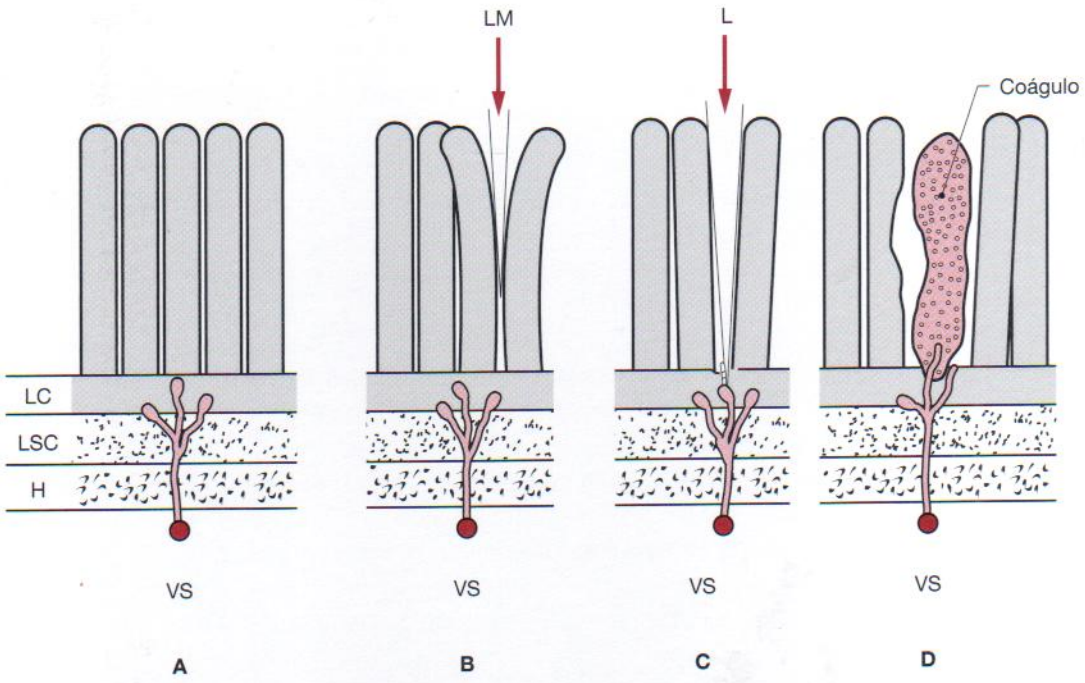


Figura 1.29. Respuesta del cartílago al traumatismo. **A,** Cartílago normal. LC, lecho calcificado. LSC, lámina subcortical y H, hueso. Los vasos sanguíneos (VS) penetran en la lámina calcificada, pero finalizan como bulbos terminales. **B,** Laceración mantenida (LM), que no alcanza la lámina calcificada. **C,** La laceración (L) alcanza y penetra en la lámina calcificada. **D**, Formación de trombos sanguíneos al que alcanzan los vasos sanguíneos marginales (VS).

Las laceraciones del cartílago que no alcanzan el hueso subcondral no progresan ni se curan; esto es lo que se ha sugerido que ocurre en el cartílago humano. En el daño del cartílago humano existe un «bombardeo» inicial de las superficies del cartílago. Los quistes formados mediante las fuerzas tangenciales originan agujeros. La hialuronidasa y otras enzimas penetran en esas cavidades y dañan la condroitina, que constituye la mayor parte del cartílago.

La degeneración del lecho superficial causa una pérdida de elasticidad; de esta forma, las terminaciones de los bucles dejan de ser funcionales. Esto disminuye la liberación del fluido lubricante, permitiendo la fricción del cartílago contra cartílago durante el movimiento normal. Los vasos sanguíneos en el hueso subcondral envían fibroblastos a través de las hendiduras, formando hueso de manera gradual, de forma que transforma la situación inicial de fricción cartílago contra cartílago en fricción hueso contra hueso.

Con todos esos cambios tisulares específicos en la actividad neuromuscular se pueden establecer las bases para conocer los cambios que puedan producirse en condiciones clínicas. Estas situaciones causan disfunción y a menudo dolor, los cuales se describirán en los capítulos siguientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. White AA, Panjabi MM. *Clinical Biomechanics of the Spine*. 2nd ed. Philadelphia, Pa: JB Lippincott; 1990.
2. Farfan HF. Form and function of the musculoskeletal system as revealed by mathematical analysis of the lumbar spine. *Spine*. 1995;20:1462-1474.
3. Raymond JL, Lisberger SG, Mauk MD. The cerebellum: a neuronal learning machine. *Science*. 1996;272:1126-1131.
4. Bringa M. Remapping the motor cortex. *Science*. 1995;268:1696-1698.
5. Schott GD. Penfield's homunculus: a note on cerebral cartography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1993;56:329-333.
6. Bernstein N. *The Co-ordination and Regulation of Movements*. Oxford, England: Pergamon Press; 1967.
7. Denier van der Gon JJ, Coolen ACC, Erkelens CJ, Jonker HJJ. Self-organizing neural mechanisms responsible for muscle coordination. In: Winters JM, Woo SL-Y, eds. *Multiple Muscle Systems: Biomechanics and Movement Organization*. New York, NY: Springer-Verlag; 1991.
8. Brooks VB. *The Neural Basis of Motor Control*. New York, NY: Oxford University Press; 1986.
9. Pennisi E. Tilting against a major theory of movement control. *Science*. 1996;272:32-33.
10. Wickelgren I.The cerebellum: the brain's engine of agility. *Science*. 1998;281:1588-1590.
11. deVries HA. Muscle tonus in postural muscles. *Am J Phys Med*. 1964;44:275-291..
12. Basmajian JV. *Muscles Alive: Their Function as Revealed by Electromyography*. Baltimore, Md: Williams & Wilkins; 1962.
13. Thomas JE. Muscle tone and spasticity. *J Nerve Met Dis*. 1961;132:505-514.
14. Ralston HJ, Lobet B. The question of tonus in skeletal muscle. *Am J Phys Med Rehabil*. 1953;32:85-92.
15. Kelton IW, Wright RD. The mechanism of easy standing by man. *J Exp Biol Med Sci*. 1949;27:505-515.
16. Jacobson EL. Innervation and tonus of striated muscle in man. *J Nerv Ment Dis*. 1943;97:197-203.
17. Scherrer J, Monod H. Le travail musculaire local et la fatigue chez l'homme. *J Physiol* (Paris). 1960;52:419-501.
18. Ecles JC. *The Physiology of Synapses*. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 1964.
19. Ikai M. Yabe K, Ischii K. Muskelkraft und musculare Ermuedung bei willkuerlicher Anspannung und elektrischer Reizung des Muskels. *Sportarzt Sportmed*. 1967;5:197-204.
20. Christensen EH. Muscular work and fatigue. In: Rodahl K, Horvath SM, eds. *Muscle as a Tissue*. New York, NY: McGraw-Hill; 1962.
21. Huxley AF. Muscular contraction. *Annu Rev Physiol*. 1988;50:1.
22. Grandjean E. Fatigue: its physiological and psychological basis. *Ergonomics*. 1968;11:427-436.
23. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II: Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord*. 1992;5:390-396.
24. Floyd WF, Silver PHS. Function of erector spinae muscles in flexion of the trunk. *Lancet* 1951;133:143.

25. Kaigle AM. Wessberg P, Hansson TH. Muscular and kinetic behavior of the lumbar spine during flexion-extension. *J Spinal Disord.* 1998;11:163-174.

26. Lavender SA, Tsuang TH, Andersson GBJ, Hafezi A, Shin CC. Trunk muscles co-contraction: the effects of moment direction and moment magnitude. *J Orthop Res.* 1992;10:691-700.

27. Zetterberg DG. Andersson GBJ, Schultz AB. The activity of individual trunk muscles during heavy physical loading. *Spine.* 1987;12:1035-1040.

28. Thelen DG, Schultz AB, Ashton-Miller JA. Co-contraction of lumbar muscles during development of time varying tri-axial moments. *J Orthop Res.* 1995;13:390-398.

29. Potvin JR, O'Brien PR. Trunk muscle co-contraction increases during fatiguing isometric, lateral bending exertions. *Spine.* 1998;23:774-780.

30. Crisco JJ, Panjabi MM. Postural biomechanical stability and gross muscular architecture of the spine. In: Winters JM, Woo SL-Y, eds. *Multiple Muscle Systems: Biomechanics and Movement Organization.* New York, NY: Springer-Verlag; 1991.

31. Tillman LJ, Cummins GS. Biological mechanisms of connective tissue mutability. In: Cummins DP, Nelson RM, eds. *Dynamics of Human Biological Tissues.* Philadelphia, Pa: FA Davis; 1992.

32. MacConnaill MA. Studies in the mechanics of synovial joints. *Irish J Med Sci.* 1946;21:223.

33. MacConnaill MA. The movement of bones and joints. *J Bone Joint Surg.* 1950;32B:244.

34. MacConnaill MA. The movement of bones and joints. *J Bone Joint Surg.* 1951;33B:251.

35. Polle AR. Enzymic degradation: cartilage destruction. In: Brandt KD, ed. *Cartilage Changes in Osteoarthritis.* Indianapolis, Ind: Indiana University School of Medicine; 1990.

36. Mankin HJ. The reaction of articular cartilage to injury and osteoarthritis. *New Engl J Med.* 1974;291:1335.

37. Johns RJ, Wright V. Relative importance of various tissues in joint stiffness. *J Appl Physiol.* 1962;17:825.

38. Coutts RD. Symposium: the diagnosis and treatment of injuries involving the articular cartilage. *Contemp Orthoped.* 1989;19:401.

capítulo 2

Anatomía funcional de la columna lumbosacra

Antes de diagnosticar y tratar una afección dolorosa e incapacitante de la columna lumbosacra y cervical hay que conocer su funcionamiento[1]. Una vez que lo hagamos, podremos elaborar una historia clínica y realizar un examen físico adecuado.

Estructura y función de la columna

Columna estática

La columna erecta recibe el nombre de *columna estática* o *postura* (Fig. 2.1). Consta de cuatro curvas fisiológicas: lordosis lumbar, lordosis cervical, cifosis torácica y cifosis sacra. Todas se ajustan a la línea de gravedad. Toda la columna descansa en la base sacra; su inclinación respecto de la horizontal influye en los grados de curvatura de la columna[2] (Fig. 2.2).

La columna se compone de unidades funcionales (Fig. 2.3). Éstas a su vez se componen de dos vértebras adyacentes separadas por un disco intervertebral. La columna anterior sirve de soporte[3] y la posterior es donde se realiza el movimiento.

Columna lumbosacra

La columna lumbosacra se compone de cinco unidades funcionales (Fig. 2.4). La columna lumbosacra influye en el sacro y en todas las vértebras adyacentes, las cuales están separadas por un disco intervertebral (Figs. 2.5, 2.6 y 2.7).

El disco intervertebral es una estructura elástica compuesta por mucopolisacáridos que contienen fibras anulares; éstas se insertan en las placas terminales de dos vértebras adyacentes y adquieren una disposición en capas con direcciones oblicuas[1, 2]. Este anillo fibroso envuelve un núcleo central. El núcleo pulposo es también un gel proteoglucano que contiene de forma aleatoria fibras de colágeno de tipo II[4]. Su matriz es hidrofílica y se llena de agua durante su función diaria. (Para más información sobre las fibras de colágeno véase el Cap. 1.) Las fibras anulares de colágeno están dispuestas en 10 ó 20 capas concéntricas, y cada fibra se cruza con un ángulo de 65° respecto del eje longitudinal de la columna vertebral. La inclinación varía según las fuerzas de compresión. El ángulo y la longitud de las fibras de colágeno del anillo también varían de acuerdo con su proximidad al núcleo (Fig. 2.8). La inclinación y las longitudes de las fibras anulares varían según las fuerzas que afectan al disco (Fig. 2.9).

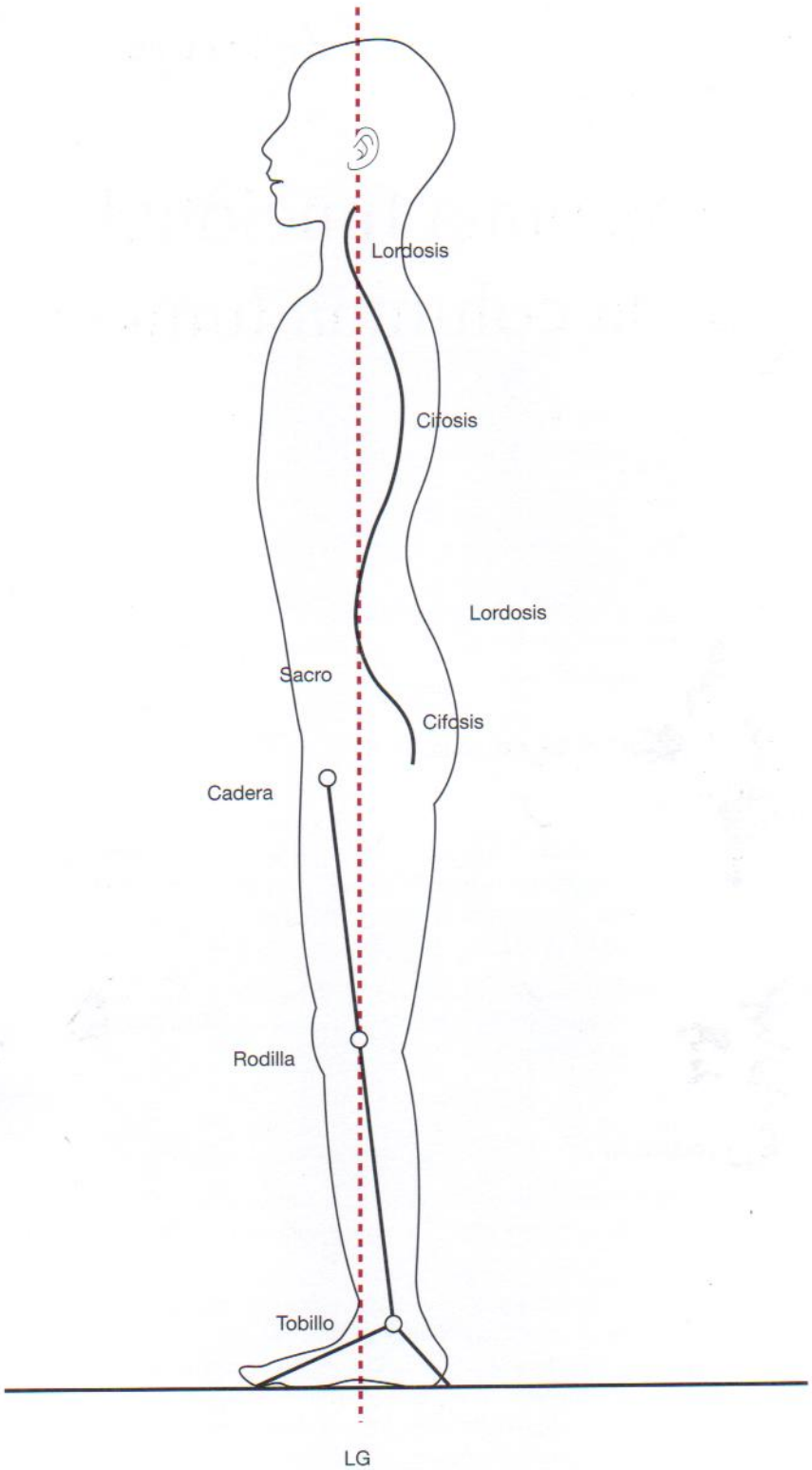


Figura 2.1. Postura: relaciones de la línea de gravedad. Relación de la línea de gravedad (LG) con las cuatro curvas fisiológicas de la columna (línea curva en negrita).

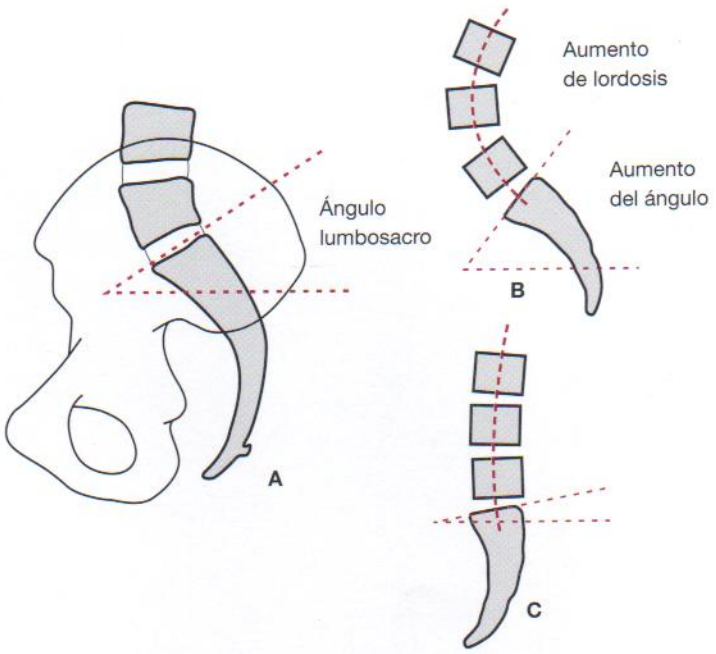


Figura 2.2. Ángulo lumbosacro. A, Ángulo lumbosacro normal. **B,** Aumento de la lordosis lumbar por aumento del ángulo lumbosacro. **C,** Disminución de la lordosis por disminución del ángulo.

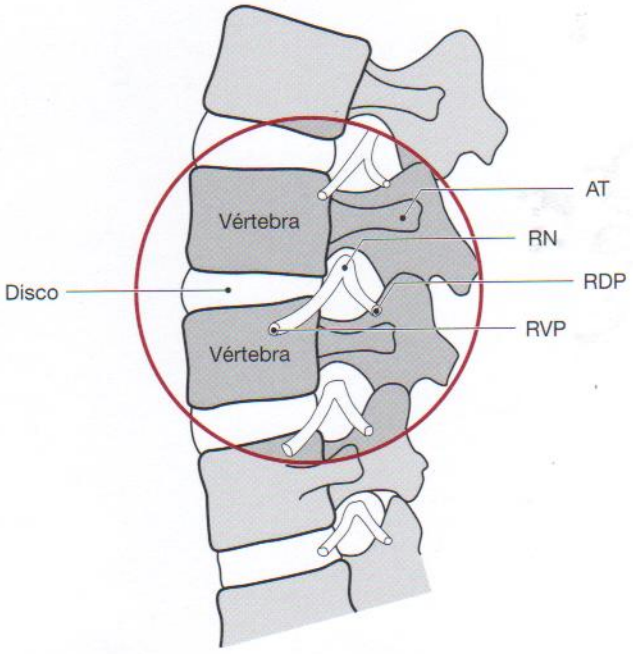


Figura 2.3. Unidad funcional. Vértebras adyacentes separadas por el disco. AT, apófisis transversas; RN, raíz nerviosa; RDP, rama dorsal primaria; RVP, rama ventral primaria.

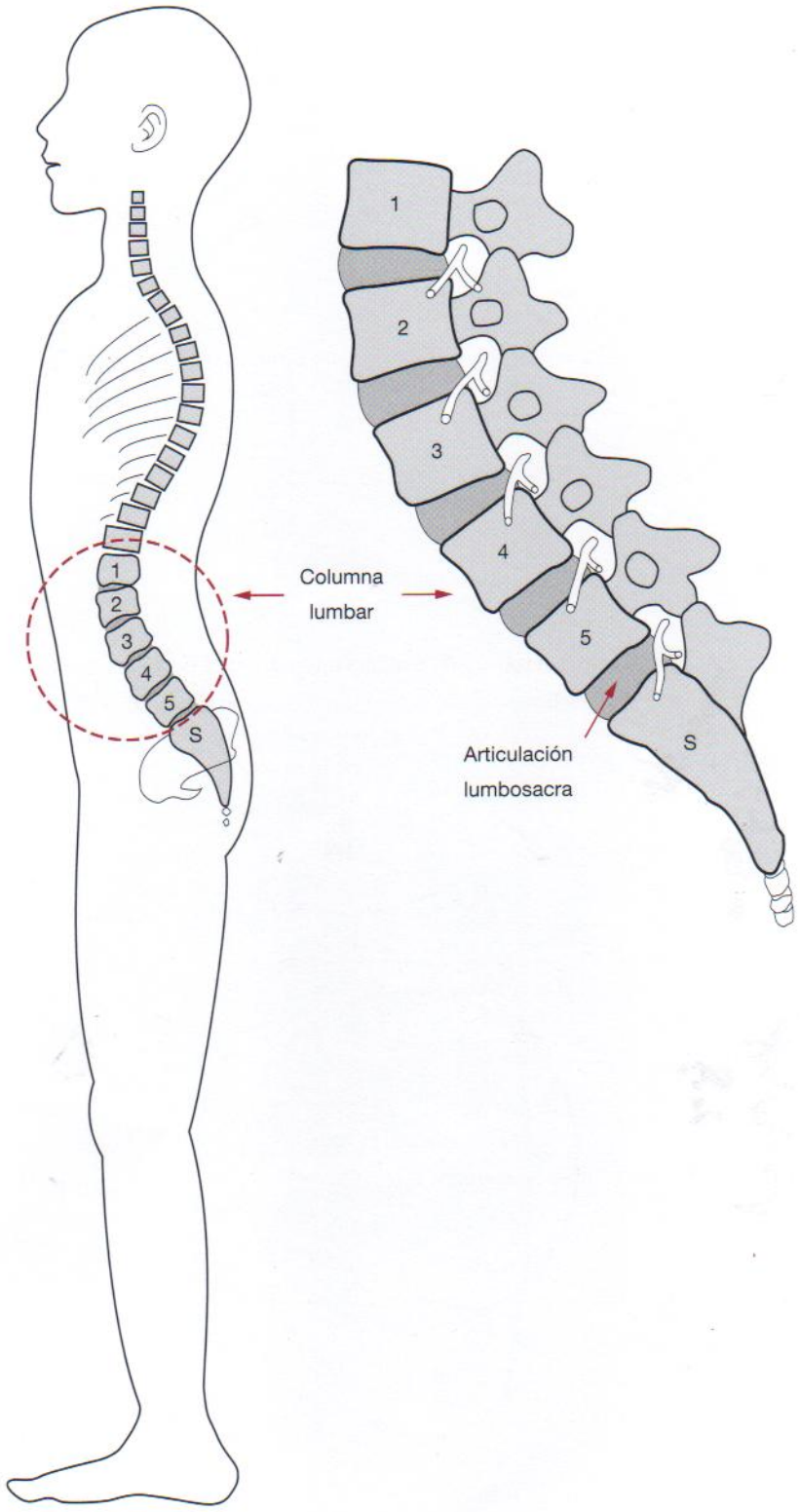


Figura 2.4. Columna lumbosacra. La columna lumbosacra consiste normalmente en cinco unidades funcionales. En ocasiones, algunas unidades están fusionadas. S, sacro.

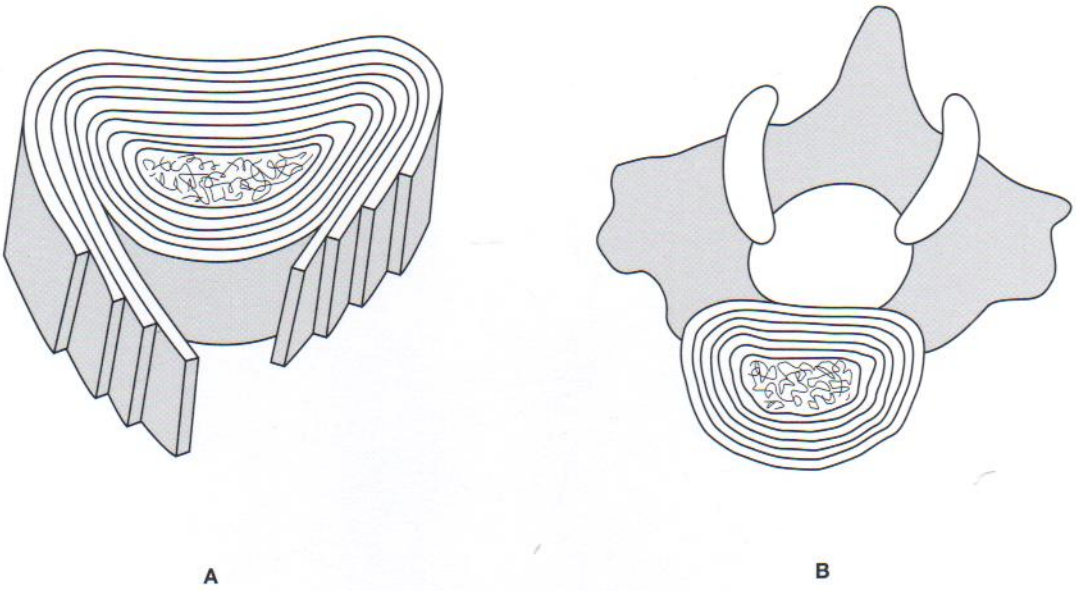


Figura 2.5. Disco intervertebral. A, El disco intervertebral está formado por un núcleo central envuelto por un anillo fibroso. **B,** Localización del disco en la unidad funcional.

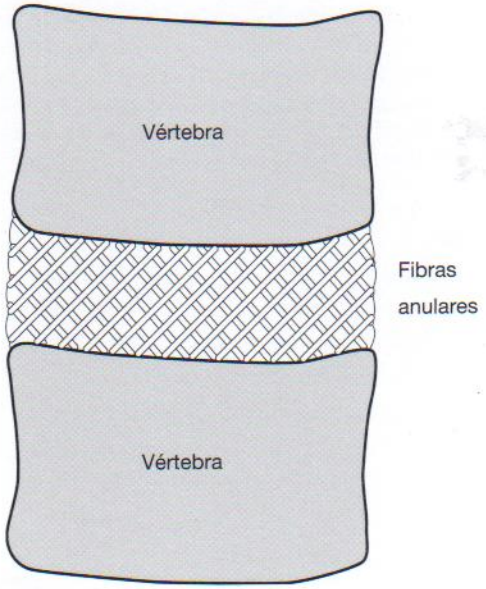


Figura 2.6. Anillo fibroso. El anillo fibroso que rodea el núcleo está formado por capas de fibras de colágeno que están orientadas a 30°. Cada capa presenta una dirección opuesta.

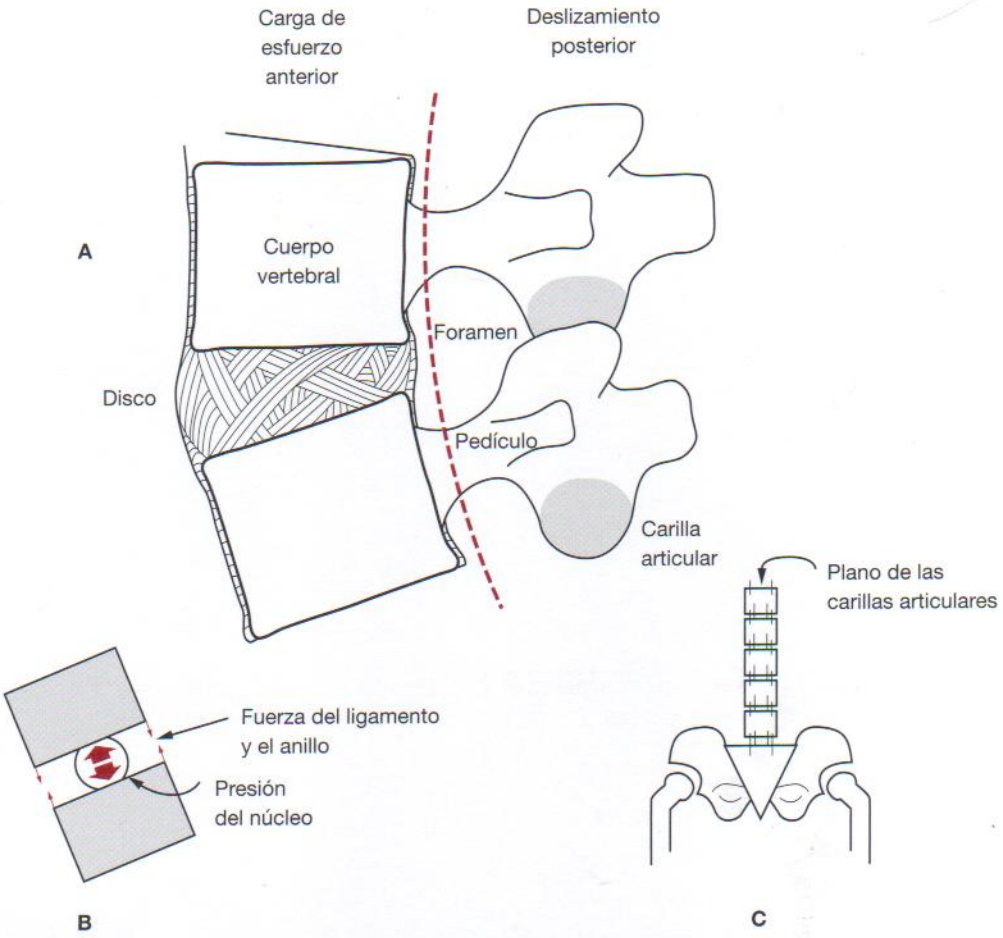


Figura 2.7. Disco intervertebral. A, Vista lateral del disco intervertebral que muestra el entrecruzamiento de las fibras del anillo fibroso localizadas en el pilar anterior de la unidad funcional. **B,** Representación esquemática de las fuerzas del núcleo (flechas cortas gruesas) que separan los cuerpos vertebrales. Las flechas finas muestran los ligamentos longitudinales y las fibras externas del anillo fibroso. **C,** Vista posterior de la alineación sagital de las carillas articulares a nivel lumbar.

Las placas terminales vertebrales a las que están pegadas las fibras de colágeno del disco constituyen restos de los cartílagos de crecimiento, los cuales, en niños pequeños, son fibrocartílagos. La placa terminal cartilaginosa sufre calcificación y osificación de manera circular, formando un anillo alrededor del extremo de cada vértebra (Fig. 2.10).

El disco intervertebral que separa dos vértebras adyacentes debido a su presión interna intrínseca causa tensión en el anillo fibroso[5] (Fig. 2.11); hay tensión hidrodinámica tanto dentro del núcleo como dentro del anillo. La extracción del núcleo no afecta a la compresión, pero facilita el deslizamiento de la vértebra adyacente[6].

La curvatura sagital lumbar ha sido determinada teniendo en cuenta estudios antropométricos radiológicos de la postura humana erecta. Inicialmente, se medía con el ángulo de Cobb (Fig. 2.12). Este ángulo no se basa en la postura erecta y no refleja la influencia de la acción de la gravedad; describe una curvatura leve en todos los niveles segmentales. Estudios más recientes han demostrado que la lordosis de cada segmento se da, en el 65% de los casos, entre L4 y S1[6] (Figs. 2.13 y 2.14).

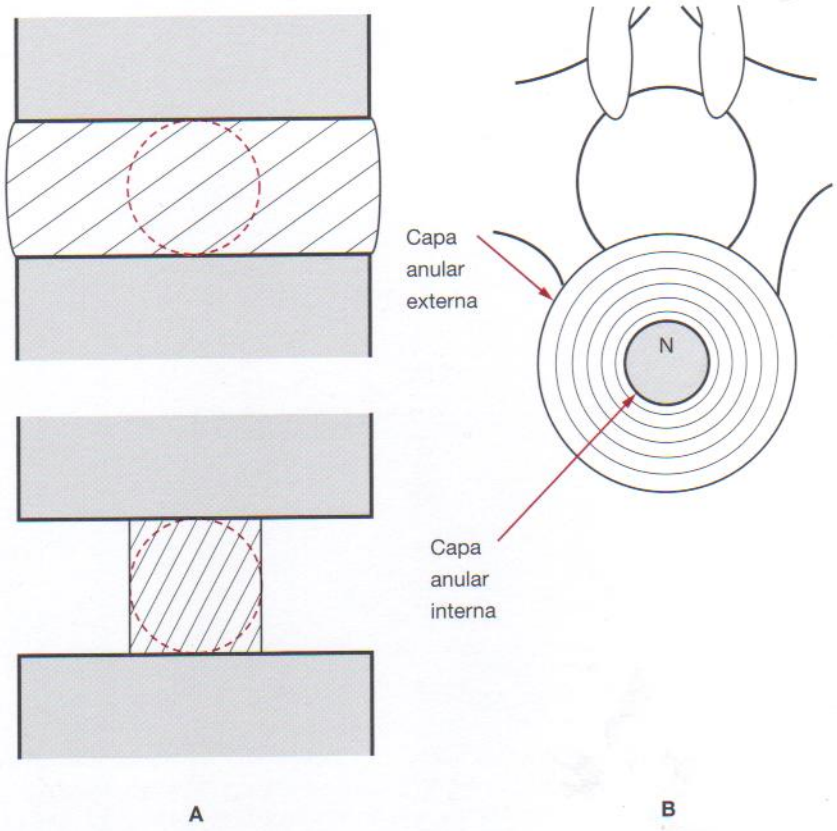


Figura 2.8. Variación de la inclinación de las fibras. A, Inclinación de las capas externas (arriba) e inclinación de las fibras próximas al núcleo (abajo). **B,** Capas internas y externas mostradas en **A.**

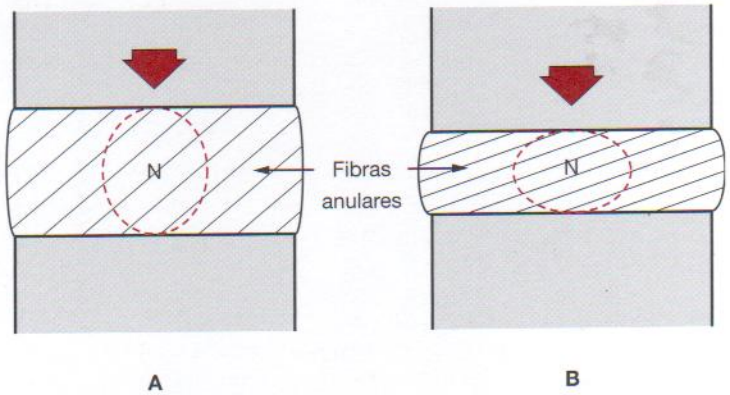


Figura 2.9. Inclinación de las fibras del anillo fibroso según la variación de la fuerza de compresión. A, Inclinación y longitud de las fibras en el disco sin presión. El ángulo de las fibras es de aproximadamente 30°. **B,** El disco alargado por las fuerzas de compresión cambia el ángulo y longitud de sus fibras. Durante la flexo-extensión lumbar los ángulos cambian según las fuerzas generadas. N, núcleo; flechas, fuerzas de compresión.

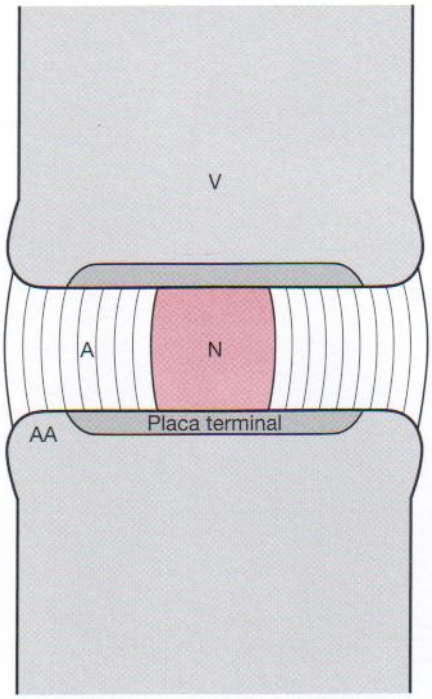


Figura 2.10. Placa terminal vertebral. Calcificación de las placas terminales de los cuerpos vertebrales (V) que forma un anillo apofisario (AA). El núcleo del disco (N) está localizado centralmente, y el anillo fibroso (A) lo envuelve. Las fibras internas del anillo fibroso están unidas a la placa terminal.

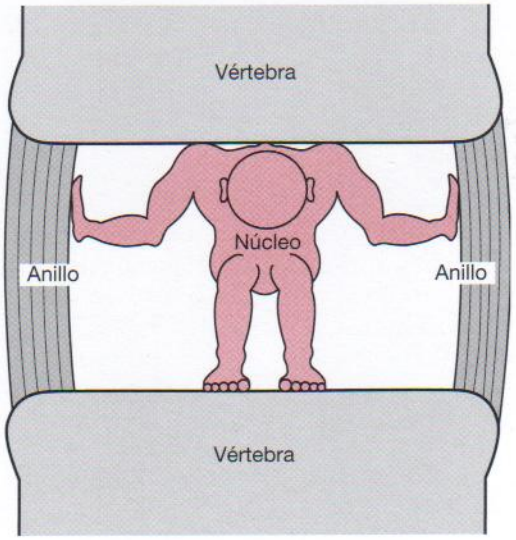


Figura 2.11. Función del núcleo discal. La presión intrínseca del núcleo pulposo separa las dos placas vertebrales adyacentes y mantiene tenso el anillo fibroso.

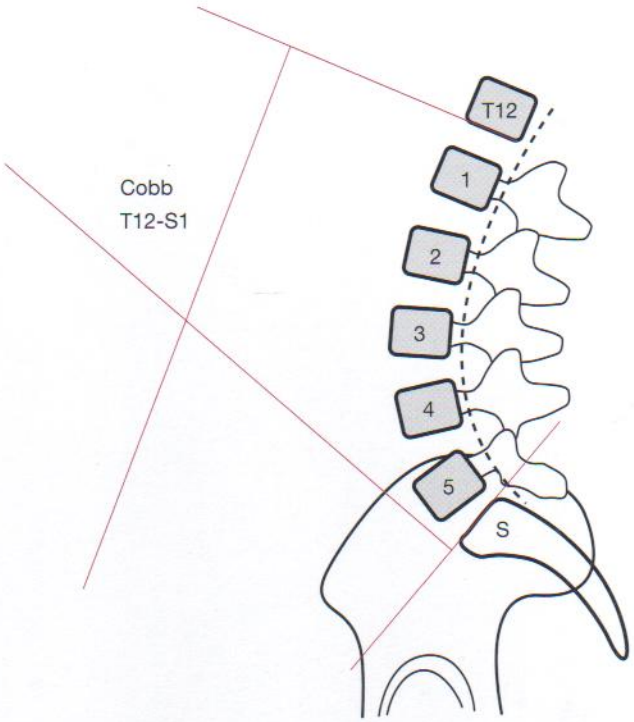


Figura 2.12. Ángulo de Cobb. El ángulo de Cobb se determina con la intersección de la perpendicular a la línea de la base de T12 y la perpendicular a la línea de la cara superior del sacro (S)[7].

Estabilidad de la columna lumbar

La columna desempeña simultáneamente una función estática y una dinámica. El pilar anterior de la unidad funcional soporta el peso de la unidad y el anillo fibroso del disco, y los ligamentos anteriores y posteriores proporcionan la estabilidad[6]. Además, se ha demostrado que las carillas articulares también soportan peso[8]. Los efectos de los músculos espinales en la estabilidad han sido difíciles de determinar. Recientemente, diversos estudios han demostrado que ayudan a mantener la estabilidad de la columna lumbosacra en enfermedades del disco o espondilolistesis[8].

La lordosis de la columna erecta produce deslizamientos de la vértebra superior respecto de la inmediatamente inferior en diferentes niveles [8,9]. Se puede prevenir el deslizamiento o minimizar sus efectos por la «rigidez» del anillo fibroso. Esta rigidez aumenta cuando actúan simultáneamente fuerzas de compresión y de deslizamiento (Fig. 2.15). La rigidez se produce también en los elementos posteriores cuando el disco está más rígido, o con la torsión[9,10]. Durante la flexión de la columna aumenta la rigidez del anillo fibroso y de los ligamentos supraespinosos e intraespinosos[11].

Listesis

El término *listesis* indica el deslizamiento por traslación de un cuerpo (vértebra) sobre el inmediatamente inferior (vértebra). Se ha definido traslación como el movimiento en una línea recta paralela a la superficie de un cuerpo rígido. Se trata de una fuerza que sigue esa dirección y que posee una determinada magnitud. La traslación y la listesis deben estudiarse, puesto que constituyen factores importantes en la inestabilidad de la columna.

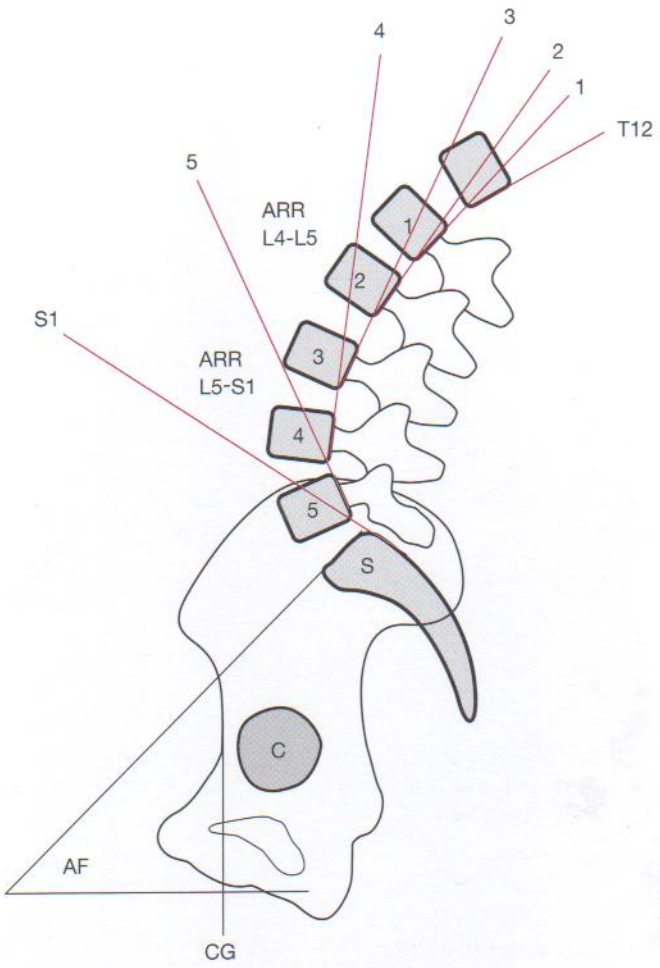


Figura 2.13. Modelo elíptico de la curvatura lumbar. Ángulos de rotación relativa (ARR) con líneas desde la superficie posterior vertebral. Los ARR L5-S1 y ARR L4-L5 indican el grado de curvatura a estos dos niveles, que es mayor que en otros. AF, ángulo de Ferguson; CG, centro de gravedad; S, sacro; C, cadera (cabeza del fémur).

Una vértebra inclinada ventralmente tiende a deslizarse hacia delante sobre la vértebra inmediatamente inferior debido a la curvatura fisiológica de la columna por el efecto de la gravedad. Un ejemplo de ello lo encontramos en la columna lumbosacra L5 sobre S1 (Figs. 2.16, 2.17 y 2.18).

Columna dinámica

Al doblarse la columna lumbar ventralmente se produce una flexión y rotación lateral de manera simultánea y no estrictamente en un plano sagital. Esta combinación de flexión lateral y rotación se llama *acoplamiento*, y se da con diferente intensidad en los distintos niveles segmentales. En el acoplamiento hay traslación (deslizamiento) en cada segmento (Figs. 2.19, 2.20 y 2.21).

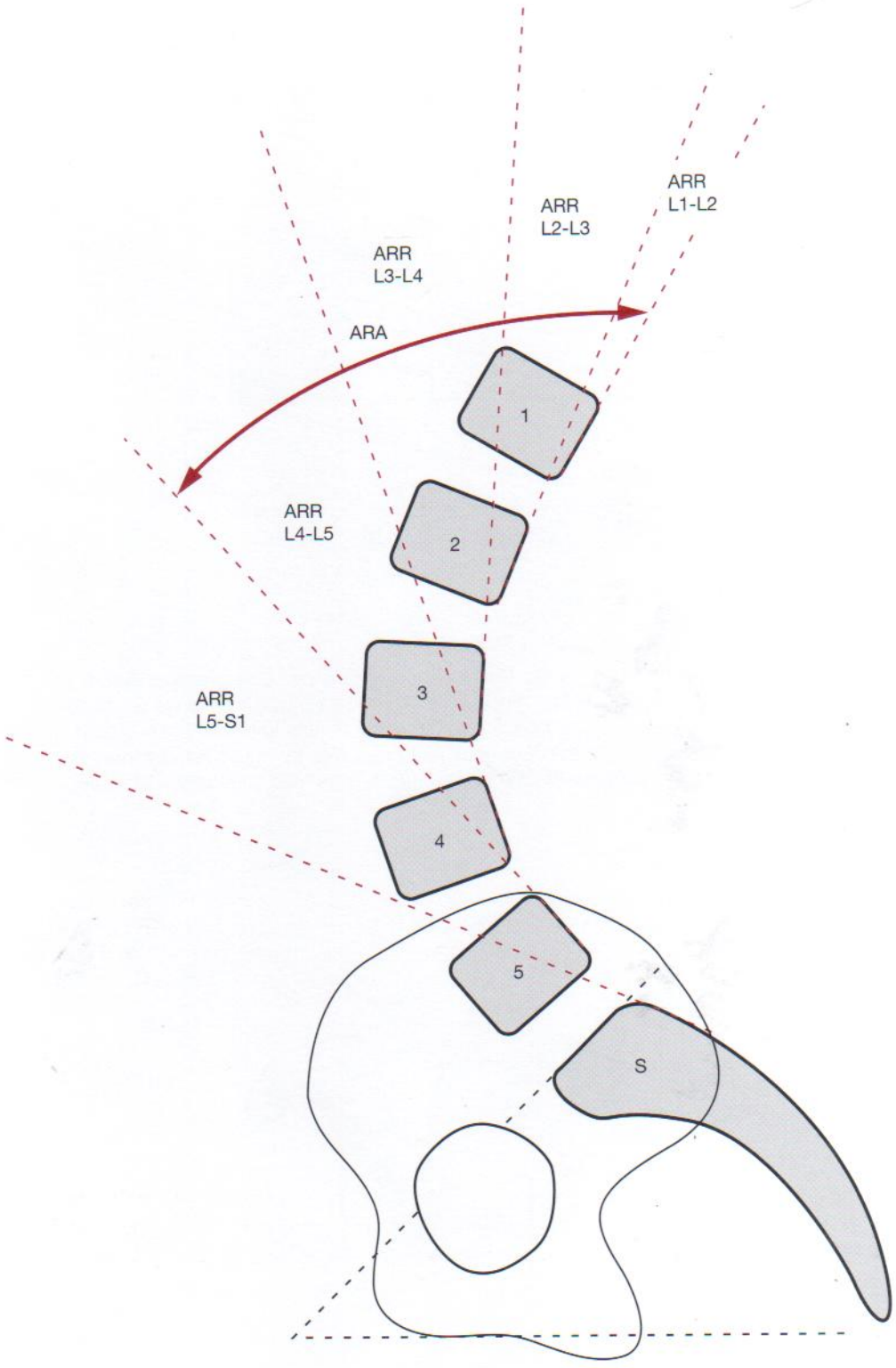


Figura 2.14. Ángulos de rotación relativa en todos los niveles. Cada ángulo de rotación relativa (ARR) se representa en cada nivel vertebral de la columna lumbosacra. S, sacro.

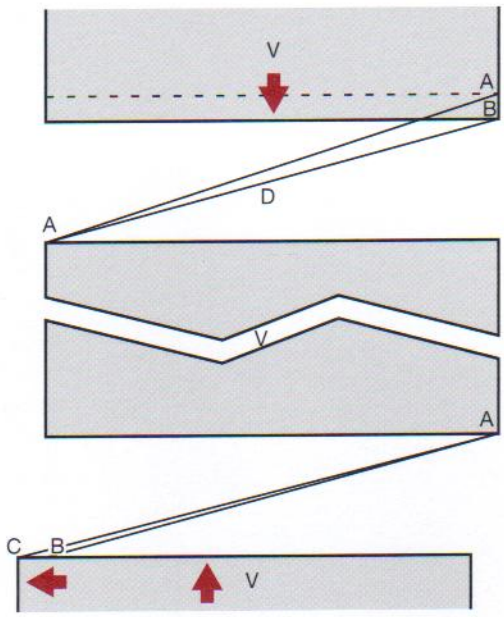


Figura 2.15. Longitud de las fibras de colágeno por compresión discal y traslación. La figura superior muestra la diferencia en longitud de las fibras de colágeno (A-A) dependiendo del ancho del disco (líneas entrecortadas) o cuando se comprimen (flecha). A-A es más larga que A-B. La figura inferior muestra la diferencia por traslación (flecha horizontal). A-C es más larga que A-B. V, vértebra; D, disco.

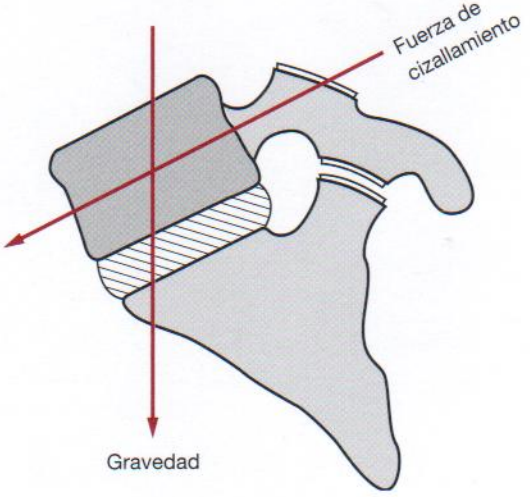


Figura 2.16. Relación angular de L5 en el sacro. Debido a la gravedad, la vértebra superior ejerce una fuerza de cizallamiento hacia delante paralela a la superficie de la base del sacro.

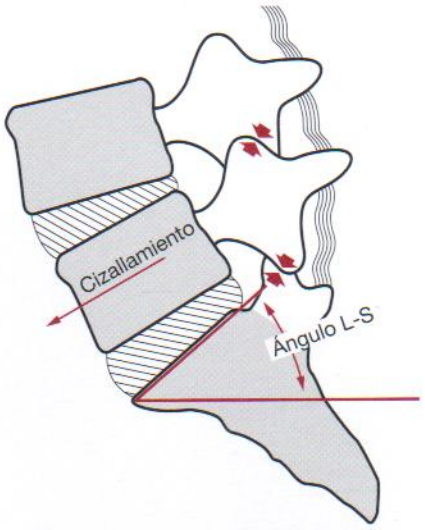


Figura 2.17. Resistencia de la columna lumbosacra ante la fuerza de cizallamiento. La vértebra L5, que se encuentra sobre el sacro, soporta la acción del componente deslizante, movimiento que resisten las carillas articulares (flechas cortas gruesas).

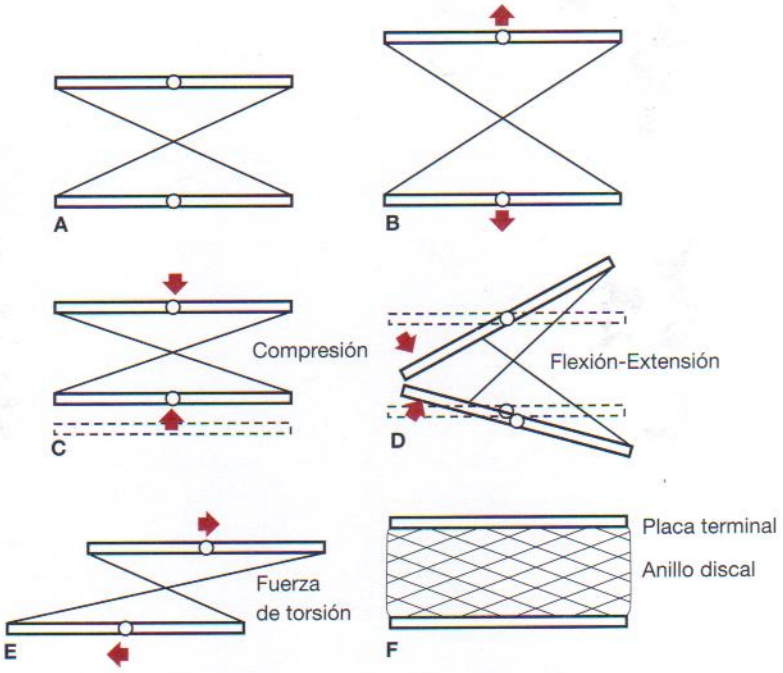


Figura 2.18. Cambios intrínsecos del anillo fibroso causados por movimientos vertebrales. A, Inclinación de las fibras del anillo en un disco normal en posición de descanso. **B,** Distensión del disco por fuerzas de separación. **C,** Compresión. **D,** Flexión-extensión normal. **E,** Fuerza de torsión. **F,** Inclinación normal de las fibras. Las fibras del anillo fibroso se alargan fisiológicamente, aunque también su inclinación cambia en los movimientos normales.

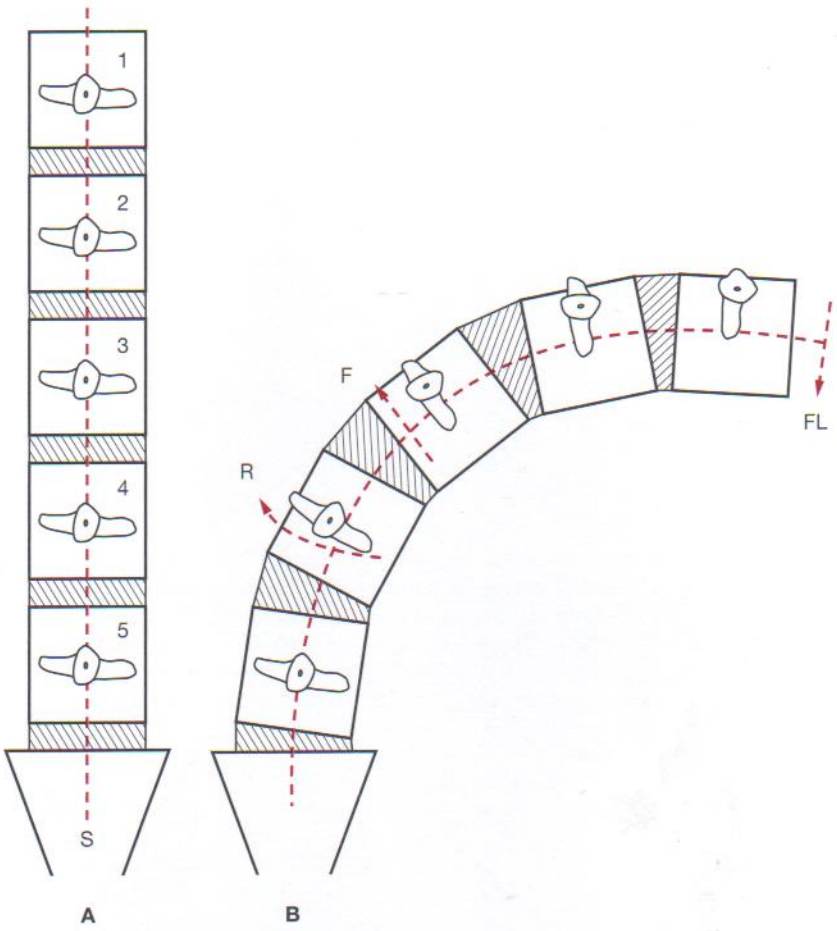


Figura 2.19. Acoplamiento de la columna. A, Vista posterior de la columna erecta. Las cinco vértebras se encuentran alineadas en un plano sagital. S, sacro. **B,** Flexión lateral hacia la derecha (FL) acompañada de rotación (R) hacia el lado convexo de la flexión. Se genera una fuerza (F).

A comienzos del siglo XX, Lovett[12,13] observó un movimiento de «acoplamiento» de la columna en su actividad diaria de flexión, y alegó que «la flexión lateral probablemente no existe como movimiento puro, sino que se considera parte de un movimiento compuesto en la flexión y rotación de la columna» (Fig. 2.22).

En numerosos estudios en los que se describe la velocidad y aceleración en movimientos de la columna, Marras y cols.[14] proponen el concepto de flexión y rotación de la columna en diversos ángulos (Fig. 2.23).

En cuanto a la «columna estable», tanto la estabilidad estática como la dinámica necesitan análisis y estudio, puesto que la «inestabilidad primaria» de las vértebras lumbares se consideraba la principal causa de dolor en la parte inferior de la espalda[15,16]. Junghanns consideró la inestabilidad primaria como «listesis», a la que él llamó «seudolistesis», puesto que no presentaba defectos en el arco neuronal[17]. Se estableció un diagnóstico de la listesis mediante estudios radiológicos de la columna en flexión total y en hiperextensión en posición ortostática[18]. Junghanns afirma que el deslizamiento anteroposterior puede evidenciar la degeneración discal. En repetidos exámenes realizados por numerosos investigadores se ha observado una estrecha relación entre la inestabilidad lumbar y una forma específica de degeneración discal causada por un traumatismo. Las principales anomalías fueron fracturas y fisuras entre las láminas y desgarros transversales en el anillo fibroso. La inestabilidad origina secundariamente casos de espondilolistesis, enfermedad degenerativa grave del disco y herniación completa de éste o protrusión grave.

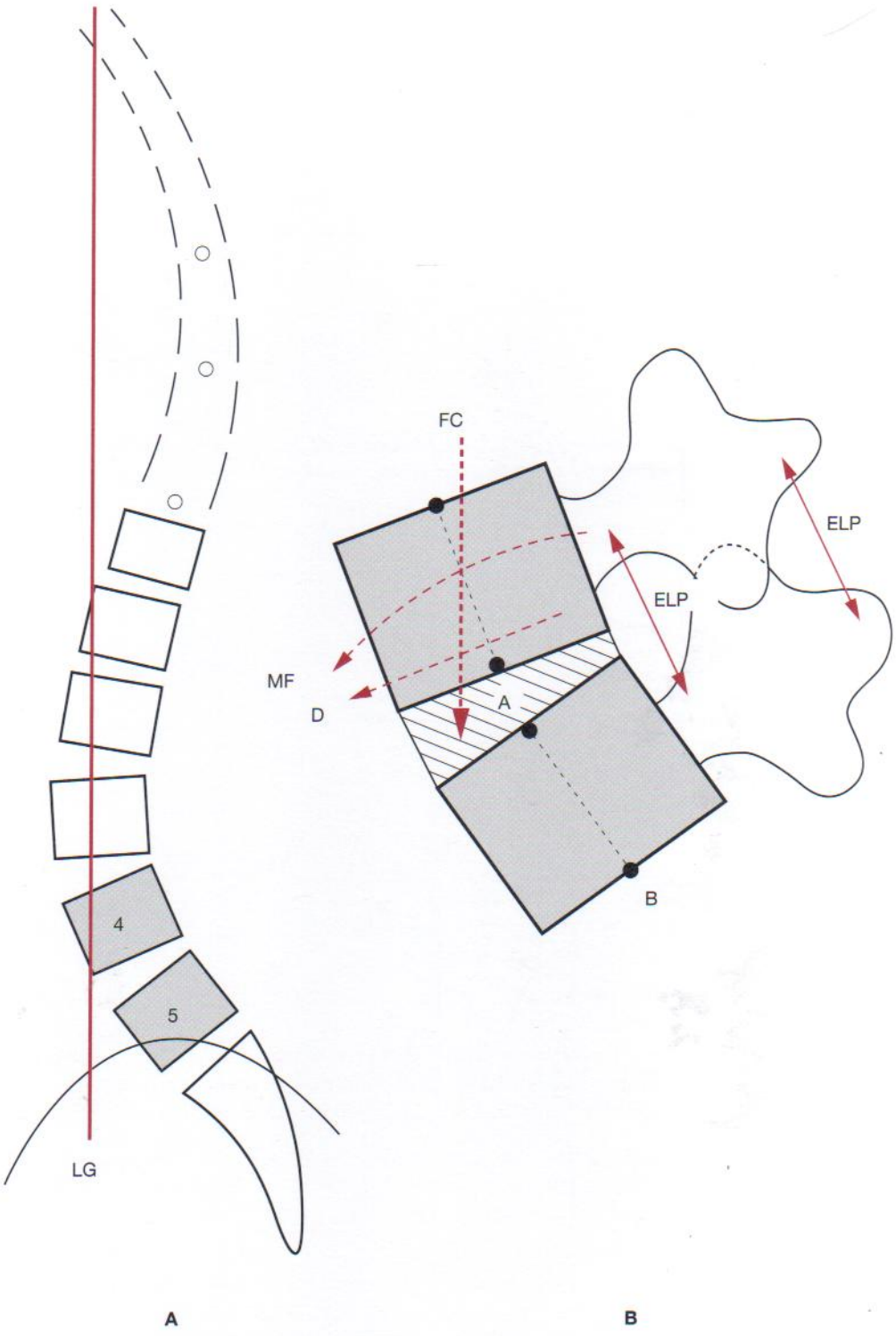


Figura 2.20. Deslizamiento de la unidad funcional en el movimiento de flexión-rotación. A, Columna erecta donde destaca la inclinación de L4-L5. LG, línea de gravedad. **B,** Movimiento de flexión (MF) de la vértebra superior en relación a su eje vertical de rotación (A). Resistencia a la flexión por las estructuras ligamentosas posteriores (ELP). D, deslizamiento; FC, fuerza de compresión. A-B, ángulo formado entre las vértebras.

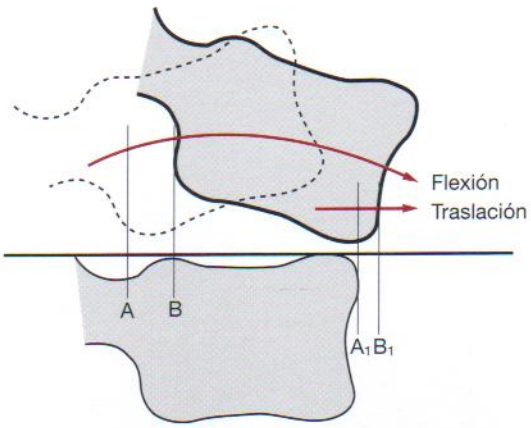


Figura 2.21. Flexión y rotación de la unidad funcional. La vértebra superior se flexiona y traslada respecto a la inferior. A-B representa el recorrido en la región posterior. A_1-B_1, la traslación anterior.

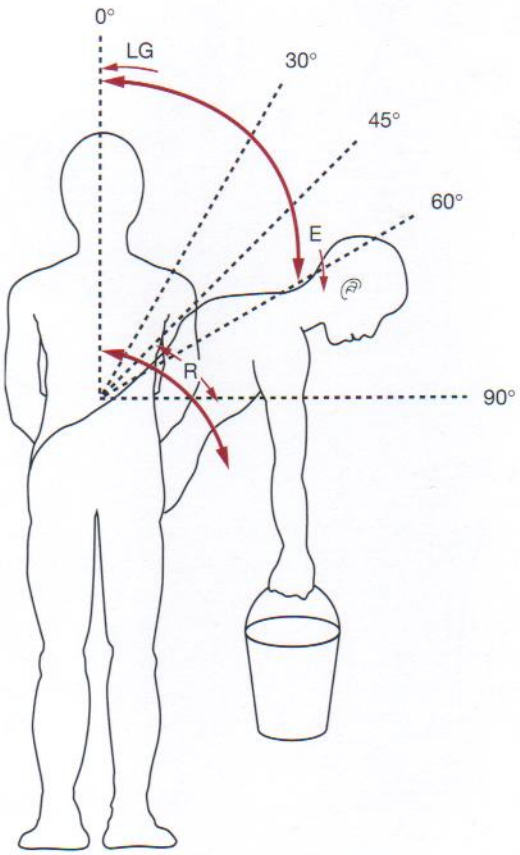


Figura 2.22. Flexión-rotación de la columna en relación al plano de las carillas articulares. En posición erecta se muestra el alineamiento paralelo de las carillas. La posición inclinada muestra el movimiento asimétrico de las carillas. R, rotación; E, extensión; LG, línea de gravedad.

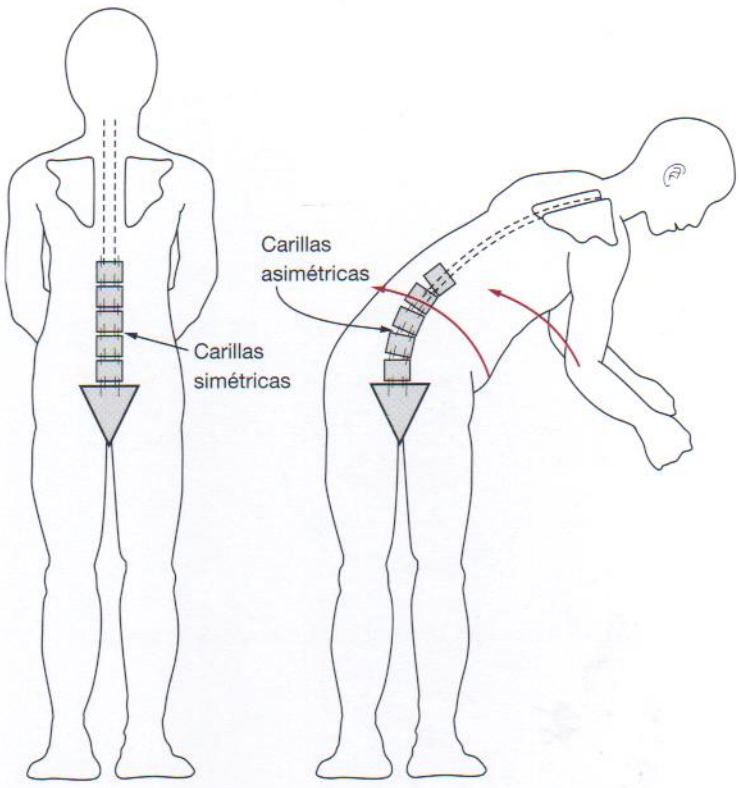


Figura 2.23. Planos asimétricos durante el movimiento de torsión. La asimetría en los planos de movimiento varía entre 0° y 15° respecto del plano sagital, bien hacia la derecha, bien hacia la izquierda.

Elementos de la columna posterior

Ya se ha analizado la función de soporte del pilar anterior de la unidad funcional. En la parte posterior del cuerpo vertebral hay elementos óseos que forman el canal medular y una lámina que contiene las carillas articulares (articulación interapofisaria o zigoapofisaria, Fig. 2.24). Las carillas articulares forman una articulación diartrodial con cápsula y líquido sinovial, donde se articulan la carilla superior de la vértebra inferior y la carilla inferior de la vértebra superior (Fig. 2.25). Su orientación en un plano vertical permite el movimiento de flexión y extensión, pero limita el movimiento de lateroflexión y la rotación[17] (Fig. 2.26). Su función es también aumentar la rigidez ante la torsión del anillo[19]. Asimismo, previene la listesis (Fig. 2.27).

Aunque en la flexo-extensión del tronco las carillas articulares realizan un movimiento de flexión y extensión, así como una ligera rotación y lateroflexión, el grado total de movimiento se ve limitado por ellas (Figs. 2.28, 2.29 y 2.30).

La cápsula de la articulación interapofisaria está reforzada anteriormente por el ligamento amarillo, que discurre por la pared posterior del canal medular. En cada cápsula hay unas almohadillas de grasa que forman una estructura similar a un menisco (Fig. 2.31). Estos «meniscos» y la cápsula son inervados por fibras propioceptivas y nociceptivas, transmitiendo dolor y propiocepción[19].

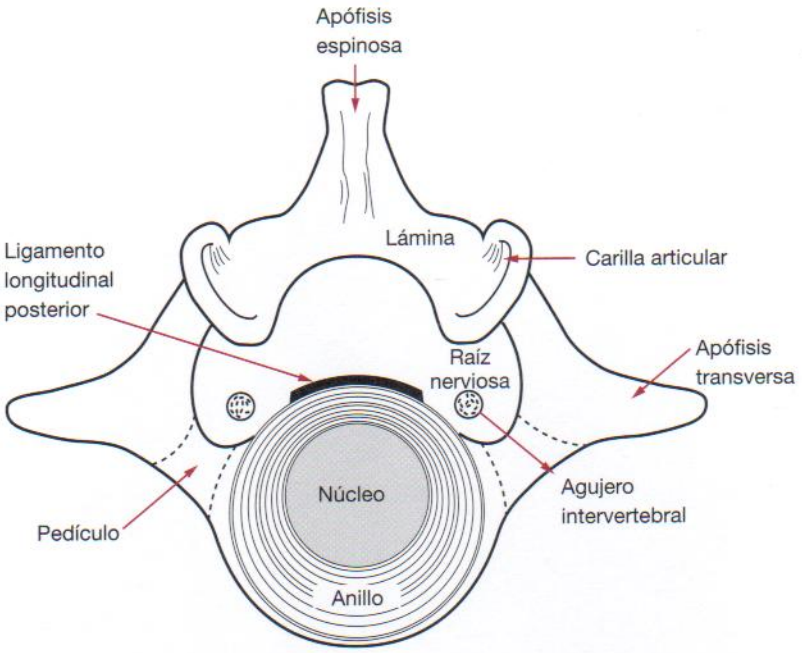


Figura 2.24. Unidad funcional. Vista desde arriba de diversos componentes de la unidad funcional.

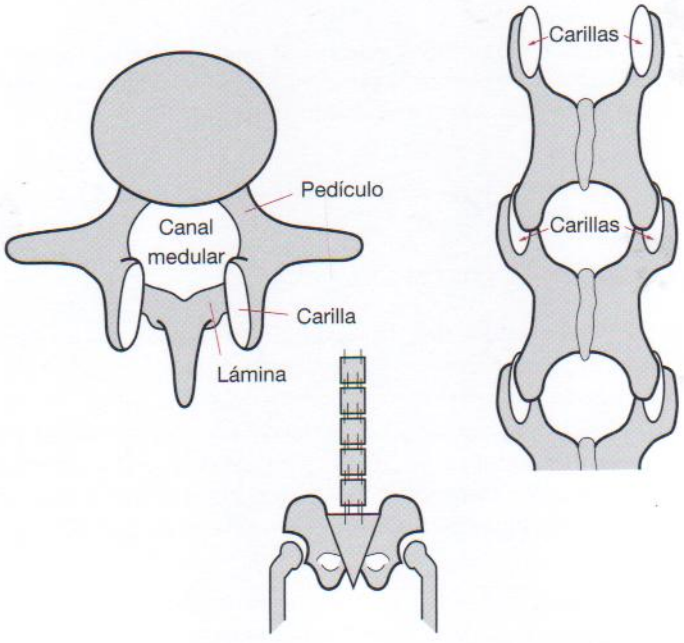


Figura 2.25. Orientación de las carillas articulares a nivel lumbar. Las figuras superior izquierda y derecha representan, respectivamente, una visión craneal y posterior, observándose en la figura inferior el detalle de la orientación vertical de las carillas. Esta orientación vertical de las carillas permite la flexión y extensión de cada unidad funcional y limita el movimiento lateral y de rotación.

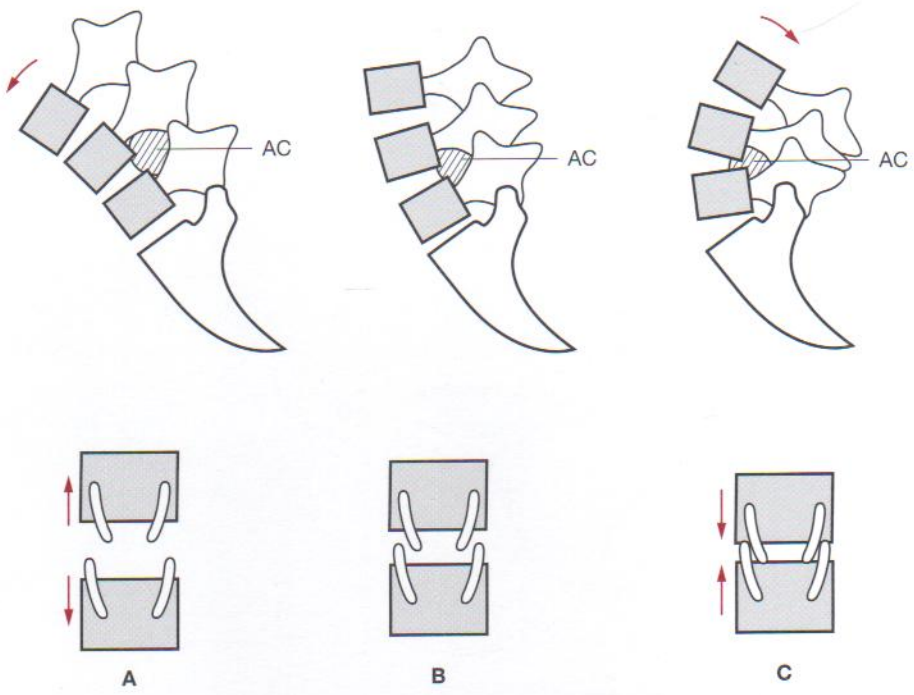


Figura 2.26. Movimiento de las carillas en flexión y extensión. En las figuras centrales se observa cómo en la posición neutra de lordosis las carillas y el agujero de conjunción (AC) están abiertos. En la flexión lumbar **(A)** se abre el agujero de conjunción y se separan las carillas articulares. En extensión **(C)** se cierra el agujero de conjunción y se aproximan las carillas articulares.

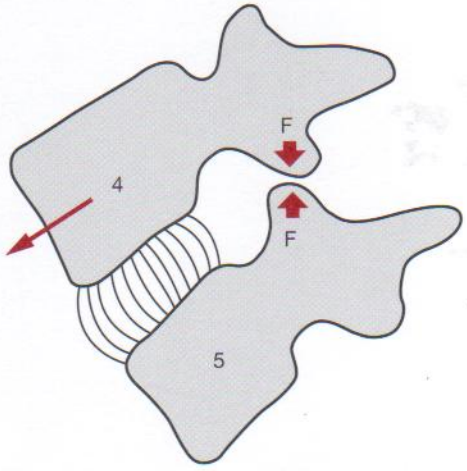


Figura 2.27. Choque de las carillas articulares ante una fuerza deslizante. Las carillas articulares de la vértebra inferior limitan el desplazamiento anterior de la vértebra superior (4) por el choque de las carillas articulares de ésta con las de la vértebra inferior (5). Las flechas anchas representan el choque de las carillas; la flecha fina indica la tendencia al deslizamiento de la vértebra superior respecto de la inferior.

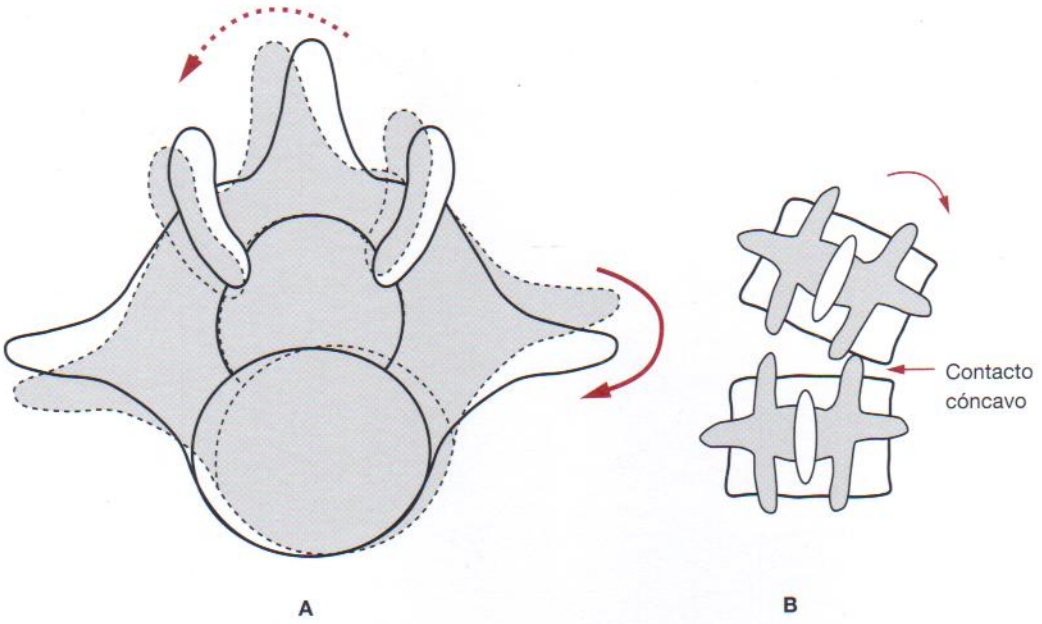


Figura 2.28. Torsión en la flexión lateral. Cuando una persona se dobla lateralmente (línea punteada) las carillas en el lado cóncavo **(A)** se aproximan y se convierten en el punto de rotación. Las carillas en el lado convexo **(B)** se separan. La rotación (flecha curva) causa un desplazamiento lateral.

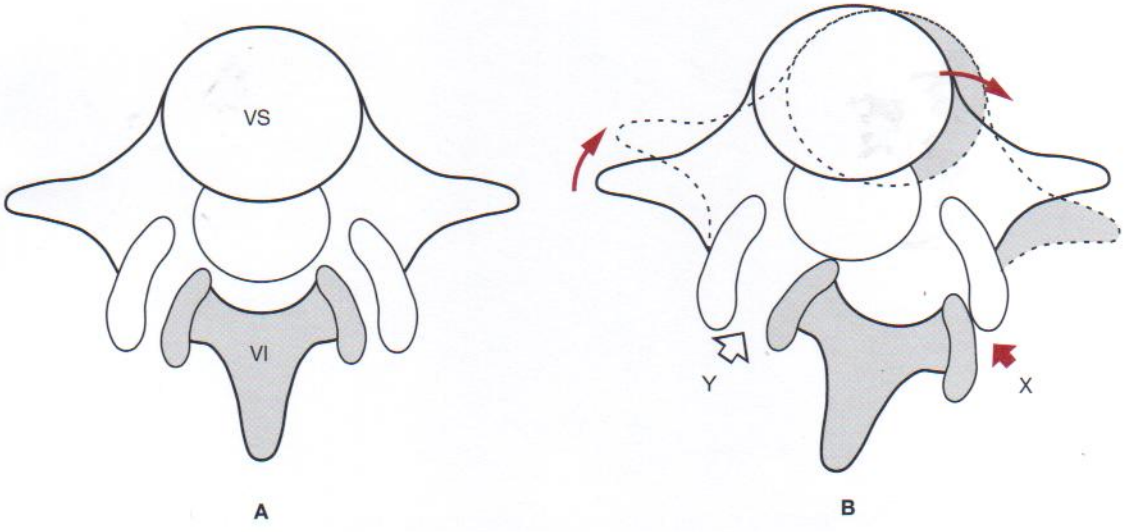


Figura 2.29. Eje rotacional de la unidad funcional. A, Orientación normal de las carillas de la vértebra inferior (VI) respecto de las de la vértebra superior (VS). **B,** Rotación respecto al nuevo eje (X), donde las carillas se impactan y se separan (Y).

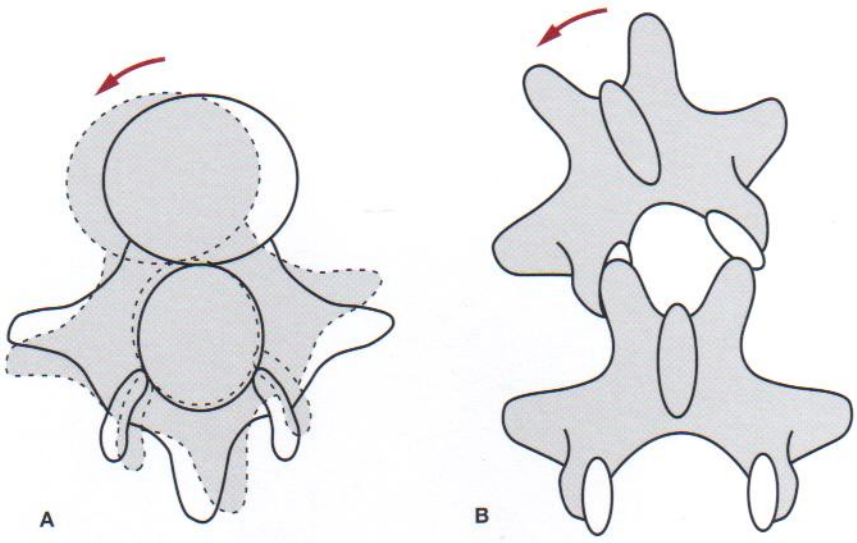


Figura 2.30. Limitación de la rotación por las carillas. A, Rotación de la vértebra superior (sombreada) sobre la inferior (clara). **B,** El contacto de las carillas en el lado cóncavo impide más movimiento.

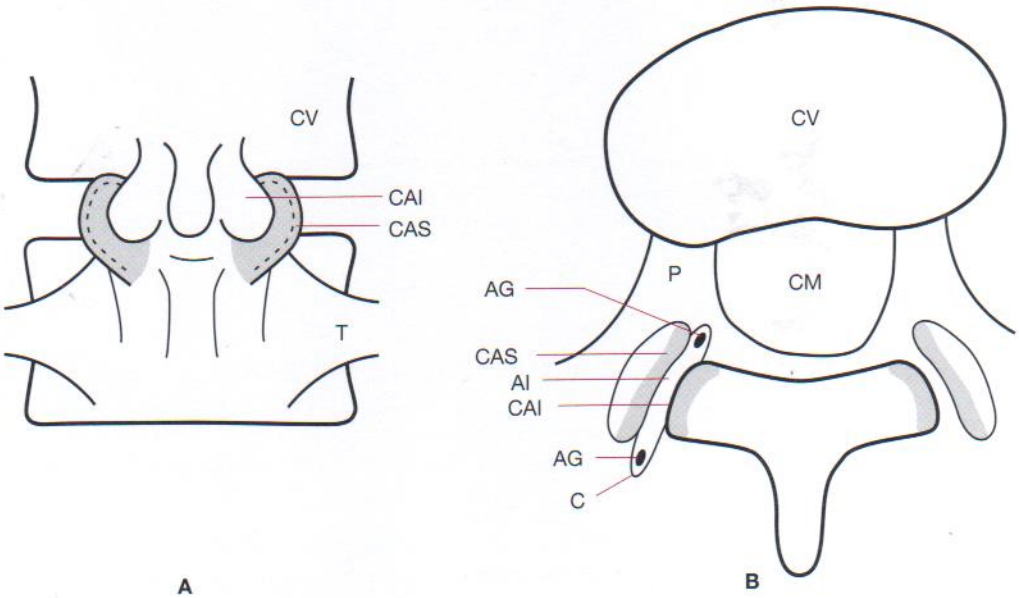


Figura 2.31. Articulación interapofisaria. Visión posterior **(A)** y superior **(B)** de la unidad funcional. CAI, carilla articular inferior; CAS, carilla articular superior; CV, cuerpo vertebral; T, apófisis transversa; CM, canal medular; AG, almohadilla grasa; AI, articulación interapofisaria; C, cápsula; P, pedículo.

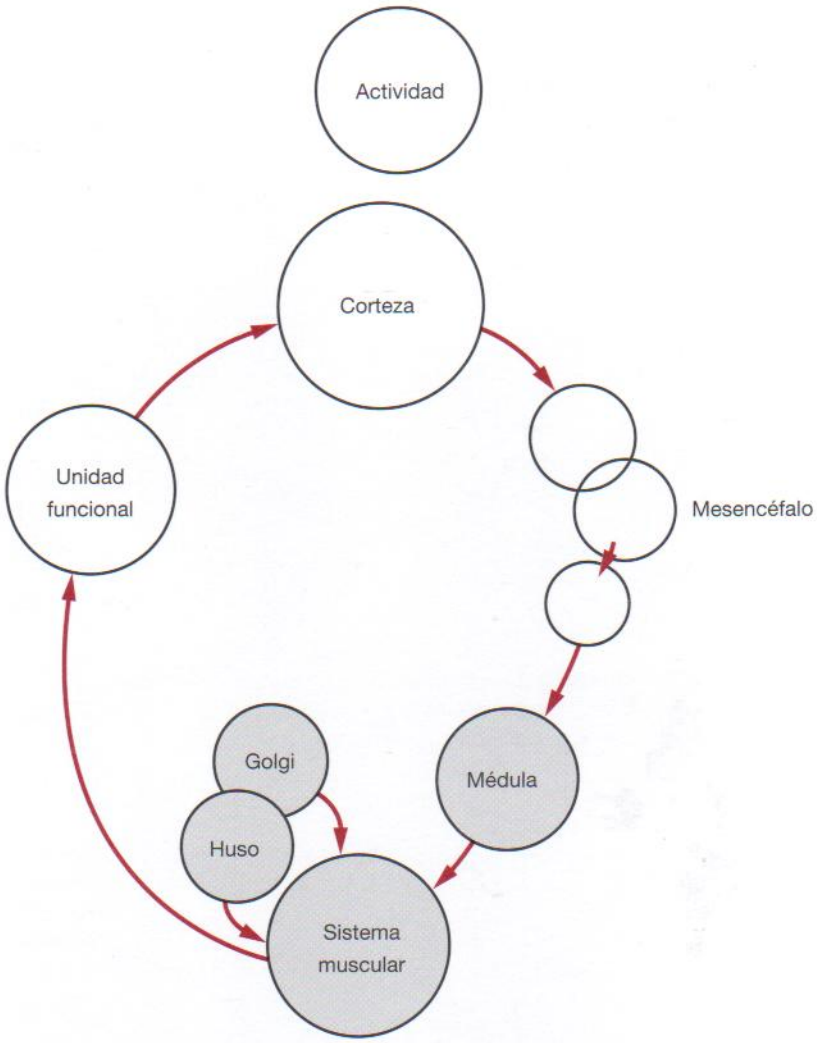


Figura 2.32. Secuencia del sistema neuromuscular. En la secuencia desde la corteza hasta el mesencéfalo y luego a la médula espinal, la contracción final de las fibras musculares extrafusales, que están reguladas por el sistema intrafusal, inicia el movimiento deseado.

Función de los músculos en la actividad de la columna

Cuando la columna se activa para realizar una tarea, hay una secuencia neurológica de estimulación de las fibras musculares extrafusales del sistema muscular, las cuales están reguladas por el sistema muscular intrafusal (Fig. 2.32).

La flexión se inicia con la contracción de los músculos flexores abdominales y la contracción simultánea del músculo erector de la columna, que ralentiza la flexión del tronco. La configuración, dirección e inclinación de las fibras musculares ha sido documentada por Bogduk y cols.[1] y Macintosh y cols.[1] (Fig. 2.33).

En postura erecta, la inclinación de las fibras varía dependiendo del grado de lordosis y de la distancia desde el eje de rotación. En la flexión del tronco, la alineación cambia con cada grado de inclinación de cada unidad funcional durante la flexión progresiva de la columna (Figs. 2.34 y 2.35).

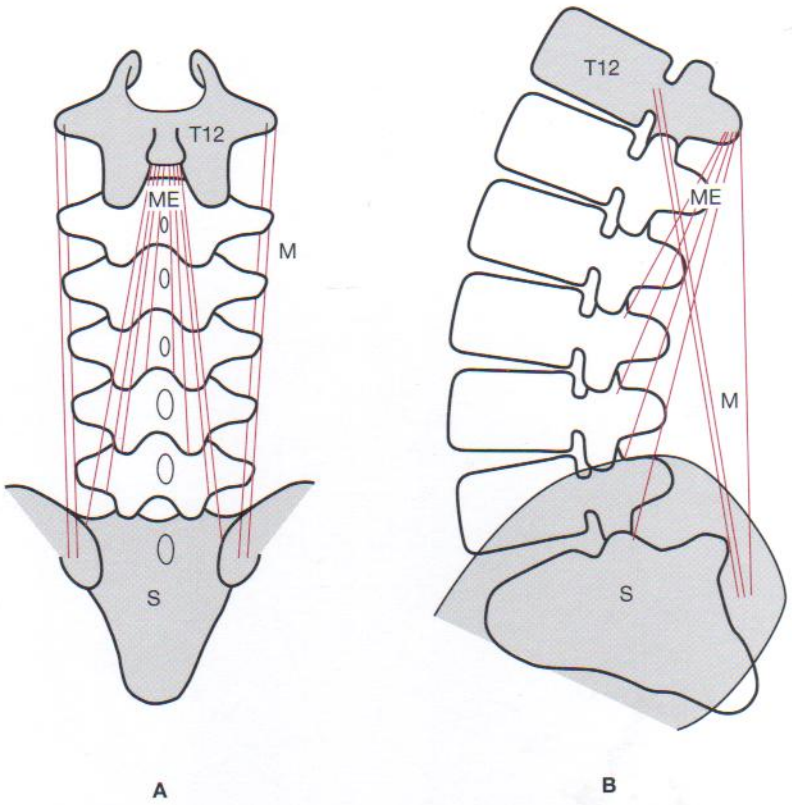


Figura 2.33. Inserción de los músculos multífidos y del erector de la columna dorsal. A, Vista posterior de los músculos extensores de la columna (ME) y los músculos multífidos (M) y su interrelación. S, sacro. **B,** Vista lateral de la inclinación de estos músculos que se encuentra entre la vértebra T12, el sacro (S) y parte posterior del ilion. (Adaptación con el permiso de Bogduk y cols.[1]).

El músculo multífido y el músculo iliocostal se entrecruzan durante la flexión. Sus alineaciones varían, pero sus fuerzas de torsión o compresión no cambian[20]. En postura erecta, los fascículos del músculo multífido están orientados en posición dorsocaudal, pero pasan a posición ventrocaudal en la flexión, mientras que los fascículos del músculo ileocostal sólo se alinean en el eje longitudinal de la columna (Fig. 2.36). El cuadrado lumbar es un músculo sagital que se origina e inserta en la duodécima costilla, la cresta ilíaca y las apófisis transversas (Fig. 2.37). Los músculos intersegmentales profundos también ayudan a estabilizar la columna (Fig. 2.38).

La mayoría de los movimientos efectuados al agacharse y levantarse se llevan a cabo en tres dimensiones: flexión ventral, flexión lateral y rotación[21,22]. Exigen una coordinación compleja de un gran número de fuerzas de los músculos del tronco[22-25]. Estos músculos «agonistas» actúan alrededor de L4 y L5 con sus respectivos brazos de potencia. Se trata de los músculos oblicuos externos e internos, los músculos del erector de la columna lumbar, el recto abdominal y el dorsal ancho.

Junto con la contracción del agonista, hay una contracción simultánea de los antagonistas. Esta co-contracción es necesaria para equilibrar los movimientos que causan rigidez, estabilización y fuerzas compresivas de los tejidos pasivos[4]. Las fuerzas de compresión contribuyen a mantener la rigidez de la columna[26]. La co-contracción con los antagonistas probablemente protege la articulación de lesiones causadas por fuerzas bruscas de los agonistas. Así, se ha demostrado que la estabilidad de la columna lumbar humana disminuye durante los períodos de actividad muscular baja[21,27-29].

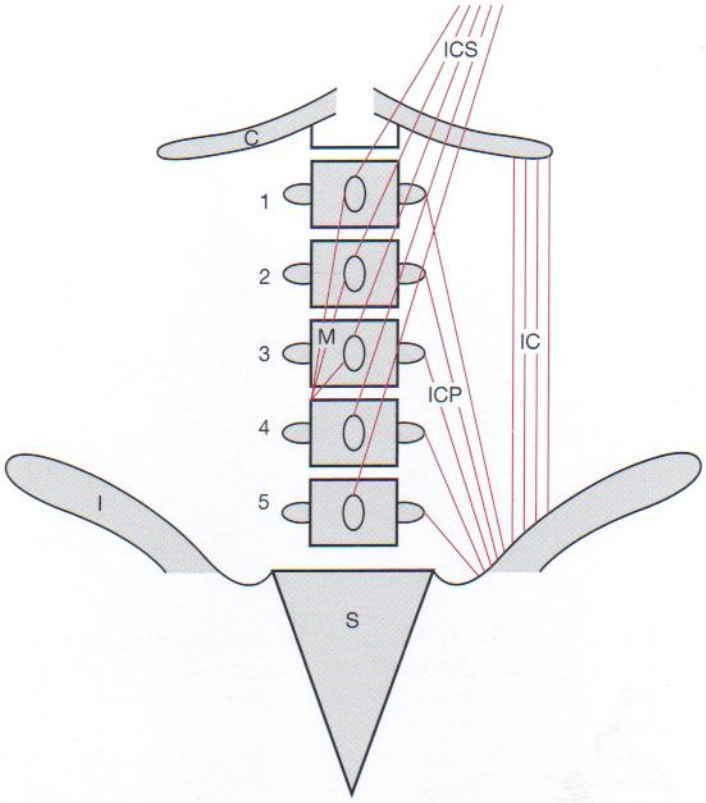


Figura 2.34. Musculatura del tronco. Las fibras del músculo iliocostal (IC), iliocostal superficial (ICS) y del iliocostal profundo (ICP) presentan direcciones diferentes; aunque su inervación es semejante, ejercen fuerzas diferentes en las vértebras de la columna lumbar. También se muestran los músculos multífidos (M). I, hueso ilíaco; S, sacro; C, costillas.

Los músculos superficiales se reclutan primero para equilibrar los pesos externos, mientras que el músculo segmentario más profundo cercano al centro de rotación está en una mejor posición biomecánica para aumentar la estabilidad de las unidades funcionales[28].

El subsistema de la retroalimentación neural regula la estabilidad de la columna vertebral[14]. La fatiga del agonista debida a una contracción isométrica submáxima prolongada causa una pérdida de coordinación y un aumento de co-contracción; por lo tanto, un incremento en la fuerza compresiva y en la rigidez y estabilidad también pueden dañar los discos[11].

Desde los estudios de Floyd y Silver[30], se afirma que la fuerza de desaceleración en la flexión del tronco coincide con una disminución de la actividad mioeléctrica; esto ocurre, por ejemplo, durante la última parte de flexión del tronco. Esta disminución de la acción de los antagonistas se denominó *relajación de flexión,* y se asumió que era una actividad refleja de los impulsos enviados a la médula espinal desde los receptores en los ligamentos estirados de los elementos posteriores de la columna (Fig. 2.39). La cápsula articular (de la articulación zigoapofisaria) también se estira al final de la flexión, y se sabe que contiene propiorreceptores que proporcionan resistencia a la flexión vertebral. Además, el estiramiento de las cápsulas articulares produce estímulos inhibitorios en la musculatura paraespinal lumbar. Durante la fase eléctricamente «silenciosa», los músculos laterales profundos (el cuadrado lumbar e iliocostal), que se han activado, ofrecen resistencia. Los músculos superficiales (multífidos) se relajan.

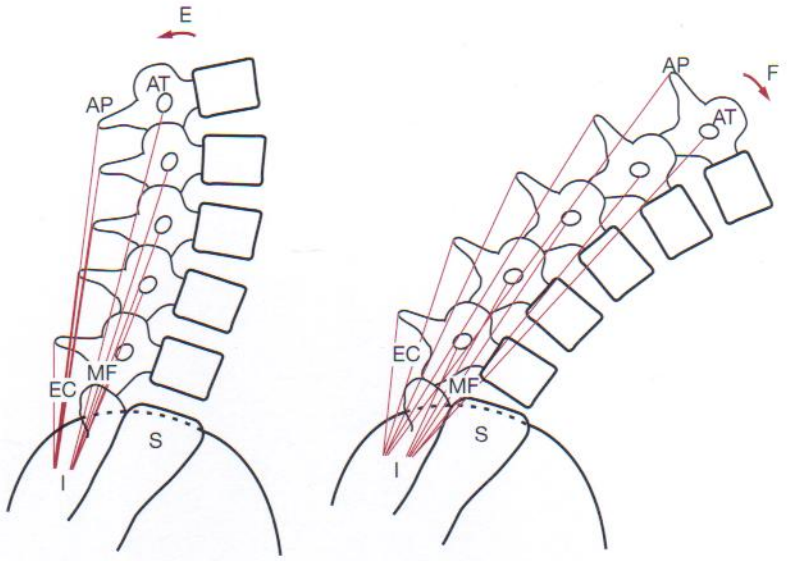


Figura 2.35. Músculos extensores en flexión-extensión del tronco. En la postura erecta (E), el músculo erector de la columna (EC) y los músculos multífidos (MF) generan la fuerza específica con una determinada longitud e inclinación. Los músculos erectores de la columna se fijan a las apófisis espinosas (AP), y los músculos multífidos se fijan a las apófisis transversas (AT). En la posición flexionada del tronco (F), el músculo erector de la columna (EC) y el multífido (MF) se alargan y generan menos fuerza, pero esto se equilibra por el aumento de la tensión elástica en los músculos largos. Ambas fuerzas son excéntricas y concéntricas. I, cresta ilíaca; S, sacro.

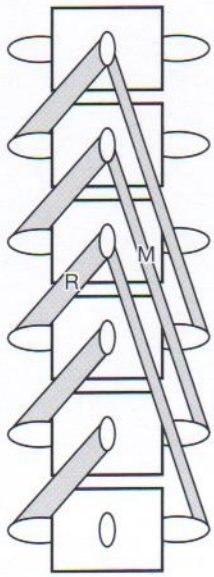


Figura 2.36. Músculos estabilizadores. Los músculos proximales pequeños que estabilizan la columna son los músculos rotatorios (R) y multífidos (M).

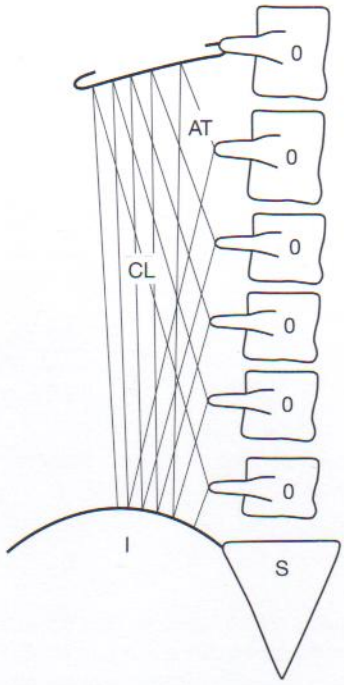


Figura 2.37. Músculo cuadrado. El músculo cuadrado lumbar (CL) se inserta desde la cresta ilíaca (I), a las apófisis transversas (AT) de la columna lumbar y la duodécima costilla. S, sacro.

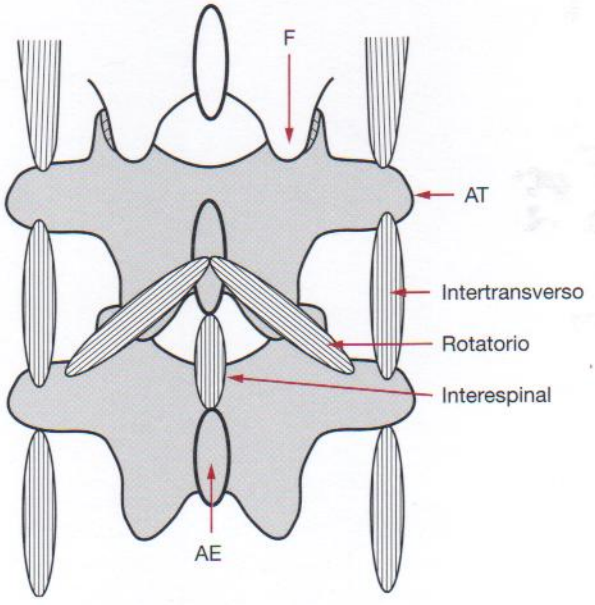


Figura 2.38. Músculos intersegmentarios profundos. Los músculos intersegmentarios profundos son extensores, flexores laterales y rotatorios. Se insertan en las apófisis transversas (AT) y apófisis espinosas (AE). Se muestran las carillas articulares (F).

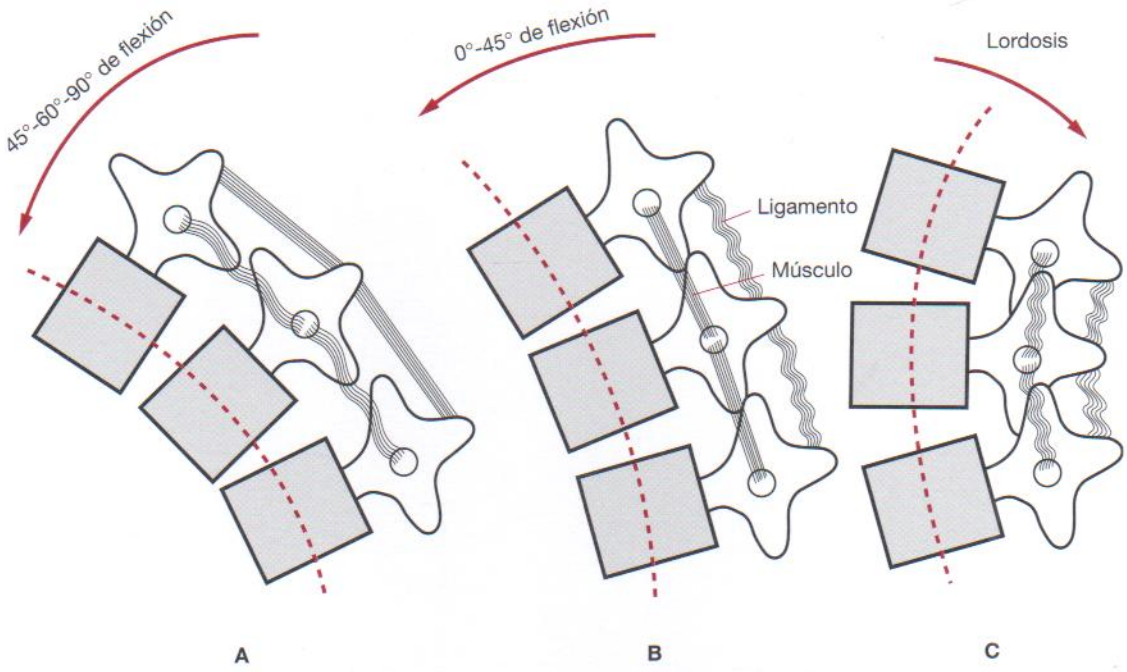


Figura 2.39. Restricción de la flexión de la columna lumbar. A, En los últimos 15° de flexión, los músculos extensores están «relajados», y la limitación se debe a los ligamentos posteriores y tejidos de la fascia. **B,** En los primeros 45° de flexión del tronco, los músculos extensores se contraen excéntricamente para permitir la flexión. **C,** La columna en hiperextensión mantiene los tejidos flexibles relajados.

Esta coordinación neuromuscular se pondrá de manifiesto en pacientes con dolor crónico lumbar que presentan pérdida de flexión relajación, lo cual los predispone a la lesión y al dolor[30,31]. Debido a una actividad persistente de la musculatura, que ahora actúa como estabilizadora en lugar de movilizadora, tienen la flexión-extensión del tronco y la rotación limitadas. Existe una diferencia en el sistema de palancas de la columna que hay que tener en cuenta al analizar la mecánica espinal[32] (Fig. 2.40).

Ritmo lumbosacro

En la columna erecta los músculos espinales están en «reposo» salvo para mantener su tono basal. Cuando la flexión empieza, los músculos abdominales se contraen con la fuerza apropiada y con una velocidad que depende de la tarea que se desea realizar. Los músculos extensores (antagonistas) realizan una contracción excéntrica determinada por el órgano tendinoso de Golgi.

En el ritmo lumbopélvico, la pelvis permanece estática mientras la columna lumbar inicia la flexión (Fig. 2.41). La flexión afecta a cada unidad funcional con un movimiento de flexión y algún deslizamiento cuando la flexión del tronco se realiza totalmente. La limitación miofascial ayuda también en la limitación de la flexión completa (Fig. 2.42).

Cuando mediante una extensión volvemos a la postura erguida en la columna lumbar y aparece de nuevo su lordosis, la fascia ejerce fuerza con componentes musculares esporádicos. La pelvis también regresa a su posición neutra (Fig. 2.43).

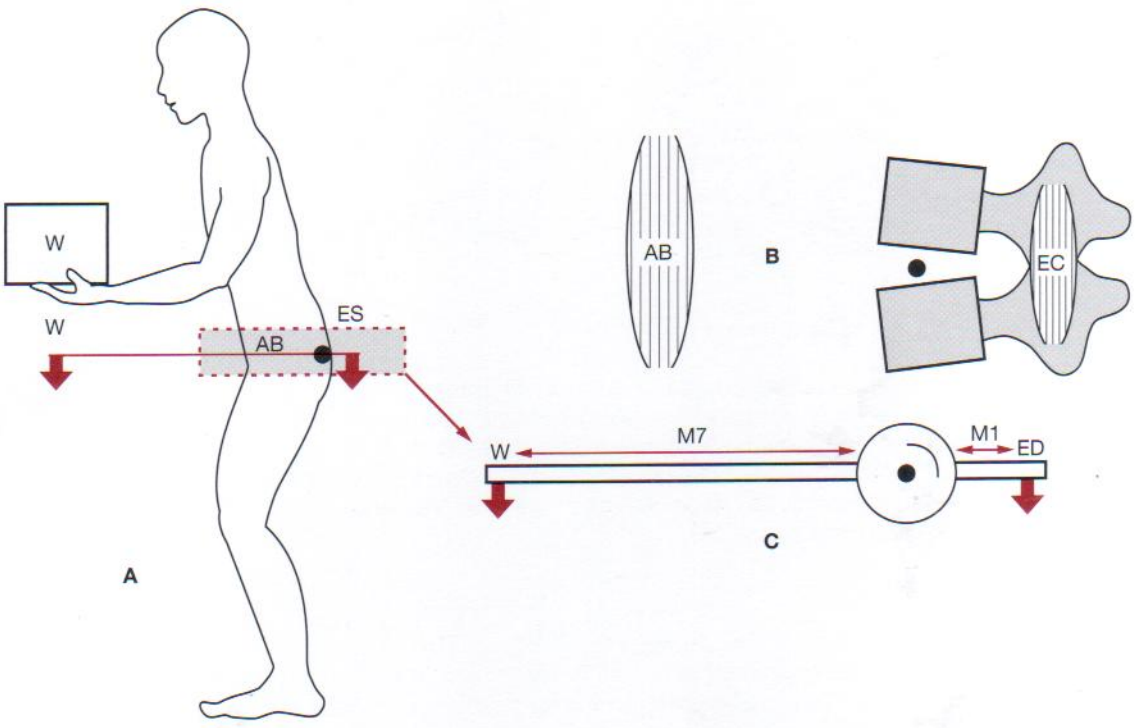


Figura 2.40. Diferencia del sistema de palancas espinal. A, Persona que sostiene un objeto (W) a una distancia del cuerpo. La distancia M7 que tiene el sistema de palancas **(C)** desde el eje de rotación (círculo con el punto central) es equilibrada por el músculo de la espina dorsal (ED) que actúa a una distancia menor (M1). **B,** Los músculos involucrados son los abdominales (AB) y los músculos extensores de columna (EC).

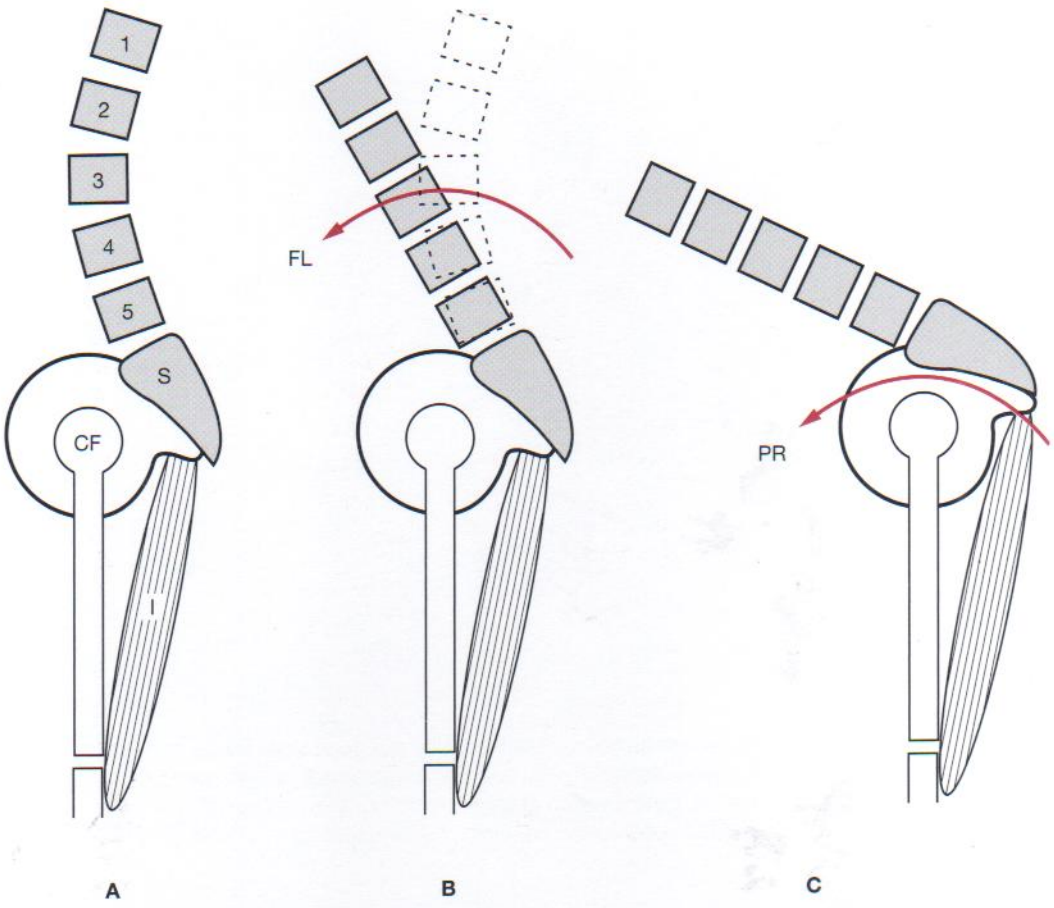


Figura 2.41. Ritmo lumbopélvico. A, Columna erecta que mantiene la lordosis lumbar y la pelvis en posición neutra (ninguna rotación). S, sacro; CF, cabeza femoral; I, músculos isquiotibiales. **B,** En la flexión lumbar (FL), la pelvis permanece neutra (ninguna rotación) por la contracción isométrica de los músculos isquiotibiales y glúteos. **C,** Flexión de columna completa con la columna lumbar totalmente flexionada en una posición casi recta; todo el movimiento se produce en la pelvis (PR).

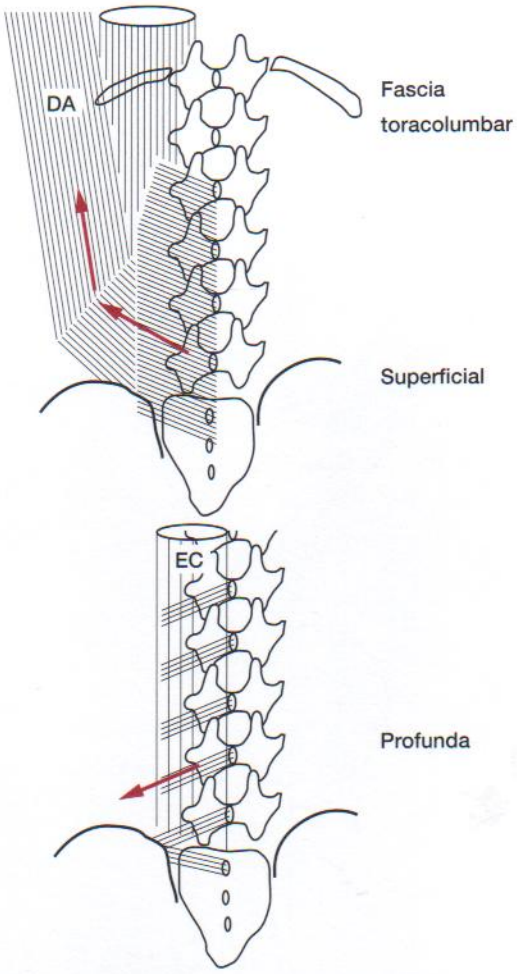


Figura 2.42. Fascia toracolumbar. El músculo se puede alargar hasta la magnitud que permite la vaina aponeurótica. Las fibras extrafusales del músculo se alargan excéntricamente, pero cuando el músculo se contrae, la fascia se alarga pasivamente. EC, músculo erector de columna; DA, músculo dorsal ancho.

Cuando hay una contracción de los músculos abdominales para comenzar la flexión, los músculos de la pelvis que mantienen la estática se contraen isométricamente. Este modelo neural complejo está totalmente integrado en todos los niveles del sistema nervioso central. En la fase de descenso mediante flexión, el músculo erector de la columna se contrae «excéntricamente» y se alarga. Cuando los músculos se han alargado totalmente, los tejidos de las fascias y ligamentos se convierten en fuerzas movilizadoras. Después de la flexión completa, y cuando hay un nueva extensión activa, los músculos de la pelvis y los tejidos de la fascias de la columna lumbar se convierten en movilizadores (Fig. 2.44).

Función de los ligamentos en la columna

Los ligamentos de una unidad funcional (longitudinal anterior, longitudinal posterior, ligamento amarillo, intervertebral y supraespinoso) contribuyen poco a mantener la estabilidad de la columna. No se considera que la pérdida de fuerzas en los ligamentos sea un factor determinante durante el «deslizamiento» de la vértebra adyacente[33].

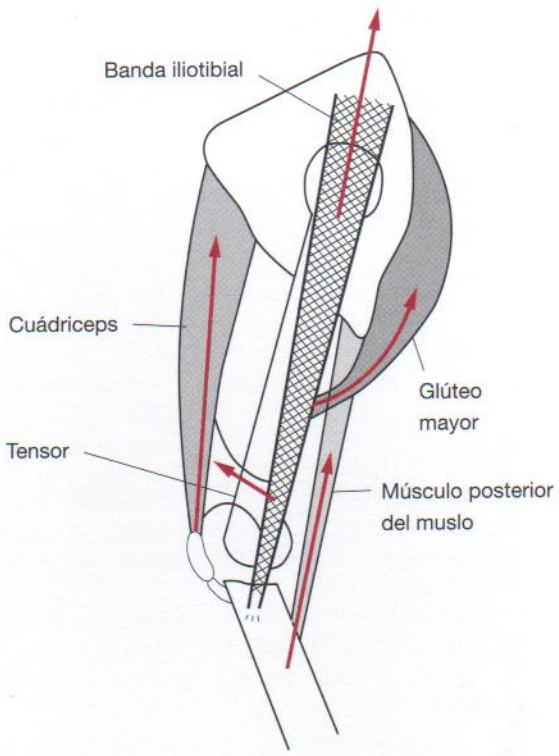


Figura 2.43. Musculatura de la pelvis y articulación de la cadera.

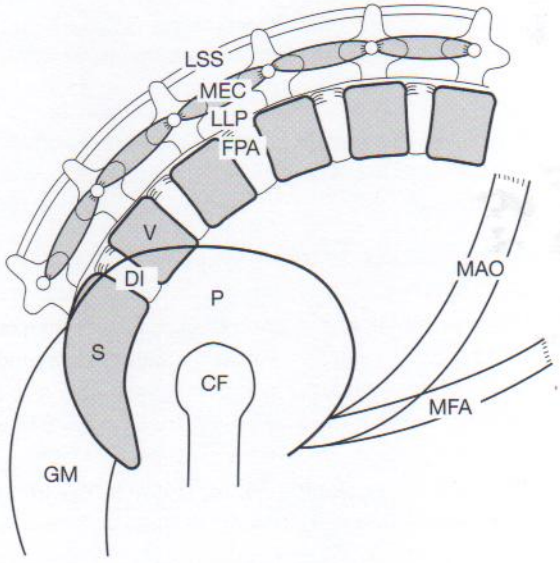


Figura 2.44. Ligamentos y musculatura que soportan la flexión de la columna. Estructuras vitales en la flexión del tronco. V, vértebra; DI, disco intervertebral; FPA, fibras posteriores del anillo fibroso; LLP, ligamento longitudinal posterior; MEC, músculos extensores de columna; LSS, ligamento supraespinoso; S, sacro; GM, glúteo mayor (el más grande de los glúteos); P, pelvis; CF, cabeza femoral; MAO, músculos abdominales oblicuos; MFA, músculos flexores abdominales.

Inestabilidad de la columna

La definición de inestabilidad de la columna ha sido objeto de preocupación considerable para la profesión médica y necesita establecerse mejor. Cualquier definición implicaría que el movimiento dentro de la unidad funcional (dos vértebras adyacentes separadas por un disco, ligamentos y carillas articulares) no debe exceder el movimiento normal bajo niveles de carga fisiológicos. Si se daña cualquiera de estos componentes de la unidad se puede producir inestabilidad. La columna osteoligamentosa desprovista de su musculatura se denomina subsistema pasivo, y no podría soportar el peso del cuerpo.

Los estudios que se han llevado a cabo sobre los mecanismos de la lesión cervical han sido el punto de partida para explicar la inestabilidad de la columna. En estos estudios se determinó la respuesta de la columna ante cargas de compresión, deslizamiento, flexión, extensión, torsión lateral y rotación axial. Tanto si se dañasen los ligamentos largos de la columna como si lo hiciese la función de la cápsula articular se crearía inestabilidad[34].

Parece ser que los músculos extrafusales proporcionan estabilidad a la columna osteoligamentosa. Todas las fibras musculares extraespinales están englobadas dentro de una vaina aponeurótica que se alarga cuando el músculo lo hace y que pasivamente se acorta cuando el músculo se contrae.

La fascia toracolumbar incluye todos los músculos erectores de la columna y el músculo cuadrado lumbar. Por sus inserciones, estabiliza la columna erecta cinética y mecánicamente al reextender la columna desde una posición flexionada ventralmente. Esta fascia también dobla lateralmente la columna y ayuda en la rotación del tronco.

La columna erecta se estabiliza por las vainas aponeuróticas, que se tensan cuando los músculos de la espalda se contraen junto con el músculo oblicuo profundo, los músculos abdominales, el músculo transverso abdominal y el dorsal ancho, cuyas inserciones posteriores crean el compartimento interno de los músculos erectores.

El músculo transverso activa el compartimento anterior (la «cámara hidroaérea» abdominal), y el dorsal ancho activa el compartimento de los músculos erectores de la columna. Los otros músculos abdominales (los oblicuos y el recto abdominal) son fundamentalmente flexores y rotatorios, no estabilizadores.

En cualquier movimiento de una extremidad superior, los músculos transversos se contraen anticipándose a la estabilización del tronco. Esta acción se denomina *feed forward,* en contraste con *feedback*, que es para una acción completa.

Cuatro músculos extrafusales mayores del tronco proporcionan su estabilidad e intervienen en las funciones cinéticas del tórax con respecto a los movimientos de las extremidades superiores. Estos músculos del tronco son los músculos abdominales oblicuos externos y anteriores y los músculos abdominales transversos (Figs. 2.45, 2.46 y 2.47).

El músculo cuadrado lumbar es el músculo del tronco extensor que coordina la «estabilidad tubular» del tronco (Fig. 2.48).

Este subsistema de estabilidad de la columna, la fascia que forma las estructuras tubulares, permanece bajo el control de una contracción isométrica suficiente de los músculos del tronco. El transverso abdominal y el músculo cuadrado lumbar son esenciales para la estabilidad espinal. Los otros músculos flexores abdominales son músculos cinéticos que mueven el tronco en la flexión, flexión lateral y rotación, junto con el movimiento de la extremidad superior. Cuando se requiere estabilidad, deben permanecer en «reposo».

En cualquier movimiento de una extremidad superior, como por ejemplo al levantar algo, empujar o tirar, el tronco debe estabilizarse, y lo hace mediante la contracción de los músculos abdominales transversos.

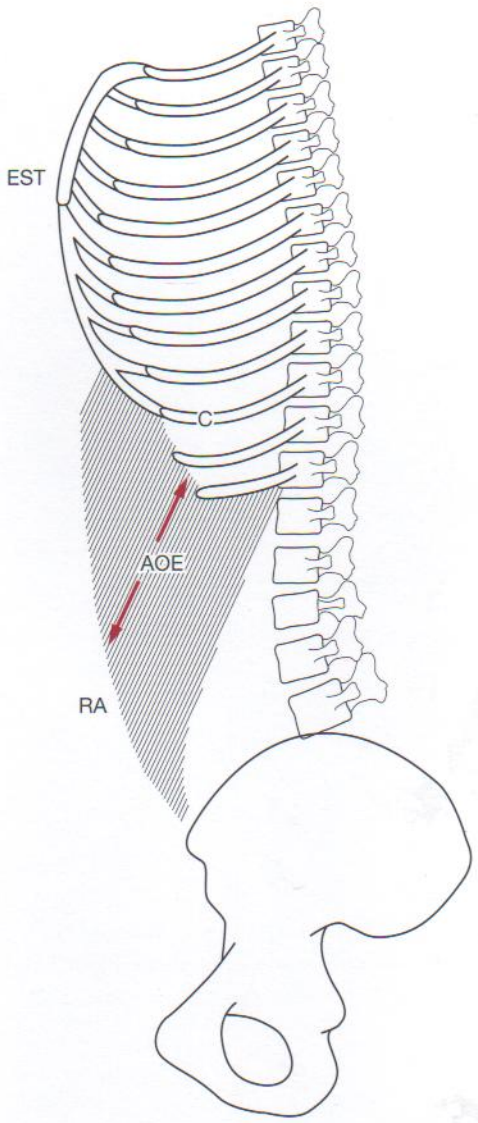


Figura 2.45. Músculos abdominales oblicuos externos. Los músculos abdominales oblicuos externos (AOE) se originan en las superficies inferiores laterales desde la novena a la duodécima costilla (C) y esternón (EST). Se insertan en la mitad anterior de la cresta ilíaca y en la fascia de los músculos rectos abdominales (RA). Los AOE flexionan la columna ventral y lateralmente.

Algunas profesiones requieren movimientos repetidos y prolongados manteniendo posturas, como la flexión del tronco, que se ha demostrado que son perjudiciales y causan lesiones en la región lumbar. Estas posturas prolongadas y repetidas provocan «deslizamientos» de vértebras adyacentes (la superior respecto de la inferior). Este «deslizamiento» no puede atribuirse a la laxitud de los ligamentos o de la cápsula articular; diversos estudios indican que este deslizamiento se relaciona con la estrechez del disco, que causa inestabilidad. La hidratación del disco cambia a lo largo del día debido a fuerzas de compresión[35-39]. Estos cambios por la compresión se acentúan en posturas de flexión repetidas y prolongadas y causan el estrechamiento del disco. A su vez, este estrechamiento causa inestabilidad, puesto que los ligamentos y las fibras anulares ya no se encuentran bajo la misma tensión.

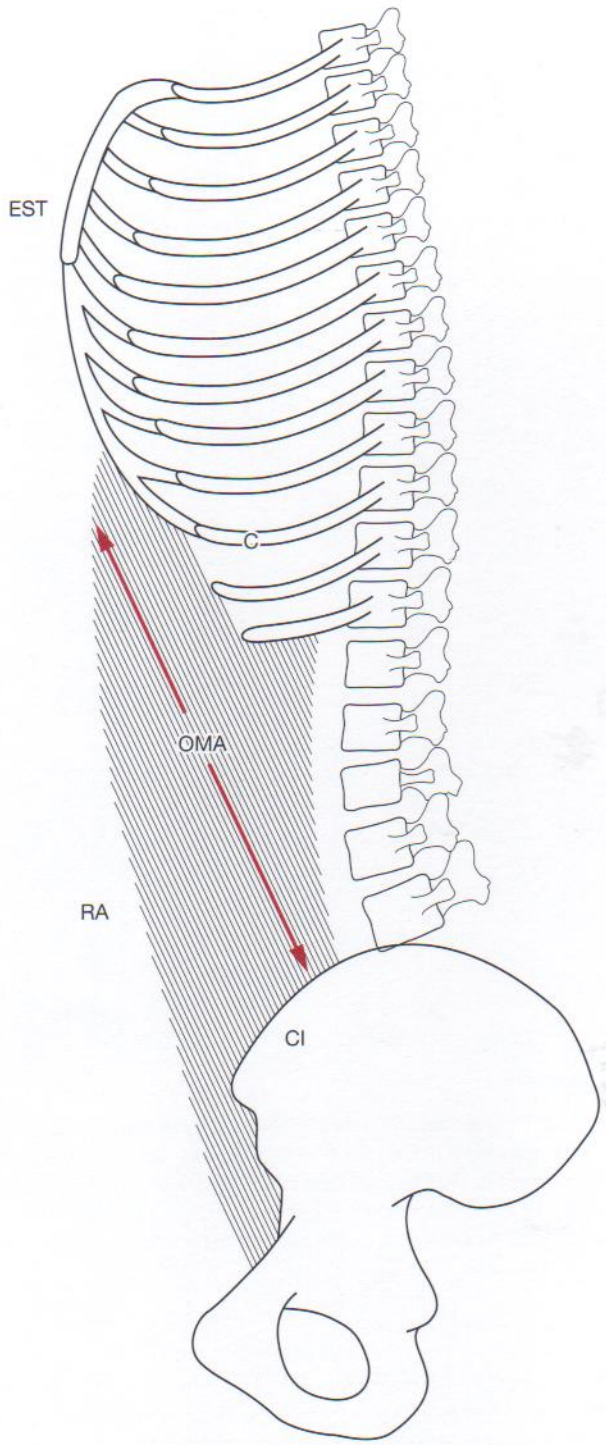


Figura 2.46. Músculo oblicuo menor del abdomen. El músculo oblicuo menor del abdomen (OMA) se origina en los dos tercios laterales del ligamento inguinal y en el tercio anterior de la cresta ilíaca (CI). Se inserta en el pubis y en la línea alba de la aponeurosis de los rectos anteriores (RA). Su función es flexionar y rotar el tronco respecto de la pelvis.

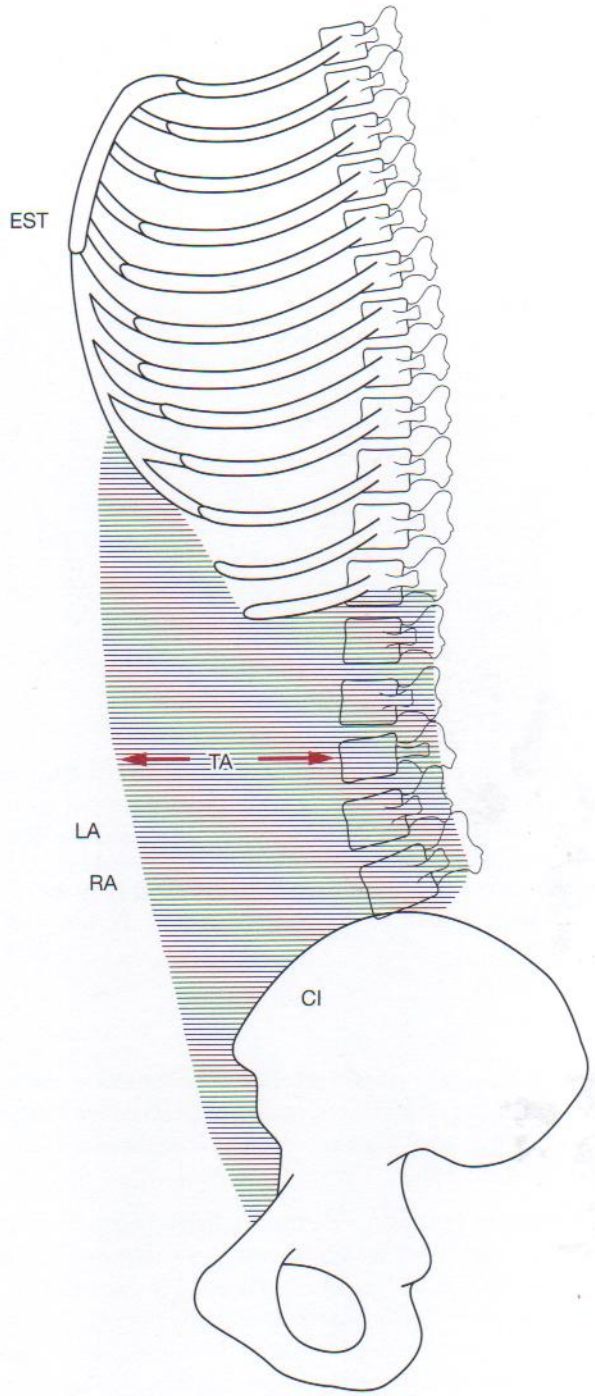


Figura 2.47. Músculos transversos del abdomen. El músculo transverso del abdomen (TA) es el músculo abdominal más profundo. Estos músculos se originan en el tercio lateral del ligamento inguinal, dos tercios anteriores de la cresta ilíaca (CI), cara interna de las 6 últimas costillas, sus cartílagos costales y esternón (EST). Se insertan en la línea alba (LA) y fascia del músculo recto del abdomen (RA). Su función es estrechar los volúmenes abdominales y dar fuerza a la cavidad abdominal tubular. En la contracción del músculo transverso del abdomen se crea una «cámara hidroaérea» por la contracción simultánea del diafragma y los músculos pélvicos.

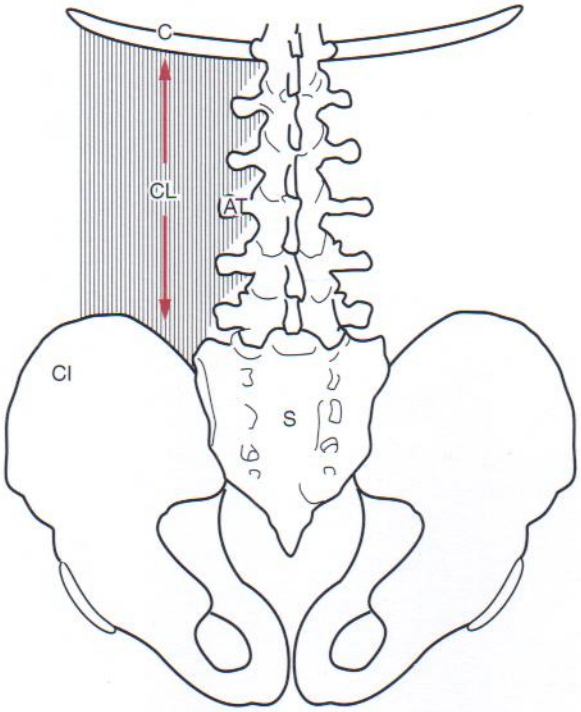


Figura 2.48. Músculo cuadrado lumbar. El músculo cuadrado lumbar (CL) se origina en el ligamento iliolumbar y en la parte posterior de cresta ilíaca (CI). Se inserta en el borde inferior de la última costilla (C) y apófisis transversas de las cuatro primeras vértebras lumbares. Su función es la flexión lateral de la columna lumbar. Por su unión a la fascia del erector de la espina dorsal, estos músculos actúan como estabilizadores. S, sacro; AT, apófisis transversas.

La musculatura, que se considera la principal fuerza estabilizadora, se desestabiliza en este «deslizamiento» debido a una pérdida del reflejo ligamentoso-muscular. Este reflejo comienza por los mecanorreceptores situados en los ligamentos, en las cápsulas articulares e incluso en las fibras anulares que activan los músculos de esa articulación.

Los mecanorreceptores de los ligamentos espinales, disco y cápsula articular provocan el movimiento reflejo de los músculos multífidos de la columna, los cuales son uno de los estabilizadores y erectores de la columna vertebral[39,40]. La fatiga de los músculos por una flexión repetida probablemente disminuye el reflejo del músculo protector y permite el deslizamiento. La inestabilidad es el resultado de la reducción de los reflejos protectores por la insensibilización del mecanorreceptor causada por la laxitud en los tejidos viscoelásticos de la columna (los ligamentos y las fibras anulares) (Fig. 2.49).

Estabilidad de la columna estática

La columna en posición erecta y durante cualquier actividad física permanece estable gracias a los músculos del tronco, y sus fascias gracias a la formación de estructuras «tubulares». Los tendones y las fascias de los músculos del tronco y del dorsal ancho confluyen en el rafe, enviando vainas aponeuróticas que abrazan los músculos extensores (cuadrado lumbar y músculo erector de la espina dorsal). Así, se forman compartimentos posteriormente que, junto con el compartimiento anterior de la cavidad abdominal, proporcionan estabilidad a la columna vertebral (Figs. 2.50, 2.51, 2.52 y 2.53).

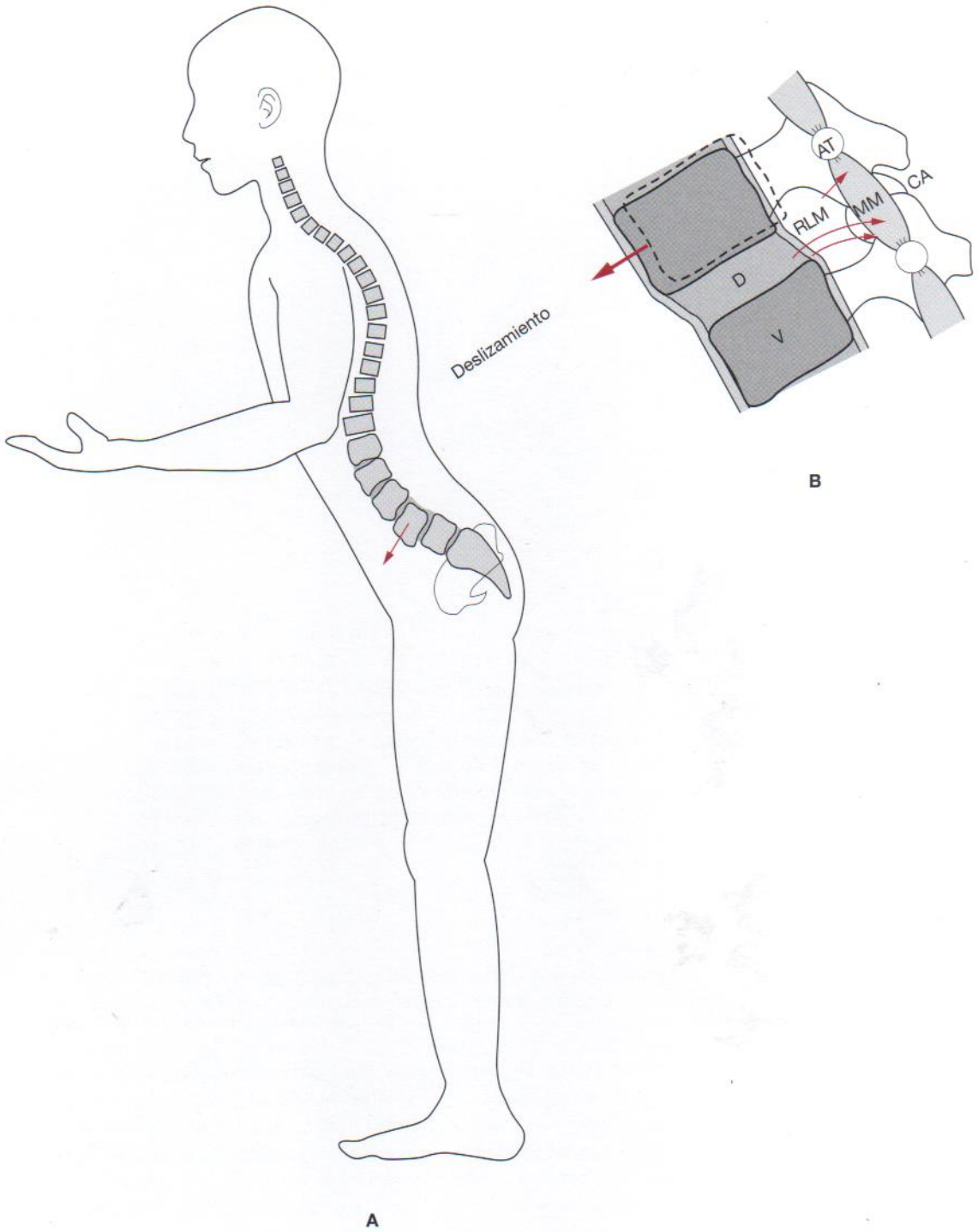


Figura 2.49. Reflejo ligamentoso-muscular de protección. A, La postura de flexión repetida y prolongada causa un reflejo como consecuencia de la irritación de las fibras propioceptivas debida al deslizamiento de la vértebra. **B,** Los tejidos que aparecen en el lado derecho contienen las terminaciones nerviosas propioceptivas. RLM, reflejo ligamentoso-muscular; D, disco; V, vértebra; AT, apófisis transversa; MM, músculos multífidos; CA, cápsula articular.

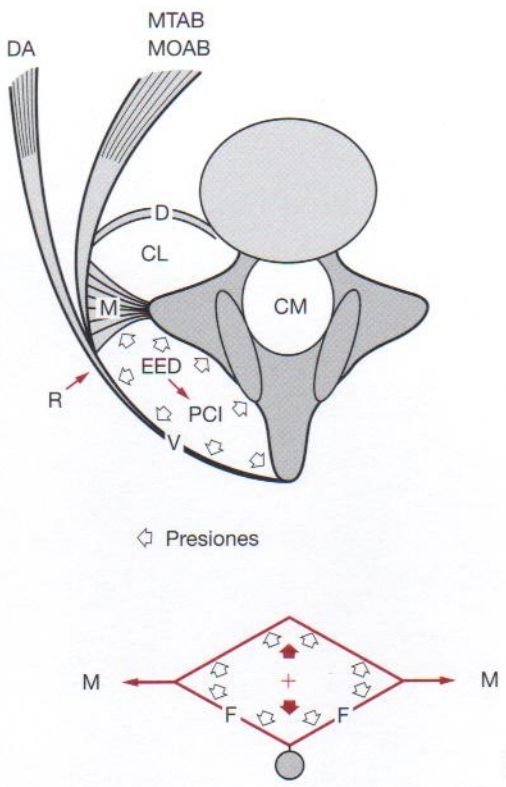


Figura 2.50. Presiones del compartimento interno. Los músculos dorsal ancho (DA), oblicuo menor del abdomen (MOAB) y transverso del abdomen (MTAB) se unen en el rafe (R), envían las vainas aponeuróticas (F) que engloban al músculo cuadrado lumbar (CL) y se unen a la apófisis transversa (CL) de la vértebra. La vaina posterior (V) rodea al músculo erector de la espina dorsal (EED). El compartimento formado actúa como una estructura tubular que estabiliza la columna vertebral. CM, canal medular; D, disco; M, músculo multífido; PCI, presión del compartimento interno.

La estabilidad de la columna se debe a la contracción de los músculos vertebrales profundos: los intertransversos, los interespinosos, multífidos a nivel lumbar, dorsal largo torácico y las fibras medias del cuadrado lumbar (Fig. 2.54).

Estos músculos son principalmente extensores de la parte posterior cuando se contraen bilateralmente, pero son flexores y rotadores cuando lo hacen unilateralmente. Estos músculos pequeños son considerados «estabilizadores» de los segmentos de la columna lumbar[41]. Los otros músculos del tronco, el oblicuo externo y el oblicuo menor del abdomen, son músculos «globales», ya que activan la columna, mientras que los músculos intrínsecos pequeños la estabilizan. La debilidad o fracaso de estos músculos pequeños para contraerse parece ser la causa del deterioro funcional de la región posterior.

Se ha sugerido que antes de cualquier movimiento importante que desplace la masa corporal se produce un movimiento reflejo *feed foward* del sistema nervioso central que instantáneamente alerta y prepara la masa corporal total para una acción inminente. Esta acción del reflejo activa los músculos del tronco para minimizar la variación de la postura causada por el movimiento de la extremidad superior y cualquier peso sostenido fuera del cuerpo[42,43]. Esta acción se denominó *feed forward* en oposición al término *feedback*, que es cuando el sistema nervioso central ha sido informado de que la acción ha finalizado.

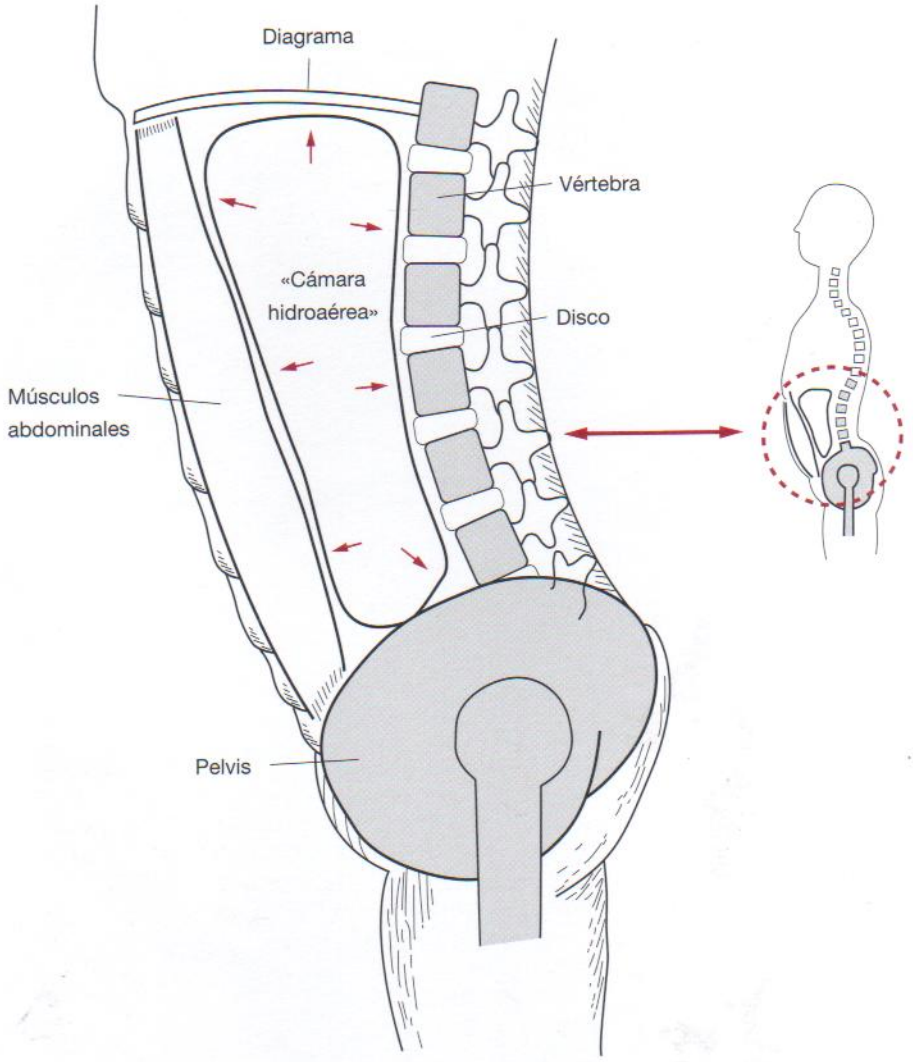


Figura 2.51. «Cámara hidroaérea» abdominal. El concepto de «cámara hidroaérea» que sostiene la columna se basa en una «bolsa» en la cavidad abdominal, cerrada cranealmente por el diafragma, caudalmente por los músculos perineales, anteriormente por la musculatura abdominal y posteriormente por la columna vertebral.

El movimiento de una extremidad superior cuando se aleja de la línea del centro de gravedad causa el desplazamiento de la masa del cuerpo en sentido opuesto para mantener el equilibrio. Así, cuando los brazos se mueven hacia delante, el cuerpo se desplaza hacia atrás. Los movimientos laterales de las extremidades superiores se acompañan de movimientos de la masa del cuerpo al lado opuesto. Este movimiento activa los correspondientes músculos del tronco[44-47] (Figs. 2.55 y 2.56).

Los músculos flexores abdominales superficiales determinan el cambio del cuerpo. Sin embargo, ocurre lo contrario si la extremidad superior se extiende en lugar de flexionarse, en cuyo caso la masa corporal se mueve en la dirección opuesta.

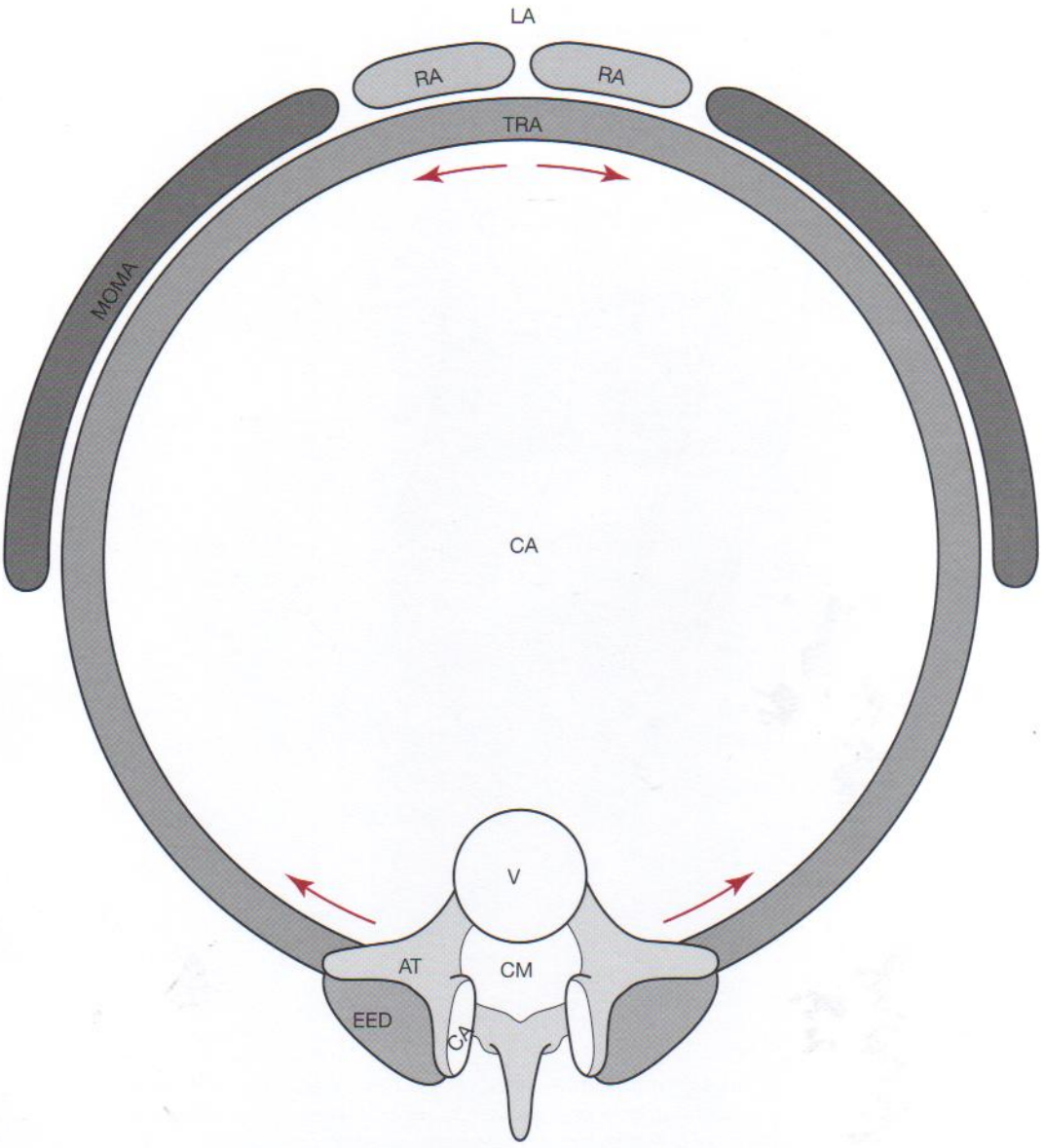


Figura 2.52. Componentes de la «cámara hidroaérea». La cavidad abdominal (CA) está completamente rodeada por los músculos transversos del abdomen (TRA), cuyas fibras horizontales se insertan posteriormente con la fascia del compartimento que contiene los músculos cuadrado lumbar y el erector de la espina dorsal (EED). Más superficialmente se encuentran el músculo oblicuo menor del abdomen (MOMA), cuyas fibras se disponen oblicuamente, y los músculos rectos mayores del abdomen (RA) derecho e izquierdo, formados por fibras con dirección vertical. Estos últimos están envueltos por una vaina aponeurótica que se funde anteriormente en la línea alba (LA). El MOMA provoca la rotación del tronco, y el RA lo flexiona; V, vértebra; CA, carillas articulares; AT, apófisis transversas; CM, canal medular.

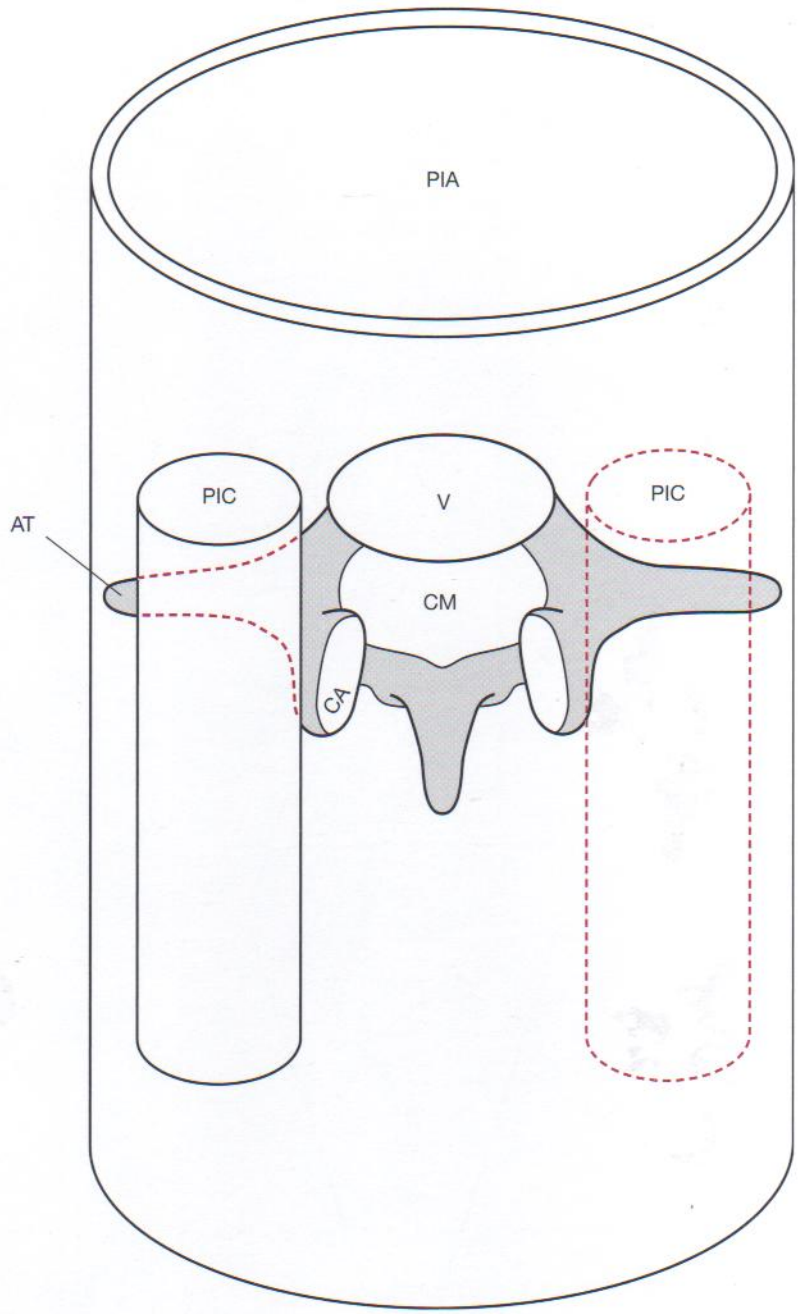


Figura 2.53. Concepto tubular de estabilidad de la espina dorsal. La columna se apoya en tres estructuras tubulares: la presión intraabdominal (PIA) y la presión del interior del compartimento (PIC). La unidad funcional espinal consta de dos vértebras adyacentes (V), carilla articular (CA), apófisis transversas (AT) y el canal medular (CM).

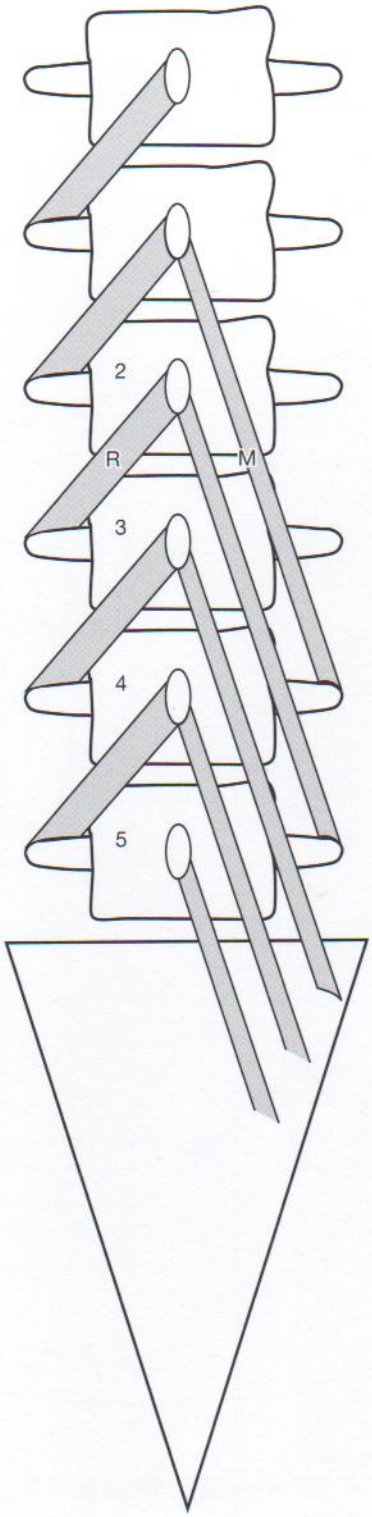


Figura 2.54. Músculos multífidos lumbares. Los músculos multífidos (M), parte medial de los músculos lumbares, unen vértebra con vértebra. Lo forman cinco bandas que conectan la base de las apófisis espinosas o las láminas consecutivas con las apófisis transversas de la tercera vértebra lumbar subyacente y el sacro. R, músculos rotadores.

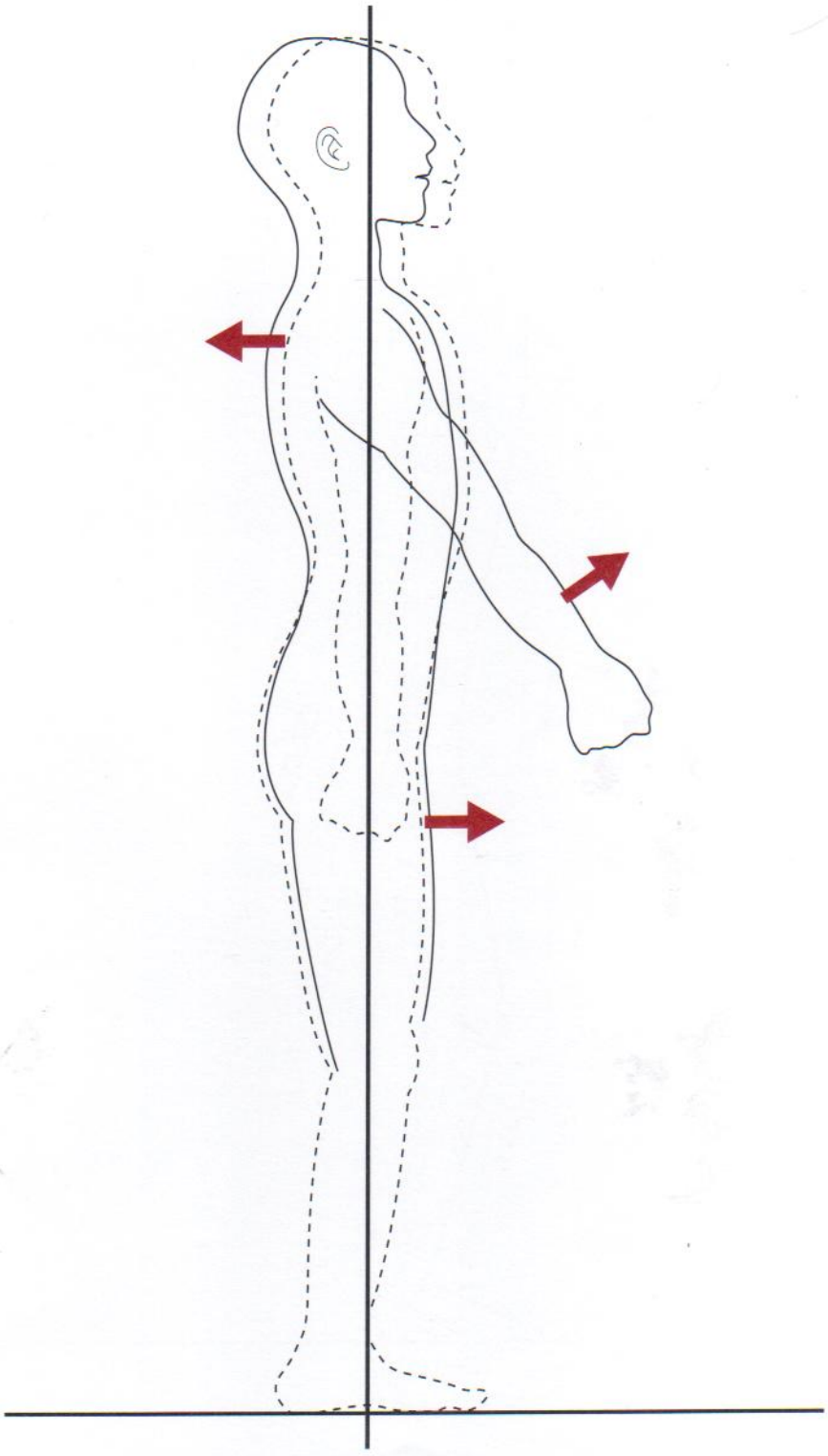


Figura 2.55. Movimiento feed forward. Cuerpo erecto (líneas entrecortadas) en relación con la posición hacia atrás para mantener su centro de gravedad equilibrado (flecha que apunta hacia la izquierda) ante movimientos del brazo adelante. Simultáneamente, se representan los movimientos de la pelvis hacia delante (flecha que apunta hacia la derecha).

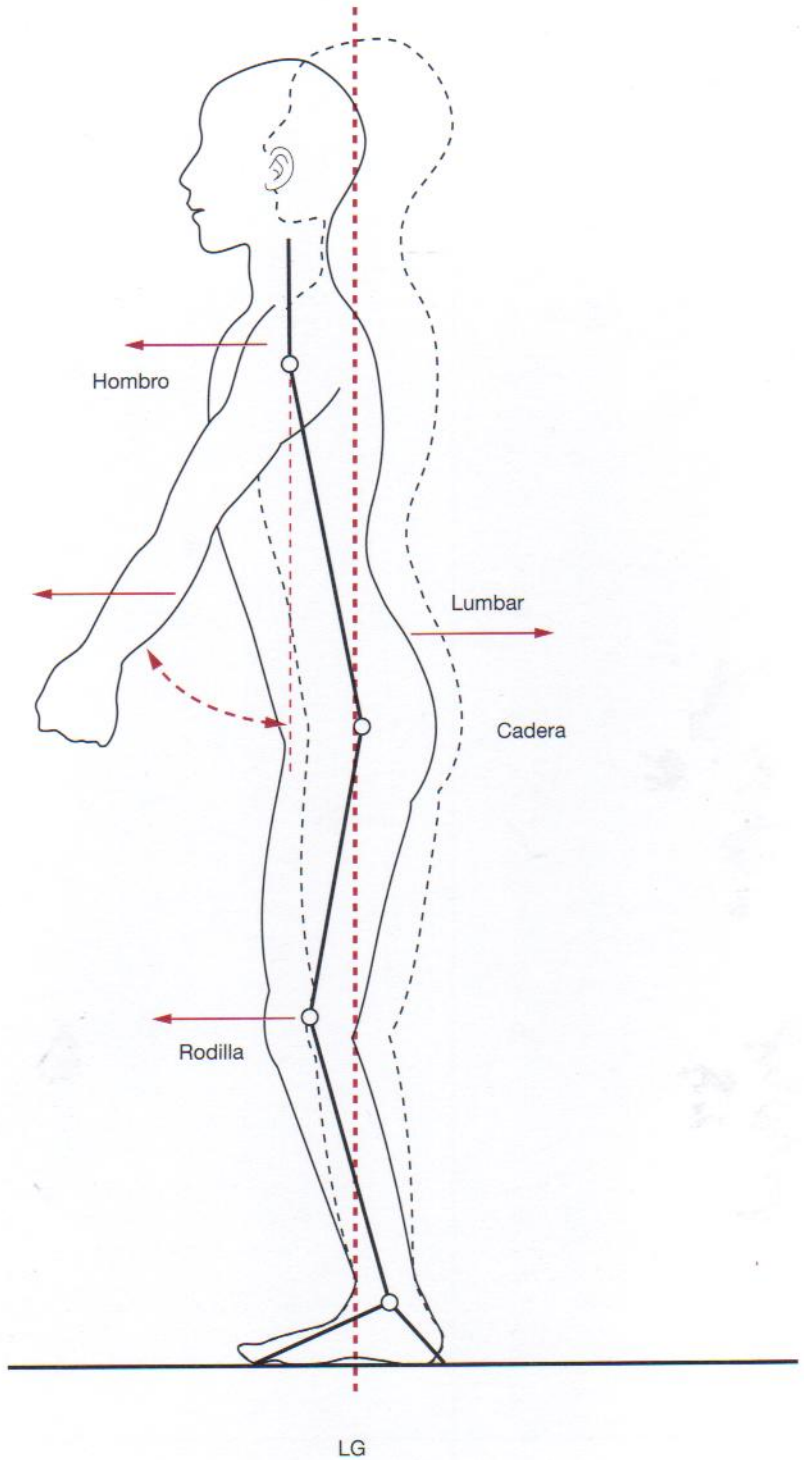


Figura 2.56. Actividad que prepara la musculatura del tronco. Cuerpo y brazos alineados (líneas punteadas). Los movimientos del brazo adelante (flecha curva punteada) respecto del hombro desplazan al tórax y a la cabeza delante de la línea de gravedad (LG). Posteriormente se activan los músculos extensores de la región lumbar y las caderas se mueven hacia delante.

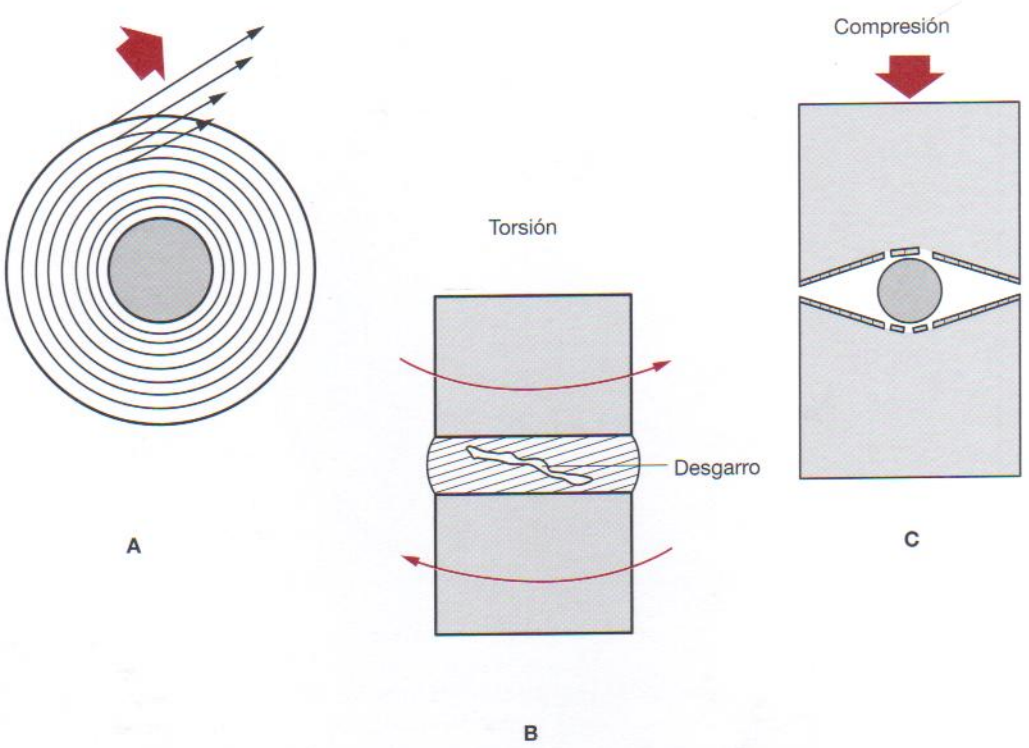


Figura 2.57. Fuerzas compresivas y de torsión en el disco intervertebral. **A,** Fuerzas de rotación (torsión) en las fibras del anillo del disco. **B,** Desgarro en el anillo como resultado de las fuerzas rotatorias. **C,** Una fuerza excesiva puede romper las placas terminales vertebrales antes de romper el disco.

Anatomía funcional de la patología discal

Se utilizan diversos términos para hacer referencia a la patología discal: *deslizamiento, hinchazón, herniación interna, ruptura, extrusión, degeneración* y muchos otros. Por lo tanto, vamos a indicar algunos aspectos de la anatomía funcional y su alteración.

Se han realizado estudios que demuestran que las fuerzas compresivas combinadas con las fuerzas rotatorias son los factores principales que deterioran y rasgan el anillo que rodea y contiene el núcleo pulposo (Fig. 2.57).

El núcleo pulposo que ya no se mantiene dentro del anillo intacto se desplaza en numerosas direcciones, variando las manifestaciones clínicas (Fig. 2.58).

La herniación interna del núcleo causa la protrusión externa de las vainas anulares restantes, con la invasión de la raíz nerviosa en el agujero de conjunción (Fig. 2.59). Si la ruptura de las fibras anulares permiten al núcleo herniarse externamente, se denomina *expulsión del disco* o *herniación verdadera* (Fig. 2.60).

Con la degeneración del disco, la capacidad hidrofílica de éste se pierde, y las placas terminales vertebrales se aproximan (Fig. 2.61).

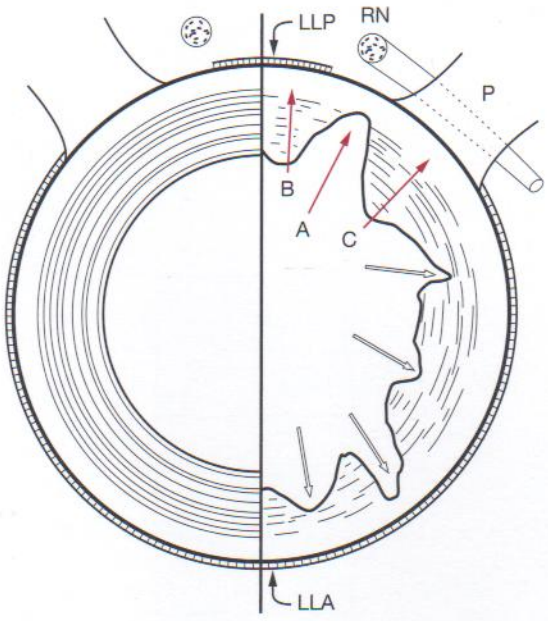


Figura 2.58. Direcciones de la herniación interna del núcleo. En la mitad izquierda se muestra el disco normal. El desgarro de las fibras anulares (A) permite la protrusión del núcleo hacia la lámina (B) pero no invade el ligamento longitudinal posterior (LLP) ni la raíz del nervio (RN) que se encuentra dentro del agujero de conjunción. P, pedículo; LLA, ligamento longitudinal anterior; C, profusión hacia el pedículo sin nocicepción.

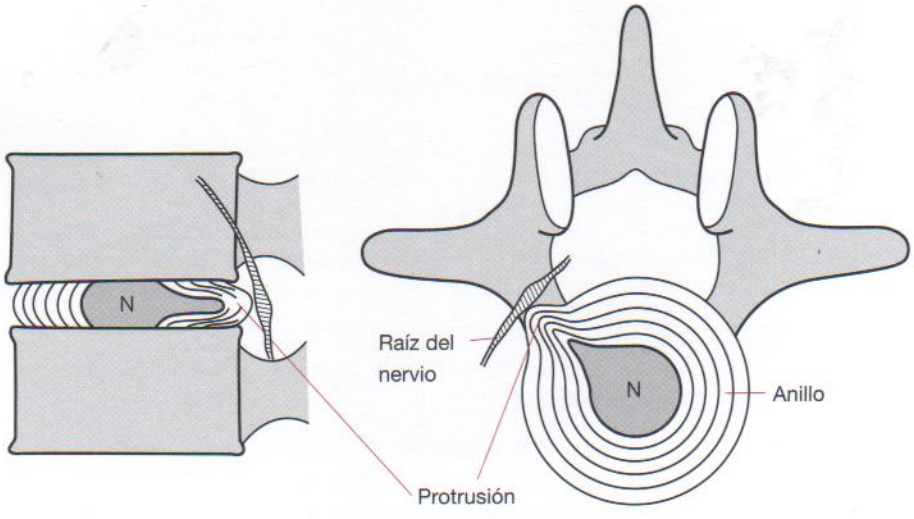


Figura 2.59. Protrusión interna del núcleo. La protrusión del disco central del núcleo (N) puede hacer que las fibras externas sobresalgan (protrusión) e invadan la raíz del nervio, permaneciendo intactas.

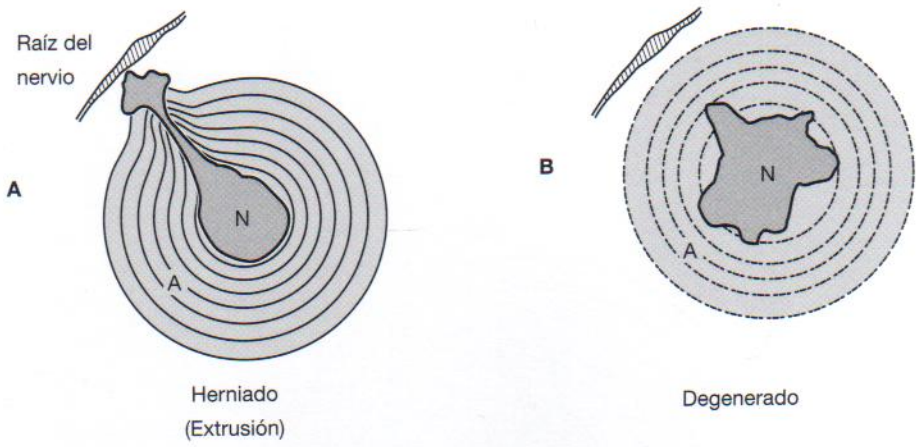


Figura 2.60. Extrusión del disco. A, Herniación interna del núcleo a través de las fibras externas del disco (A), que están rotas. El disco es empujado fuera e invade la raíz nerviosa. **B,** Degeneración del disco sin herniación.

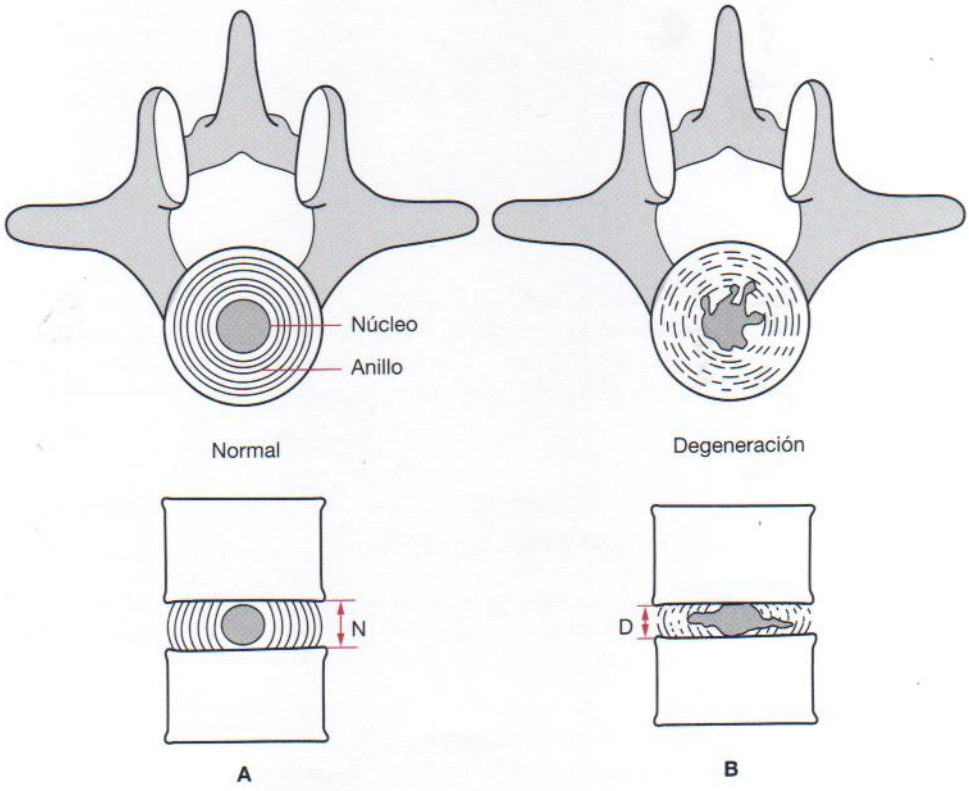


Figura 2.61. Degeneración del disco. A, Disco normal. **B,** Degeneración del disco con pérdida de hidratación, que causa estrechamiento del disco y una reducción del espacio intervertebral.

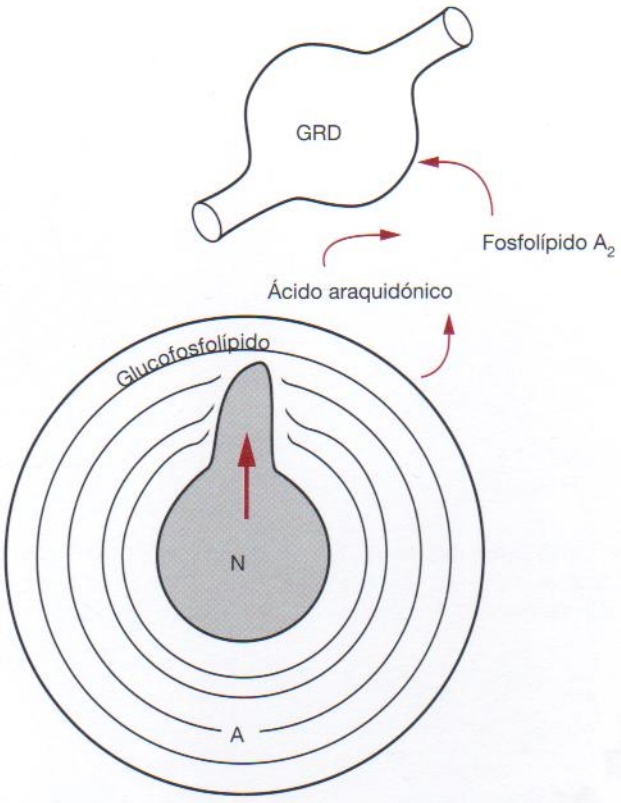


Figura 2.62. Radiculitis química. El daño químico en la matriz origina la formación de fosfolípido A_2, que químicamente irrita el ganglio de la raíz dorsal (GRD). N, núcleo; A, anillo fibroso.

En la actualidad se rechaza la idea de que la invasión patológica en una raíz nerviosa y su dura causa radiculitis simplemente por presión. Los síntomas clínicos se atribuyen ahora a la irritación química del nervio y su dura y a la trasformación del glucofosfolípido en ácido araquidónico; el ácido araquidónico se convierte en el fosfolípido A_2, haciendo que la presión sea nociva y cause dolor radicular (Fig. 2.62).

Sistema neurológico de la columna lumbar

Todas las fibras motoras y sensitivas de la columna lumbar necesitan evaluarse. Se ha analizado el sistema nervioso central desde la corteza hasta la médula y la raíz nerviosa que sale del canal medular por el agujero de conjunción (Fig. 2.63 y 2.64).

Los nervios que forman la cola de caballo se originan en el cono medular a la altura de la vértebra T12, y se ramifican en forma de cola de caballo (Fig. 2.65 y 2.66). Cada raíz nerviosa está englobada en la duramadre (Figs. 2.67, 2.68 y 2.69).

Cuando el nervio sale del agujero de conjunción, pasa por el disco (Figs. 2.70, 2.71 y 2.72).

El nervio recurrente de Luschka, que inerva la mayoría de los segmentos vitales de la unidad funcional, contiene tanto fibras simpáticas como somáticas (Figs. 2.73 y 2.74).

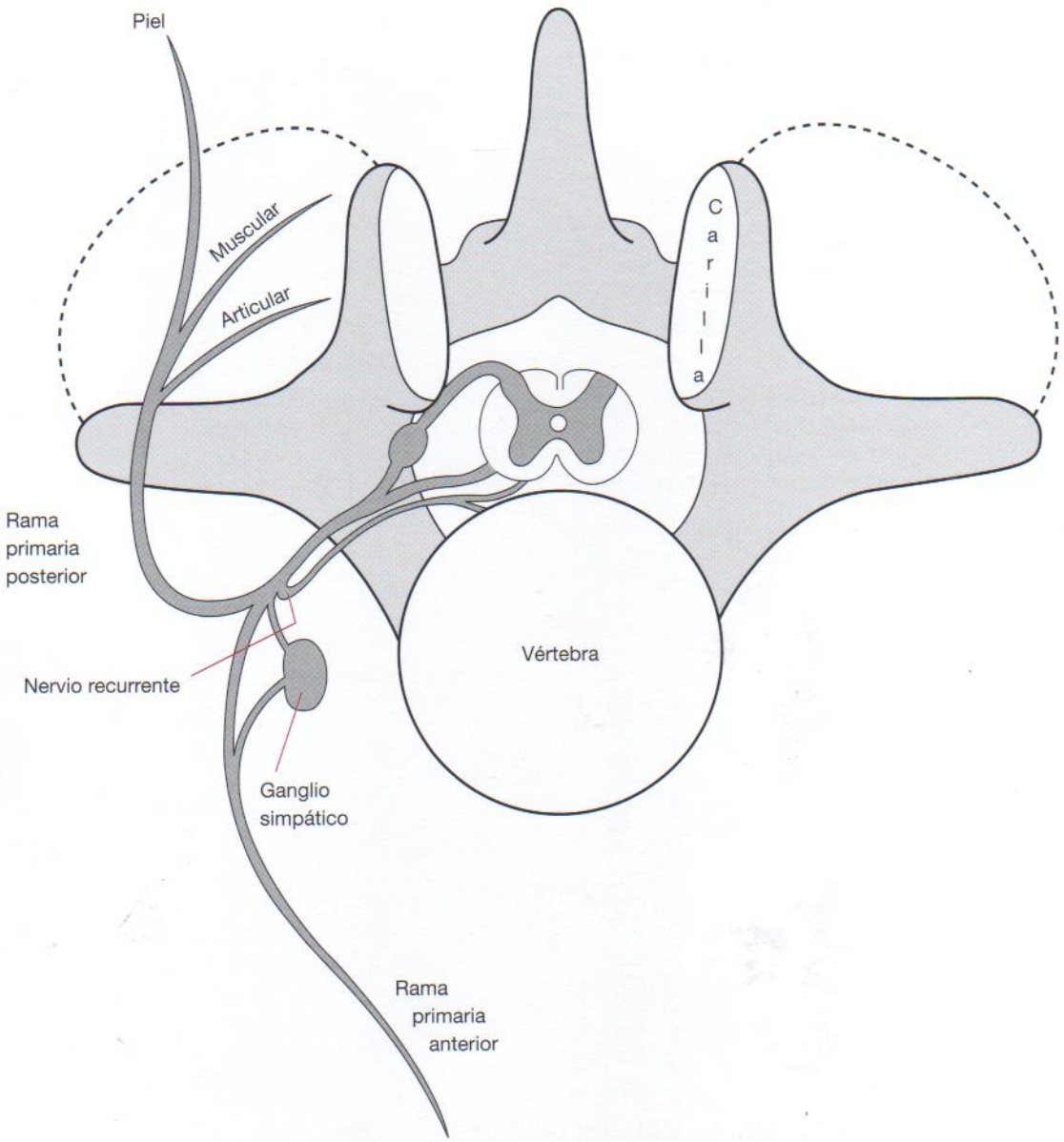


Figura 2.63. Componentes de la raíz nerviosa. La raíces nerviosas de la cola de caballo son similares a las de los niveles superiores. La raíz que sale de la médula espinal posee tanto fibras motoras como sensitivas. Una vez que sale por el agujero de conjunción se ramifica en una rama primaria anterior y una primaria posterior. La fibra simpática posee un ganglio cerca de la columna vertebral y envía una rama a través del agujero de conjunción denominado nervio recurrente de Luschka, que recoge la sensibilidad de la mayoría de los componentes de la unidad funcional. La primera división anterior desciende hasta las extremidades inferiores, y la primera división posterior inerva al músculo erector de la columna, la piel y, mediante una rama, las carillas articulares.

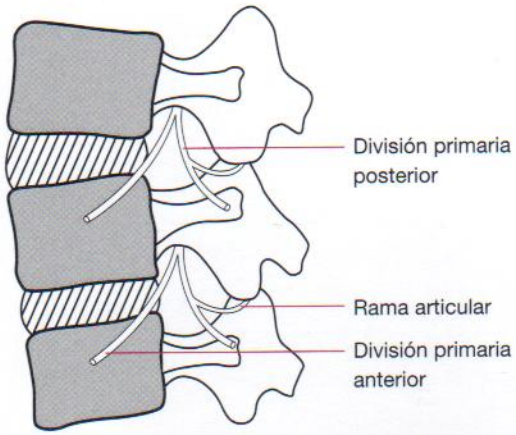


Figura 2.64. Salidas de las raíces nerviosas por el agujero de conjunción. Vista lateral de la columna; se observa la salida de las raíces nerviosas por el agujero de conjunción dividiéndose en las ramas primarias anterior y posterior respectivamente. Hay una pequeña rama articular sensitiva hacia las carillas articulares.

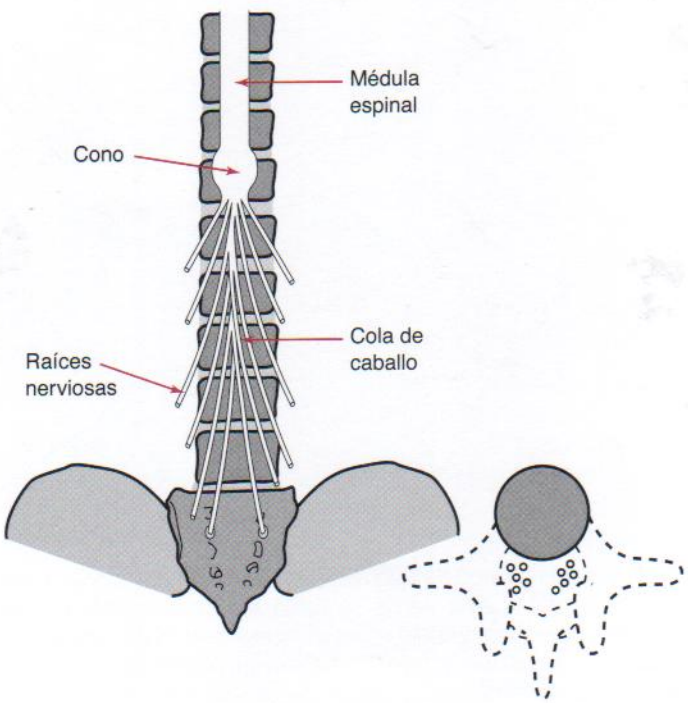


Figura 2.65. Formación de la cola de caballo. La médula espinal finaliza a la altura de T12 en el cono medular y se divide en raíces nerviosas formando la cola de caballo. La figura pequeña representa una vista de la disposición de la cola de caballo dentro del canal medular.

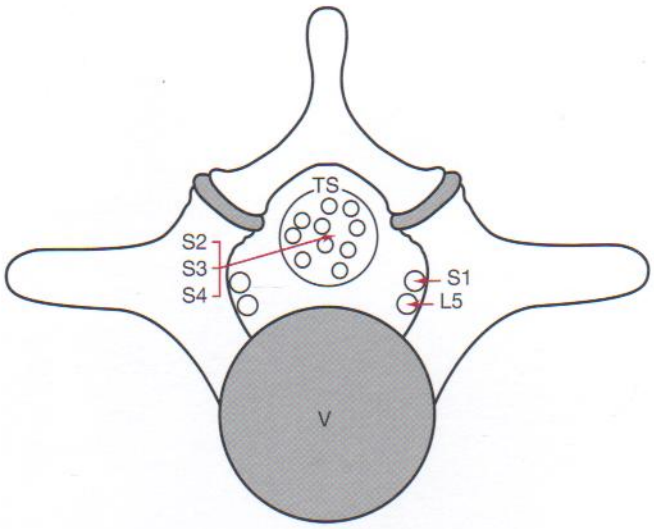


Figura 2.66. Visión vertical de la cola de caballo. Vista craneal de las raíces de la cola de caballo de los niveles L5-S1; se muestran también las raíces sacras (S1, S2, S3, S4) dentro del saco tecal (TS). V, vértebra.

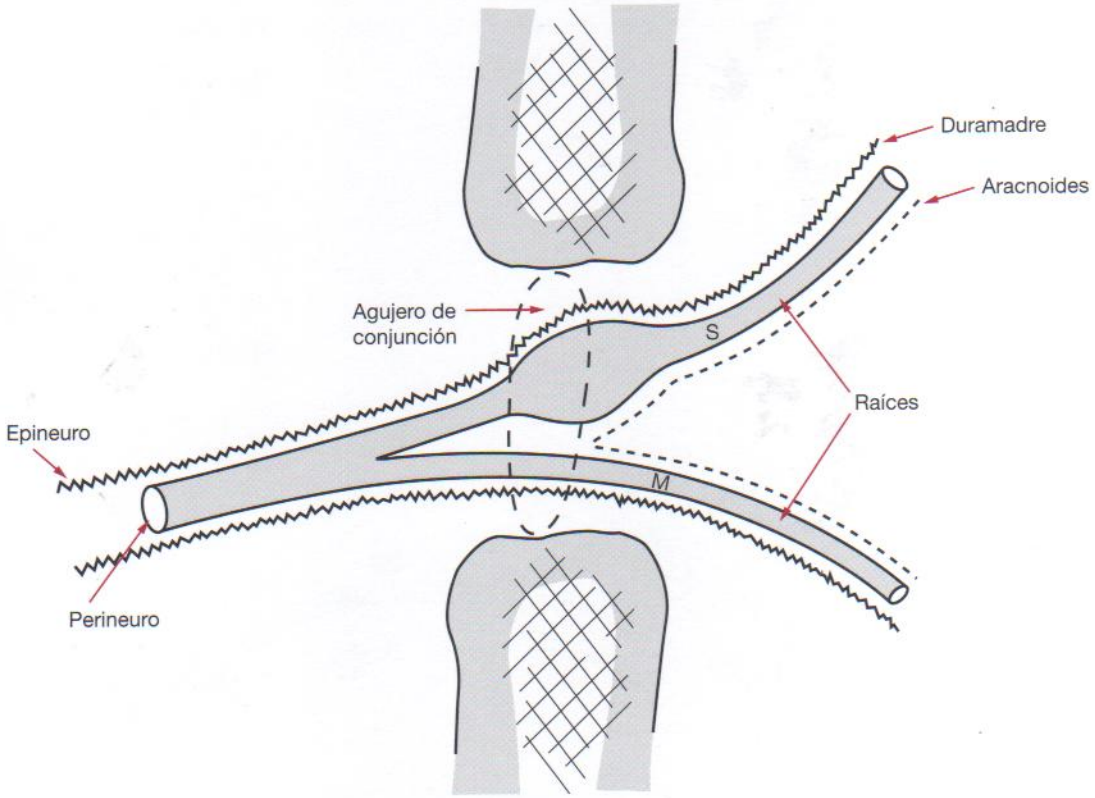


Figura 2.67. Raíz nerviosa entre la duramadre y el aracnoides. Las raíces nerviosas, tanto sus fibras sensitivas (S) como las motoras (M), confluyen a la altura del agujero de conjunción, encerradas en una vaina formada por la membrana duramadre y el aracnoides. El aracnoides finaliza a la altura del agujero de conjunción y la duramadre continúa transformándose en el epineuro y perineuro.

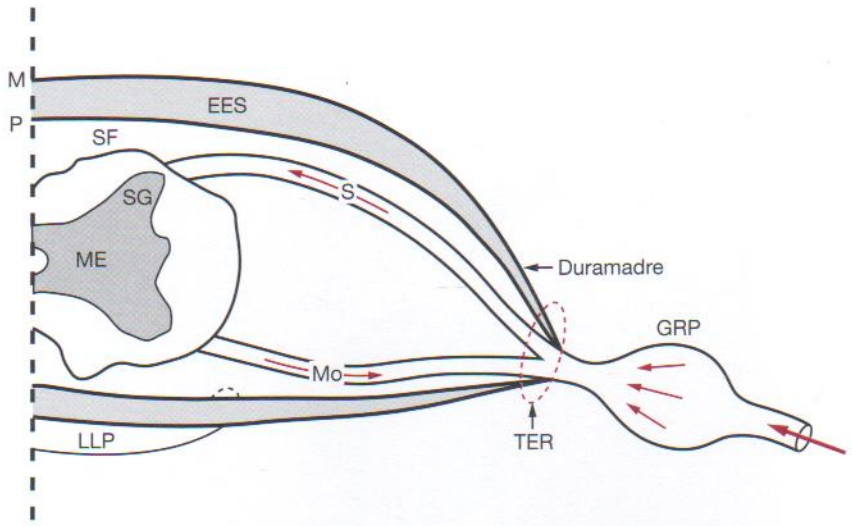


Figura 2.68. Relación de la duramadre y la raíz nerviosa. Las raíces nerviosas se originan en la médula espinal (ME): la raíz motora (Mo) sale del asta anterior, y la raíz sensitiva (S) llega a la sustancia gelatinosa (SG) en la parte posterior. Las raíces están englobadas en la duramadre, que está formada por dos capas, la meníngea (M) y la parietal (P), que delimitan el espacio epidural (EE). Dicho espacio contiene el líquido cefalorraquídeo. Ambas capas terminan en el tabique externo residual (TER). Las raíces pasan a través del ganglio de la raíz posterior (GRP). LLP, ligamento longitudinal posterior.

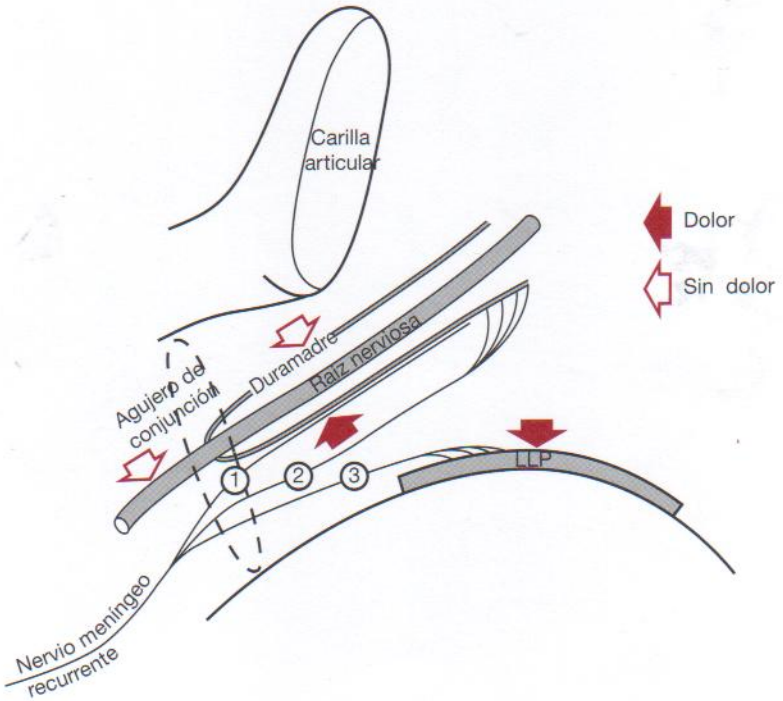


Figura 2.69. Acompañamiento de la duramadre a la raíz nerviosa. La duramadre acompaña a la raíz nerviosa a través del agujero de conjunción paralelamente al nervio recurrente meníngeo. El nervio meníngeo se divide en tres ramas; las ramas 1 y 2 inervan la dura, y la rama 3 inerva el ligamento longitudinal posterior (LLP).

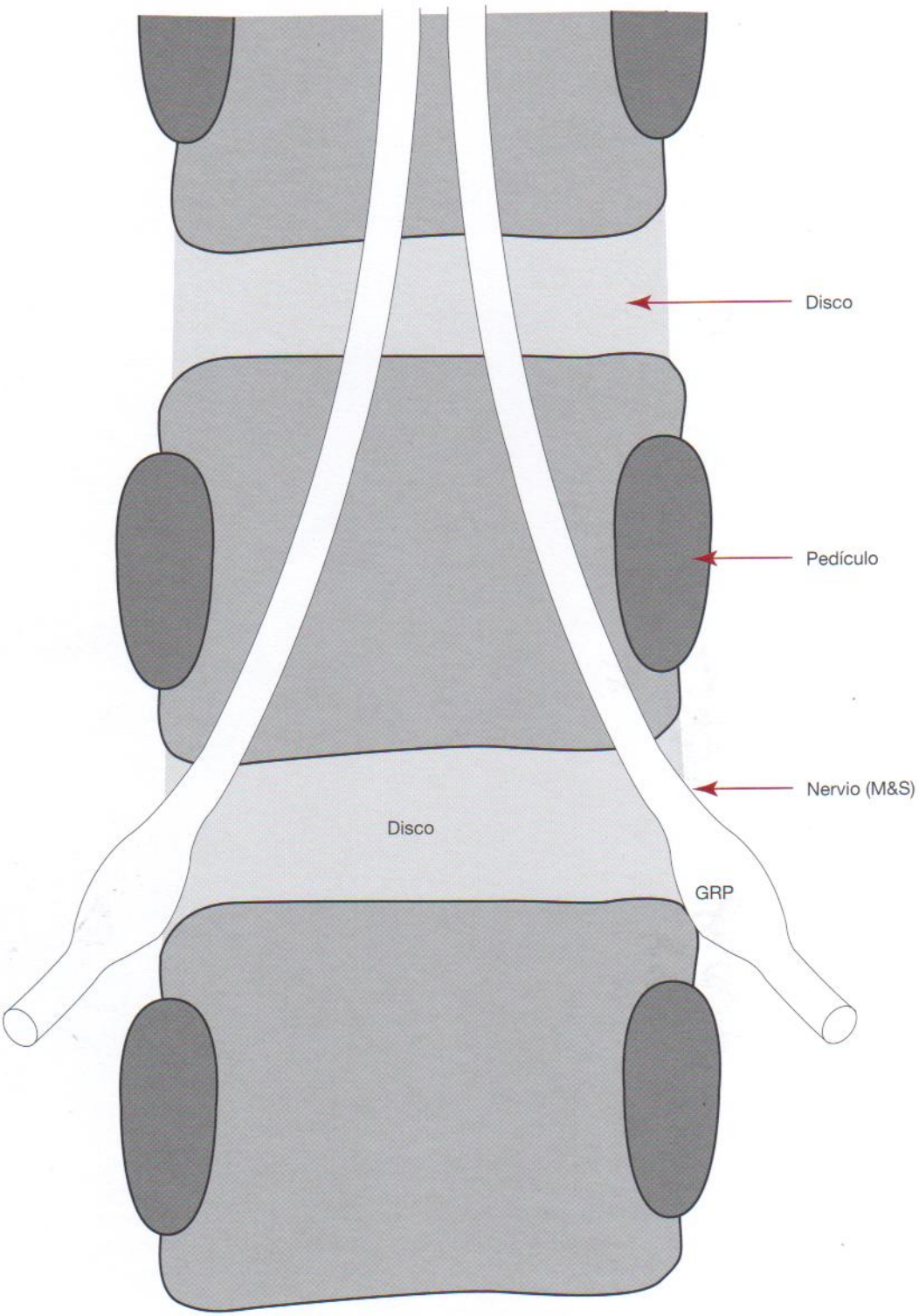


Figura 2.70. Relación de la raíz nerviosa con los discos intervertebrales. La raíz nerviosa que contiene fibras motoras y sensitivas (M&S) pasa por debajo del pedículo y sobre la cara posterolateral del disco en cada nivel. GRP, ganglio de la raíz posterior.

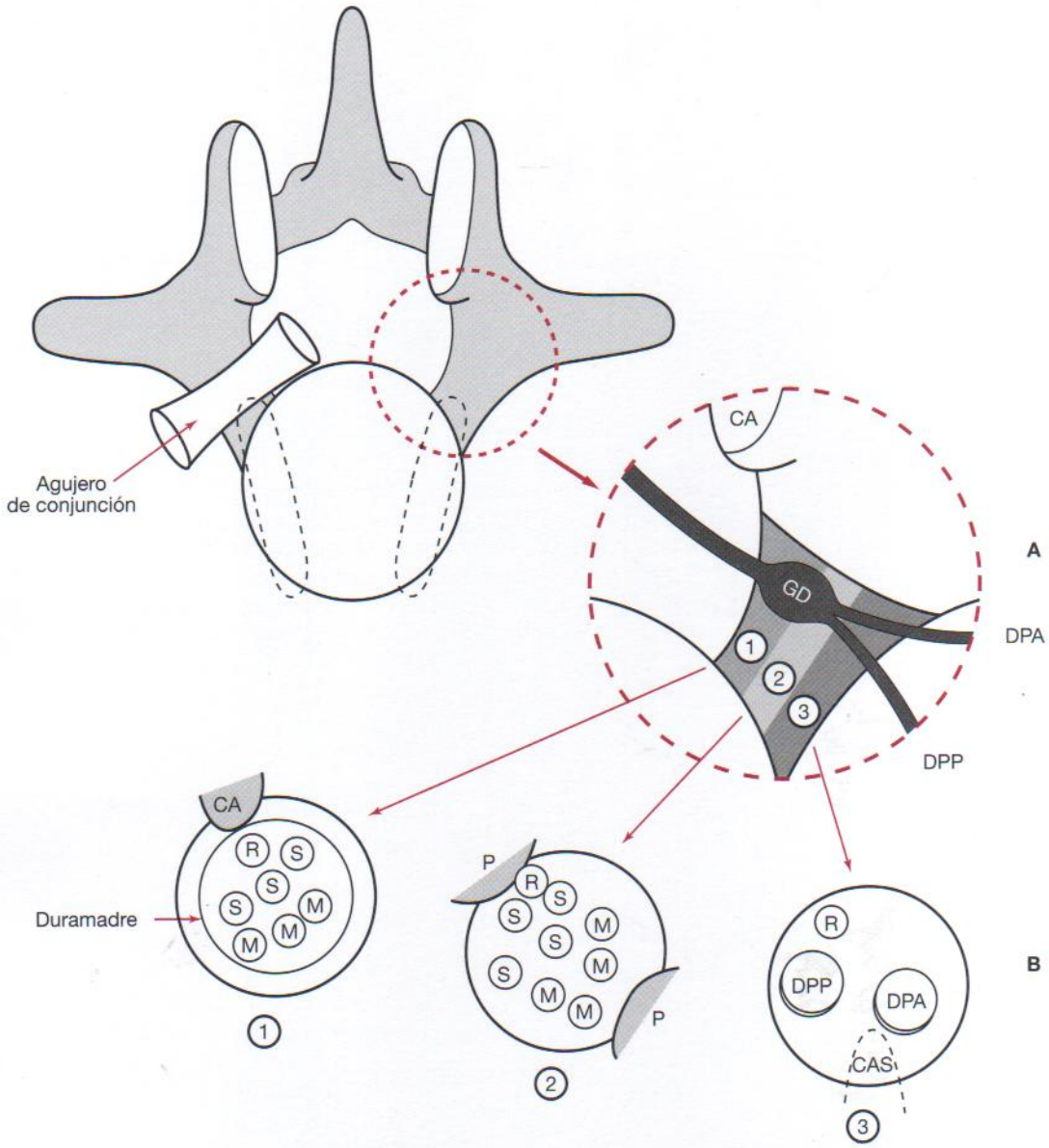


Figura 2.71. Contenido normal del agujero intervertebral. A, El agujero de conjunción tiene forma de embudo. Su contenido (círculo punteado) se compone de carilla articular (CA), ganglio de la raíz posterior (GD) y raíces nerviosas de tres niveles. **B,** ①, porción proximal del agujero de conjunción, que contiene fibras sensitivas (S) y motoras (M); ②, raíces cercanas al centro del agujero de conjunción a la altura de los pedículos (P); ③, borde externo del agujero de conjunción que contiene la división primaria posterior (DPP). R, nervio recurrente de Luschka; CAS, carilla articular superior; DPA, división primaria anterior.

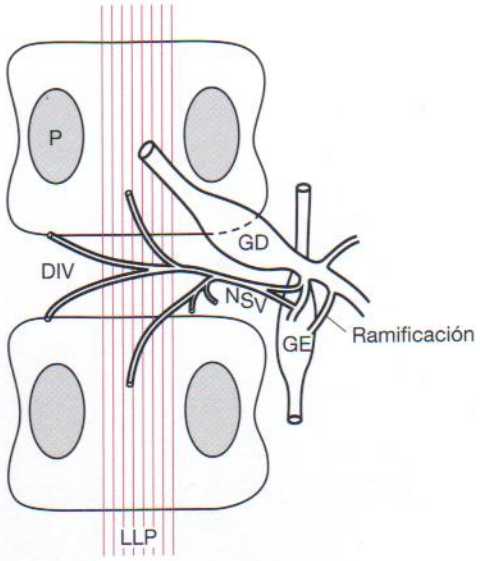


Figura 2.72. Nervio senovertebral de Luschka. El ganglio dorsal (GD) sale lateralmente, ramificándose desde el ganglio espinal (GE), desde el cual emerge el nervio senovertebral (NSV), el ligamento longitudinal posterior (LLP) y el disco intervertebral (DIV). El nervio senovertebral se origina en la columna intermediolateral de la médula e inerva a la raíz nerviosa de la dura, ligamento longitudinal posterior y fibras externas del anillo fibroso del disco. P, pedículos.

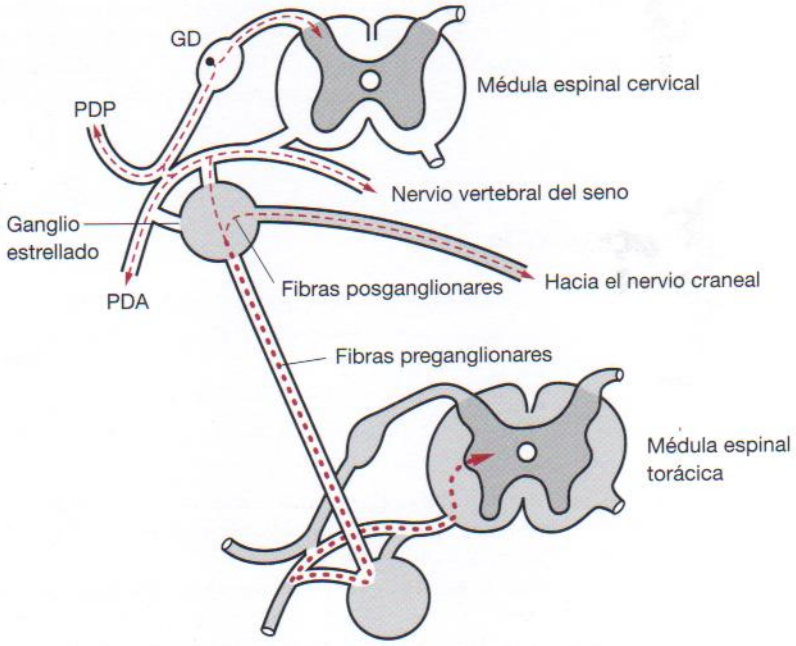


Figura 2.73. Formación del sistema nervioso simpático. La parte superior muestra la médula espinal con la primera división anterior (PDA), primera división posterior (PDP) y el ganglio dorsal (GD). Las fibras preganglionares comienzan en la médula torácica, entran en el ganglio y salen como fibras posganglionares hacia el nervio periférico.

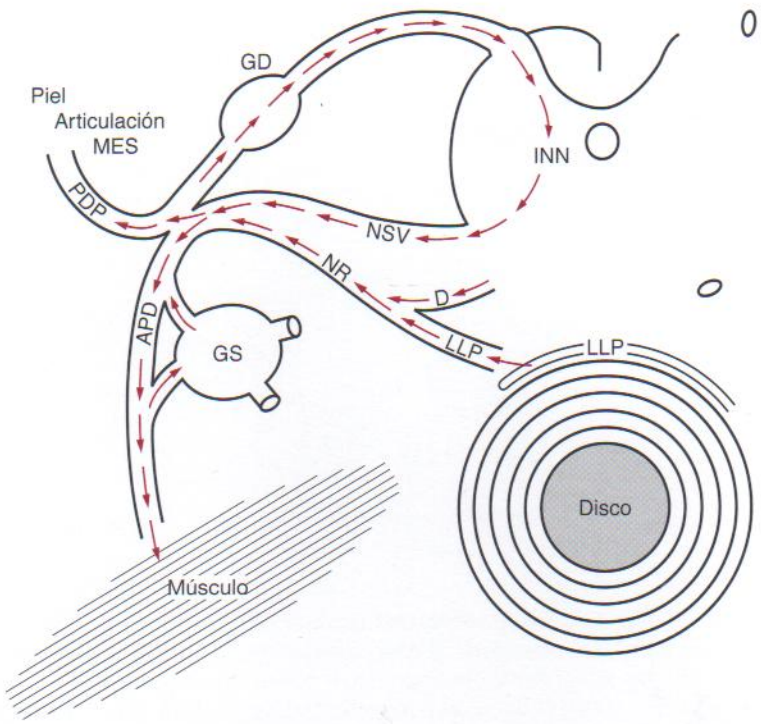


Figura 2.74. Inervaciones del nervio meníngeo recurrente. Las fibras sensitivas vienen desde la piel, articulaciones y músculos extraespinales (MES). Ascienden a la primera división posterior (PDP) a través del ganglio dorsal (GD). Al entrar en la sustancia gris de la médula envían prolongaciones mediante conexiones interneurales (INN) hacia el nervio sensitivo ventral (NSV) que acceden a los músculos por la primera división anterior. GS, ganglio simpático; NR, nervio recurrente; D, duramadre; LLP, ligamento longitudinal posterior.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bogduk N. Structure and function of the lumbar spine. In: Mayer TG, Mooney V, Gatchel RJ, eds. *Contemporary Conservative Care for Painful Spinal Disorders*. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger; 1991.
2. Gracovetsky S. *The Spinal Engine*. New York, NY: Springer-Verlag; 1989.
3. Tillman LJ, Cummings GS. Biological mechanisms of connective tissue mutability. In: Currier DP, Nelson RM, eds. *Dynamics of Human Biologic Tissues*. Philadelphia, Pa: FA Davis Co; 1992.
4. Eyre DR. Collagen of the disc. In: Ghosh P, ed. *The Biology of the Intervertebral Disc*. Elkins Park, Pa: Franklin Book Co; 1988.
5. Bogduk N. *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine*. Edinburgh, Scotland: Churchill Livingstone; 1987.
6. Nachemson AL, Schultz AB, Berkson MH. Mechanical properties of human lumbar spine segments: influence of age, sex, disc level, and degeneration. *Spine*. 1979;4:1-8.
7. Cailliet R. *Understand Your Backache*. Philadelphia, Pa: FA Davis; 1984:17.
8. Abumi K, Panjabi MM, Kramer KM, Duranceau J, Oxland T, Crisco JJ. Biomechanical evaluation of lumbar spinal stability after graded facetectomies. *Spine*. 1990;15:1142-1147.

9. Adams MA, Hutton WC. The relevance of torsion to the mechanical derangement of the lumbar spine. *Spine*. 1981;6:241-248.
10. Bogduk N, Macintosh JE, Pearcy MJ. A universal model of the lumbar back muscles in the upright position. *Spine*. 1992;17:897-913.
11. Macintosh JE, Bogduk N, Pearcy MJ. The effects of flexion on the geometry and actions of the lumbar erector spinae. *Spine*. 1993;18:884-893.
12. Lovett RW. The mechanism of the normal spine and its relation to scoliosis. *Boston Med Surg J*. 1905;13:349-358.
13. Lovett RW. *Lateral Curvature of the Spine and Round Shoulders*. Philadelphia, Pa: Blakiston's Son and Co; 1907.
14. Marras WS, Lavender SA, Leurgans SE, et al. The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders: the effects of work-place factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury. *Spine*. 1993;18:617-628.
15. Panjabi M. Yamamoto I, Oxland T, Crisco J. How does posture affect coupling in the lumbar spine? *Spine*. 1989;14:1002-1011.
16. Morgan FP, King T. Primary instability of lumbar vertebrae as a common cause of low back pain. *J Bone Joint Surg*. 1957;39:6-22.
17. Swanepoel MW, Adams LM, Smeathers JE. Morphometry of human apophyseal joints: a novel technique. *Spine*. 1997;22:2473-2483.
18. Pearcy MJ. Tibrewal SB. Axial rotation and lateral bending in the normal lumbar spine measured by three-dimensional radiography. *Spine*. 1984;9:582-587.
19. Farfan HF, Cossette JW, Robertson GH.; Wells RV, Kraus H. The effects of torsion on the lumbar intervertebral joints: the role of torsion in the production of disc degeneration. *J Bone Joint Surg Am*. 1970;52:468-497.
20. Gracovetsky S, Farfan H. The optimum spine. *Spine*. 1986;11:543-573.
21. Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clin Bimech*. 1996;11:1-15.
22. McGill SM. A myoelectrically based dynamic three-dimensional model to predict loads on lumbar spine tissues during lateral bending. *J Biomech*. 1992;25:395-414.
23. Thelen DG, Schultz AB, Ashton-Miller JA. Co-contraction of lumbar muscles during the development of time-varying triaxial moments. *J Orthop Res*. 1995;13:390-398.
24. Zetterberg C, Andersson GB, Schultz AB. The activity of individual trunk muscles during heavy physical loading. *Spine*. 1987;12:1035-1040.
25. Crisco JJ, Panjabi MM. Postural biomechanical stability and gross muscular architecture of the spine. In: Winters JM, Woo SL-Y, eds. *Multiple Muscle Systems: Biomechanics and Movement Organization*. New York, NY: Springer-Verlag; 1991.
26. Janevic J. Ashton-Miller JA, Schultz AB. Large compressive preloads decrease lumbar motion segment flexibility. *J Orthop Res*. 1991;9:228-236.
27. Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech*. 1996;11:1-15.
28. Cholewicki J, Panjabi M, Khachatryan A. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. *Spine*. 1997;22:2207-2212.
29. Thelen DG, Schultz AB, Ashton-Miller JA. Co-contraction of lumbar muscles during development of time-varying triaxial moments. *J Orthop Res*. 1995;13:390-398.39.
30. Floyd WF, Silver PHS. Function of the erector spinae muscles in flexion of the trunk. *Lancet*. 1951;1:133-143.
31. Kaigle AM. Wessberg P, Hansson TH. Muscular and kinetic behavior of the lumbar spine during flexion-extension. *J Spinal Disord*. 1998;11:163-174.
32. Quint U, Wilke HJ, Shirazi-Adl A, Parnianpour M, Loeb F, Claes LE. Importance of the intersegmental trunk muscles for the stability of the lumbar spine. *Spine*. 1998;23:1937-1945.

33. Solomonow M, Zhou BH, Baratta RV, Lu Y, Harris M. Biomechanics of increased exposure to lumbar injury caused by cyclic loading: Part I. Loss of reflexive muscular stabilization. *Spine*. 1999;24:2426-2434.
34. Ng HW, Teo EC, Lee KK, Qiu TX. Finite element analysis of cervical spinal instability under physiological loading. *J Spin Disord Tech*. 2003;16:55-65.
35. Adams MA, Dolan P, Hutton WC. Diurnal variations in the stresses on the lumbar spine. *Spine*. 1987;12:130-137.
36. Botsford DJ, Esses SI, Ogilvie-Harris DJ. In vivo diurnal variations in intervertebral disc volume and morphology. *Spine*. 1994;19:935-940.
37. Dolan P, Benjamin E, Adams M. Diurnal changes in bending and compressive stresses acting on the lumbar spine. *J Bone Joint Surg*. 1993;75:22.
38. Dunlap R, Adams M, Hutton W. Disc space narrowing and the lumbar facet joint. *J Bone Joint Surg*. 1984;66:706-710.
39. Eklund J, Corlett E. Shrinkage as a measure of the effect of load on the spine. *Spine*. 1984;9:189-194.
40. Indahl A, Kaigle A, Reikeras O, Holm S. Interaction between porcine lumbar intervertebral disc, zygapophyseal joints, and paraspinous muscles. *Spine*. 1997;22:2834-2840.
41. Stubbs M, Harris M, Solomonow M, Zhou B, Lu Y, Baratta RV. Ligamento-muscular protective reflex in the lumbar spine of the feline. *J Electromyogr Kinesiol*. 1998;8:197-204.
42. Richardson C, Jull G, Hodges P, Hides J. *Therapeutic Exercise for Spinal Segmental Stabilization in Lower Back Pain*. New York, NY: Churchill Livingstone; 1998.
43. Jull G, Richardson C. Toppenberg R, Comerford M, Bui B. Toward a Measure of Active Muscle Control for Lumbar Stabilization. *Aust J Physiother*. 1993;39:187-193.
44. Hodges PW. Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability? *Man Ther*. 1999;4:74-86.
45. Hodges PW, Richardson CA. Transversus abdominis and the superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. *Neurosci Lett*. 1999;265(2):91-94.
46. Hodges PW, Richardson CA. Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *J Spinal Disord*. 1998;11:46-56.
47. Morgan FP, King T. Primary instability of lumbar vertebrae as a common cause of low back pain. *J Bone Joint Surg*. 1957;39:6-22.

capítulo 3

Anatomía funcional de la columna cervical

La columna cervical posee muchas de las características anatómicas funcionales de la columna lumbosacra, pero también tiene sus diferencias. Se compone de siete unidades funcionales, de las cuales las tres superiores son totalmente distintas entre ellas, mientras que la columna lumbosacra está formada por tan sólo cinco unidades. La columna cervical sostiene principalmente la cabeza, con todas las funciones neurológicas específicas que ello conlleva, por lo que necesita un mayor margen de movilidad que el que requiere la columna lumbar.

Desde la tercera vértebra cervical hacia abajo, las unidades funcionales son muy similares a las de la columna lumbosacra, en la cual las vértebras están separadas entre sí por el disco intervertebral, la apófisis articular superior, los pedículos y la apófisis transversa (Fig. 3.1). El canal medular contiene la médula espinal, mientras que en la región lumbosacra el canal contiene las raíces que forman la cola de caballo (Fig. 3.2)[1,2].

La columna cervical forma una lordosis que depende de la superficie inmediatamente inferior a ella, que es la cifosis torácica y la lordosis lumbar, todo ello dependiente a su vez del ángulo lumbosacro (Fig. 3.3).

La evolución de la lordosis cervical consiste en un cambio de la curvatura de la columna, que es total cuando el niño está en el útero; una vez nacido, se eleva la cabeza y la lordosis se mantiene y persiste con la postura erecta (Fig. 3.4).

Debido a que la cabeza es una estructura pesada debe mantener el equilibrio con relación al centro de gravedad. No obstante, un aumento de la cifosis torácica provoca que la cabeza se posicione anteriormente respecto del centro de gravedad, lo que hace necesario un gran esfuerzo muscular para mantener la postura (Fig. 3.5).

Complejo cervical superior

El complejo cervicovertebral superior está formado por el occipucio, el atlas (C1) y el axis (C2). Este segmento cervical realiza movimientos específicos que difieren de los del resto de la columna cervical. La articulación occipitoatloidea (C1) permite la flexo-extensión sobre los cóndilos occipitales y la articulación de los cuerpos atloideos (Fig. 3.6). Al casar todas las partes de estas articulaciones es posible el movimiento en un plano sagital (flexo-extensión) y se limitan los movimientos laterales y de rotación (Fig. 3.7). El atlas (C1) consiste en dos cuerpos laterales unidos por un arco anterior y otro posterior, y no por un cuerpo central, como se evidencia en las vértebras localizadas distalmente a partir de C3 (Fig. 3.8).

La articulación occipitoalantoidea permite el movimiento de flexo-extensión en un plano sagital. La flexión se produce en un ángulo de aproximadamente 10°, y la extensión en un ángulo de 25°, siendo la amplitud total de 35°. Apenas permite movimientos laterales y de rotación.

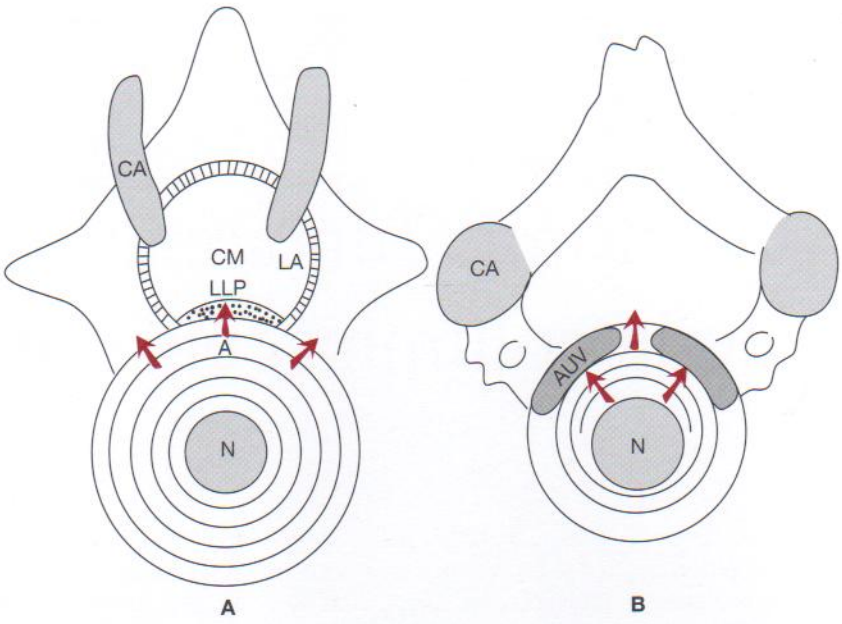


Figura 3.1. Típica vértebra de columna inferior. A, Típica vértebra cervical desde C3 hasta C7. N, núcleo pulposo; **A,** anillo fibroso del disco; LLP, ligamento longitudinal posterior; CA, carillas articulares; CM, canal medular; LA, ligamento amarillo; las flechas indican la dirección de la posible herniación del núcleo. **B,** Articulación uncovertebral (AUV), que teóricamente previene la herniación discal.

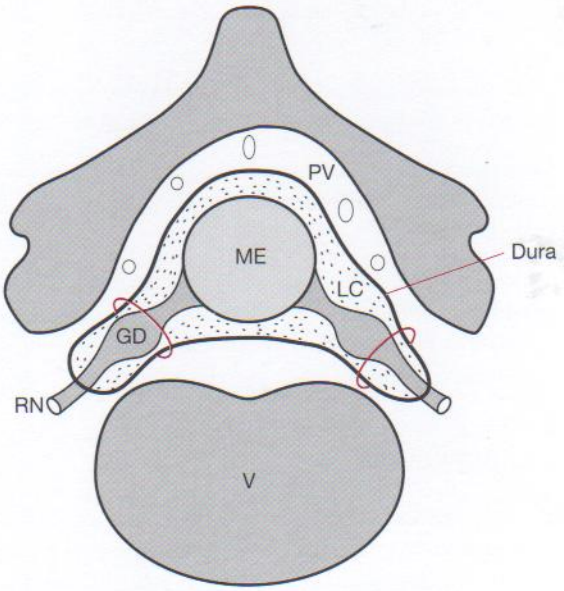


Figura 3.2. Contenido dural del canal medular cervical. El canal medular cervical contiene la médula espinal (ME), con su envoltura de las membranas durales, que contiene el líquido cefalorraquídeo (LC). La vaina dural se extiende lateralmente a través de los agujeros de conjunción, donde se encuentran los ganglios dorsales (GD), que se continúan con las raíces nerviosas (RN)[3]. El plexo venoso (PV) realiza el drenaje del espacio epidural. El canal medular varía su anchura durante la flexo-extensión[4]. V, cuerpo vertebral desde C3.

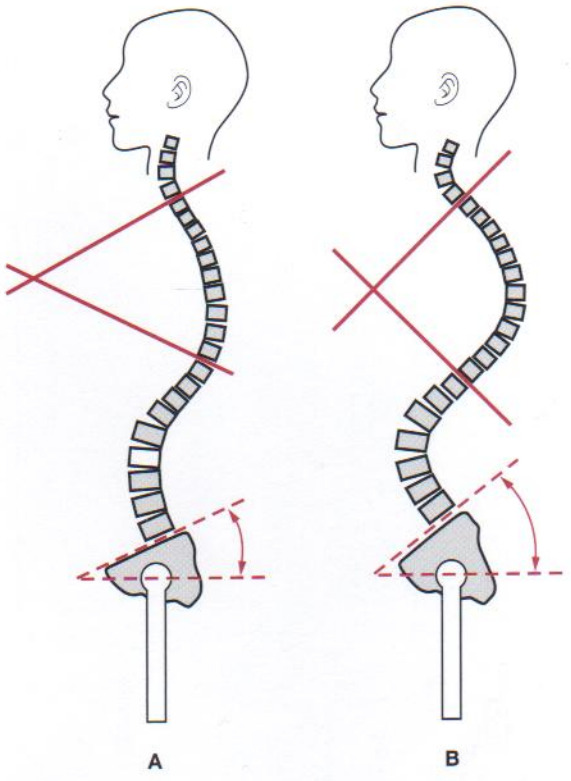


Figura 3.3. Curvaturas de la columna en relación con la inclinación del sacro. Las curvas fisiológicas de la columna vertebral dependen del ángulo lumbosacro (las líneas discontinuas delimitan el ángulo de la pelvis). **A,** Ángulo sacro mínimo con moderadas curvaturas en todos los niveles. **B,** Mayor inclinación del sacro, todas las curvas fisiológicas se acentúan. Las líneas continuas señalan el grado de curvatura torácica.

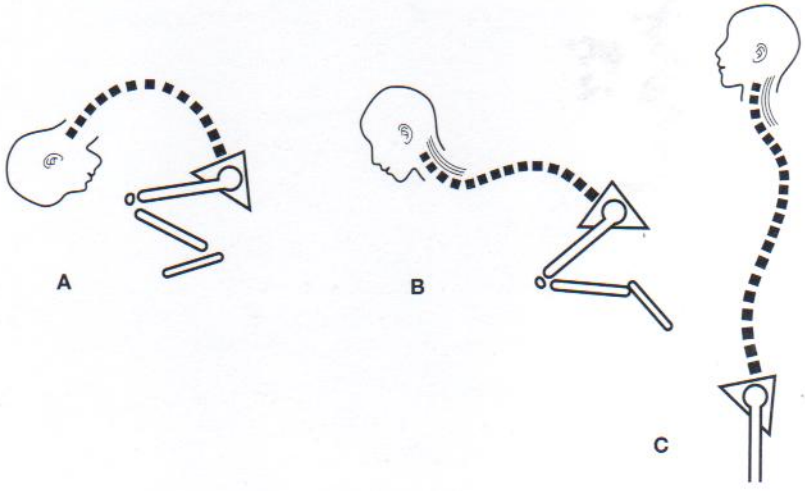


Figura 3.4. Evolución de la lordosis cervical. A, En el útero la postura es de flexión total. **B,** En las etapas iniciales tras el nacimiento, cuando la cabeza se mantiene erguida, se comienza a adquirir la postura lordótica. **C,** En el adulto en postura erguida, la lordosis cervical persiste.

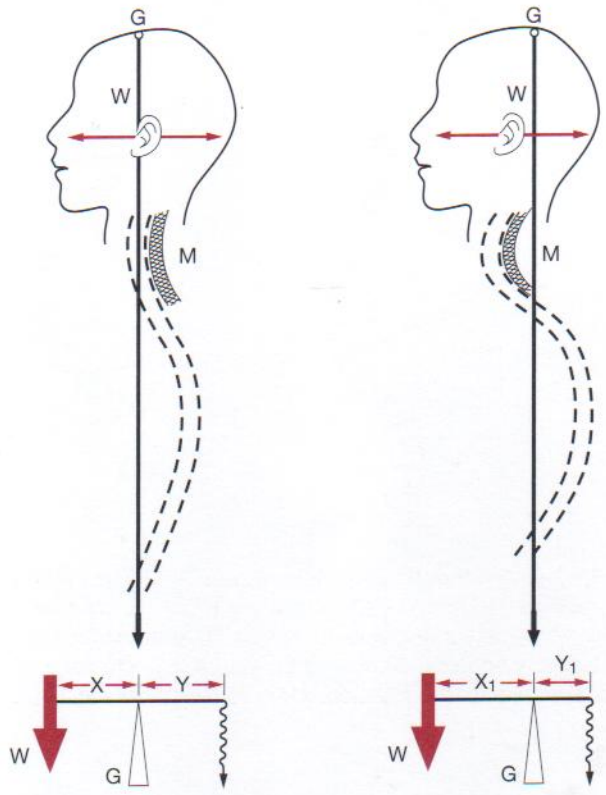


Figura 3.5. Soporte cervical en relación al centro de gravedad. La fórmula $W \times X = M \times Y$ representa el soporte cervical en relación al centro de gravedad (G), donde W es el peso de la cabeza; X es la distancia entre el centro de gravedad de la cabeza y la línea de la gravedad del cuerpo; Y es la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza de la musculatura y la línea de gravedad del cuerpo, y M es la tensión muscular necesaria para soportar W. En definitiva, imita a una palanca de primer grado con el punto de apoyo o fulcro en G, y a cada lado, respectivamente, el peso y la acción de los músculos. Cualquier cambio de longitud en uno de los brazos de palanca (por cambios posturales) repercute en la fórmula.

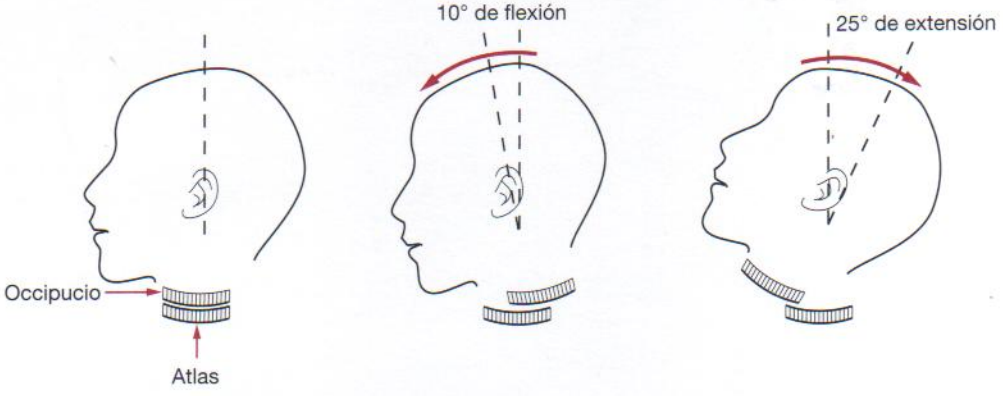


Figura 3.6. Movimiento occipitoatloideo. La superficie convexa de los cóndilos occipitales se desliza sobre las superficies articulares cóncavas del atlas, que permiten la flexión (10°) y la extensión (25°), siendo un movimiento total de 35°. Apenas permite un movimiento lateral o rotación.

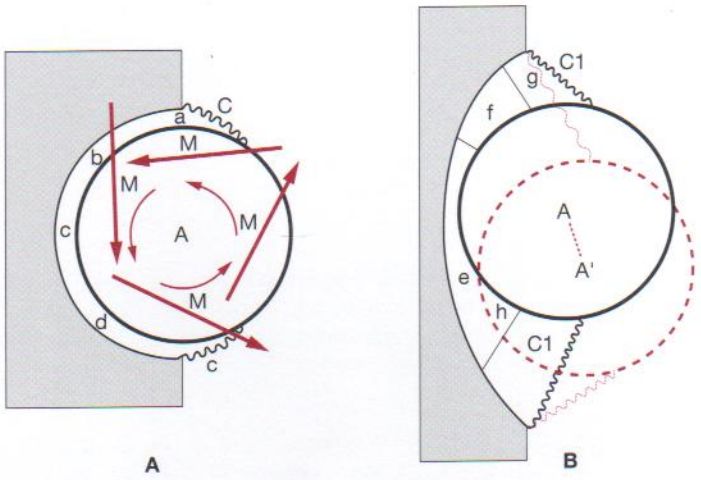


Figura 3.7. Congruencia-incongruencia. A, Las superficies articulares opuestas son congruentes y totalmente simétricas: a = b = c = d. Los músculos (M) provocan una rotación articular respecto del eje (A). **B,** Articulación incongruente con superficie cóncava y convexa de distinta curvatura; en este caso, el movimiento es más un deslizamiento que rotación. A-A´, variación del eje. C y C1 muestran cambios de la cápsula.

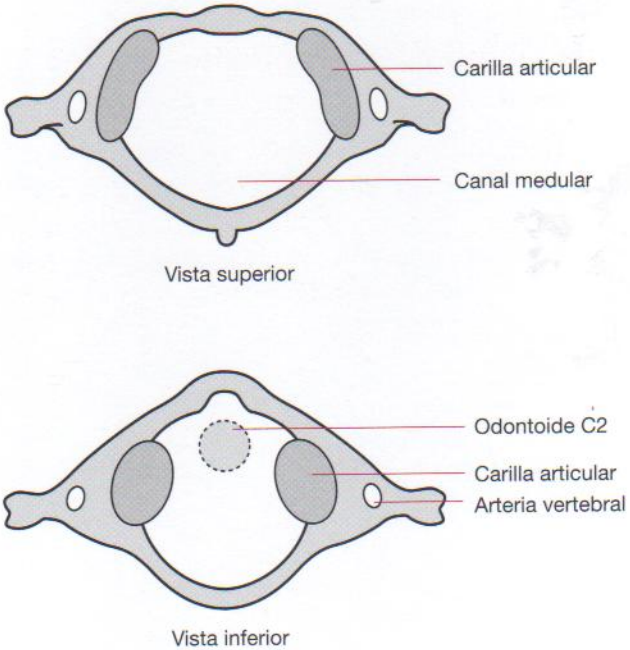


Figura 3.8. Atlas. El atlas es un hueso circular con carillas articulares en ambos laterales. Las carillas superiores son cóncavas, mientras que las inferiores son convexas. Se puede ver dónde se sitúa la apófisis odontoides (C2) respecto del atlas.

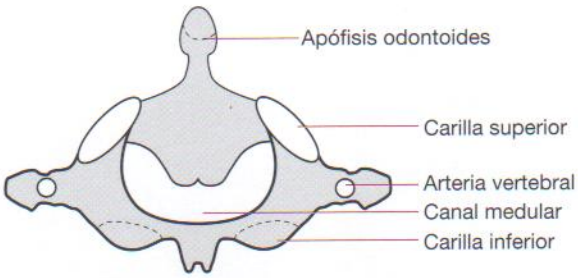


Figura 3.9. Axis. El axis (vértebra C2) posee unas carillas articulares superiores cóncavas para articular con las carillas articulares inferiores del atlas. Sus carillas inferiores articulan con la tercera vértebra cervical. La apófisis odontoides asciende a través del canal medular del atlas.

El axis (vértebra C2) es también un hueso con forma circular con carillas articulares superiores e inferiores que articulan con el atlas y la tercera vértebra cervical (Fig. 3.9). No existe disco intervertebral entre el hueso occipital y el atlas, ya que sus articulaciones son del tipo sinartrosis porque están formadas por cápsulas fibrosas de colágeno.

El atlas no tiene un cuerpo vertebral central como el resto de vértebras situadas a partir C3; posee dos cuerpos laterales con carillas articulares superiores e inferiores. Los cuerpos laterales están unidos por un arco anterior y otro posterior. El arco anterior se engrosa en su parte central y forma un cuerpo desde donde se proyecta la apófisis odontoides hacia arriba. El atlas rota alrededor de la apófisis odontoides del axis. Éste contacta con el arco anterior del atlas (Fig. 3.10). Las masas laterales del axis articulan en la parte superior con las masas laterales del atlas, y en la inferior con las carillas superiores de la tercera vértebra cervical (Fig. 3.11).

Ligamentos del segmento occípito-atlanto-axoideo de la columna cervical

Los ligamentos de la articulación atlantoaxoidea merecen una especial atención, ya que le confieren a esta unión estabilidad, limitando el movimiento y protegiendo la médula espinal que pasa por el canal medular (Fig. 3.1).

El ligamento transverso mantiene la apófisis odontoides articulada en la *fovea dentis* del arco anterior del atlas (Fig. 3.12). Manteniendo la apófisis odontoides en esta localización, estos ligamentos

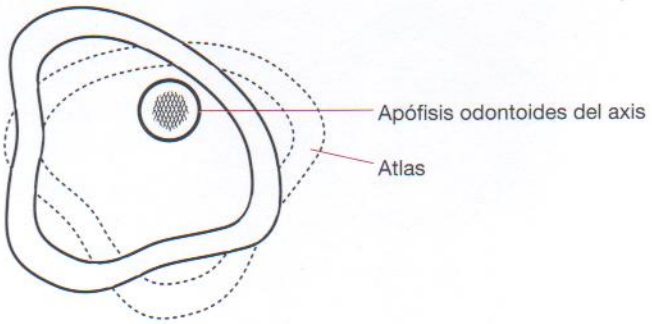


Figura 3.10. Rotación del atlas sobre el axis. El atlas gira alrededor del eje longitudinal de la apófisis odontoides unos 45° en ambos sentidos, siendo la amplitud de movimiento total de 90°.

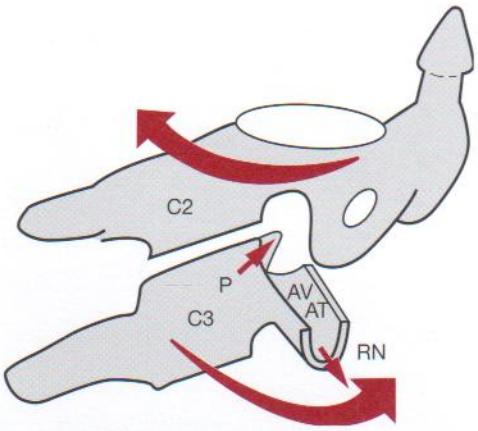


Figura 3.11. Rotación de C2 respecto de C3. El axis (C2) gira alrededor de la tercera vértebra cervical, estando ésta limitada. El extremo anterior de la apófisis articular superior de C3 choca con el margen lateral del orificio de la arteria vertebral (AV). La raíz nerviosa (RN) de C3 sale a través de la apófisis transversa (AT). P, pedículo.

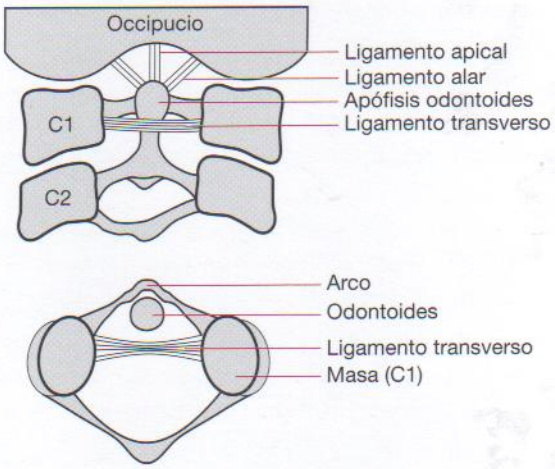


Figura 3.12. Soporte ligamentoso occípito-atlanto-axoideo. Los ligamentos apicales surgen del extremo de la apófisis odontoides, insertándose en el agujero occipital. Los ligamentos transversos mantienen la apófisis odontoides en la *fovea dentis,* que se encuentra en la parte posterior del arco anterior del atlas.

aseguran el espacio suficiente para que la médula espinal discurra a través del canal medular. Los ligamentos alares limitan la rotación y el movimiento lateral del axis debido a su anclaje en el extremo de la apófisis odontoides.

Los fascículos longitudinales tienen forma de cruz, y la parte vertical se une al hueso occipital y a la parte posterior del cuerpo del axis (Fig. 3.13). Éste limita el deslizamiento anterior y posterior y algunos movimientos laterales.

Los ligamentos atlantoaxoideos accesorios limitan la rotación del atlas sobre el axis debido a sus inserciones a la altura de los cuerpos laterales (Fig. 3.14). La lesión o rotura de uno de estos ligamen-

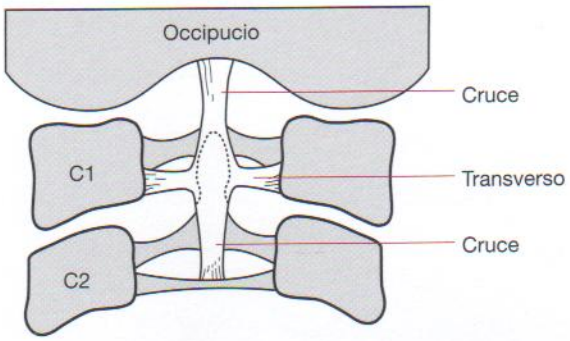


Figura 3.13. Ligamento cruciforme de la articulación atlanto-odontoidea. En la línea media el ligamento transverso se cruza con las fibras longitudinales, que van desde el agujero occipital hasta el axis, conectándose así las dos primeras vértebras cervicales.

tos permitiría la rotación en una sola dirección y la altura en la dirección opuesta. Los ligamentos que se insertan a la altura de la apófisis odontoides limitan el movimiento y previenen las subluxaciones de la médula espinal en el canal medular (Fig. 3.15).

Existe otro ligamento, también importante, que se extiende desde la parte posterior del agujero occipital hasta el sacro. Este gran ligamento es el ligamento longitudinal posterior, que se origina a la altura del occipital, donde tiene forma de abanico y se le denomina en esta zona *ligamento tectorial*. Este ligamento protege la médula espinal dentro del canal medular, y limita la flexión excesiva (Fig. 3.16).

Los ligamentos amarillos se extienden desde el arco posterior del atlas hasta la superficie de la lámina del axis. Se encuentran a lo largo de toda la columna vertebral entre los arcos vertebrales. Su función es proteger la médula espinal y prevenir subluxaciones de los componentes vertebrales de cada unidad funcional.

El ligamento nucal es un ligamento intraespinal que se extiende desde el hueso occipital y se une a la parte posterior de las apófisis espinosas. Refuerza la parte posterior de la columna cervical y actúa de barrera, separando los músculos extensores del cuello (Fig. 3.17).

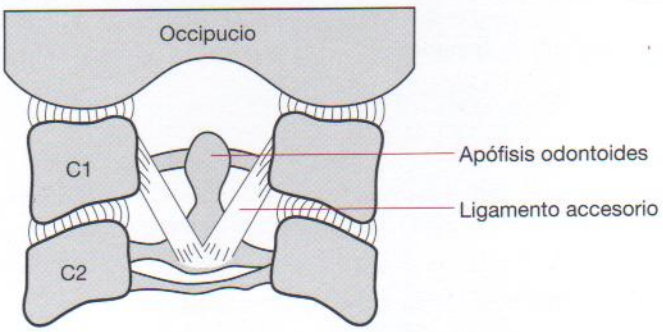


Figura 3.14. Ligamentos atlantoaxoideos accesorios. Estos dos ligamentos parten desde la cara medial de los cuerpos vertebrales del atlas, hasta converger en la parte posterior inferior de la apófisis odontoides.

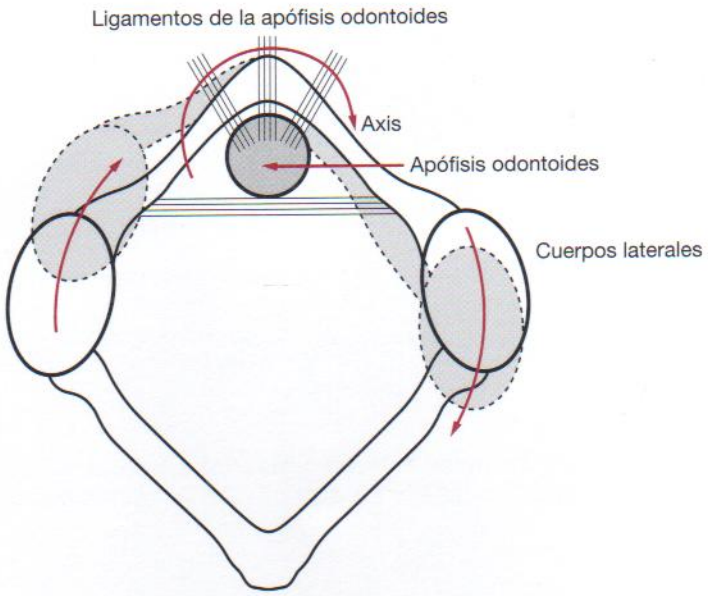


Figura 3.15. Movimiento rotacional del atlas respecto del axis. La traslación de los cuerpos del atlas sobre el axis permite una rotación de aproximadamente 45° en ambas direcciones; dicha rotación está limitada por el ligamento odontoideo.

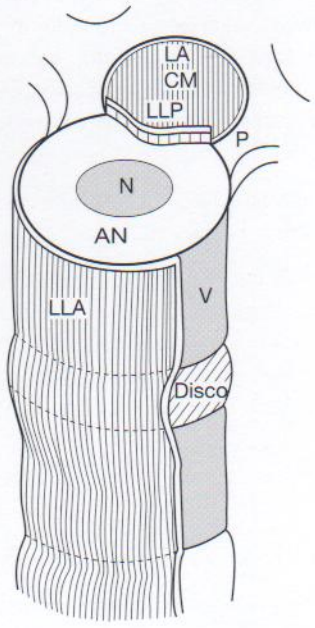


Figura 3.16. Ligamentos largos. Las dos vértebras (V) ilustradas muestran dónde se insertan tanto el ligamento longitudinal anterior (LLA) como el ligamento longitudinal posterior (LLP). Estos ligamentos se extienden a lo largo de toda la columna vertebral, anclándose a todos los cuerpos vertebrales (V) y a los discos intervertebrales, donde surge un ligero abombamiento fisiológico. También se observan los núcleos pulposos (N) rodeados del anillo fibroso (AN) y el canal medular (CM) recubierto en su cara posterior por el ligamento amarillo (LA). P, pedículo.

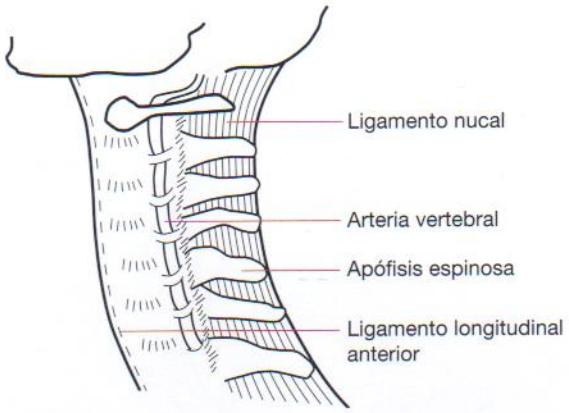


Figura 3.17. Ligamento nucal. Este ligamento firme y esencialmente inelástico une la base del cráneo con las apófisis espinosas de la columna cervical.

Complejo cervical inferior

El movimiento de la columna cervical superior (occipucio, atlas y axis) es de flexión-extensión y rotación, pero también se producen estos movimientos en la columna cervical inferior, es decir, entre C3 y C7 (Fig. 3.18).

Bajo la tercera vértebra cervical se sitúa el complejo cervical inferior, que se extiende desde la vértebra C3 hasta la C6. Las vértebras se disponen formando unidades funcionales, tal y como se vio en el capítulo correspondiente a la descripción de la columna vertebral: dos vértebras adyacentes separadas por un disco intervertebral y posteriormente pedículos, láminas, apófisis espinosas y agujeros de conjunción por donde salen las raíces nerviosas que están dentro de los sacos durales (Figs. 3.1 y 3.2)[4,5].

Debido a que la mayoría de las estructuras de la columna cervical son potencialmente zonas nociceptivas se enumeran en la Figura 3.19.

Las vértebras cervicales difieren de las vértebras lumbares. Las cervicales tienen el núcleo pulposo de sus discos intervertebrales anteriormente, mientras que el núcleo pulposo de los discos a nivel lumbar se sitúa en la zona central; las vértebras cervicales poseen las articulaciones uncovertebrales, que no existen en la columna lumbar; las carillas articulares de las vértebras lumbares están orientadas en el plano sagital, mientras que en las vértebras cervicales son oblicuas y están dispuestas en dirección horizontal (Fig. 3.20).

Articulación uncovertebral

La estructura de las vértebras del segmento cervical inferior presenta una característica especial inicialmente descrita por Herbert von Luschka[6,7,8]; se trata de la articulación uncovertebral, llamada también articulación de Luschka (Fig. 3.21).

En personas sanas las apófisis articulares están cubiertas por una capa de cartílago, y las superficies irregulares entre las apófisis articulares o apófisis zigoapofisarias están rellenas de un desdoblamiento de la cápsula que, a su vez, está rellena de tejido conectivo y grasa, lo que se conoce como meniscoide. Estos meniscoides están altamente vascularizados e inervados. Con el envejecimiento, los meniscoides van desapareciendo gradualmente[7].

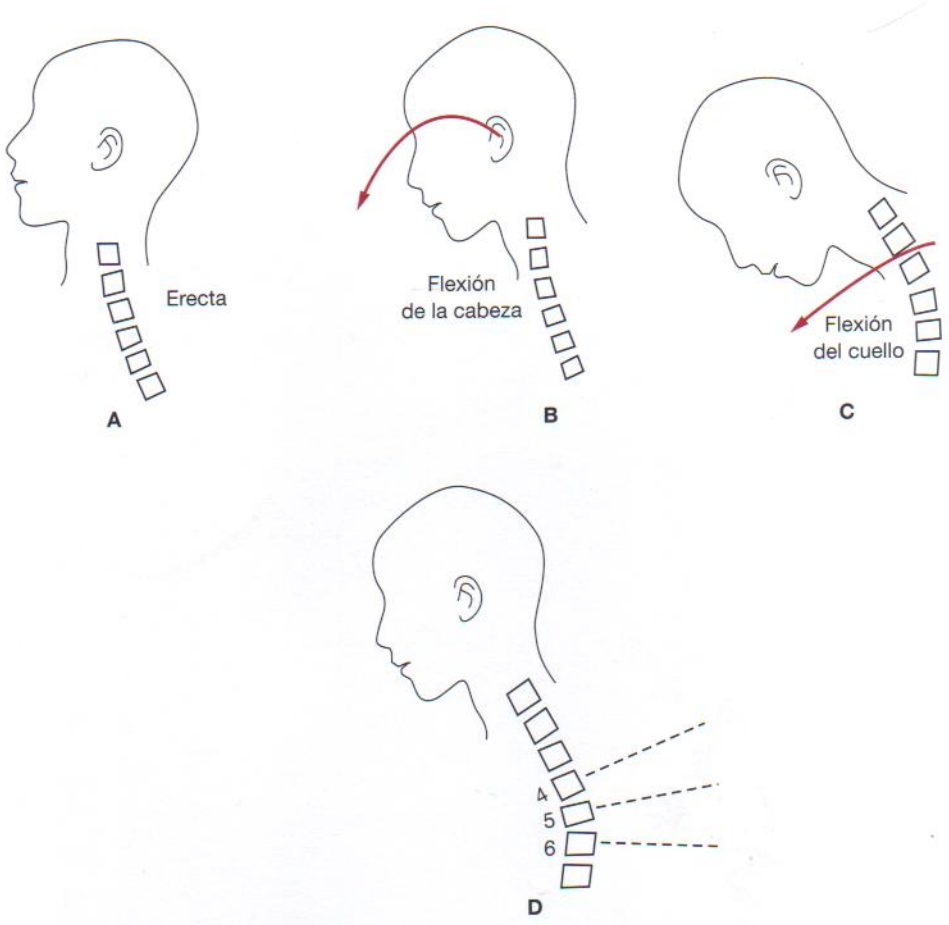


Figura 3.18. Movimientos de la columna cervical. A, Columna erecta. **B,** Flexión de la cabeza sobre la columna. **C,** Flexión de la columna cervical inferior. **D,** Vértebras cervicales en las que se produce el máximo grado de flexión.

En la primera y segunda décadas de la vida, antes de la osificación completa de la placa terminal vertebral, aparecen lateralmente unos desgarros en las fibras laterales del anillo fibroso del disco. Estos desgarros tienden a aumentar de tamaño, y migran medialmente (central) de forma que se transforman en transversos, dividiendo al disco en dos partes hacia la cuarta y quinta décadas de la vida. Este proceso gradualmente causa inestabilidad de la columna y provoca la migración del núcleo pulposo hacia el canal medular (Fig. 3.22).

A través de una progresiva desecación de los discos por la vejez y lesiones repetidas, los discos se estrechan y pierden la capacidad de soportar peso, dejando así que el peso se apoye en las carillas articulares y en las apófisis uncovertebrales, que se hipertrofian.

La columna cervical, al igual que la lumbar, forma una curva lordótica en bipedestación y, a su vez, cada unidad funcional mantiene individualmente una ligera inclinación rotacional (Figs. 3.23 y 3.24).

En la posición de bipedestación cada vértebra soporta el peso de la cabeza mediante tres puntos de apoyo; parte del peso se halla distribuido en la parte anterior del disco intervertebral, y parte a la altura de las carillas articulares posteriores (Fig. 3.25).

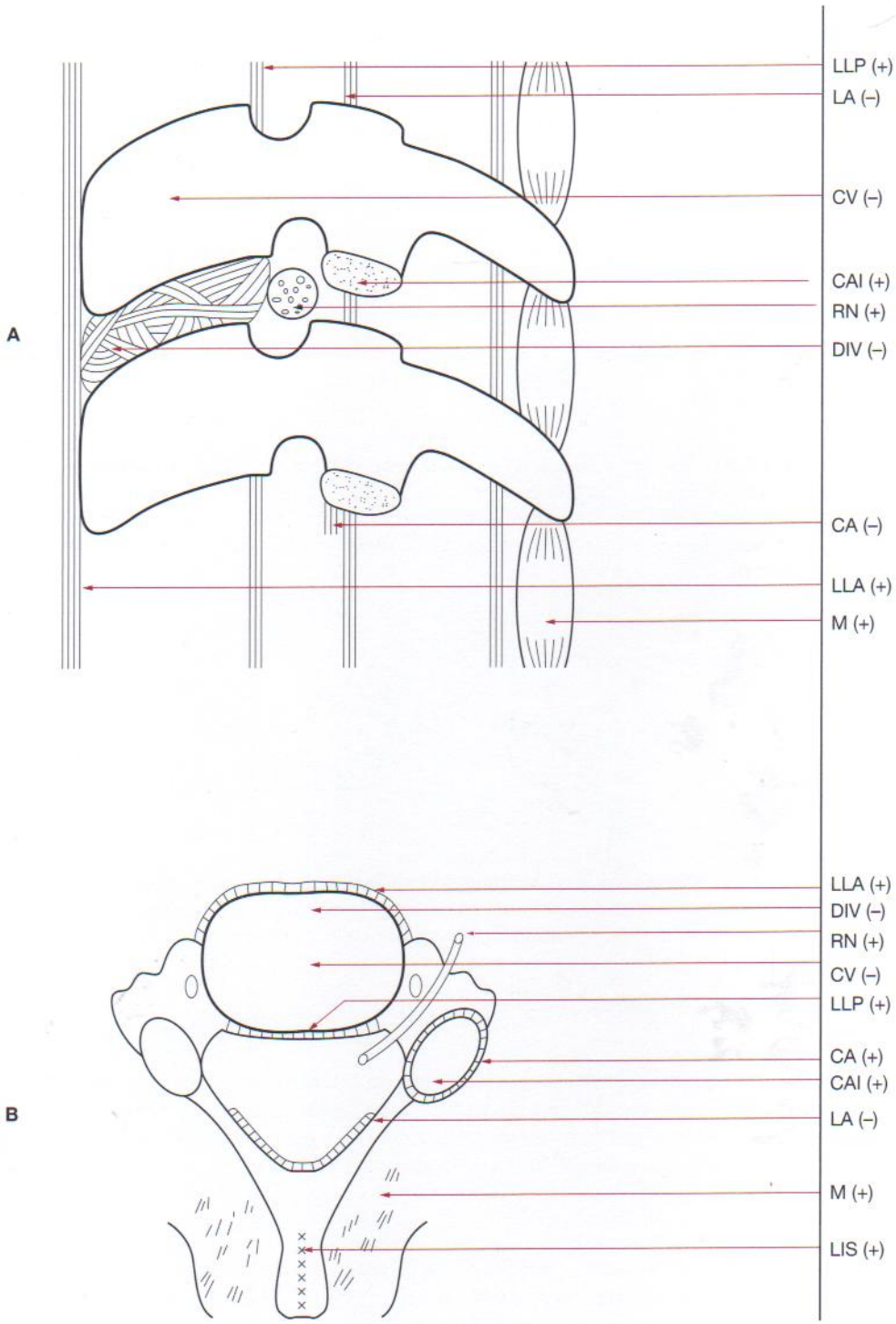


Figura 3.19. Unidad funcional cervical. A, Visión lateral de la unidad funcional cervical. CV, cuerpo vertebral; LLP, ligamento longitudinal posterior; LA, ligamento amarillo; CAI, carilla articular inferior; RN, raíz nerviosa; DIV, disco intervertebral; LLA, ligamento longitudinal anterior; M, músculos erectores; CA, cápsula articular. **B,** Figura **A** más la cápsula articular (CA) y el ligamento interespinoso (LIS). El signo (+) es indicativo de cualidades nociceptivas, y el signo (–) de carencia de sensibilidad.

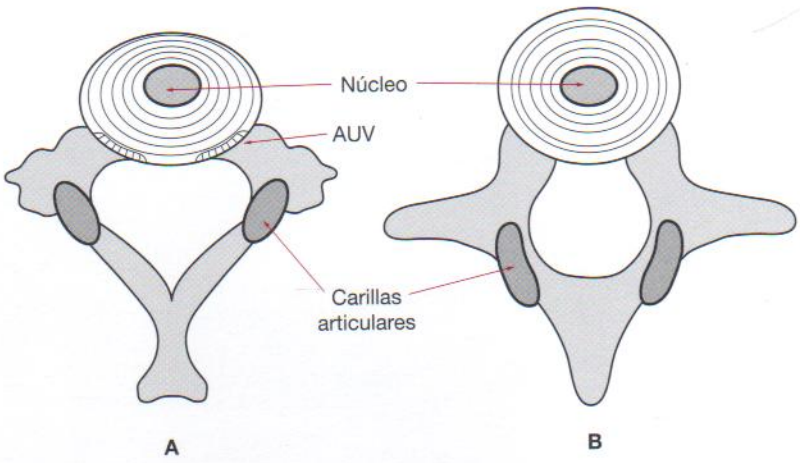


Figura 3.20. Núcleo pulposo en el disco intervertebral cervical y lumbar. A, Vértebra cervical con el núcleo pulposo ligeramente anterior. **B,** Vértebra lumbar con el núcleo pulposo localizado en el centro. Las articulaciones uncovertebrales (AUV) sólo se pueden observar en las vértebras cervicales, ya que en el resto de la columna están ausentes.

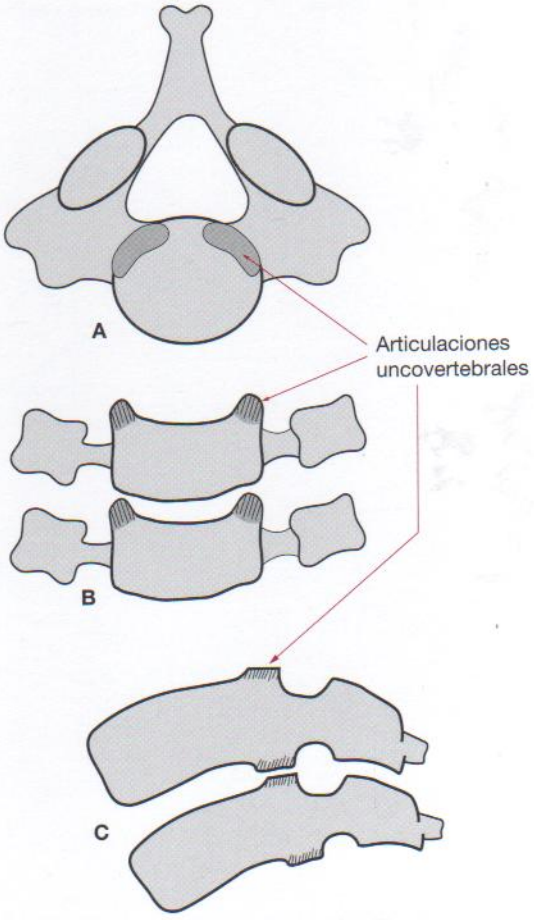


Figura 3.21. Articulaciones uncovertebrales. A, Las articulaciones uncovertebrales (protrusión ósea) están presentes en las zonas posteriores del cuerpo vertebral. **B,** Visión anterior. **C,** Visión lateral.

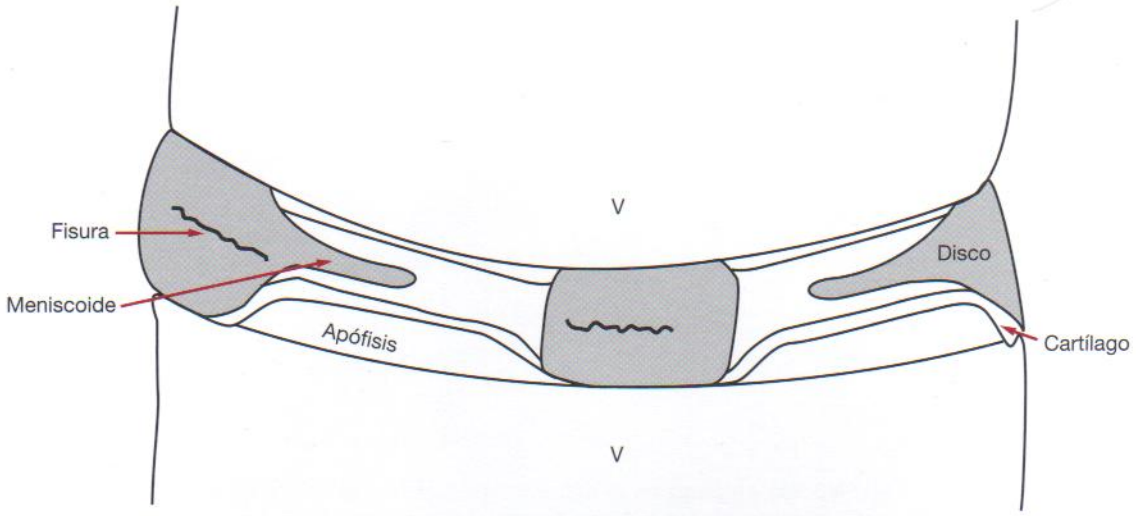


Figura 3.22. Meniscoide uncovertebral. Dos vértebras adyacentes (V) de la columna cervical inferior muestran las apófisis de la articulación uncovertebral recubiertos por cartílago. Desdoblamiento de la cápsula en la articulación de Luschka, formación meniscoide. Aumento gradual de la fisura en el disco intervertebral.

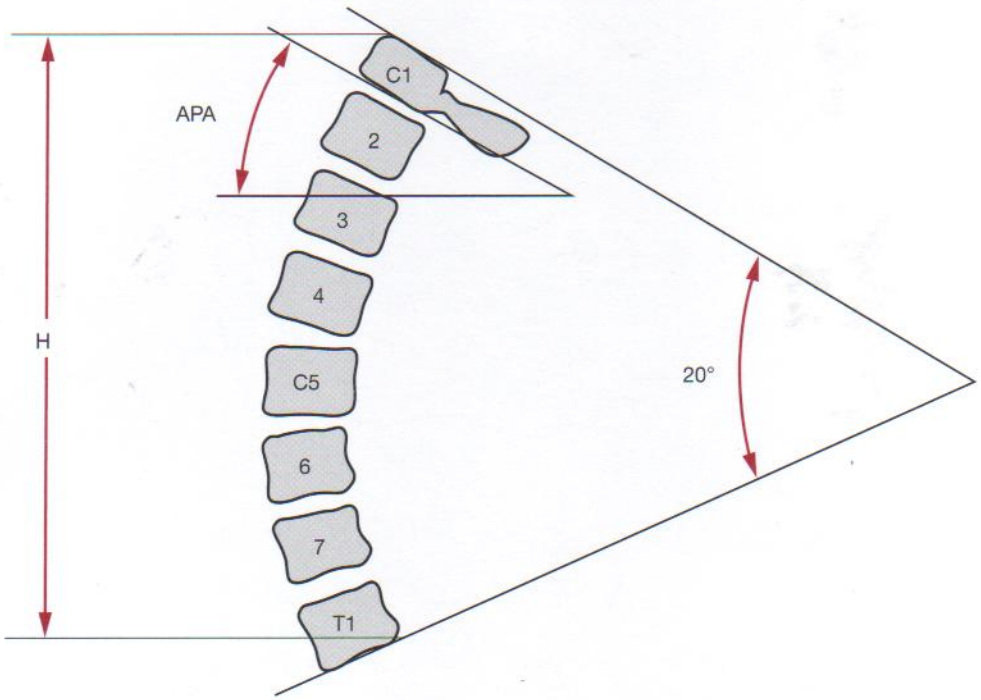


Figura 3.23. Ángulo rotacional de la lordosis cervical. La altura de la columna cervical (H) viene determinada por el grado de curvatura (lordosis) de la columna desde C2 hasta C7. El ángulo lordótico es de aproximadamente 20°. APA, ángulo de los pilares articulares de la vértebra C1.

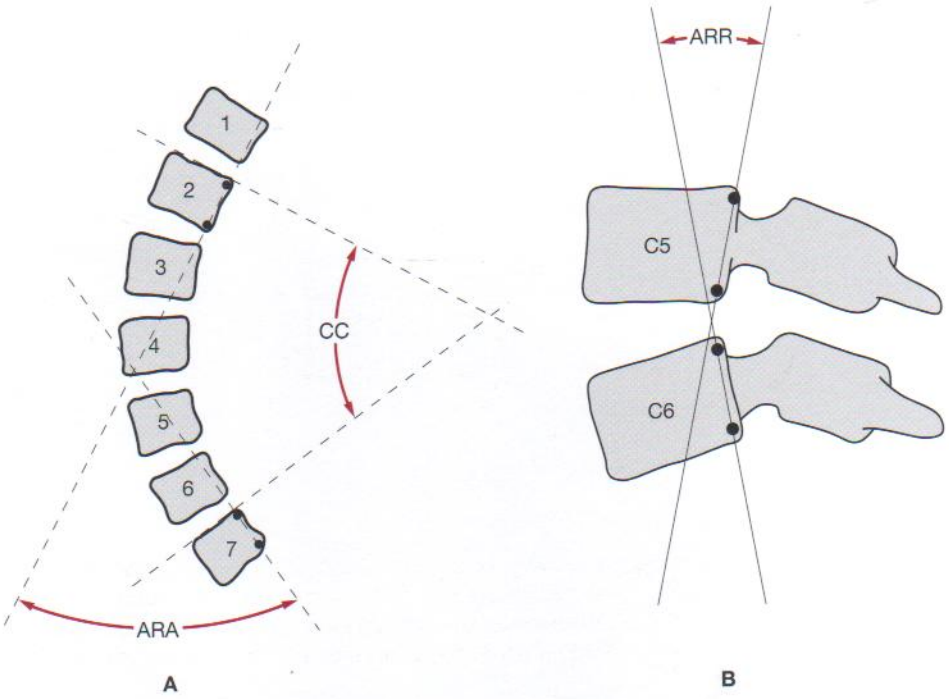


Figura 3.24. Lordosis cervical a nivel individual. A, La lordosis cervical (CC) muestra una curvatura general (ARA). La lordosis se mide mediante una línea que pasa por la cara superior de C2 y otra que lo hace por la cara inferior de C7. **B,** Dos vértebras, C5 y C6, que muestran un ángulo rotacional relativo (ARR).

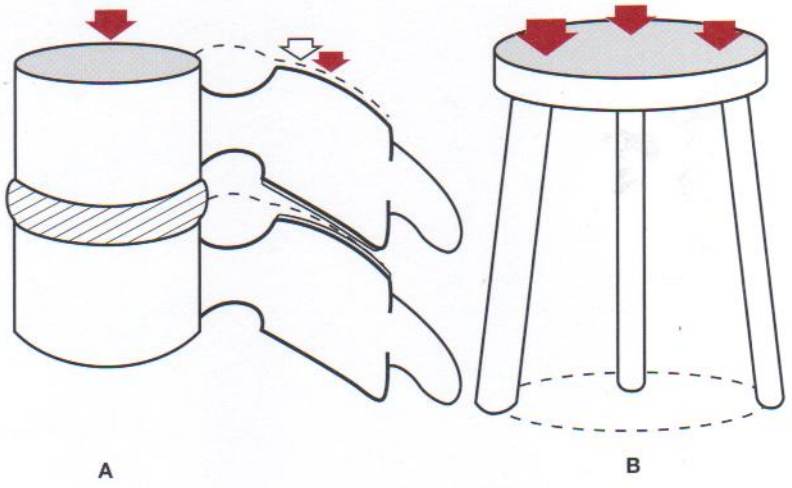


Figura 3.25. Soporte del peso de una vértebra cervical típica. A, Tres puntos de apoyo del soporte del peso en la vértebra cervical. La flecha grande indica la porción anterior (cuerpo de la vértebra y el disco), que soporta el 50% del total; las flechas pequeñas, indican las articulaciones zigoapofisarias, que se soportan la carga restante (25% de la carga cada una). **B,** Ejemplo de un taburete de tres patas que muestra una pata que soporta la mayoría del peso (representaría el cuerpo vertebral) y las otras dos patas las articulaciones interapofisarias.

Movimiento de la columna cervical

Cuando la columna cervical realiza una flexión y posteriormente una extensión, se objetiva un cambio en la lordosis hacia una cifosis (Fig. 3.26). La inclinación de las carillas articulares, que varía en cada nivel, cervical, torácico y lumbar, determina el movimiento entre cada unidad funcional (Fig. 3.27).

La cinética de la columna cervical implica un conjunto de movimientos en los que el desplazamiento lateral se acompaña de una rotación ispsilateral (Fig. 3.28).

La limitación del movimiento en la columna cervical está determinada por las fibras del anillo fibroso del disco intervertebral, los ligamentos largos y las estructuras articulares óseas (Fig. 3.29).

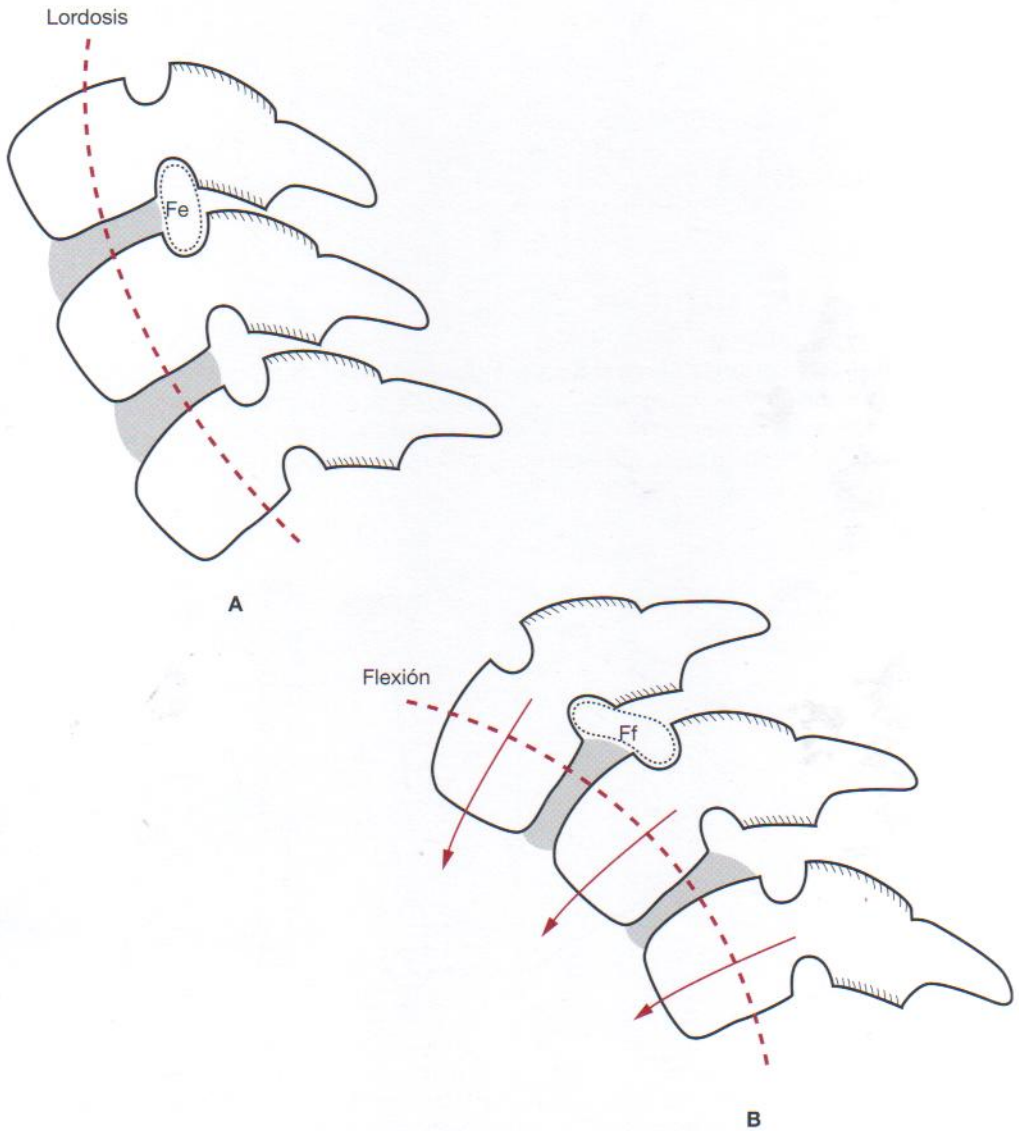


Figura 3.26. Flexión de la columna cervical: segmento inferior. A, Se puede ver la lordosis cervical y el tamaño del agujero de conjunción (Fe). **B,** La flexión muestra un deslizamiento anterior de cada vértebra (flechas) con una ligera deformación de los discos, separación de las carillas articulares y apertura de los agujeros de conjunción (Ff).

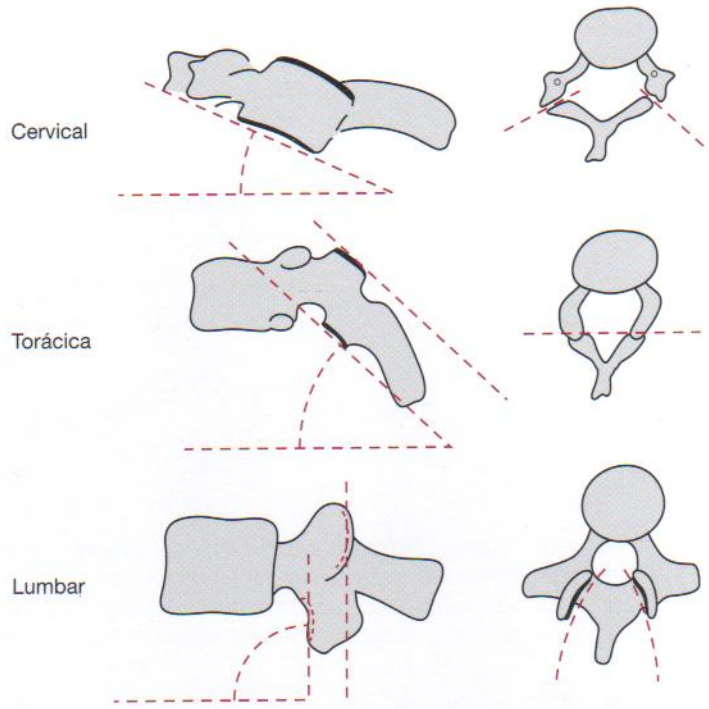


Figura 3.27. Orientación de las carillas articulares en cada segmento de la columna. Se ilustra la inclinación de las carillas articulares a nivel cervical, torácico y lumbar.

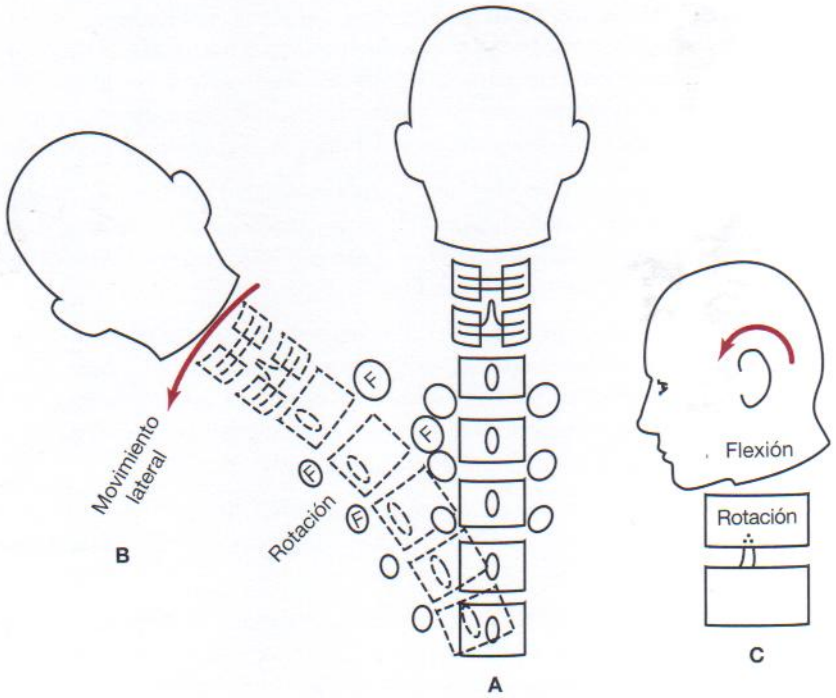


Figura 3.28. Movimiento global de la columna cervical. A, Columna erecta en la que los agujeros centrales muestran la apófisis espinosa y los laterales los agujeros de conjunción. **B,** Flexión lateral izquierda con rotación simultánea de las vértebras. El agujero de conjunción (F) en el lado cóncavo se estrecha, y en el lado convexo se abre. **C,** Movimiento del occipital respecto del atlas (C1) y rotación del atlas sobre el axis (C2).

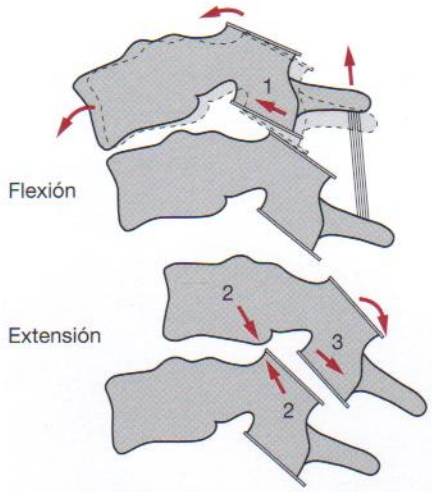


Figura 3.29. Limitaciones mecánicas del segmento cervical inferior. La flexión está limitada por los ligamentos posteriores y el choque de las carillas articulares (1). En extensión, el borde inferior de la vértebra superior ejerce una compresión sobre la cara anterior de la carilla articular superior (2); la cápsula articular también limita el movimiento (3).

Función de las apófisis unciformes y de las articulaciones de Luschka

La función de las apófisis unciformes y de las articulaciones de Luschka no se ha definido claramente. Se piensa que la presencia de estas apófisis refuerza el anillo fibroso y previene la protrusión de los núcleos pulposos posteriormente hacia el canal medular tras una herniación nuclear y su impactación en la médula espinal y las raíces nerviosas. Probablemente sea así; no obstante, las apófisis unciformes tienen una función específica en la determinación del grado de rotación en el movimiento de la columna cervical inferior[9]. Las apófisis unciformes son protuberancias óseas que se extienden cranealmente desde los márgenes laterales superiores de los cuerpos vertebrales de la columna cervical inferior.

Penning y Wilmink[9] sugirieron como hipótesis que la movilidad no sólo está determinada por la orientación de las carillas articulares, sino que también están involucradas las apófisis unciformes. Una fisura (hendidura) que va desde la apófisis unciforme hasta el núcleo pulposo delimita la llamada articulación de Luschka o articulación uncovertebral (Fig. 3.30).

Esta fisura, o hendidura, aparece en la cara posterolateral de los discos. Aparece a finales de la primera década de la vida y aumenta con la edad. Al principio se pensaba que se trataba de un proceso degenerativo, pero hoy se sabe que forma parte del desarrollo natural que permite la rotación de vértebras adyacentes en el segmento de columna cervical inferior. El movimiento combinado de los elementos de la columna cervical incluye lateroflexión y rotación.

Las apófisis unciformes actúan como eje de rotación. El aumento en la movilidad por la presencia de las hendiduras en los discos es compensado por el grado de flexión lateral, que está limitado por las apófisis unciformes que chocan entre sí.

La longitud en el canal medular también varía con la flexo-extensión. Durante la flexión existe una elongación, y en la extensión se produce un acortamiento. Esto tiene su influencia específica sobre las raíces nerviosas que salen y la duramadre de la médula espinal (Figs. 3.31 y 3.32).

La apertura y cierre del agujero de conjunción se acomoda a los cambios de inclinación de la salida de las raíces nerviosas. El agujero de conjunción se abre en flexión y se cierra en extensión (Figs. 3.33 y 3.34).

Cada raíz nerviosa está envuelta por una membrana dural que contiene líquido medular (Figs. 3.35 y 3.36).

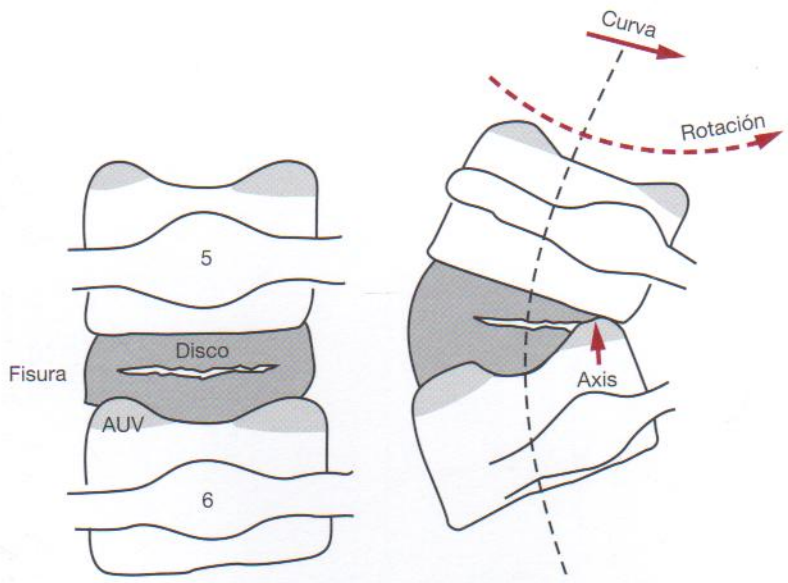


Figura 3.30. Rotación y flexión lateral de la columna cervical. Cuando la columna cervical realiza una flexión, se curva lateralmente y rota (acción de acoplamiento); las apófisis uncovertebrales (AUV) son el eje de dicha rotación, y la fisura en el disco permite la rotación y la inclinación lateral.

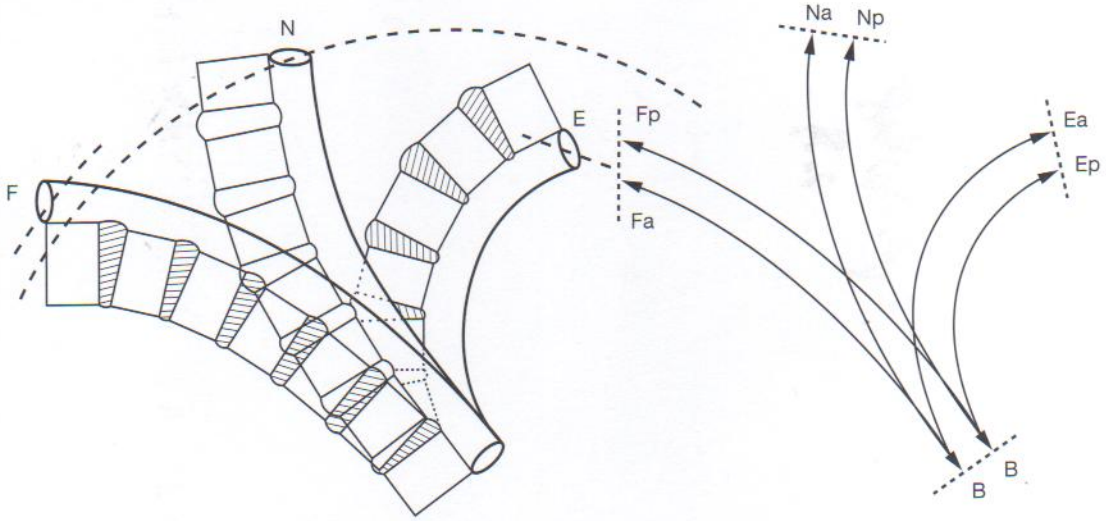


Figura 3.31. Variaciones en la longitud del canal medular. En posición neutra (N) la longitud del canal medular es mayor en su parte anterior (Na) respecto de la posterior (Np) en relación a B. Durante la flexión la longitud total aumenta, sobre todo por el aumento de la parte posterior (Fp) sobre la anterior (Fa). En la extensión, todo el canal disminuye en longitud, sobre todo la zona posterior (Ep) sobre la anterior (Ea).

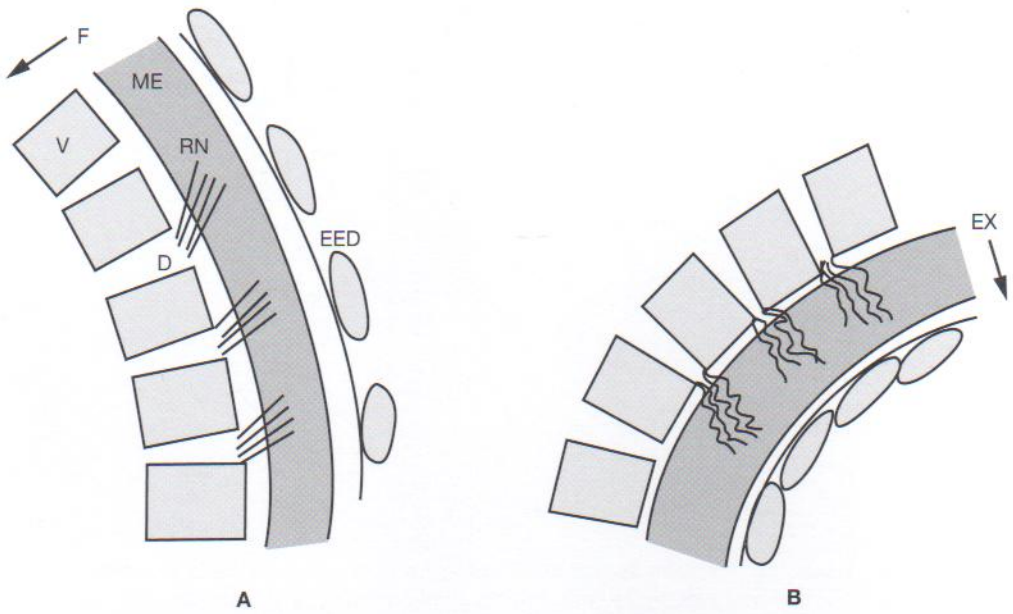


Figura 3.32. Cambios en las raíces nerviosas durante el movimiento cervical. A, Flexión cervical (F) con elongación de la médula espinal (ME) y angulación de las raíces nerviosas (RN). V, vértebra. D, disco. EED, espacio extradural. **B,** Una extensión (EX) con acortamiento de la médula y disminución de las raíces nerviosas.

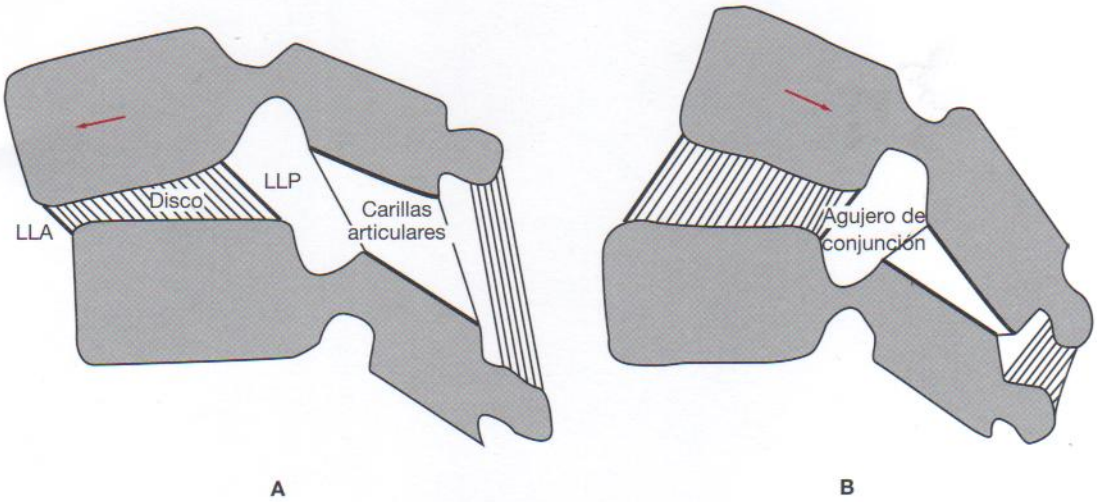


Figura 3.33. Movimiento del agujero de conjunción en la flexión-extensión. A, Se produce una apertura del agujero de conjunción en la flexión (flecha). El ligamento longitudinal anterior (LLA) se acorta y, por el contrario, el ligamento longitudinal posterior (LLP) se alarga. **B,** En la extensión, el agujero de conjunción (A) se cierra, pero a esta altura las raíces nerviosas están horizontalizadas.

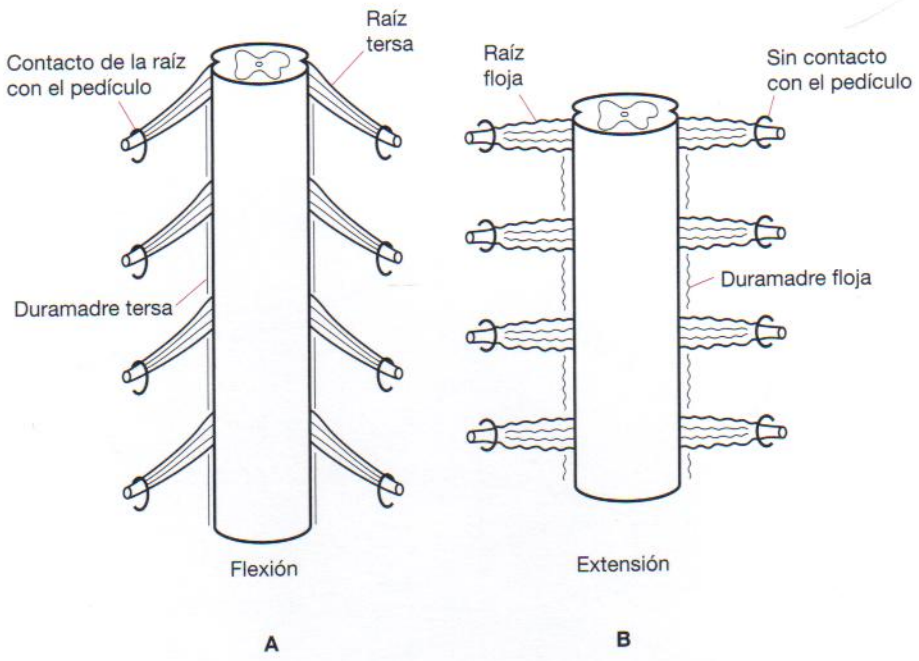


Figura 3.34. Inclinación de las raíces nerviosas. A, Inclinación de las raíces nerviosas en flexión con un pequeño contacto con el agujero de conjunción, que está abierto. **B,** Salida en ángulo recto de las raíces nerviosas en extensión.

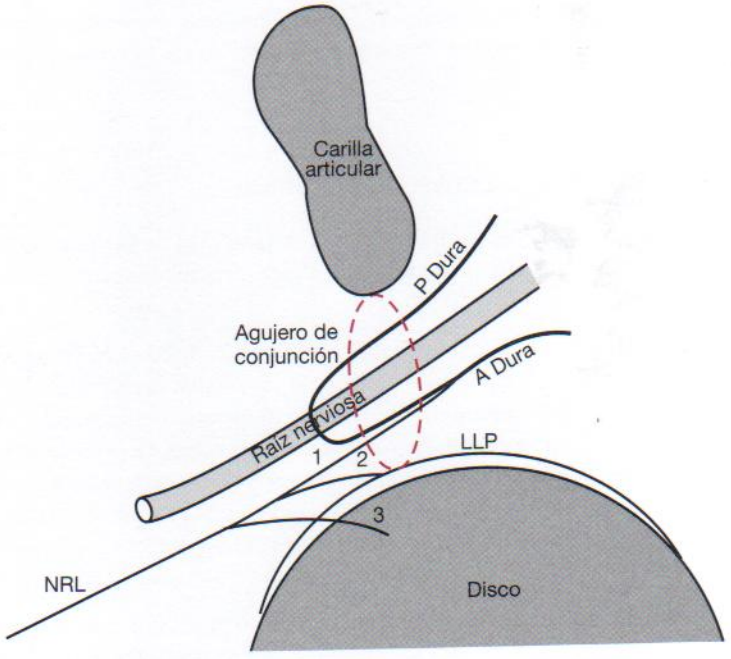


Figura 3.35. Estructura de la raíz nerviosa. Cada raíz nerviosa que sale del canal medular a través del agujero de conjunción se encuentra envuelta por la vaina dural posterior (P dura) y la vaina dural anterior (A Dura). NRL, indica el nervio recurrente de Luschka.

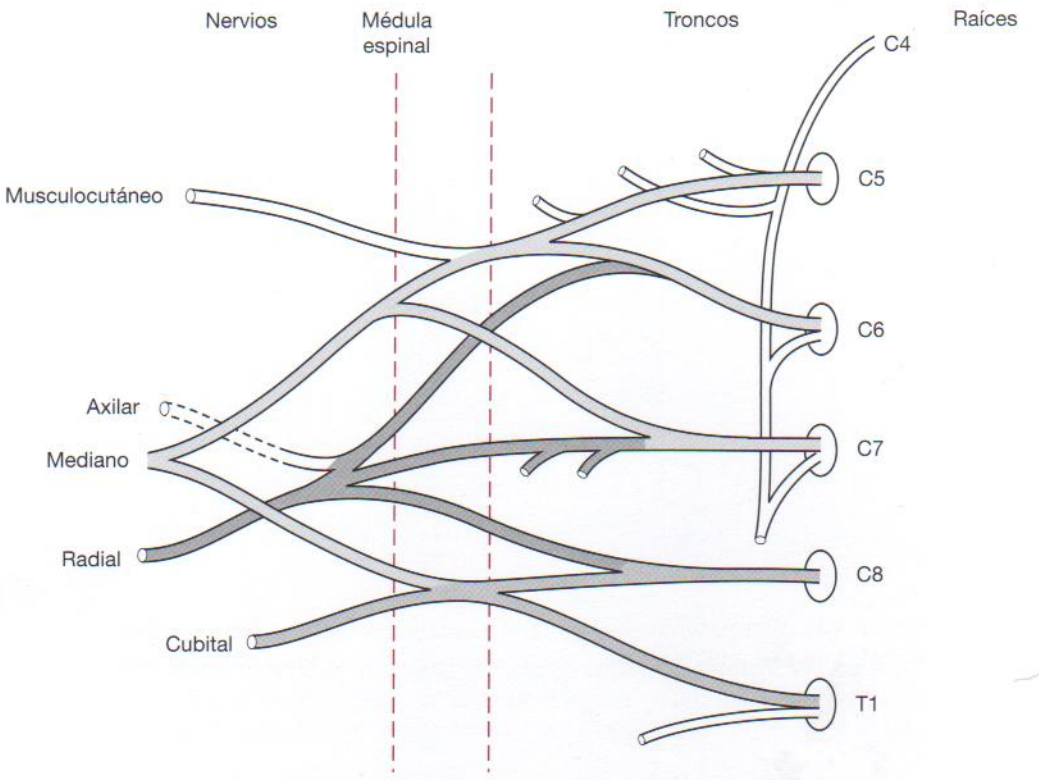


Figura 3.36. Componentes de las raíces nerviosas. Las raíces nerviosas salen de forma individual por el agujero de conjunción e inmediatamente se unen entre sí para formar troncos, cordones y finalmente los nervios periféricos.

INERVACIÓN DEL SEGMENTO CERVICAL SUPERIOR

Los nervios occipitales mayor y menor transmiten la sensibilidad de la parte posterior del cráneo (Fig. 3.37). El nervio mayor superior sale posteriormente desde el occipucio entre el origen del trapecio y el músculo esternocleidomastoideo (Fig. 3.38).

Clínicamente, si el paciente se queja de dolor e hipersensibilidad en la zona de origen del nervio mayor superior, el origen del dolor quedaría confirmado mediante la reproducción del dolor de cabeza. El alivio de dicho dolor se puede conseguir inyectando algún analgésico en esa zona. Otros dolores de origen nervioso a la altura de la columna cervical originados en un agujero de conjunción específico se pueden evaluar mediante la prueba de la compresión cervical (prueba de Spurling). En esta prueba se sitúa la cabeza del paciente en ligera extensión y rotación hacia la zona afectada, y seguidamente se le aplica una presión en la cabeza, lo que provoca un cierre del agujero de conjunción en la zona cóncava (Fig. 3.39).

La aparición de una radiculopatía cervical requiere la exploración y determinación del origen, pero es necesario saber cuál es la raíz nerviosa implicada. El dolor se irradia al dermatoma correspondiente (Fig. 3.40).

Existen numerosas causas de radiculapatía cervical, desde accidentes de tráfico por impacto trasero (lesiones por latigazo cervical) hasta actividades en las que se adoptan posturas inadecuadas, como por ejemplo cuando se está sentado delante de un ordenador mucho tiempo (Fig. 3.41).

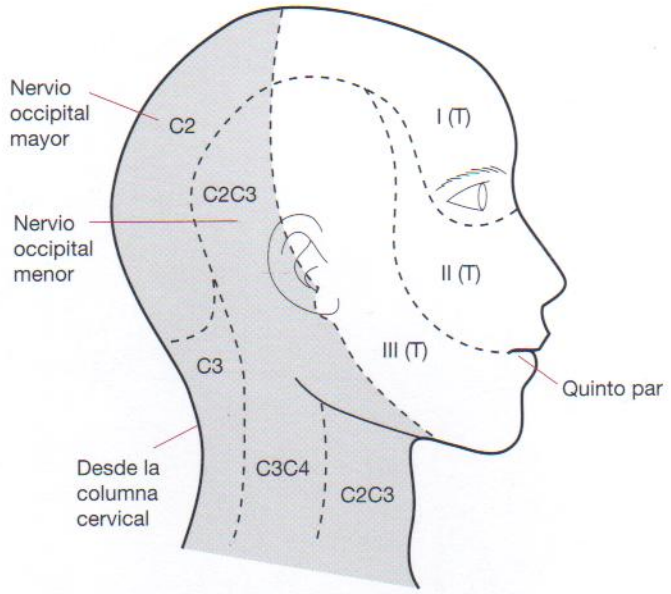


Figura 3.37. Dermatomas de los nervios occipitales. Se muestra la relación entre los dermatomas de nervios occipitales y los dermatomas del nervio trigémino (V par).

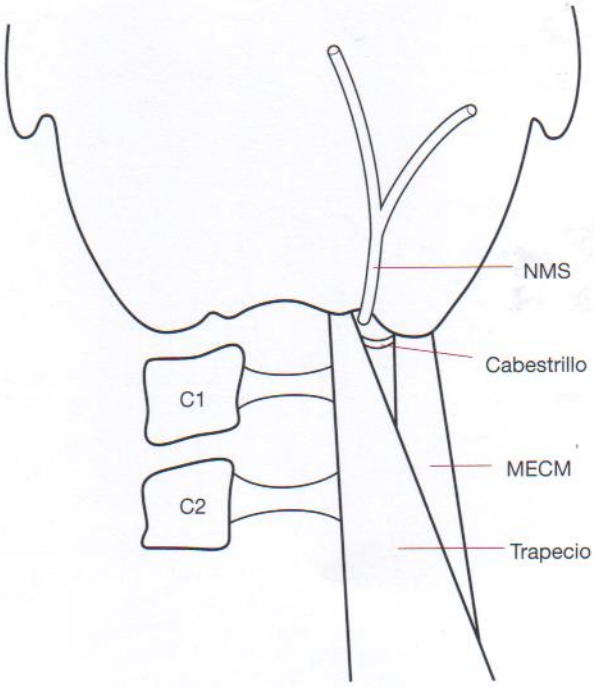


Figura 3.38. Salida del nervio mayor superior. El nervio mayor superior (NMS) sale al área occipital posterior a través de un surco medial a la apófisis mastoides entre el origen del músculo trapecio y el músculo esternocleidomastoideo (MECM). Las vértebras C1, C2 y C3 marcan el origen del NMS[2].

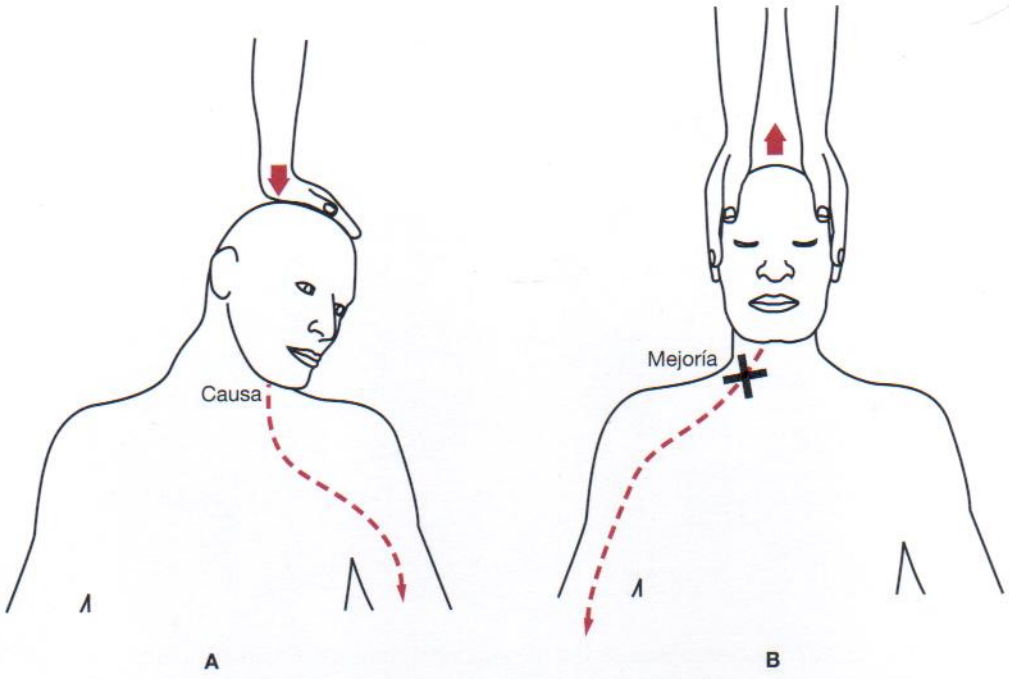


Figura 3.39. Prueba de compresión y tracción cervical. A, Prueba de compresión cervical para el estudio de una radiculopatía. **B,** Prueba de tracción, que abre los agujeros de conjunción y disminuye los síntomas radiculares.

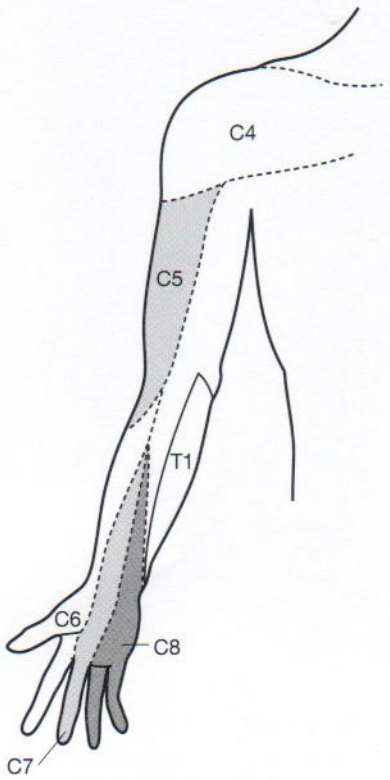


Figura 3.40. Dermatomas de la extremidad superior.

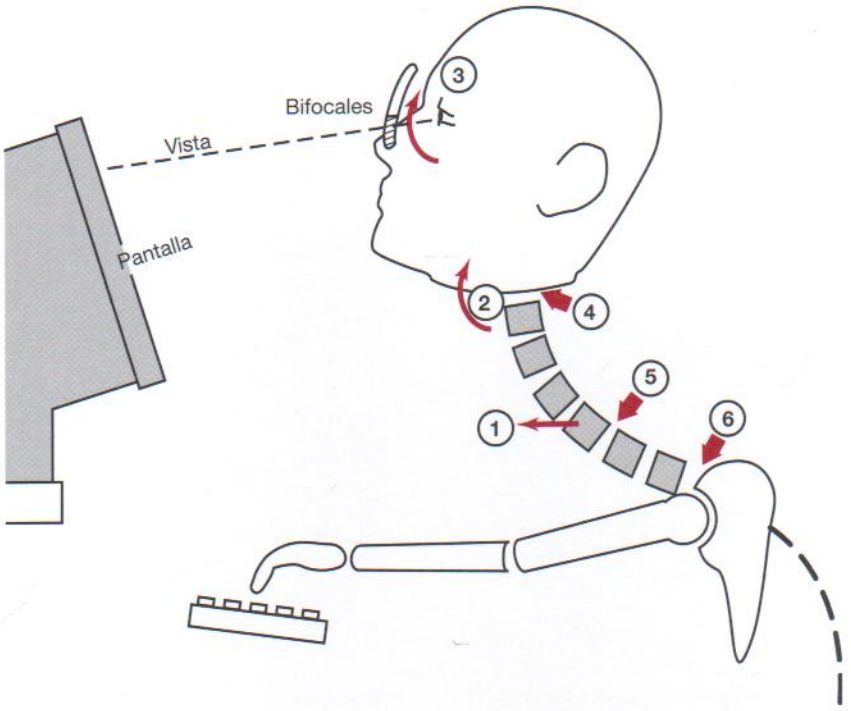


Figura 3.41. Dolor cervical postural: postura frente al ordenador. Mientras se trabaja frente al ordenador, la cabeza se mantiene adelantada (1), originando una extensión de la cabeza sobre la columna (2). Con el uso de gafas bifocales se provoca una mayor extensión para ver a través de la región baja de la lente bifocal (3). La extensión de la cabeza comprime los tejidos posteriores del complejo cabeza-nuca (4). Con el aumento de la lordosis cervical, las carillas articulares posteriores se comprimen (5). El mantenimiento de la postura horizontal de los brazos durante mucho tiempo causa estrés sobre las estructuras del hombro (6).

Musculatura de la columna cervical

La musculatura de la columna cervical se puede clasificar en dos grandes grupos funcionales: aquellos que llevan a cabo la flexo-extensión de la cabeza en la columna cervical superior y los que la realizan en la columna cervical inferior (C3-C7). Se denominan *movilizadores capitales* y *movilizadores cervicales*, respectivamente (Fig. 3.42)[10].

Los flexores capitales son principalmente el músculo recto anterior menor de la cabeza y el recto anterior mayor de la cabeza. Los principales extensores capitales son los cuatro músculos cortos que se extienden desde la base del cráneo hasta el atlas (C1) y el axis (C2), es decir, el músculo recto posterior mayor, el músculo recto posterior menor, el oblicuo menor o superior y el oblicuo mayor o inferior.

Los músculos rotadores, el esplenio de la cabeza y el esplenio del cuello, son principalmente rotadores de la cabeza, pero si actúan de forma bilateral provocan una extensión de la misma. Adicionalmente, algunos músculos de la región torácica superior, incluyendo el trapecio y el elevador de la escápula, producen extensión, lateroflexión y rotación de la columna cervical.

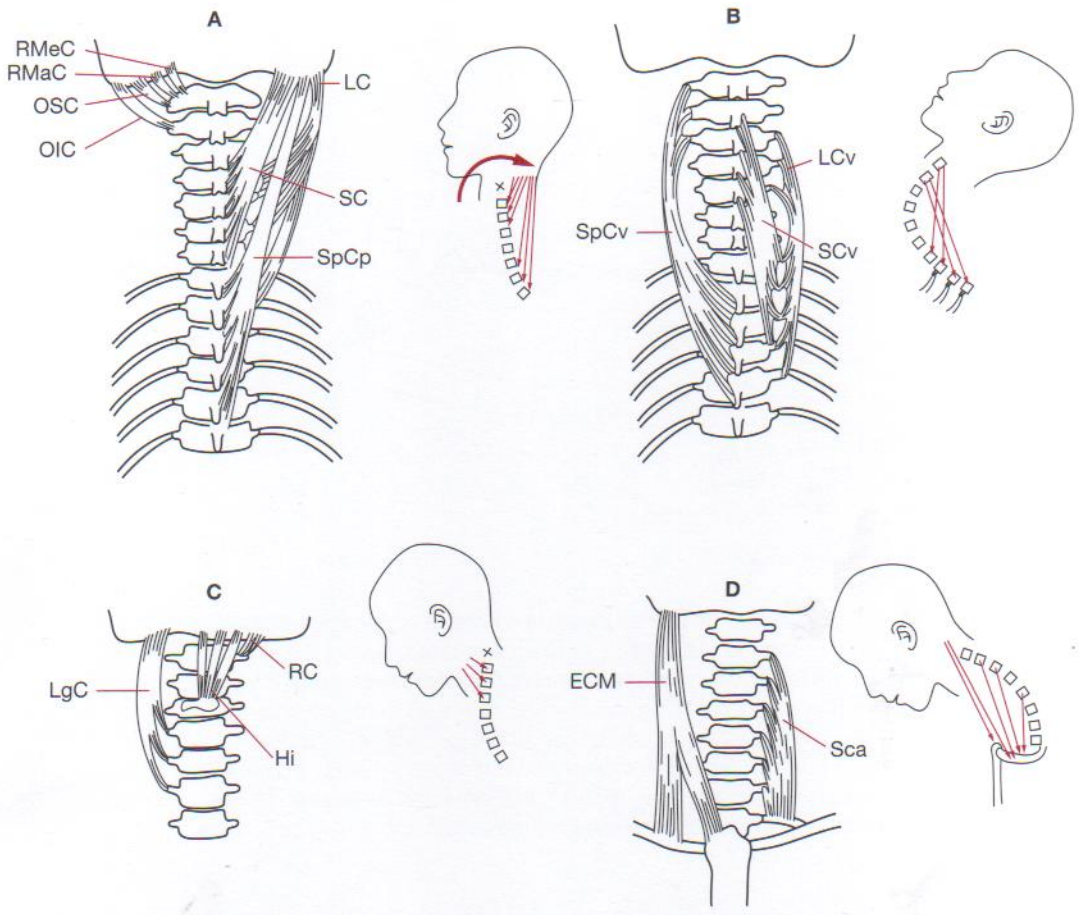


Figura 3.42. Musculatura de cabeza y cuello. A, Movilizadores capitales. Los extensores de la cabeza se insertan en el cráneo y extienden la cabeza sobre la columna cervical. **B,** Movilizadores cervicales. Los extensores cervicales se originan e insertan en la columna cervical. Éstos alteran la curvatura cervical. **C,** Flexores de la cabeza. **D,** Flexores cervicales. RMeC, recto menor de la cabeza. RMaC, recto mayor de la cabeza. OSC, oblicuo superior de la cabeza. OIC, oblicuo inferior de la cabeza. LgC, largo de la cabeza. RC, recto anterior y lateral de la cabeza. Hi, músculo suprahioideo e hioideo. LC, longísimo de la cabeza. SC, semiespinal de la cabeza. SpCp, esplenio de la cabeza. SpCv, esplenio cervical. LCv, longísimo cervical. SCv, semiespinal cervical. ECM, esternocleidomastoideo. Sca, escaleno anterior y medio.

BIBLIOGRAFÍA

1. White AA, Panjabi MM. *Clinical Biomechanics of the Spine*. 2nd ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins; 1990.
2. Hunter CR, Mayfield FH. Role of the upper cervical roots in the production of pain in the head. *Am J Surg*. 1949;78:743.
3. Bogduk N. The clinical anatomy of the cervical dorsal rami. *Spine*. 1982;7:319-330.
4. Cailliet R. *Neck and Arm Pain*. 3rd ed. Philadelphia, Pa: FA Davis Co; 1991.
5. Cailliet R. *Soft Tissue Pain and Disability*. 3rd ed. Philadelphia, Pa: FA Davis Co; 1996.
6. von Luschka H. *Die Halbgelenke des menschlichen Koerpers*. Berlin, Germany: Reimers; 1858.
7. Penning L, Tondury G. Entshung, Bau und Funktion der meniskoiden Strukturen in den Halswirbelgelenken. *Z Orthop*. 1964:1-14.
8. Clausen JD, Goel VK, Traynelis VC, Seifert J. Uncinate processes and Luschka joints influence the biomechanics of the cervical spine: quantification using a finite element model of the C5-C6 segment. *J Orthop Res*. 1997;15:342-347.
9. Penning L, Wilmink JT. Rotation of the cervical spine: a CT study in normal subjects. *Spine*. 1987;12:732-738.
10. Winters, JD. Neck muscle activity and 3rd head kinematics during quasi-static and dynamic tracking movements. In: Winters JM, Woo SL-Y, eds. *Multiple Muscle Systems: Biomechanics and Movement Organization*. New York, NY: Springer-Verlag; 1991.

capítulo 4

Anatomía funcional del hombro

Conocer completamente la anatomía funcional de la cintura escapular y de todas las partes que la componen resulta indispensable para comprender el funcionamiento brazo-hombro. La función básica del hombro consiste en colocar el brazo y, especialmente, la mano, en una posición funcional que permita realizar actividades de manipulación (Fig. 4.1).

El elemento del recorrido en la colocación de la mano y los dedos en el punto y la posición funcionales para realizar la actividad deseada, responde a un patrón neuromuscular complejo. Dicho patrón implica a numerosos músculos, tanto en el aspecto estático como en el cinético de la función del hombro (Fig. 4.2).

Existen numerosas articulaciones en el complejo articular del hombro que deben incluirse en toda actividad funcional de la extremidad superior. Todas ellas deben adecuarse anatómicamente, estar bien controladas por la acción muscular y disponer de una retroalimentación sensitiva apropiada (Fig. 4.3).

Articulación escapulocostal

La paleta del hombro, o escápula (omóplato), es la estructura básica que sujeta el brazo a la pared torácica. La escápula es un hueso plano y al mismo tiempo cóncavo que se articula con la caja torácica convexa. Soporta la extremidad superior mediante su articulación proximal, la articulación glenohumeral, designación clínica de la «articulación del hombro».

En la posición 0 del brazo, la escápula está soportada mecánicamente por estructuras ligamentosas situadas entre la escápula y la clavícula (Fig. 4.4). Puesto que la clavícula se eleva cuando se eleva el brazo, debería permitir a la escápula hacer rotar y elevar la cavidad glenoidea solamente 30°; sin embargo, gracias a que la clavícula presenta una formación en manivela, y puesto que se da una rotación de la clavícula en la articulación esternal, la escápula se eleva 60° (Figs. 4.5 y 4.6).

La clavícula rota centralmente alrededor del manubrio del esternón, formando la articulación esternoclavicular, que se apoya en la primera costilla (Figs. 4.7 y 4.8)

La articulación acromioclavicular, en el momento del nacimiento (de 0 a 2 años), es una sínfisis cartilaginosa que desarrolla gradualmente un disco intraarticular que permite los movimientos de rotación, elevación y descenso (Fig. 4.9).

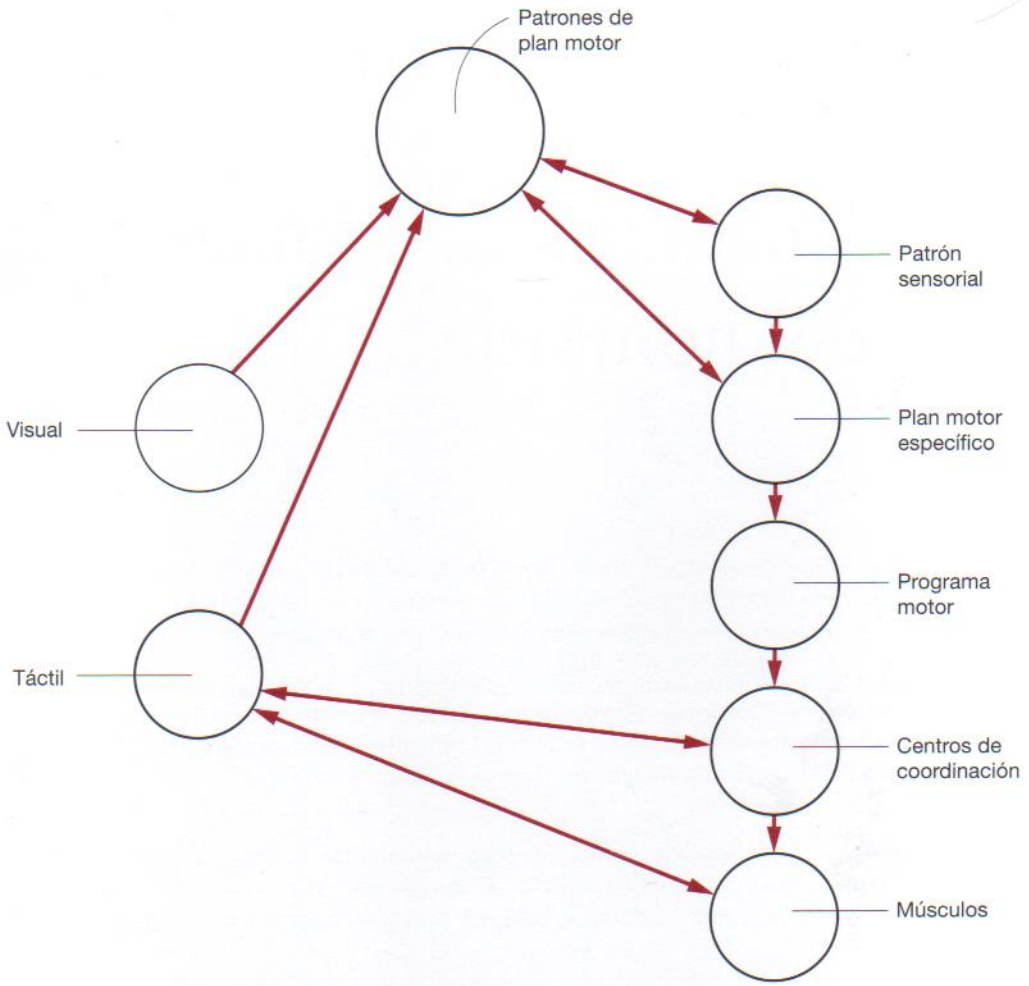


Figura 4.1. Modelo funcional del sistema motor de la mano. Los patrones de plan motor general en la corteza cerebral y el mesencéfalo, especialmente en el cerebelo, inician el patrón específico mano-dedo. Los patrones motores se dan en la corteza y el cerebelo junto con el patrón sensorial. Los patrones motores se desarrollan desde los músculos de la mano, que están coordinados por centros de coordinación centrales y periféricos, incluyendo las respuestas visuales y propiorreceptoras (táctiles).

Músculos que actúan sobre la escápula

Existen numerosos músculos que nacen y se insertan en la escápula que intervienen en todas las funciones del brazo y la mano. Cada uno de ellos merece una atención particular para interpretar la función completa del brazo (Fig. 4.10).

La escápula «se mantiene» contra la pared torácica mediante una contracción muscular isométrica que sostiene el brazo. Los principales músculos de soporte son el trapecio y el serrato mayor, que son también rotadores escapulares (Fig. 4.11). Los músculos romboides también hacen rotar la escápula, además de actuar como soporte (Fig. 4.12).

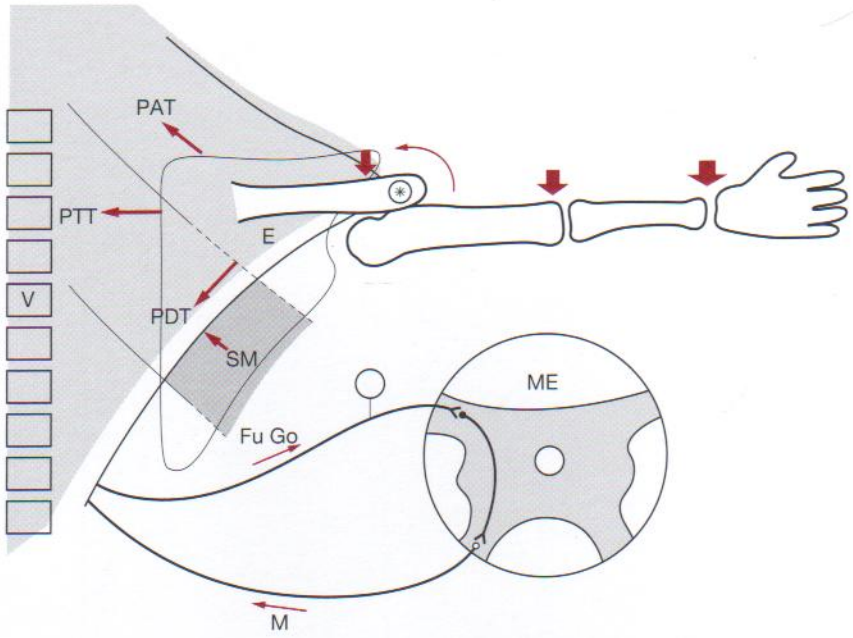


Figura 4.2. Trayectoria neuromuscular compleja de la extremidad superior. En la fase de trayectoria de la extremidad superior, cuando la mano y los dedos se colocan en su posición funcional, los músculos escapulares [porción ascendente del trapecio (PAT), porción transversa del trapecio (PTT), porción descendente del trapecio (PDT) y serrato mayor (SM)] sostienen la escápula (E) con contracción isométrica para soportar la extremidad superior (flechas gruesas). El peso depende de la distancia entre el objeto y la escápula. Todas las funciones neuromusculares vienen determinadas por el sistema fusiforme (Fu) y el aparato de Golgi (Go), que «transmiten la información» a la médula espinal (ME), lo cual resulta en los impulsos aferentes que dan lugar a una contracción muscular (M) apropiada. V, vértebra.

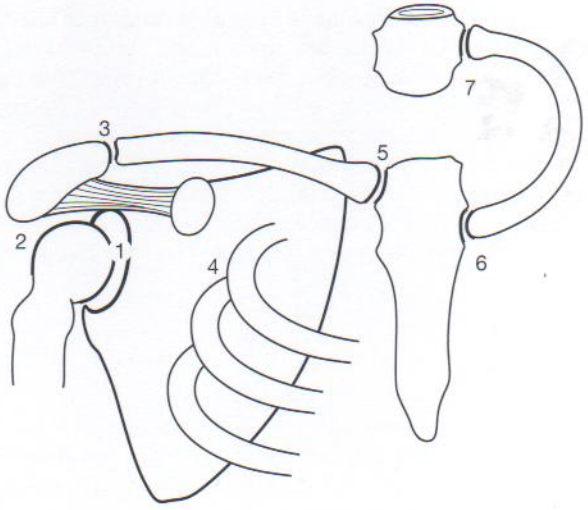


Figura 4.3. Articulaciones de la cintura escapular. Las articulaciones que forman la cintura escapular son la glenohumeral (1), la suprahumeral (2), la acromioclavicular (3), la escapulocostal (4), la esternoclavicular (5), la esternocostal (6) y la costovertebral (7).

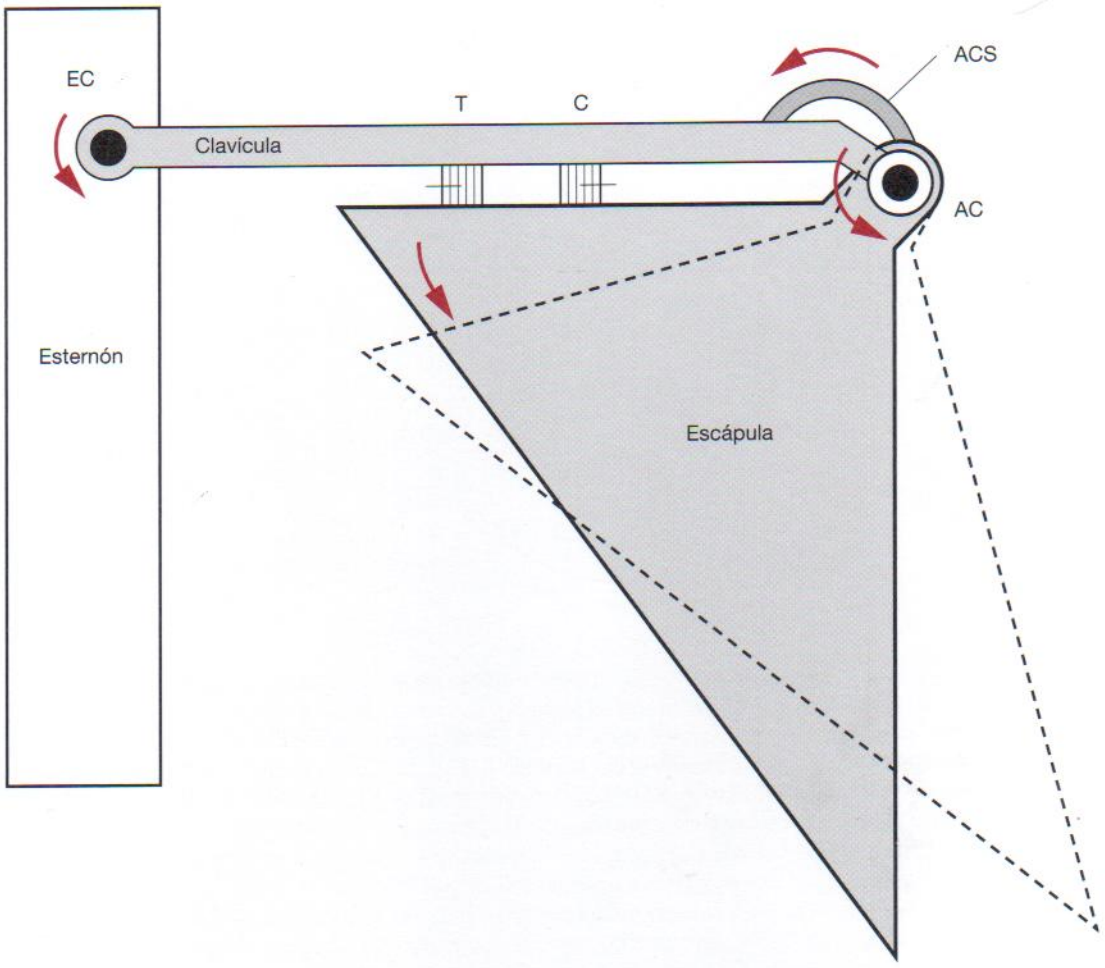


Figura 4.4. Soporte estático de la escápula mediante los ligamentos claviculoescapulares. La clavícula actúa a modo de puntal del esternón en la articulación esternoclavicular (EC). La escápula se articula sobre el extremo de la clavícula en la articulación acromioclavicular (AC). Debido a su peso excéntrico, la escápula debería rotar mecánicamente en torno a dicha articulación AC (líneas de puntos sobre la escápula), salvo en las restricciones impuestas por los ligamentos de la porción claviculoescapular del trapecio (T) y conoide (C). El ligamento acromioclavicular superior (ACS) asiste y reemplaza en el soporte a otros ligamentos cuando resultan afectados por algún tipo de traumatismo.

Si la escápula sostiene estáticamente la extremidad superior, funciona asimismo en coordinación con el resto del brazo cuando esta extremidad realiza su función o funciones (Fig. 4.13). Una de sus principales funciones consiste en colocar la cavidad glenoidea y el acromion en la posición adecuada durante cualquier movimiento del húmero. La cavidad glenoidea se halla en la cara lateral superior de la escápula, debajo del acromion, y en posición lateral respecto de la apófisis coracoides. La cavidad glenoidea es una depresión poco profunda con forma de pera, que gana profundidad con un rodete fibroso que la rodea (Fig. 4.14). Normalmente, se orienta hacia arriba y hacia fuera cuando la escápula está centrada fisiológicamente (Fig. 4.15).

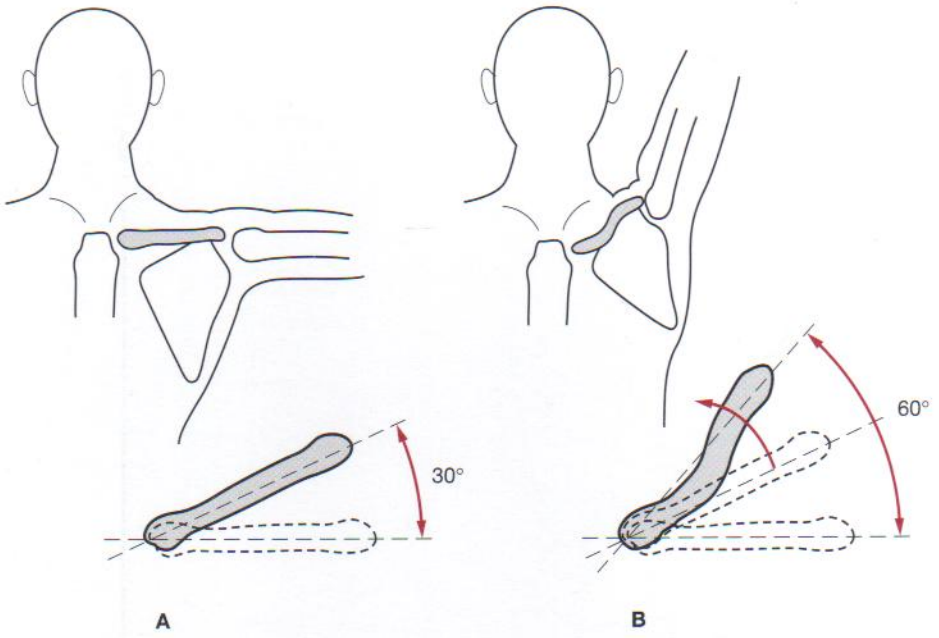


Figura 4.5. Rotación de la clavícula en la elevación del brazo por encima de la cabeza. A, Sin rotación clavicular alrededor de la articulación esternoclavicular, el brazo sólo puede elevarse 30°. **B,** Cuando se da la rotación clavicular, la escápula se eleva 60°.

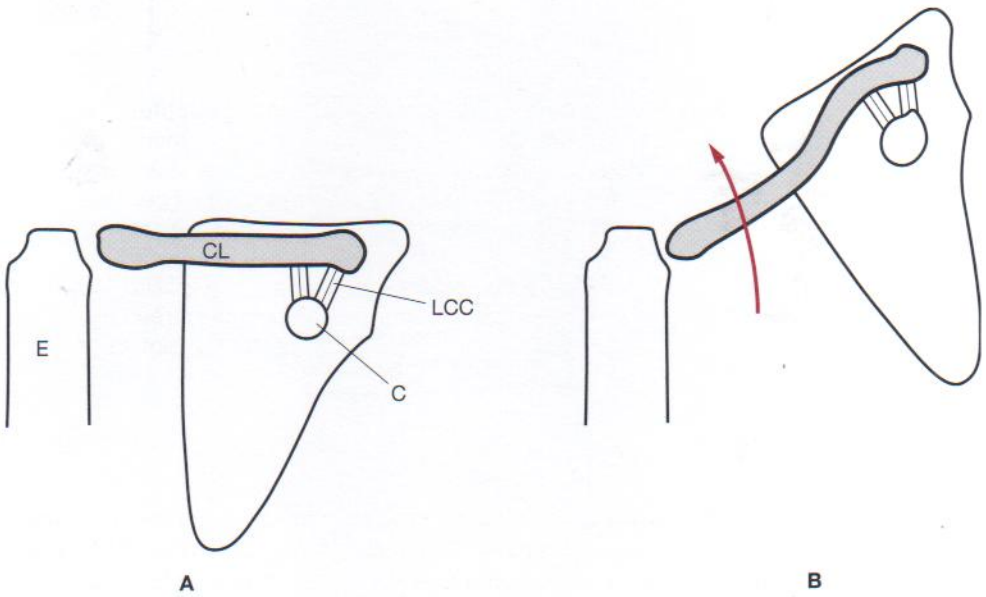


Figura 4.6. Efecto de la rotación clavicular en los ligamentos conoide y trapezoide. A, Ligamentos coracoclaviculares (LCC). C, apófisis coracoides; CL, clavícula; E, esternón. **B,** Debido a la rotación de la clavícula, los ligamentos coracoclaviculares no se hiperextienden nunca.

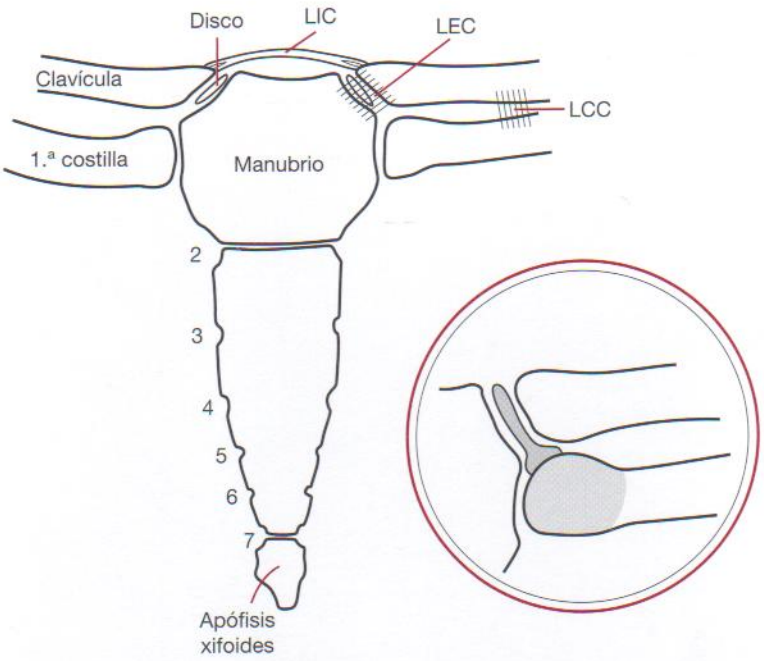


Figura 4.7. Articulación esternoclavicular. La articulación esternoclavicular está formada por la porción medial de la clavícula, que se articula sobre el manubrio y también con el extremo cartilaginoso de la primera costilla. Los ligamentos interclaviculares (LIC), esternoclaviculares (LEC) y costoclaviculares (LCC) estabilizan la articulación. Hay un disco fibroelástico entre la clavícula medial y el esternón (círculo).

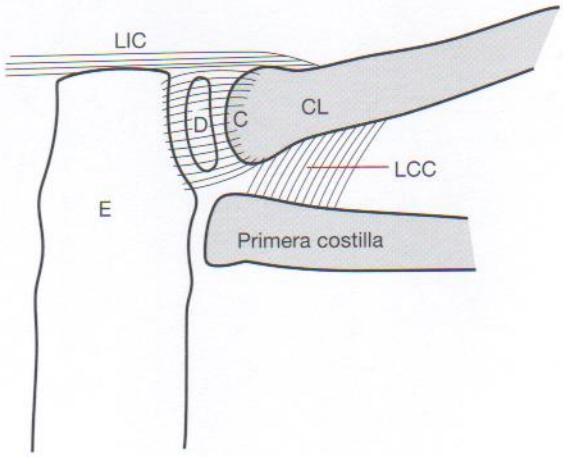


Figura 4.8. Ligamentos de la articulación esternoclavicular. El disco (D) entre el extremo medial de la clavícula (CL) y el esternón (E) lo sostienen los ligamentos claviculocostal (LCC), interclavicular (LIC) y capsular (C).

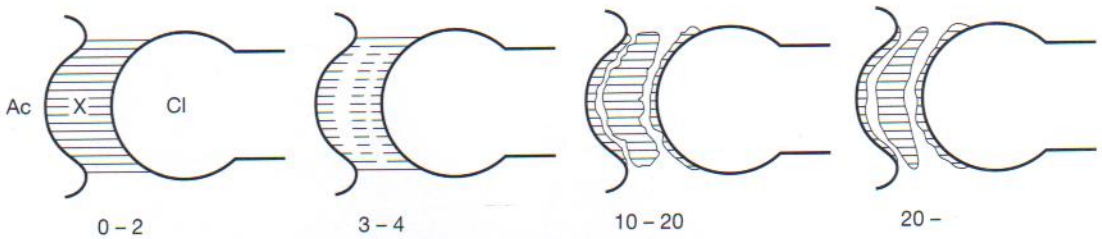


Figura 4.9. Evolución del disco acromioclavicular (menisco). Desde el nacimiento hasta los dos años de edad, la articulación acromioclavicular presenta un puente de fibrocartílago (X) que conecta el extremo medial del acromion (Ac) con el extremo lateral de la clavícula (Cl). Entre los tres y los cuatro años, se forman cavidades a ambos lados de lo que será el menisco. Estos desgarros se producen probablemente debido al movimiento rotatorio de esta articulación. En las dos primeras décadas de vida, se forma el menisco, que, sin embargo, desaparece gradualmente a partir de los veinte años.

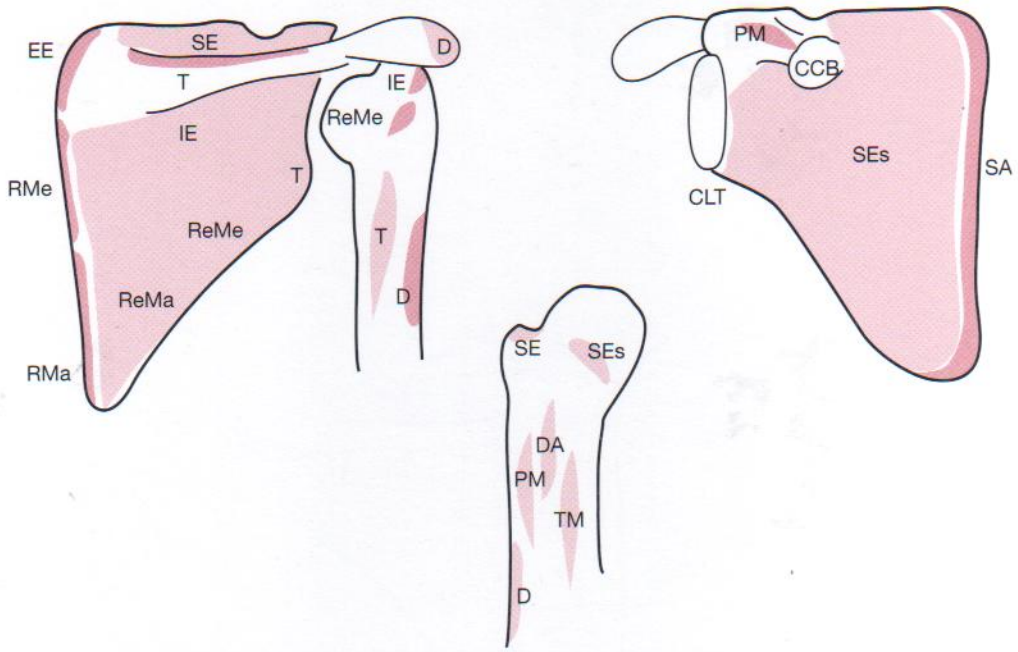


Figura 4.10. Origen e inserción de músculos en la escápula. Se muestran los músculos insertos en la escápula y con origen en la misma. SE, supraespinoso; EE, músculo elevador de la escápula; D, deltoides; T, trapecio; RMe, romboides menor; RMa, romboides mayor; IE, infraespinoso; ReMe, redondo menor; ReMa, redondo mayor; SEs, subescapular; CCB, cabeza corta del bíceps; CLT, cabeza larga del tríceps; PM, pectoral mayor; SA, serrato mayor; DA, dorsal ancho.

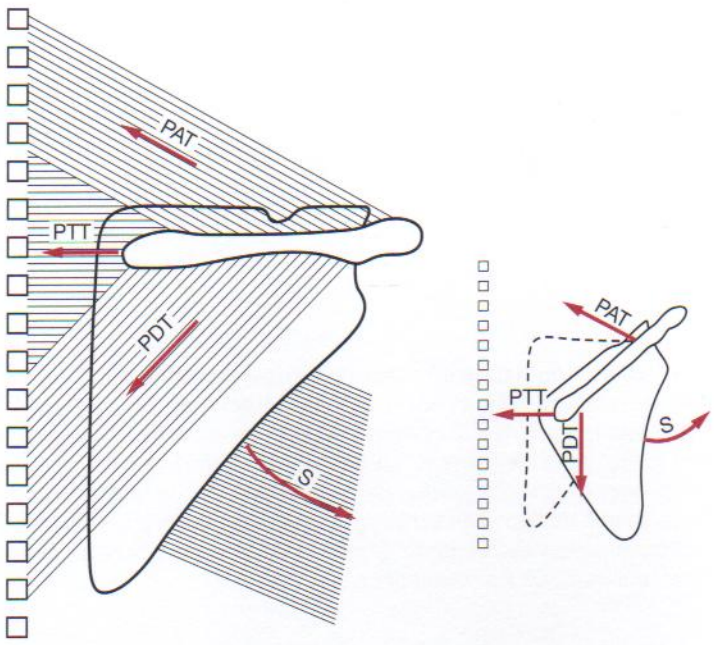


Figura 4.11. Rotadores escapulares. Los músculos que sostienen y hacen rotar la escápula son la porción ascendente del trapecio (PAT), la porción transversa del trapecio (PTT), la porción descendente del trapecio (PDT) y el serrato (S).

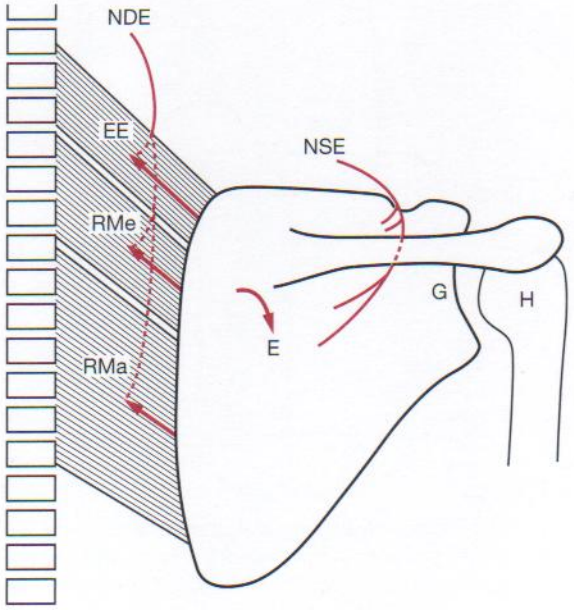


Figura 4.12. Rotadores de descenso escapulares. Los rotadores de descenso de la escápula (E) (flecha curva) son el elevador de la escápula (EE), el romboides mayor (RMa) y el romboides menor (RMe). Estos músculos están inervados por el nervio dorsal escapular (NDE). NSE, nervio supraescapular; G, cavidad glenoidea; H, húmero.

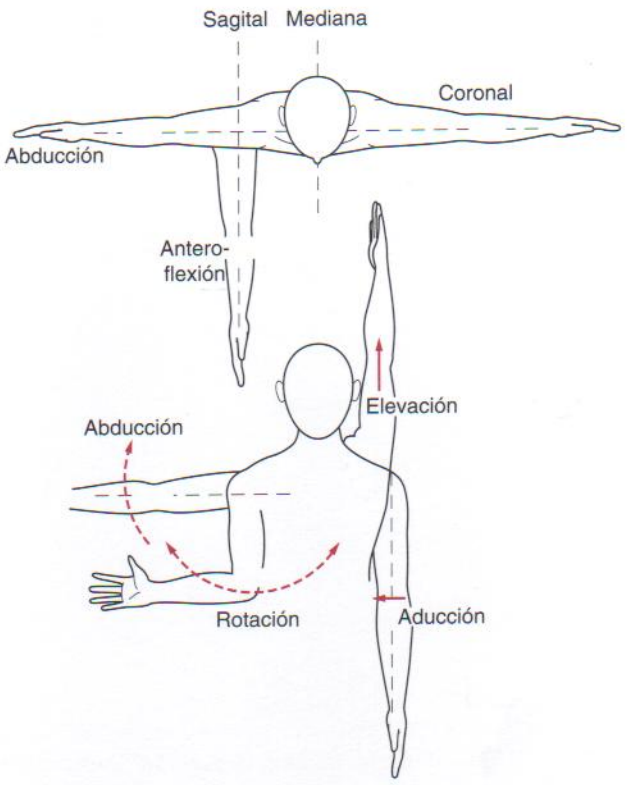


Figura 4.13. Planos del movimiento braquial. Los planos del movimiento braquial indican la dirección del movimiento respecto del cuerpo. Todos los planos se refieren a la vista superior y frontal.

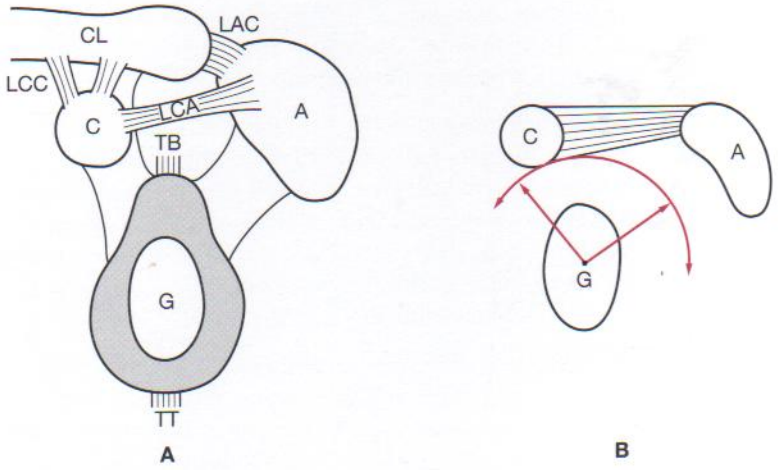


Figura 4.14. Localización de la cavidad glenoidea. A, La cavidad glenoidea (G) se localiza debajo y en posición lateral respecto de la apófisis coracoides (C) y debajo del acromion (A). El tendón del bíceps (TB) tiene su origen en el margen superior de la cavidad. **B,** Movimiento (flechas) de la cabeza humeral en el interior de la cavidad. LAC, ligamento acromioclavicular; LCC, ligamentos coracoclaviculares; CL, clavícula; LCA, ligamento coracoacromial; TT, tendón del tríceps.

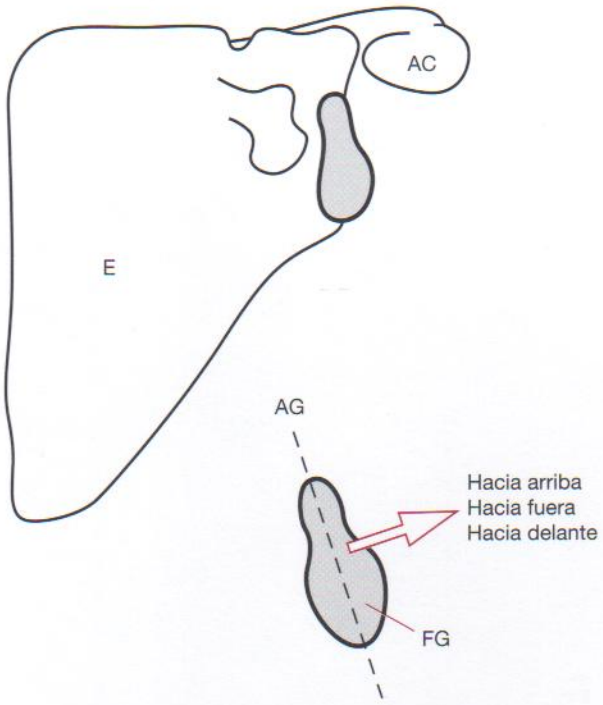


Figura 4.15. Orientación de la cavidad glenoidea. Cavidad glenoidea (FG) y su angulación. AC, acromion; E, escápula; AG, ángulo glenoideo.

Articulación glenohumeral

La articulación glenohumeral, cabeza humeral dentro de la cavidad glenoidea, se denomina clínicamente «articulación del hombro», dado que la mayoría de las funciones brazo-mano-dedo requieren el movimiento o estabilización de esta articulación. Sin duda, no obstante, la articulación escapulocostal es igualmente importante en el movimiento de la extremidad superior.

La articulación glenohumeral contiene muchos tejidos funcionalmente necesarios que son al mismo tiempo los puntos de lesión o disfunción. La «articulación» abarca el área del acromion y el ligamento coracoacromial superiormente y la cavidad glenoidea de la escápula medialmente. La cabeza larga del tendón del bíceps pasa por encima de la cabeza humeral en su surco. El «manguito de los rotadores», compuesto por el tendón conjunto de los músculos supraespinoso, infraespinoso y redondo mayor, pasa por encima del húmero y se inserta en su tuberosidad mayor. La cápsula sinovial contiene líquido sinovial para lubricar todos estos tejidos durante el movimiento (Fig. 4.16).

La cavidad glenoidea es paradigma de congruencia, término de ingeniería originalmente acuñado por MacConnail[1-3] (Fig. 4.17). Este concepto de cinética articular debe destacarse al abordar la anatomía funcional, ya que la congruencia desempeña un papel esencial en el funcionamiento de la mayoría de las articulaciones del cuerpo, si no de todas. La rotación se produce en torno a un eje que forma ángulo recto con la cara en carga de una articulación, pero no puede completarse con la simple acción de los músculos, los cuales, al contraerse, dan lugar a una mezcla de oscilación y rotación[4].

En el hombro estático con el brazo alineado con el cuerpo, el húmero, debido a la gravedad y al peso de la extremidad superior, prácticamente se dislocaría y se saldría de la porción inferior de la poco profunda cavidad glenoidea, que presenta también un ángulo completamente vertical (Fig. 4.18).

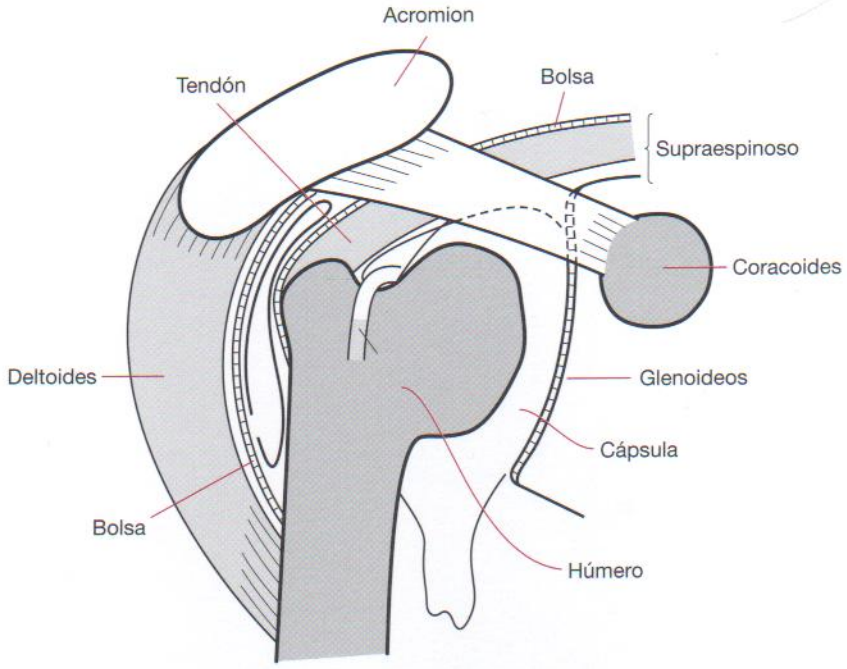


Figura 4.16. Contenido de la articulación glenohumeral. La articulación glenohumeral contiene la cabeza del húmero, la cavidad glenoidea, la bolsa subdeltoidea, la cápsula glenohumeral, el tendón de la cabeza larga del bíceps, el tendón conjunto del manguito de los rotadores, la fascia subyacente al músculo deltoides y el ligamento coracoacromial. El espacio entre el ligamento coracoacromial y la cabeza humeral se denomina *articulación suprahumeral.*

La cápsula glenohumeral es muy estrecha, y su flexibilidad limitada (Fig. 4.19). No es lo bastante fuerte para evitar la subluxación descendente, por lo que necesita la asistencia del manguito de los rotadores. Éste se retrae cuando el brazo es abducido o anteroflexionado, y permite la inestabilidad de la articulación durante dichos movimientos (Fig. 4.20).

La integridad de la cápsula para estabilizar la articulación glenohumeral se ve reforzada por su estructura, que presenta tres hebras que forman «ligamentos» y un foramen estructural (foramen de Weitbrecht); este foramen permite la dislocación de la cabeza humeral (Fig. 4.21).

La cabeza del húmero se mantiene por tanto estable en la cavidad glenoidea mediante la acción combinada del manguito de los rotadores y la cápsula (Fig. 4.22).

Manguito de los rotadores

El llamado manguito de los rotadores está integrado por los tendones conjuntos de los músculos supraespinoso, infraespinoso y redondo menor, que se insertan en la tuberosidad mayor de la cabeza humeral. En el brazo estático alineado con el cuerpo, el músculo supraespinoso soporta la cabeza del húmero en la cavidad glenoidea mediante contracción isométrica. El tono del músculo (la contracción isométrica) viene determinado por el sistema fusiforme y el aparato de Golgi por lo que se refiere a la fuerza, cuestión abordada en el Capítulo 1 (Fig. 4.23).

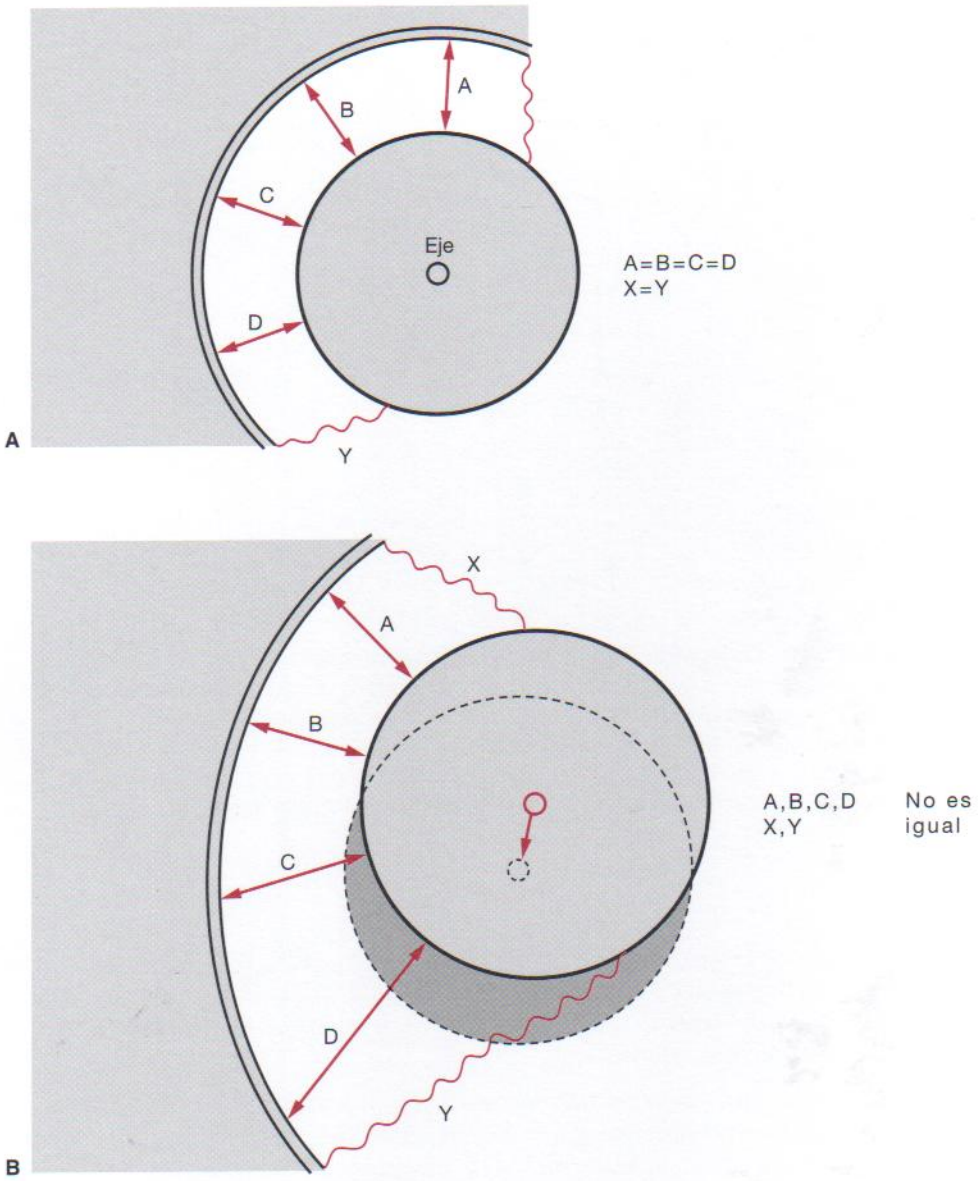


Figura 4.17. Articulaciones congruentes e incongruentes. A, Articulación congruente con caras simétricas cóncava-convexa equidistantes en todos los puntos de la curvatura (A=B=C=D). La rotación de esta articulación se produce alrededor de un eje de rotación central fijo. La acción muscular (M) sobre esta articulación permite el movimiento, pero no es necesaria para la estabilidad cuando la escápula permanece inmóvil. La cápsula presenta una elongación simétrica. **B,** La articulación incongruente tiene una superficie articular asimétrica, siendo diferentes la concavidad y la convexidad de sus caras; de este modo, los espacios entre las caras son desiguales. La porción convexa no se «asienta» sobre la porción cóncava, lo que propicia el desplazamiento descendente. El movimiento es de deslizamiento, no de rotación. Las intervenciones muscular y capsular son necesarias para la estabilidad. La longitud de la cápsula varía en todos los niveles de movimiento.

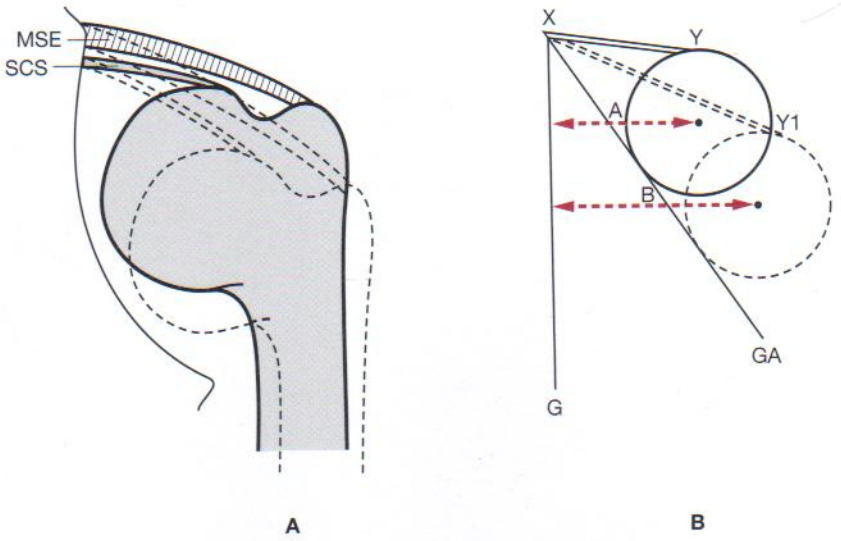


Figura 4.18. Deslizamiento descendente de la cabeza humeral en la cavidad glenoidea. A, Soporte del húmero por medio del manguito de los rotadores; músculo supraespinoso (MSE) y cara superior de la cápsula sinovial (SCS). **B,** Fuerza de gravedad vertical (X-G) en comparación con la línea inclinada de la superficie de la cavidad (X-GA). La cabeza del húmero, que es prácticamente una bola, tiende a rodar por el plano inclinado con su centro de eje de rotación (A), desplazándose lateralmente (B). La cápsula y el manguito (X-Y) se alargan hasta X-Y1 y evitan un rodamiento ulterior si permanecen intactos.

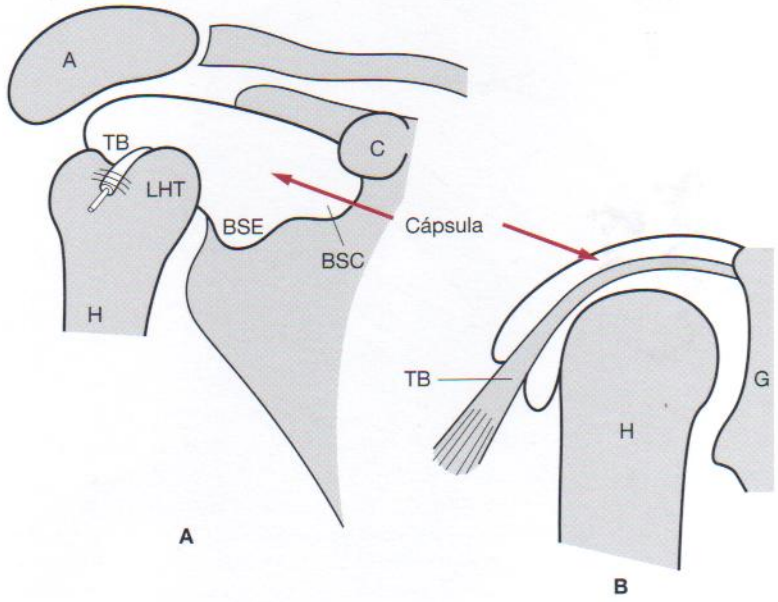


Figura 4.19. Cápsula sinovial glenohumeral. A, Una cápsula (C) amplia recubre toda la cabeza humeral. El tendón del bíceps (TB) invagina la cápsula, acompañándola en su descenso hasta más allá del ligamento humeral transverso (LHT), que contiene el tendón. Hay dos bolsas en la cápsula: subcoracoidea (BSC) y subescapular (BSE). **B,** Invaginación del tendón del bíceps (TB) y sus inserciones en la cavidad glenoidea.

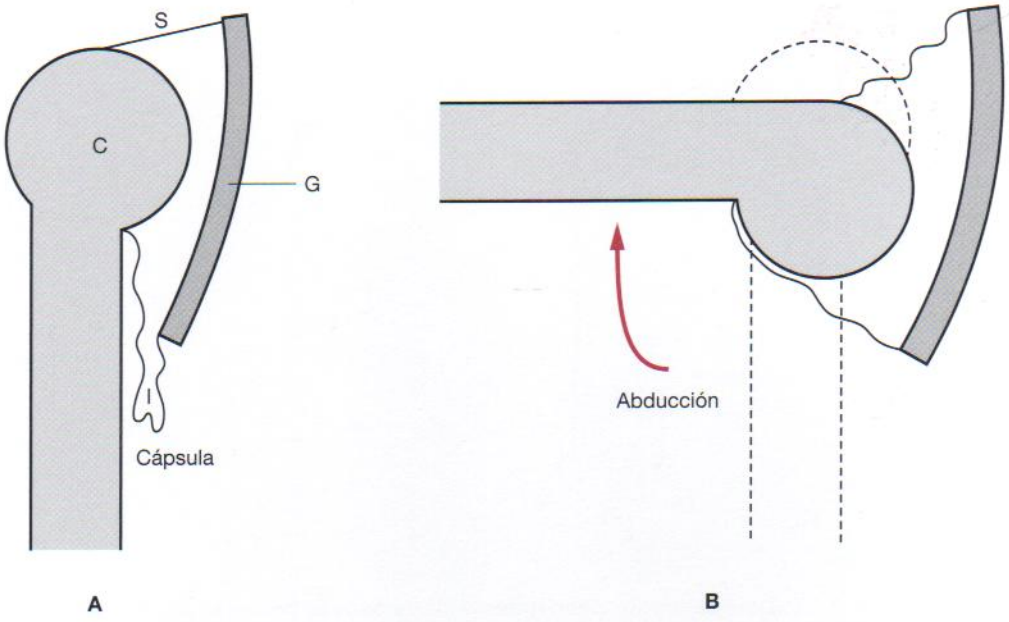


Figura 4.20. Flexibilidad de la cápsula glenohumeral. A, Cápsula superior en tensión durante la fase de posición 0 del brazo, que mantiene la cabeza humeral (C) asentada en la cavidad glenoidea (G). La cápsula inferior (I) es redundante. **B,** Durante la abducción, ambas cápsulas se distienden.

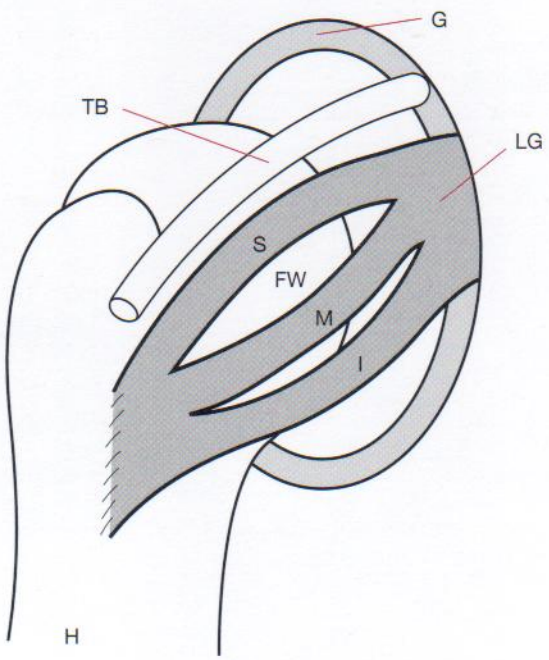


Figura 4.21. Cápsula anterior y ligamentos glenohumerales. Los tres pliegues de la cápsula anterior que forman los ligamentos glenohumerales (LG) son: superior (S), medio (M) e inferior (I). Estos ligamentos nacen en la cresta anterior del húmero (H) y se insertan en la cavidad glenoidea (G). Entre S y M se encuentra el foramen de Weitbrecht (FW). TB, tendón del bíceps.

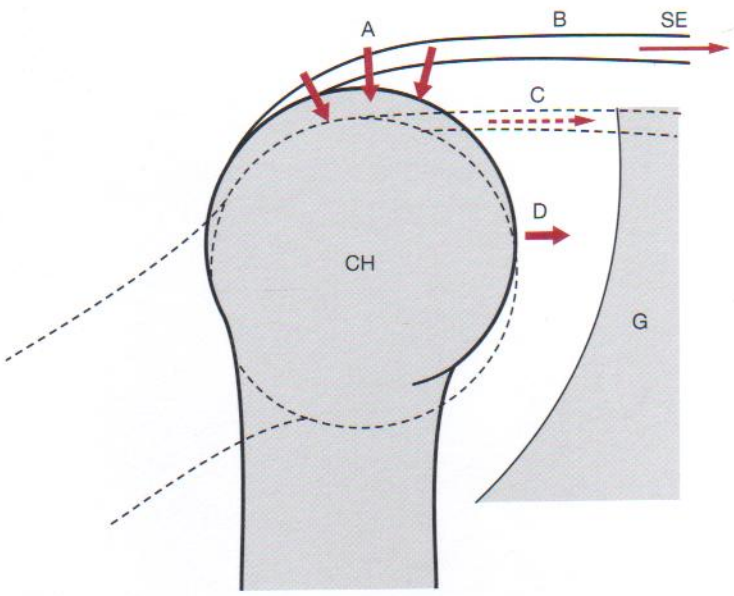


Figura 4.22. Estructuras de soporte de la articulación glenohumeral. El asiento de la cabeza humeral (CH) en la cavidad glenoidea evita la subluxación descendente gravitatoria (A, flechas largas gruesas) mediante la tracción interior (flecha fina y flecha discontinua) del tendón conjunto (B) del músculo supraespinoso (SE) y la cara superior de la cápsula (C). D, desplazamiento lateral activo, que es posible.

Acción cinética de los músculos de la articulación glenohumeral

Cuando el húmero se abduce o flexiona anterior o posteriormente, la cabeza humeral debe deslizarse y rotar sobre la cavidad glenoidea. Éste es el escalón mencionado por MacConnaill[4] –esencialmente, «acoplamiento» del húmero a la cavidad glenoidea.

El movimiento glenohumeral es una acción compleja pautada por las estructuras anatómicas de la articulación. Cuando el brazo (húmero) inicia la abducción o la flexión, se mueve hasta un grado limitado distalmente por el acromion sobresaliente o el ligamento coracoacromial, o por ambos. Con el brazo en posición «neutral» (sin rotación) y sin movimiento escapular, es posible una abducción de 90° hasta que la tuberosidad mayor, que yace lateralmente al surco bicipital, impronte en el acromion sobresaliente y en el ligamento coracoacromial. Con el brazo rotado internamente, la tuberosidad mayor impronta tan sólo a los 60° de abducción. Con la rotación externa, la tuberosidad mayor pasa posteriormente al ligamento coracoacromial y la apófisis acromial sobresaliente, siendo capaz de abducir y elevar el brazo hasta los 120° aproximadamente. Esto indica que la abducción y la elevación del brazo por encima de la cabeza requieren la rotación externa simultánea del húmero (Fig. 4.24).

El término «manguito de los rotadores» indica que, además del soporte estático del brazo alineado con el cuerpo, el manguito abduce y anteroflexiona el brazo con la rotación simultánea necesaria para no improntar en el acromion ni en el ligamento coracoacromial (Figs. 4.25, 4.26 y 4.27).

El tendón conjunto que nace en los músculos y se inserta en la tuberosidad mayor goza de escaso aporte vascular, lo que da lugar a una «zona crítica» que limita las tensiones que puede soportar el tendón. La mayoría de los tendones son sustancialmente avasculares, con un riego arterial limitado (Fig. 4.28).

Existen otros músculos rotadores del húmero, además de los músculos con origen en la escápula: el dorsal ancho y los pectorales mayor y menor (Figs. 4.29 y 4.30).

La cabeza humeral se apoya en la musculatura en cada carilla excepto en la inferior (Figs. 4.31 y 4.32).

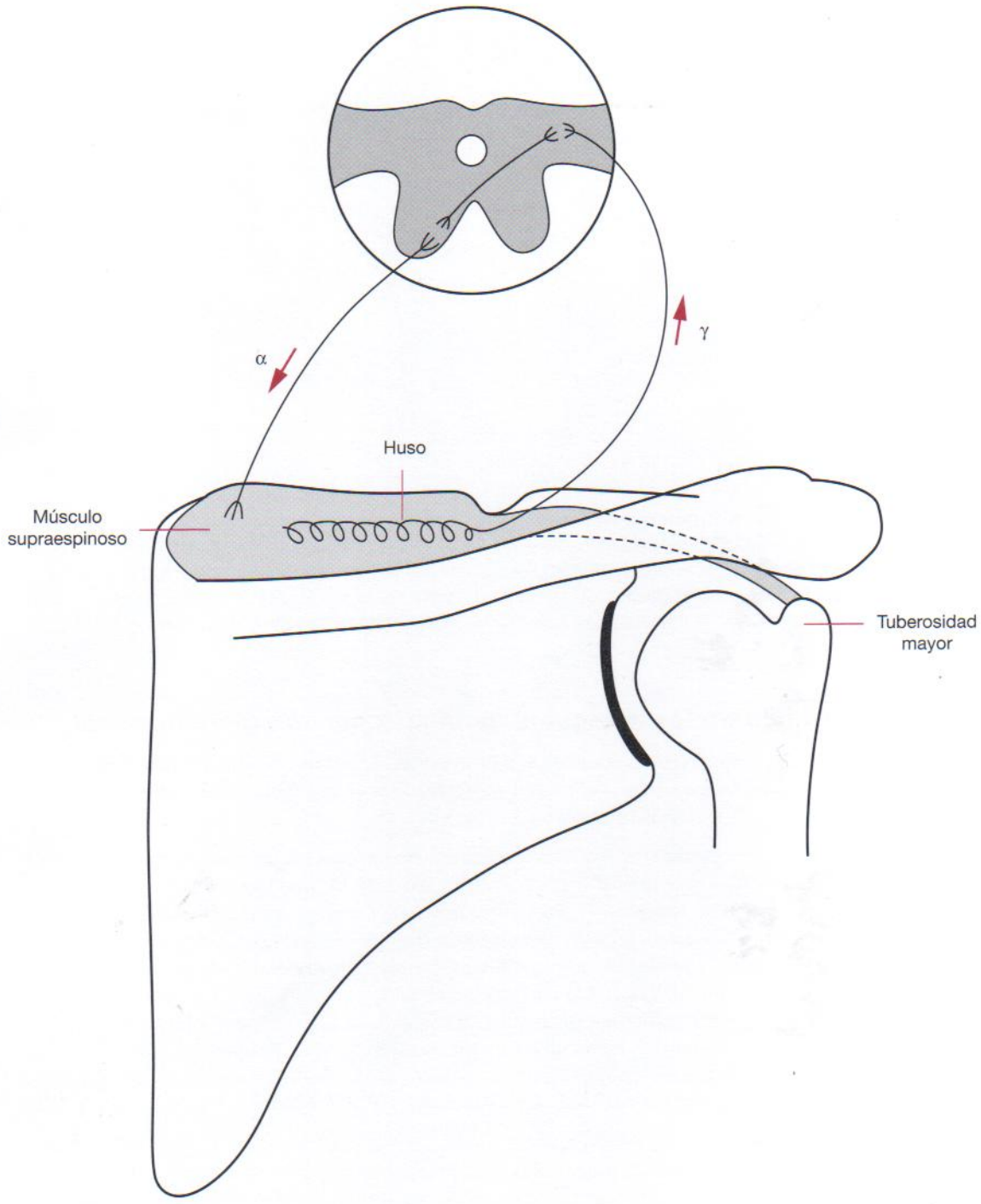


Figura 4.23. Función del músculo supraespinoso en la postura braquial estática. El músculo supraespinoso, que tiene su origen en el surco supraespinoso de la escápula, hace que su tendón pase bajo el acromion y se inserte en la tuberosidad mayor de la cabeza humeral. El músculo mantiene el grado de tensión adecuado por mediación del sistema fusiforme, que tiene fibras eferentes (motoras, alfa) y fibras sensoriales (gamma) para la médula espinal.

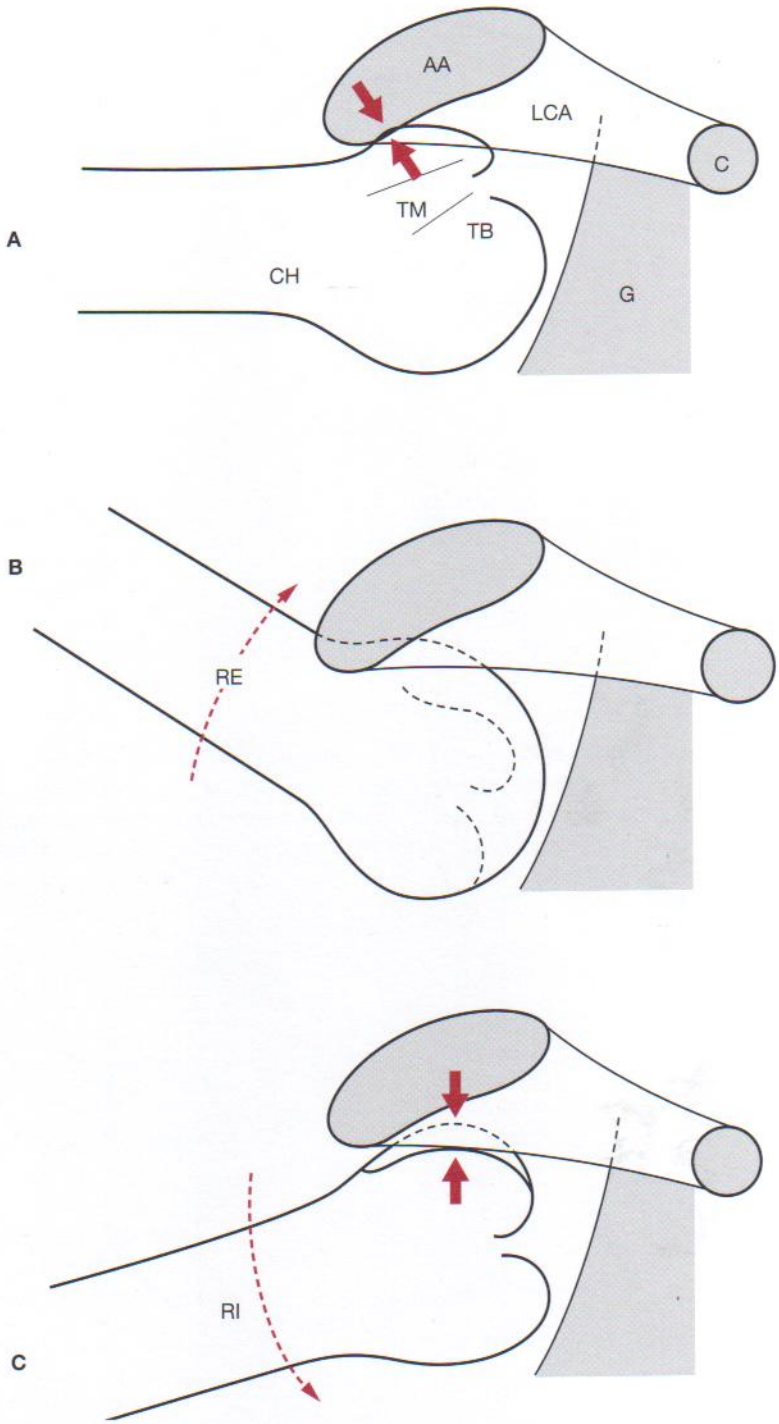


Figura 4.24. Movimiento del brazo por encima de la cabeza en la articulación glenohumeral. A, En la rotación neutral, puede darse una abducción del brazo hasta los 90° cuando la tuberosidad mayor (TM) de la cabeza humeral (CH) impronta en la apófisis acromial (AA) y/o el ligamento coracoacromial (LCA). **B,** Con la rotación simultánea externa (RE) del húmero, el brazo puede elevarse hasta los 120°, pues la tuberosidad mayor pasa por detrás del ligamento coracoacromial. **C,** Con la rotación interna (RI) del húmero la impronta es temprana, permitiendo sólo 60° de abducción. G, cavidad glenoidea; TB, tendón bicipital.

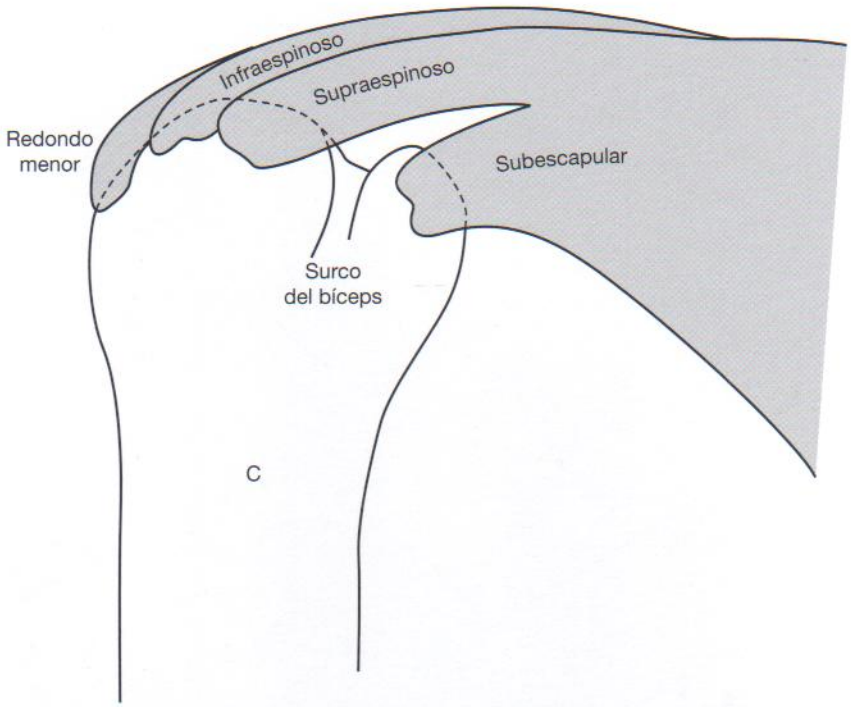


Figura 4.25. Manguito de los rotadores. El manguito de los rotadores es un tendón conjunto de varios músculos —supraespinoso, infraespinoso, subescapular y redondo menor. Todos estos músculos, excepto el subescapular, se insertan en la tuberosidad mayor de la cabeza del húmero (C), situada lateralmente al canal bicipital, mientras que el tendón del músculo subescapular se inserta en la tuberosidad menor.

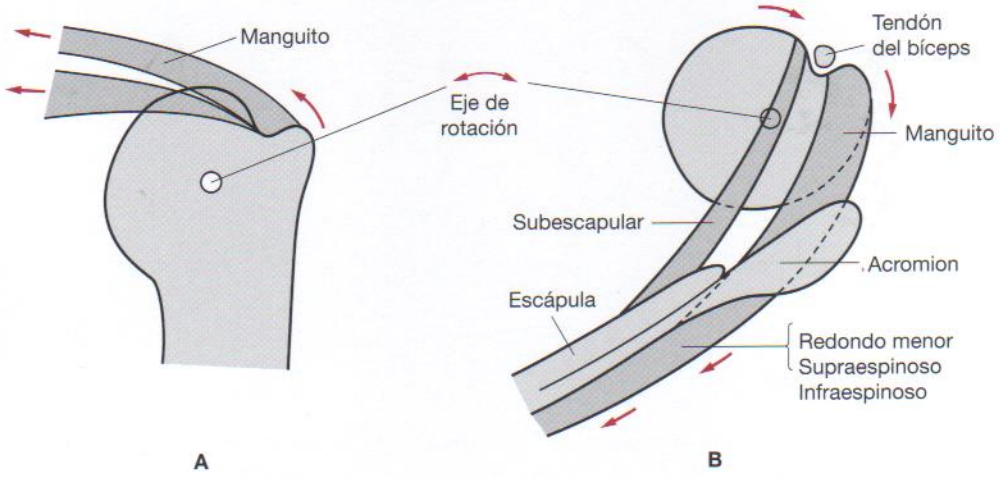


Figura 4.26. Eje de rotación de la acción del manguito. A, Abducción alrededor del eje de rotación mediante contracción del manguito. **B,** Rotación externa del húmero derivada de la contracción del manguito alrededor del eje. El manguito tiene su origen en la cara externa de la escápula, y es excéntrico al eje humeral. El músculo subescapular se origina en la cara interna de la escápula y hace rotar internamente al húmero.

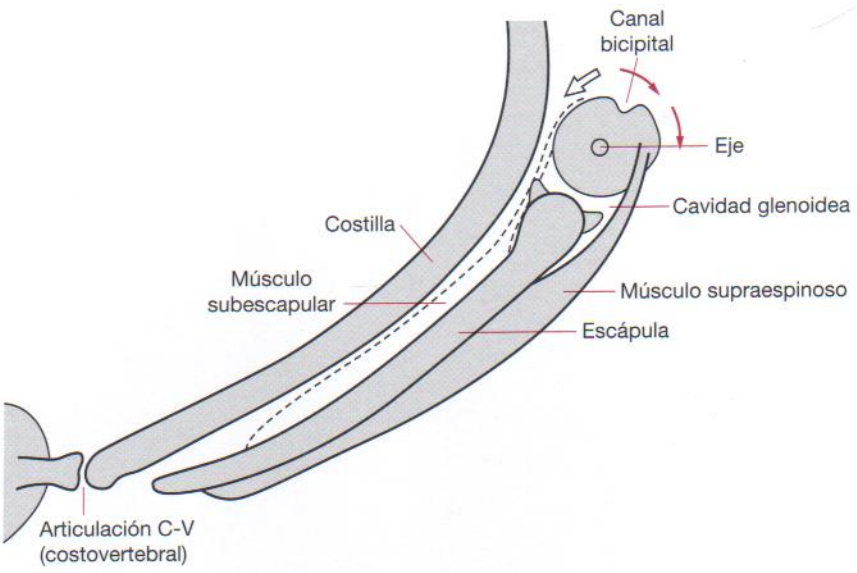


Figura 4.27. Rotadores del húmero. Vista desde arriba, la escápula descansa sobre la caja torácica. El músculo supraespinoso se origina en la cara externa, se inserta en la tuberosidad mayor excéntrica al eje de rotación y hace rotar externamente al brazo. El músculo subescapular (línea discontinua) hace rotar internamente al brazo. C-V, costovertebral.

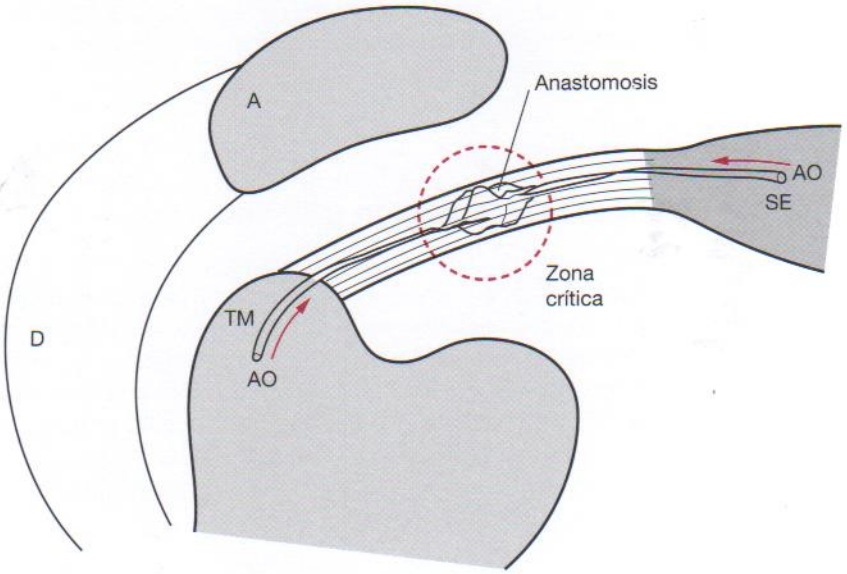


Figura 4.28. Zona crítica del tendón conjunto. El tendón conjunto recibe el riego sanguíneo de las arterias óseas del húmero (AO) en la tuberosidad mayor (TM) y de las arterias descendentes desde el músculo supraespinoso (SE). La anastomosis central forma una zona crítica susceptible a las fuerzas de tracción y compresivas. A, acromion; D, músculo deltoides.

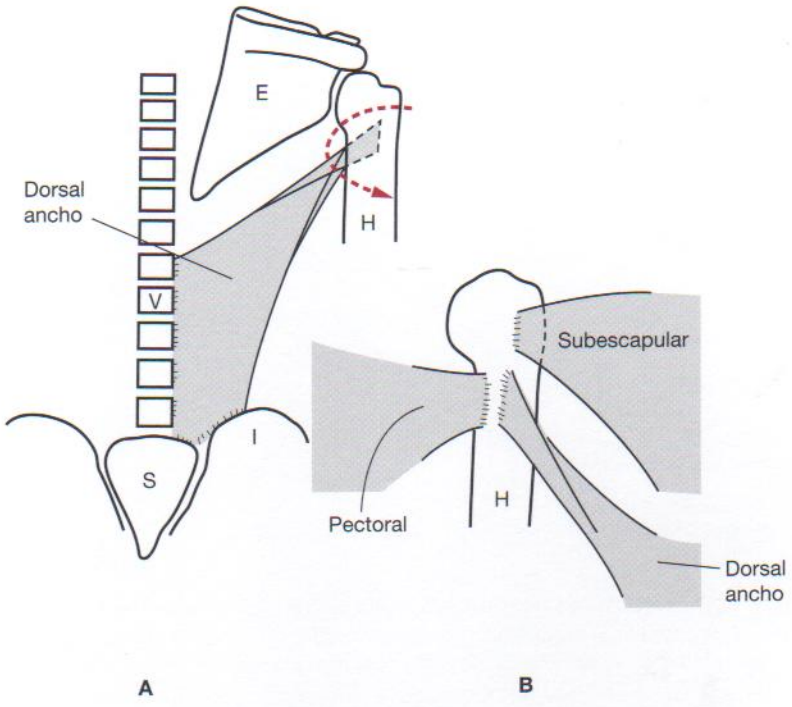


Figura 4.29. Rotadores del brazo. A, Visto posteriormente, el músculo dorsal ancho se origina en las vértebras torácicas inferiores y todas las vértebras lumbares (V), y en el hueso ilion, para insertarse en la cara interna del húmero (H), convirtiéndose así en un rotador interno (flecha curva). S, sacro; E, escápula; **B,** Vistos anteriormente, los músculos pectorales mayor y menor nacen en la caja torácica y se insertan en la cara anterior del húmero, contrayéndose así para hacer rotar al húmero internamente. Se muestran los puntos de inserción de los músculos dorsal ancho y subescapular.

Movimiento cinético de la articulación glenohumeral

El movimiento de la articulación glenohumeral es una acción compleja que subraya la incongruencia de esta articulación. Cuando el brazo se abduce, o se flexiona anterior o posteriormente, la cabeza del húmero se desliza hacia abajo y de forma oscilante sobre la fosa glenoidea. Esto constituye una acción muscular del manguito de los rotadores y otros músculos glenohumerales, como el deltoides, el dorsal mayor y los pectorales mayor y menor, que actúan de forma coordinada. Desde el alineamiento absoluto con el cuerpo (0°) hasta la elevación por encima de la cabeza (180°), el húmero debe abducirse (anteroflexión); a continuación, rota externamente de forma simultánea y gradual para evitar que el manguito de los rotadores impronte en el acromion sobresaliente y en el ligamento coracohumeral, lo que se denomina el «arco doloroso» entre los 60° y los 120° (Fig. 4.33).

La acción muscular que abduce y eleva completamente el brazo implica a los músculos del manguito de los rotadores y al deltoides. El músculo deltoides, el más potente con diferencia, no actúa inicialmente como abductor en la abducción y anteroflexión; en esa posición, el origen e inserción de los músculos del húmero están diseñados para elevar el brazo y evitar la impronta de la cabeza del húmero en el acromion que sobresale (Fig. 4.34).

Los músculos del manguito de los rotadores abducen y flexionan el brazo, propiciando simultáneamente la depresión de la cabeza humeral en la cavidad glenoidea (Fig. 4.35).

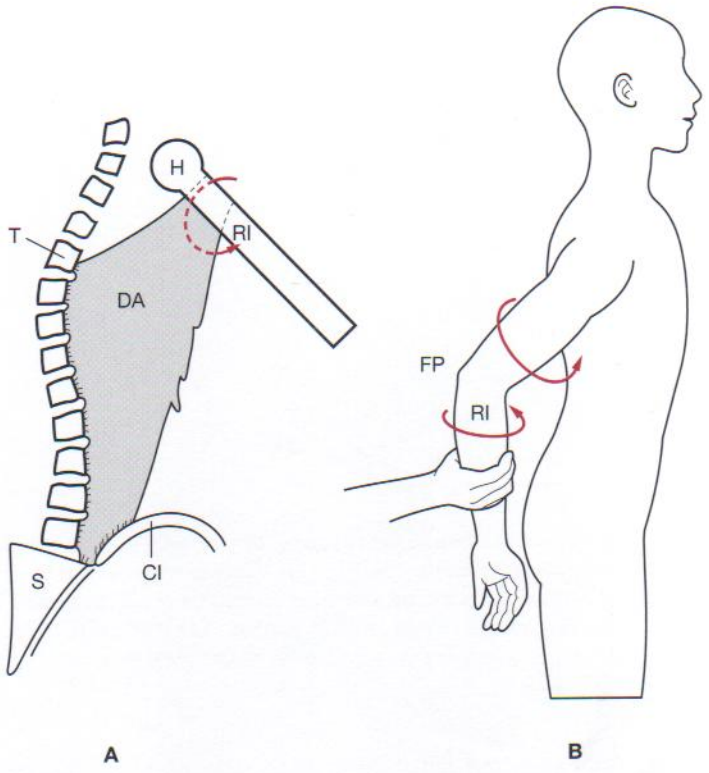


Figura 4.30. Exploración funcional del músculo dorsal ancho. A, Origen e inserción del músculo dorsal ancho (DA), que se inserta en el húmero y produce la rotación interna (flecha curva, RI). S, sacro; CI, cresta ilíaca; T, vértebras torácicas. **B,** Exploración de la resistencia de la flexión posterior (FP) y la rotación interna (RI), que son movimientos del músculo dorsal ancho.

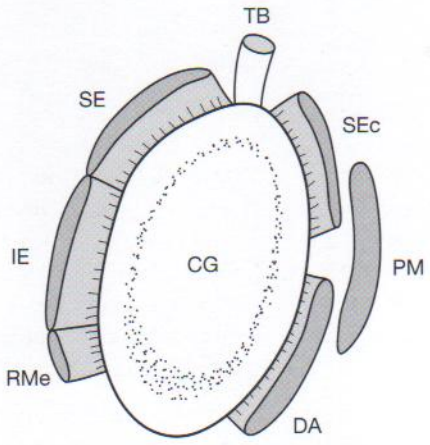


Figura 4.31. Músculos estabilizadores de la cabeza humeral durante la acción. La cavidad glenoidea (CG) sobre la que se asienta la cabeza del húmero está rodeada de numerosos músculos: supraespinoso (SE), infraespinoso (IE), redondo menor (RMe), subescapular (SEc), dorsal ancho (DA) y pectoral mayor (PM). El tendón del bíceps (TB) también estabiliza la cabeza del húmero.

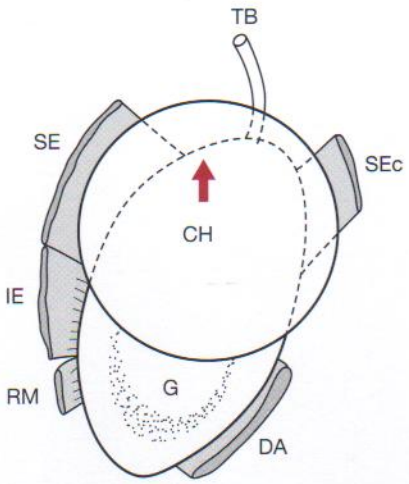


Figura 4.32. Cabeza del húmero en las terminaciones de la musculatura del manguito. La cabeza del húmero (CH) recibe soporte superiormente (flecha), pero éste es deficiente inferiormente entre los músculos redondo menor (RM) y dorsal ancho (DA). G, cavidad glenoidea; TB, tendón del bíceps; SE, músculo supraespinoso; IE, músculo infraespinoso; SEc, músculo subescapular.

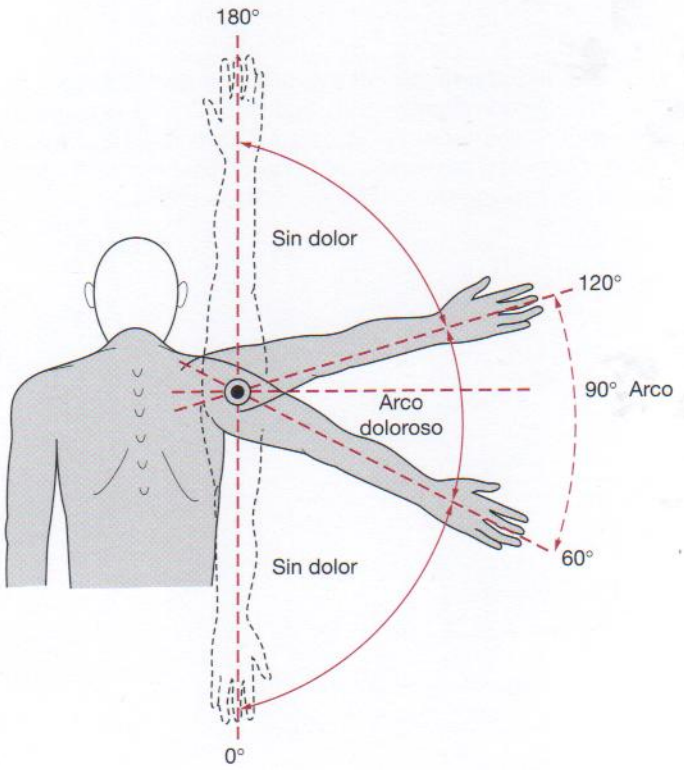
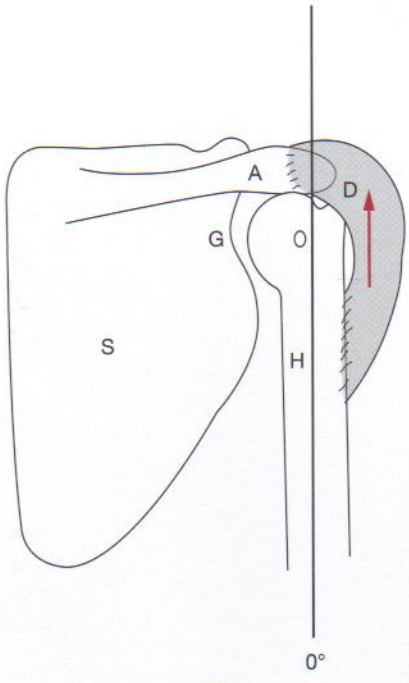
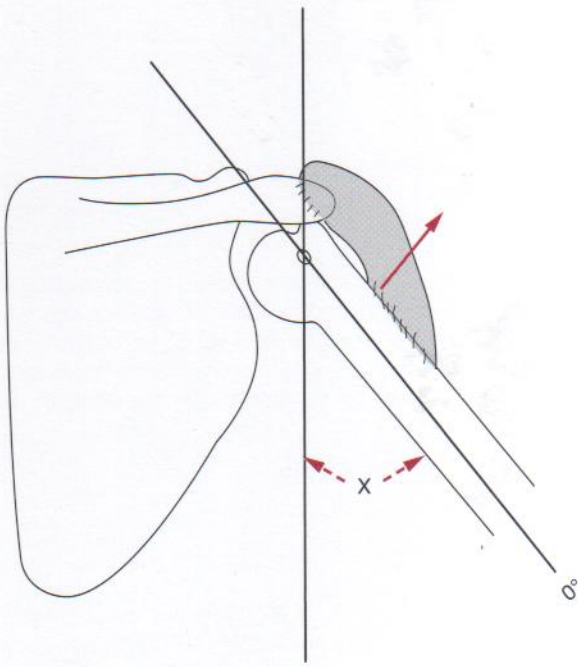


Figura 4.33. Arco doloroso del brazo: abducción-elevación. Visto posteriormente, el brazo pasa de la alineación absoluta con el cuerpo (0°) a la elevación absoluta por encima de la cabeza (180°). Entre los 60° y los 120°, el brazo debe abducirse-anteroflexionarse y rotar externamente para evitar la impronta en el acromion y el ligamento coracoacromial.



A



B

Figura 4.34. Acción del músculo deltoides sobre el húmero. A, Con el húmero (H) alineado con el cuerpo, el músculo deltoides (D) se origina en el acromion (A) y se inserta en el cuerpo medio del húmero. Su contracción produce por tanto la elevación del húmero (flecha discontinua en la figura B). **B,** Una vez abducido (por los músculos del manguito), el músculo deltoides actúa en un ángulo (X) y se convierte en abductor y anteroflexor.

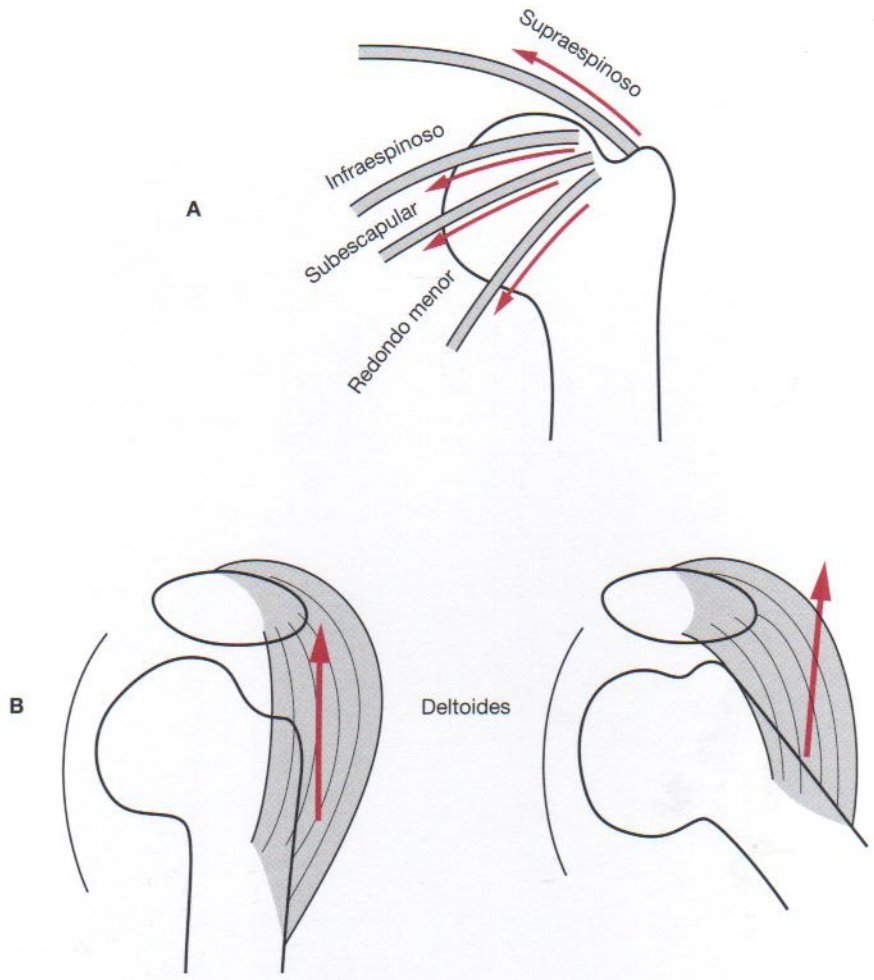


Figura 4.35. Músculos que actúan sobre la cabeza humeral. A, Líneas de tracción de los músculos del manguito de los rotadores. Los músculos supraespinoso e infraespinoso abducen y hacen rotar la cabeza del húmero. El músculo subescapular contribuye a la abducción en menor medida, pero también hace rotar y descender a la cabeza humeral. **B,** Intervención del músculo deltoides en el húmero.

Ritmo escapulohumeral

Ya se ha señalado que, de no ser por otros movimientos escapulares, el húmero sólo podría abducir y elevar el brazo por encima de la cabeza hasta 120°, pues el acromion impide un movimiento mayor. La escápula debe por tanto rotar para evitar la obstrucción del acromion. La escápula rota consiguientemente sobre su articulación escapulocostal, mediante los músculos que en ella se insertan.

Se ha estipulado un «ritmo» que describe los grados de rotación escapular contrastándolos con los de la rotación glenohumeral. De forma simplificada, se ha formulado una proporción de 2:1 —2°de rotación glenohumeral por cada grado de rotación escapular. Esta proporción es el *ritmo escapulohumeral* (Fig. 4.36)

Cuando la escápula debe rotar 60°, la clavícula, unida al acromion, debe rotar a su vez 45° (Fig. 4.37).

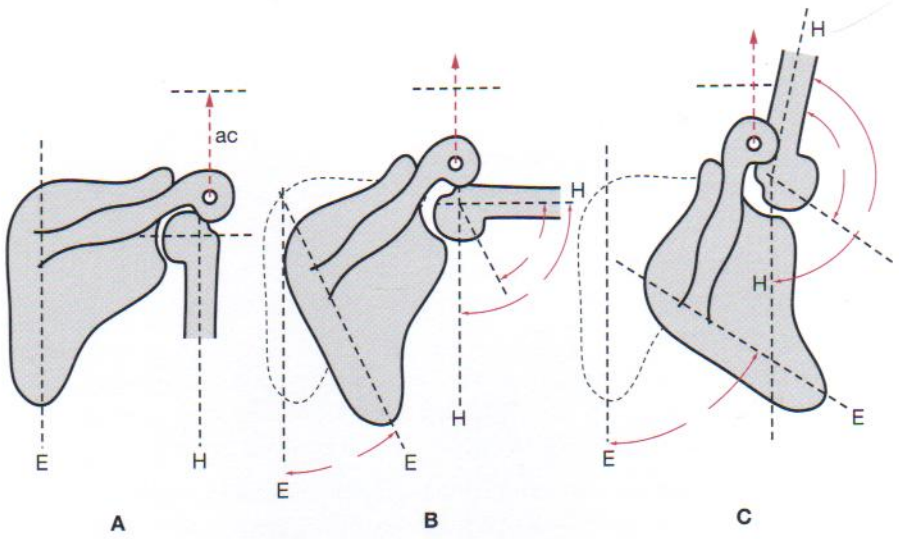


Figura 4.36. Ritmo escapulohumeral. A, Brazo en posición 0 con alineamiento vertical de la escápula (E) y el húmero (H) respecto del eje de la articulación acromioclavicular (ac). **B,** Cuando se produce la abducción, la escápula rota 30° y el húmero 60°, de un total de 90° posibles de abducción del brazo. **C,** Para una mayor elevación del brazo por encima de la cabeza (180°), la escápula rota 60° y el húmero 120° en la cavidad glenoidea. La proporción es por tanto de 2:1.

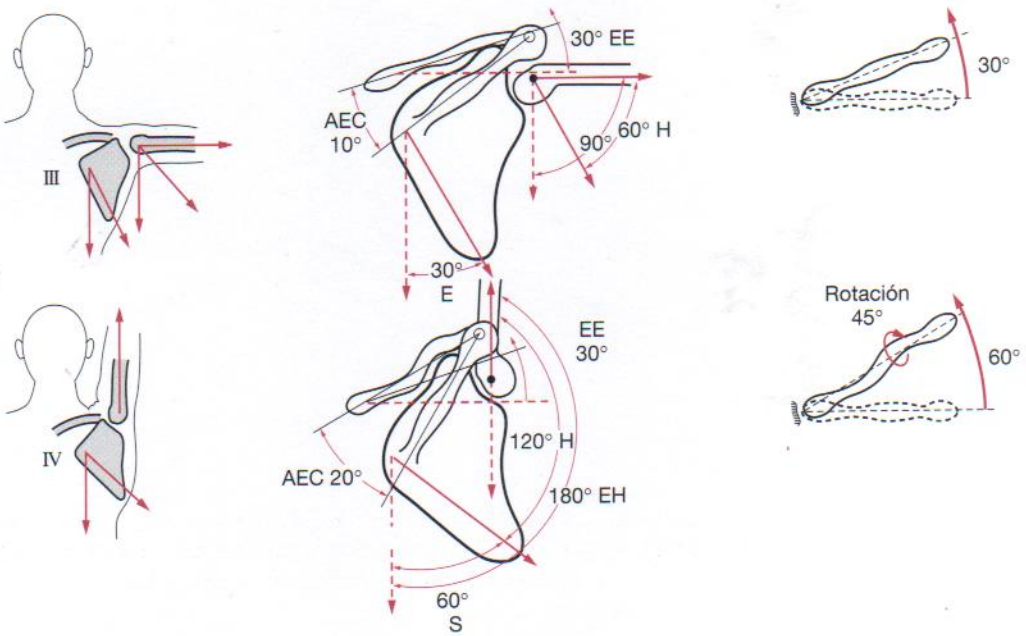


Figura 4.37. Componente clavicular del ritmo escapulohumeral. Tercera fase (III, arriba) del ritmo escapulohumeral. La clavícula se ha elevado 30° sin rotación (arriba a la derecha). Cuarta fase (IV, abajo) del ritmo escapulohumeral, en la que la clavícula ha rotado 45° y se ha producido una elevación escapulohumeral (EH) hasta los 180°. AEC, ángulo escapulohumeral; 30°, rotación de la escápula (E); EE, elevación escapular; H, húmero.

Mecanismo bicipital de acción glenohumeral

El origen de la cabeza larga del tendón del bíceps se encuentra en el tubérculo supraglenoideo de la escápula. El tendón sale de la articulación a través de un orificio entre la porción superior de la cápsula y la cabeza humeral, penetrando en el surco intertubercular, recorriéndolo hasta insertarse en el radio. El tendón de la cabeza larga, a su paso por el surco intertubercular, atraviesa la cabeza humeral en ángulo recto (Fig. 4.38).

En la abducción o anteroflexión del brazo, el tendón actúa como una polea, forzando el descenso del húmero. Esta fuerza forma un vector con la contracción del bíceps y el peso del brazo.

En la abducción y rotación externa del brazo, el tendón del bíceps se alinea directamente sobre la cara superior de la cabeza humeral, y actúa como una polea. El tendón del bíceps ejerce una fuerza descendente, impidiendo que el húmero se eleve en la articulación glenohumeral. La fuerza del bíceps y el peso del brazo constituyen un vector de fuerza (resultante)[5] (Fig. 4.39).

Llegados a este punto, conviene resumir el ritmo escapulohumeral incluyendo las cuatro articulaciones del complejo articular del hombro que participan en él[6,7]. Las intrincadas interacciones de todas estas articulaciones dan lugar al movimiento coordinado de la cintura escapular, que coloca la mano en su área funcional.

Durante los primeros 30° de abducción, la escápula estabiliza la extremidad superior. Sin embargo, una vez que se alcanza esta fase, la escápula y el húmero se mueven en una proporción de 2:1; así, por cada 2° de movimiento humeral, hay 1° de movimiento escapular. Finalmente, todo el brazo puede alcanzar una elevación total (180°) por encima de la cabeza.

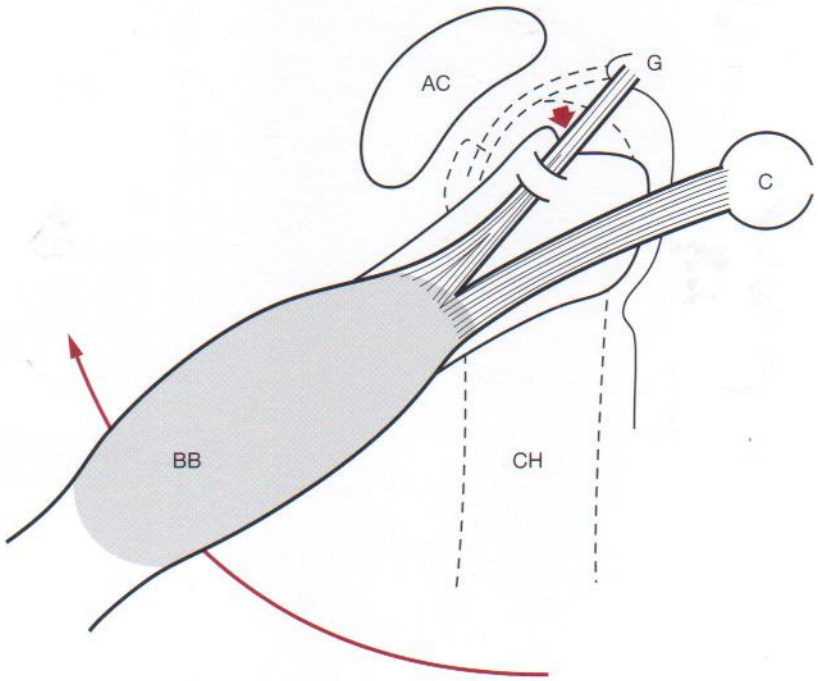


Figura 4.38. Mecanismo del bíceps. La cabeza larga del bíceps (BB), que se inserta en el tubérculo supraglenoideo de la escápula (G), presiona hacia abajo la cabeza humeral (CH) en su abducción. La cabeza corta del bíceps se origina en la apófisis coracoides (C). AC, acromion.

Los 60° de rotación escapular sobre la pared torácica son posibles gracias a los movimientos combinados de las articulaciones esternoclavicular y acromioclavicular, cuyas rotaciones se corresponden. Los músculos que activan el ritmo escapulohumeral son todos los músculos escapulares y los músculos glenohumerales combinados: los rotadores y el deltoides.

La proporción concreta de ritmo de 2:1 ha sido puesta en duda. Por ejemplo, un autor ha señalado que para 175° de elevación del brazo se precisan sólo 50° de rotación escapular[8], y otro estudio[9] afirma que por cada 2° de movimiento escapular se dan 3° de movimiento humeral. Estas modificaciones no alteran sustancialmente la proporción convenida de 2:1 estipulada inicialmente.

Ya nos hemos referido a la postura a lo largo del presente texto, puesto que, efectivamente, desempeña un papel fundamental en el movimiento de la cintura escapular. Si se produce una cifosis dorsal excesiva («postura redondeada del hombro»), la escápula rota excesivamente en dirección descendente, colocando así al acromion a una altura inferior, lo cual propicia que el húmero en abducción-anteroflexión quede encajado antes en su movimiento hacia la elevación completa (Fig. 4.40).

En una elevación limitada del brazo escapulohumeral, sea cual sea la causa, sólo un brazo se ve impedido para realizar la elevación completa, de modo que puede reproducirse una postura deficiente, pero, al afectar sólo a un brazo, la postura no se ve afectada (Fig. 4.41).

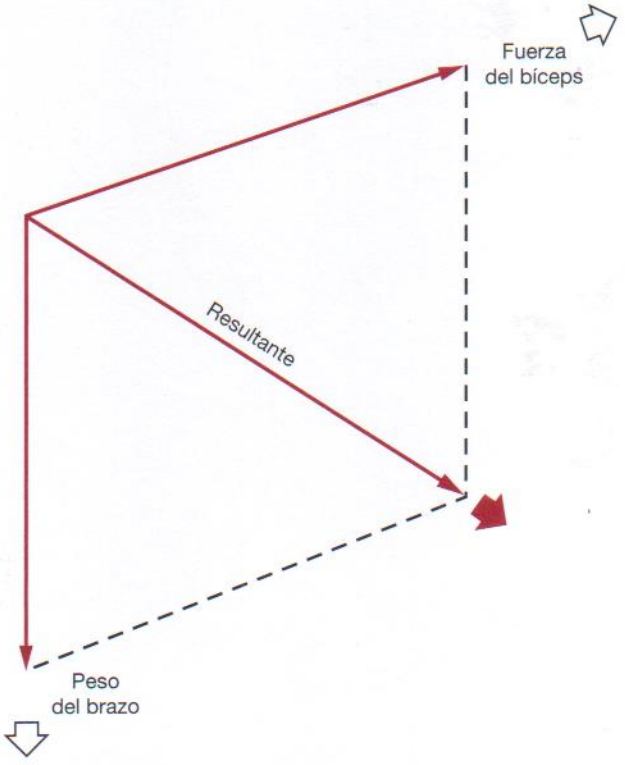


Figura 4.39. Fuerzas vectoriales del tendón del bíceps. La fuerza vectorial resulta de la fuerza del músculo bíceps ejercida mediante su tendón sobre la cabeza humeral y del peso del brazo. La fuerza vectorial resultante impide el ascenso de la cabeza del húmero.

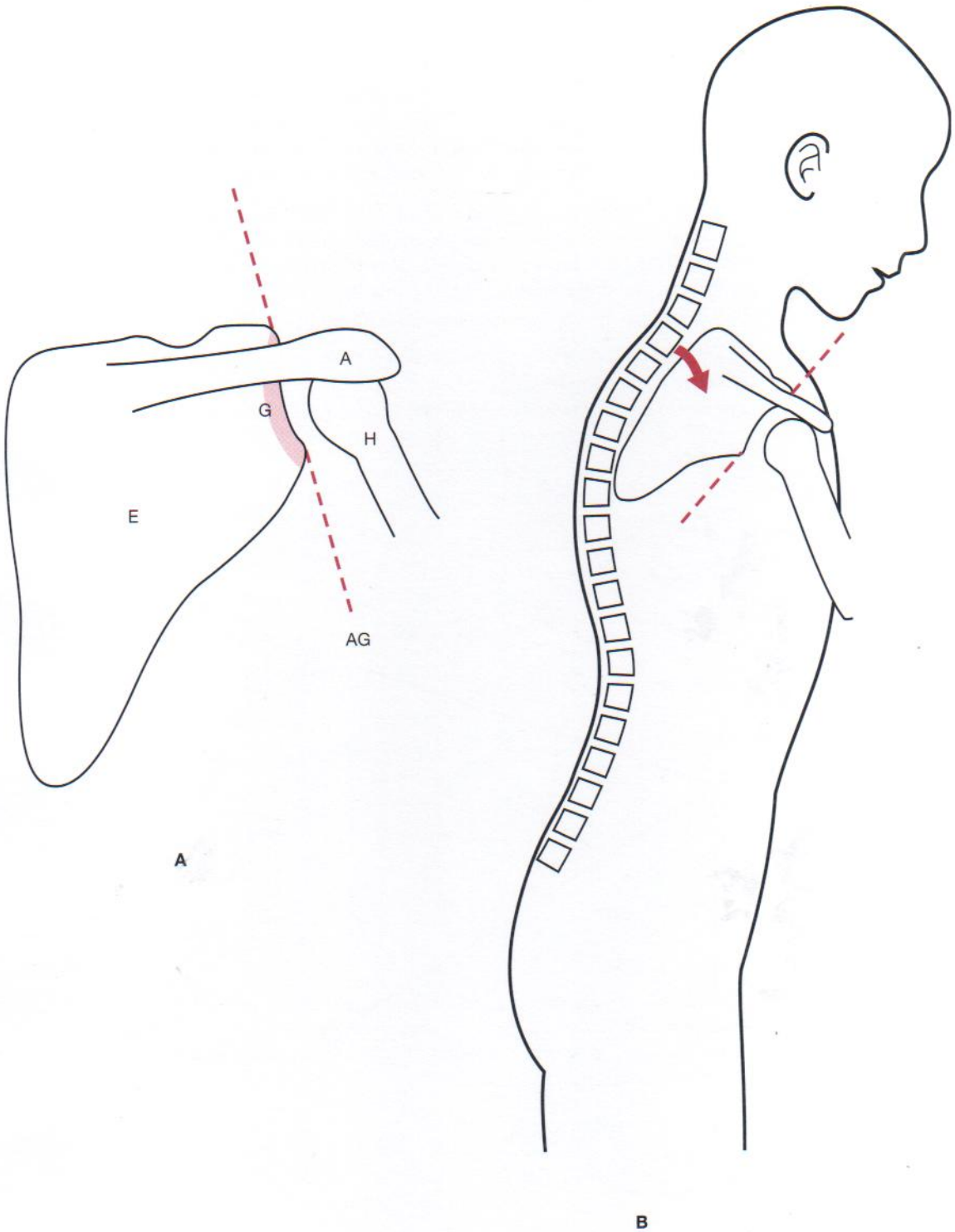


Figura 4.40. Efecto de la postura sobre la acción del hombro. A, Ángulo glenoideo (AG) con la escápula (E) en posición fisiológica. A, acromion; H, húmero. **B,** La postura dorsal cifótica hace rotar (flecha curva) a la escápula en dirección descendente y modifica el ángulo glenoideo y la posición del acromion.



Figura 4.41. Limitación de la elevación unilateral del brazo por encima de la cabeza. La elevación exclusiva del brazo izquierdo (a la derecha en la figura) por encima de la cabeza es limitada, lo que indica una restricción glenohumeral unilateral, y no un componente postural.

Orificio torácico superior

Dado que los diagnósticos de síndrome del orificio torácico superior son controvertidos, es preciso clarificar las estructuras anatómicas funcionales del orificio. El orificio torácico superior comprende el espacio entre la primera costilla y los músculos escalenos, a través del cual pasan el plexo braquial y la vena y arteria subclavias en su descenso como haz neurovascular entre la primera costilla y la clavícula (Figs. 4.42 y 4.43).

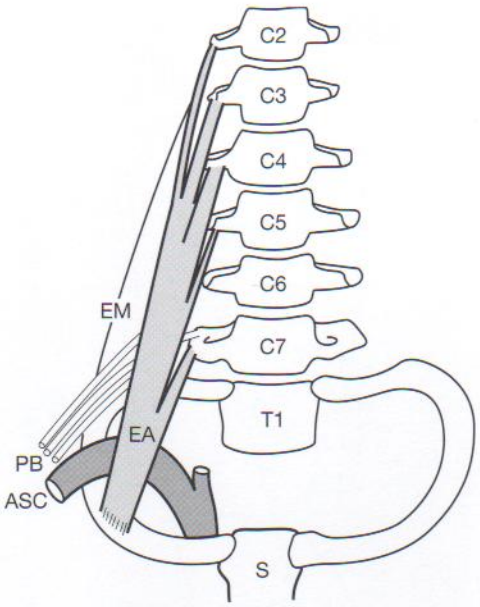


Figura 4.42. Orificio torácico superior. El músculo escaleno anterior (EA), con origen en las apófisis laterales de las vértebras cervicales (de C2 a C7), desciende hasta insertarse en la primera costilla. El músculo escaleno medio (EM) tiene un origen similar, pero se inserta más lateralmente en la primera costilla, formando un orificio a través del cual pasan el plexo braquial (PB) y la arteria subclavia (ASC).

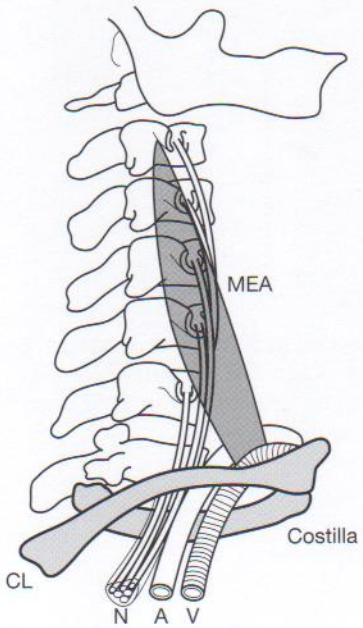


Figura 4.43. Paso del haz neurovascular a través del orificio. El haz neurovascular que pasa a través del orificio torácico superior contiene nervios (N), arteria (A) y vena (N), divididos por el músculo escaleno anterior (MEA). El haz neurovascular se extiende desde la primera costilla hasta la porción posterior de la clavícula (CL).

Anatomía funcional de los síndromes dolorosos

Los síndromes dolorosos del manguito de los rotadores del hombro se ponen de manifiesto mediante un «arco doloroso» (véase Fig. 4.33) El dolor se produce cuando un tendón inflamado del rotador pasa bajo el acromion sobresaliente y el ligamento coracoacromial, provocando el dolor y, en última instancia, la limitación del movimiento. Con una amplitud de movimientos limitada en la articulación glenohumeral, se rompe el «ritmo» escapular y el movimiento de la cintura escapular tiene lugar en la fase escapular, sin que se dé el movimiento glenohumeral, que produce el «movimiento de encogimiento» en la abducción (Fig. 4.44).

Otro término clásico empleado en la patología del hombro es el ejercicio de Codman, que merece atención en el ámbito de la anatomía funcional. El objeto de este ejercicio es el mantenimiento y mejora de la amplitud de movimientos glenohumerales sin recurrir a la contracción muscular activa (Fig. 4.45).

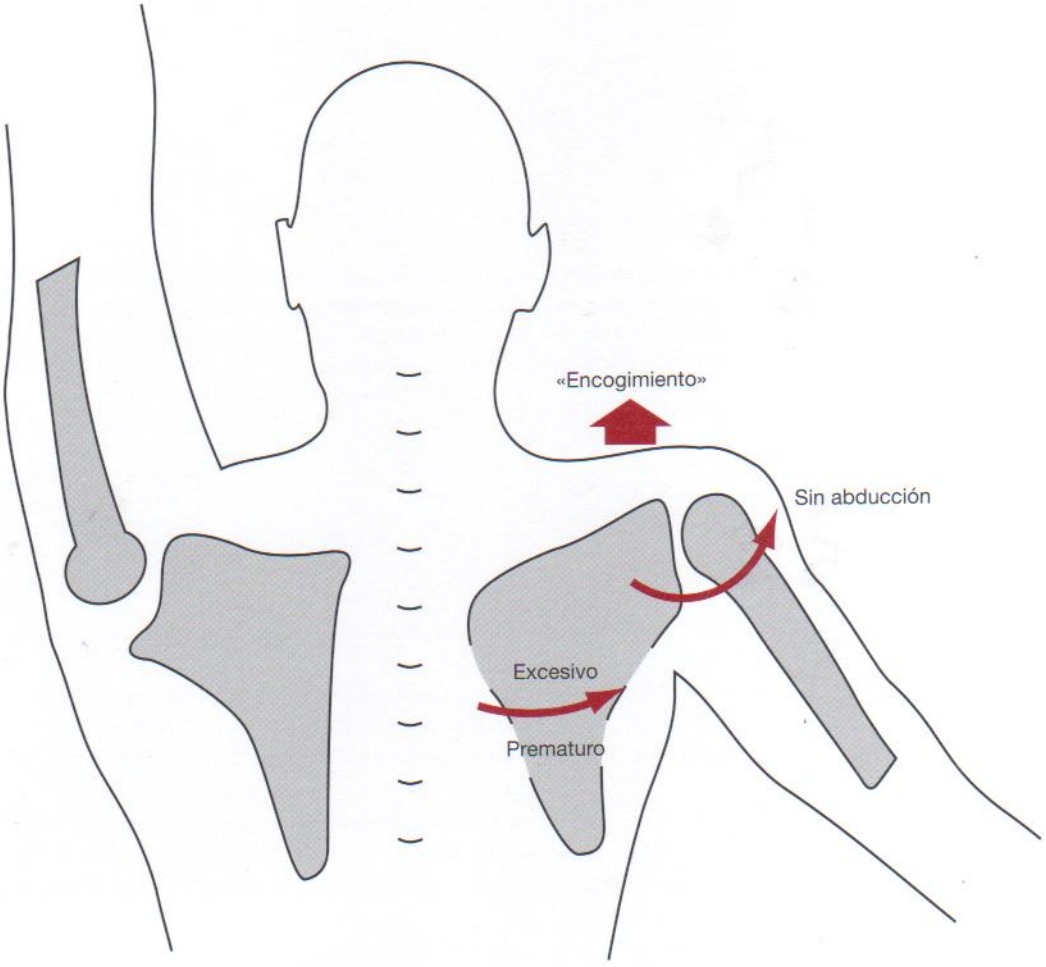


Figura 4.44. Mecanismo de encogimiento. Cuando el movimiento glenohumeral resulta limitado o completamente restringido, la escápula inicia su rotación antes que el resto (prematuro), cuando no sola, dando lugar así a que la cintura escapular «se encoja».

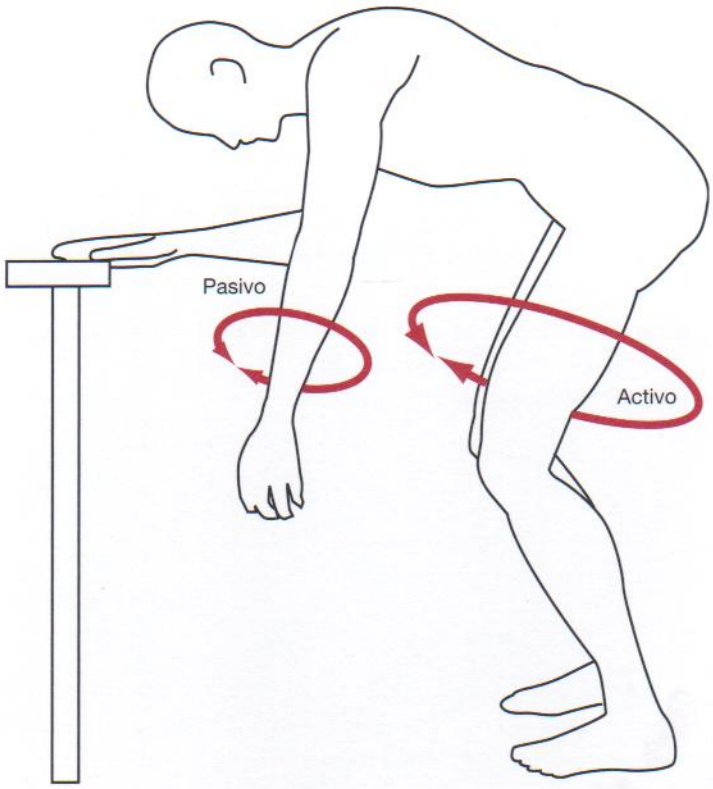


Figura 4.45. Ejercicio de Codman. Con el brazo alineado con el cuerpo, la tracción por el peso del brazo se aplica a la articulación glenohumeral. El cuerpo realiza entonces una circunducción de la articulación glenohumeral, sin provocar contracción muscular alguna en los músculos de la articulación.

BIBLIOGRAFÍA

1. MacConnaill MA. Studies in the mechanics of synovial joints. *Irish J Med Sci.* 1946,21:223.
2. MacConnaill MA. The movement of bones and joints. *J Bone Joint Surg.* 1951;32:244.
3. Cailliet R. *Shoulder Pain.* 3rd ed. Philadelphia, Pa: FA Davis Co; 1991.
4. MacConnaill MA. Rotatory movements and functional decalage. *Br J Phys Med.* 1950;30:5-56.
5. Kent BE. Functional anatomy of the shoulder complex: a review. *Phys Ther.* 1971;51:947.
6. Codman EA. *The Shoulder.* Boston, Mass: Thomas Todd Co; 1934.
7. Inman V, Saunders M, Abbott IC. Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg.* 1944;36:1-30.
8. Jones L. The shoulder joint. *Calif Med.* 1956;84:185-192.
9. Freedman L, Munro R. Abduction of the arm in the scapular plane: scapular and glenohumeral movements. *J Bone Joint Surg Am.* 1966;48:1503-1510.

capítulo 5

Anatomía funcional del codo, la muñeca, la mano y los dedos

Codo

El codo consta de tres articulaciones: la humerocubital, la radiohumeral y la radiocubital (Fig. 5.1). La articulación humerocubital permite la flexión y la extensión, mientras que la radiohumeral y la radiocubital permiten la pronación y la supinación del antebrazo (Fig. 5.2).

La articulación del codo se encuentra estabilizada por dos ligamentos colaterales principales, uno anterior y otro posterior. El anterior surge de la cara medial del cúbito y el radio. El posterior es más delgado, y limita el movimiento de flexión del codo cuando éste se flexiona más de 90° (Fig. 5.3).

Tres músculos mueven los huesos de la articulación del codo:

1. El músculo braquial, que se origina en la mitad inferior del húmero y se fija a la cara anterior de la apófisis coronoides. Es el principal músculo flexor del codo. Se encuentra inervado por el nervio musculocutáneo (raíces C5, C6 y C7).
2. El bíceps, con sus cabezas larga y corta, que se unen hacia la porción media del húmero. Se inserta en la cara medial del radio. Es un músculo predominantemente supinador del antebrazo, aunque también es flexor. Está inervado por el nervio musculocutáneo (raíces C5, C6 y C7).
3. El tríceps, que se origina en la parte posterior e inferior del húmero y va a insertarse en el cúbito. Es extensor del brazo. Está inervado por el nervio radial (raíces C5, C6, C7, C8 y, frecuentemente, T1).

Los músculos del antebrazo que se originan en la región del codo son el flexor radial del carpo, el palmar largo, el flexor superficial de los dedos, una cabeza del pronador redondo, el extensor radial corto del carpo, el extensor de los dedos, el extensor del meñique, el extensor cubital del carpo y el ancóneo. Todos estos músculos actúan sobre la muñeca y los dedos, y secundariamente sobre la articulación del codo. Se originan en los epicóndilos (Figs. 5.4 y 5.5).

La cara anterior del codo, llamada *fosa antecubital*, incluye el tendón del bíceps, las arterias radial y braquial, los nervios mediano y cubital y el origen de muchos de los músculos del antebrazo.

Hay muchos nervios que pasan por la proximidad de la articulación del codo. El nervio cubital pasa por encima de la fosa olecraniana y se encuentra expuesto directamente a la presión, traumatismos o ambos. Pasa por un surco por detrás del cóndilo medial, y está cubierto por una vaina fibrosa que forma el túnel cubital. El nervio se introduce en el antebrazo entre las dos cabezas del músculo flexor cubital (Fig. 5.6).

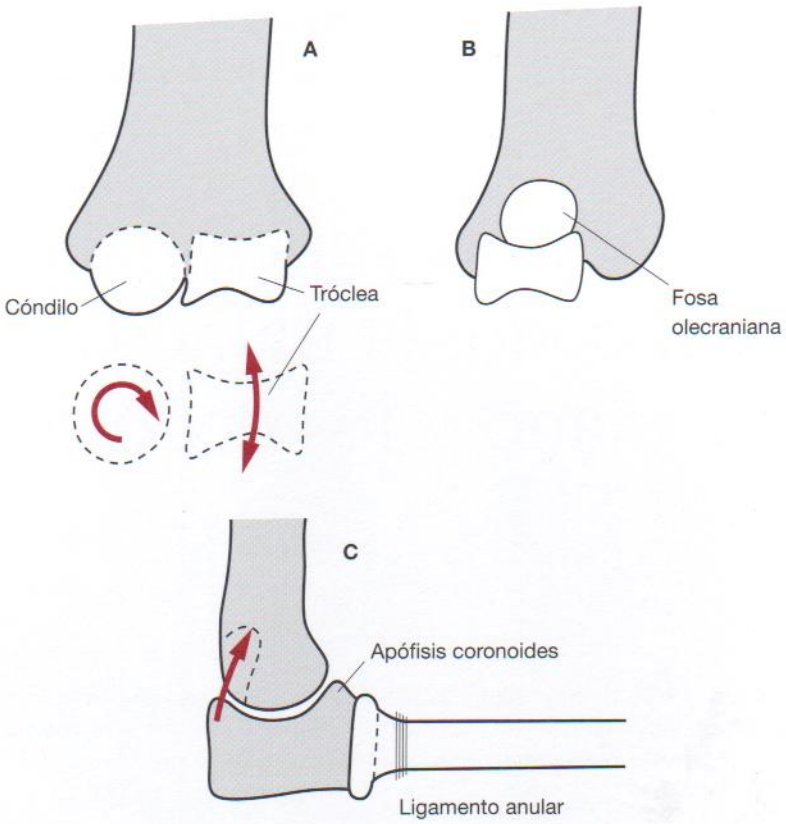


Figura 5.1. Anatomía de los huesos del codo. A, Vista anterior en la que se aprecia la forma esférica del cóndilo humeral sobre el que rota el radio. La tróclea tiene forma de cuchara, y alrededor de ella se flexiona y extiende el cúbito. **B,** Vista posterior del húmero donde se observa la fosa olecraniana, en la que se introduce la parte posterior del olécranon cuando se extiende el codo. **C,** Vista lateral del codo.

El nervio radial se ramifica desde la región del codo y desciende por el antebrazo. En el codo, pasa por delante del cóndilo lateral del húmero, entre los músculos braquial y braquiorradial. Por debajo de la articulación del codo, pasa bajo el origen del músculo extensor radial corto. Este músculo se origina en una banda fibrosa que se extiende desde el epicóndilo hasta la fascia profunda de la superficie palmar del antebrazo (Figs. 5.7 y 5.8).

La rama superficial se dirige hacia fuera, y la profunda desciende y penetra en el músculo supinador a través de una pequeña hendidura. Al salir de ella pasa a llamarse nervio interóseo posterior. La rama superficial recoge la sensibilidad del área adyacente a la tabaquera anatómica que queda sobre los músculos situados entre el primer y el segundo metacarpianos (véase la Fig. 5.34 para una descripción de la tabaquera anatómica.)

El nervio mediano (C6, C7, C8 y T1) desciende desde el brazo y penetra en el antebrazo, pasando entre las cabezas cubital y humeral del músculo pronador redondo (pronator teres). En este lugar forma la rama interósea anterior (Fig. 5.9).

Hay, por tanto, numerosas estructuras en el espacio antecubital del codo: las arterias radial y braquial, los nervios mediano y cubital, el origen del músculo braquial y el tendón del bíceps (Fig. 5.10).

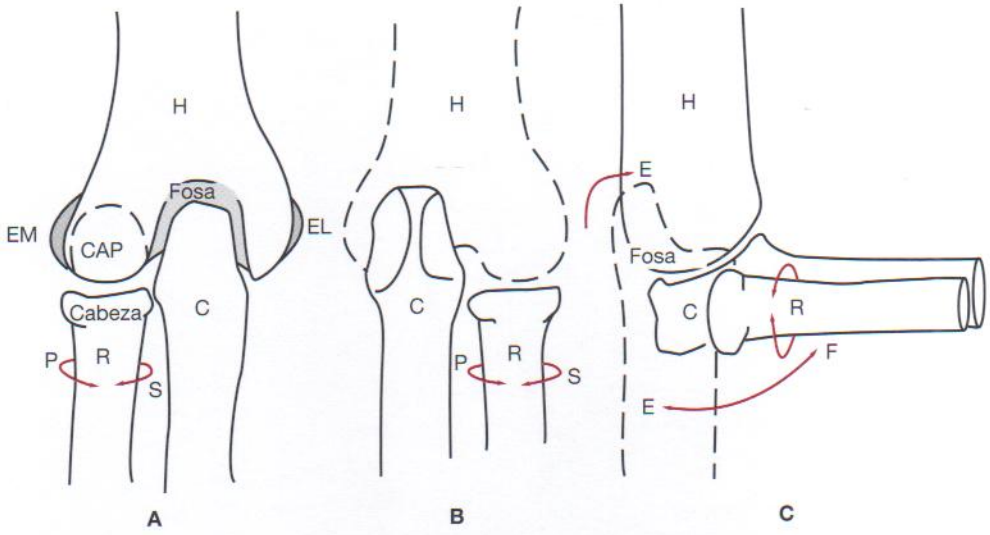


Figura 5.2. Anatomía funcional de las articulaciones del codo. A, Rotación de la cabeza del radio (R): pronación (P) y supinación (S). **B,** Cúbito (C) en extensión completa e introducido en la fosa correspondiente del húmero (H). **C,** Flexión (F) del codo y extensión (E) en trazo discontinuo. EM, epicóndilo medial; EL, epicóndilo lateral.

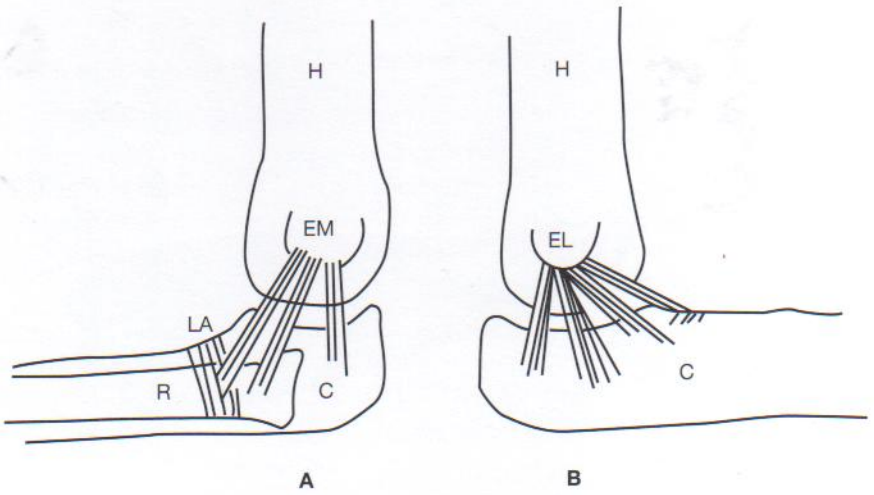


Figura 5.3. Ligamentos colaterales de la articulación del codo. A, Ligamentos colaterales que se originan en el epicóndilo medial (EM) del húmero (H) y se fijan al radio (R) y al ligamento anular (LA). **B,** Ligamento colateral lateral que nace en el epicóndilo lateral (EL) y se fija al cúbito (C).

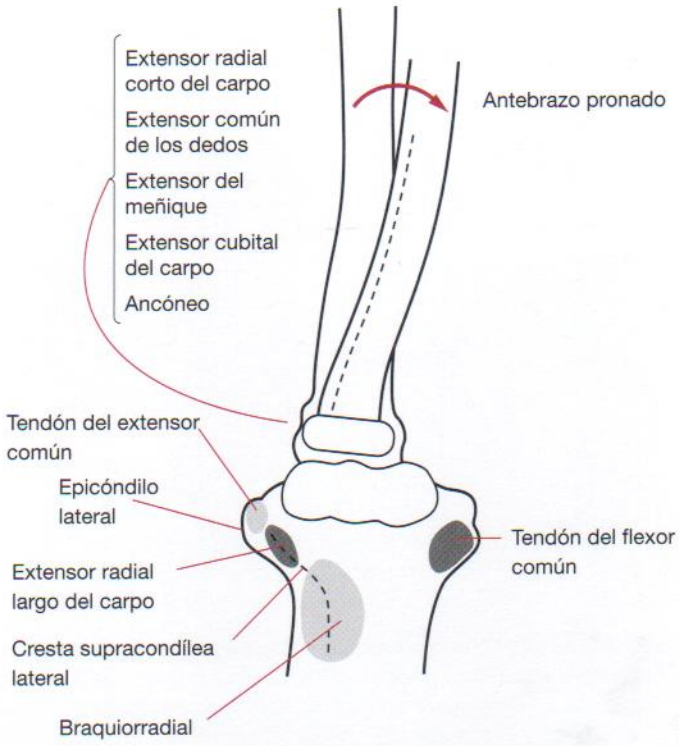


Figura 5.4. Vista de los huesos del codo. Lugares de origen de los músculos del antebrazo izquierdo, con el antebrazo pronado (visto desde arriba).

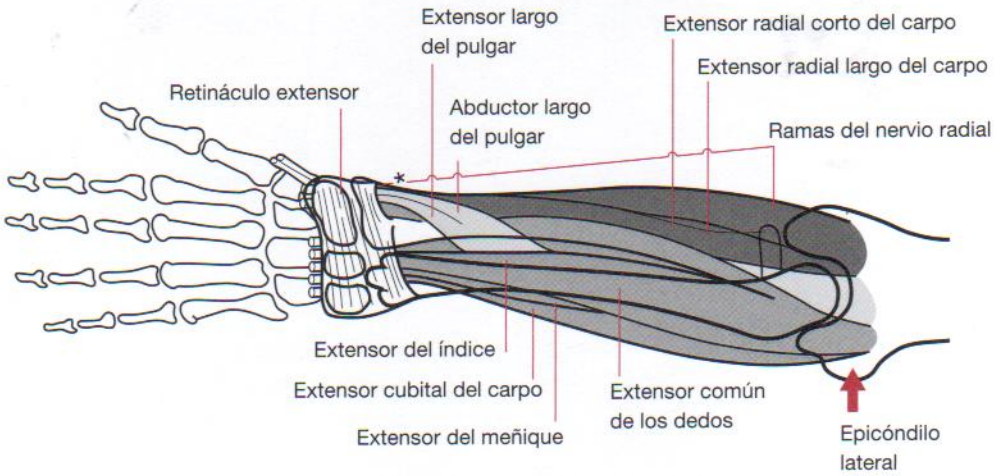


Figura 5.5. Músculos extensores del antebrazo. Origen e inserción de los músculos extensores del antebrazo izquierdo. El grupo de músculos extensores se origina en el epicóndilo lateral. El asterisco indica los lugares de inserción.

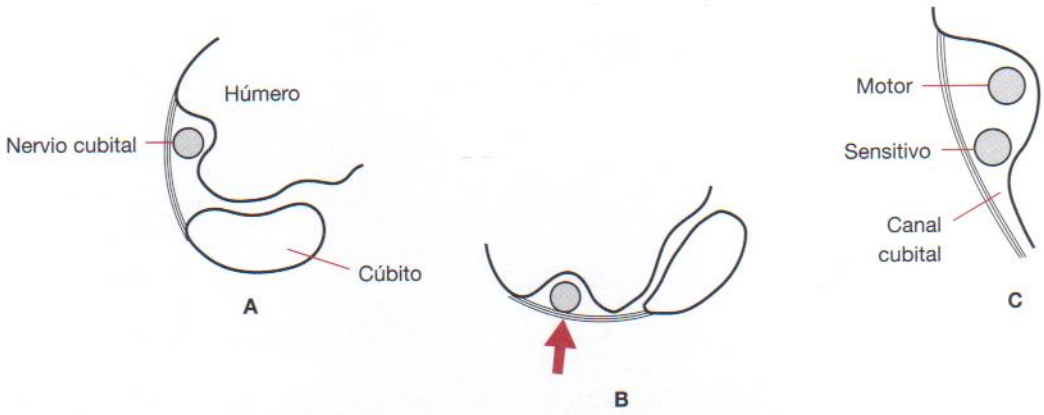


Figura 5.6. Túnel cubital. A, Nervio cubital en el túnel del mismo nombre. **B,** Nervio cubital durante la pronación completa del antebrazo. **C,** División anatómica del nervio cubital en fibras sensitivas y motoras.

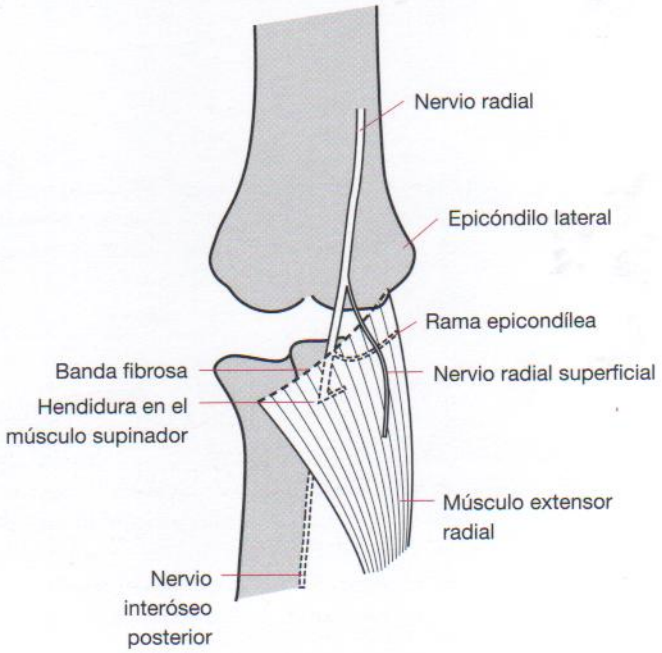


Figura 5.7. Rama profunda del nervio radial. La rama profunda del nervio radial pasa bajo una banda fibrosa, que es el lugar de origen del músculo extensor radial largo del carpo. Las ramas superficiales del nervio radial pasan por encima de la banda.

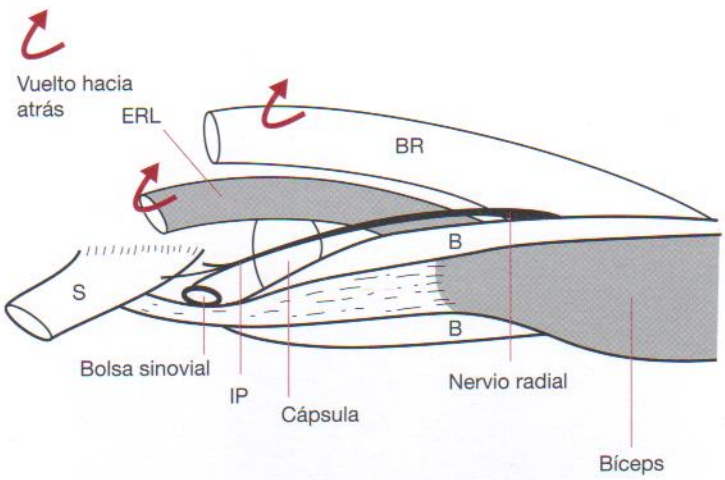


Figura 5.8. Nervio radial en el codo. Trayecto del nervio radial por el codo. La cápsula de la articulación está debajo de todos los músculos. B, músculo braquial; BR, músculo braquiorradial; ERL, músculo extensor radial largo (extensor carpi radialis longus); S, músculo supinador; IP, músculo interóseo posterior.

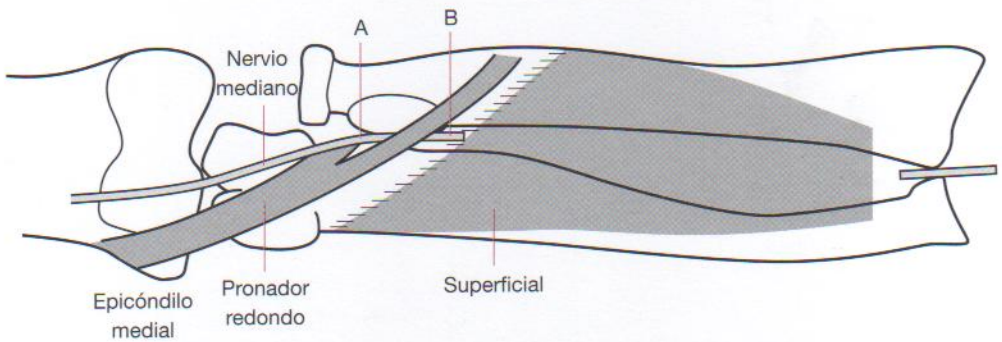


Figura 5.9. Trayecto del nervio mediano en el codo. El nervio mediano pasa distalmente por la articulación del codo a través de la división del músculo pronador redondo (A-B), y después pasa por debajo del músculo flexor superficial de los dedos.

Músculos extrínsecos

Todos los músculos del antebrazo que mueven la mano y los dedos atraviesan la articulación de la muñeca y se originan en el codo o próximos a él. El grupo palmar se origina en el cóndilo medial del húmero, y es flexor. El grupo que se origina en el cóndilo lateral del húmero es extensor. El grupo dorsal de músculos extensores del antebrazo está compuesto por las capas superficial y profunda. La capa superficial se divide en los grupos lateral y posterior. Estos dos grupos están separados por los músculos intrínsecos del pulgar. El grupo superficial se origina en el tendón del extensor común, que se une al cóndilo lateral, tabique intermuscular y cresta supracondílea lateral (Fig. 5.11; véase también la Fig. 5.5).

Los músculos flexores anteriores se originan en el área condílea medial del húmero, y se dividen en dos grupos: superficial y profundo. El grupo superficial se origina como una masa muscular común en el área epicondílea, mientras que el grupo profundo se origina en diferentes lugares de la cara anterior del radio y el cúbito (Fig. 5.12). Los músculos que mueven la mano y los dedos se originan en el antebrazo, por debajo del codo (Fig. 5.13).

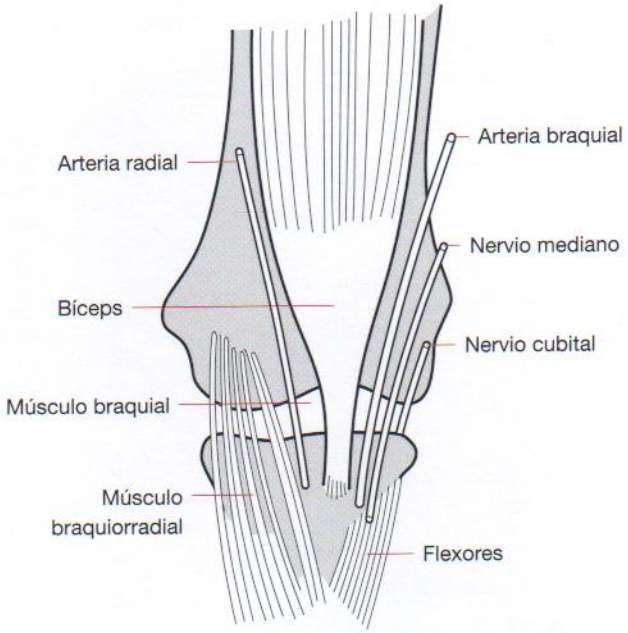


Figura 5.10. Contenido de la fosa antecubital del codo. Estructuras de la fosa antecubital del codo.

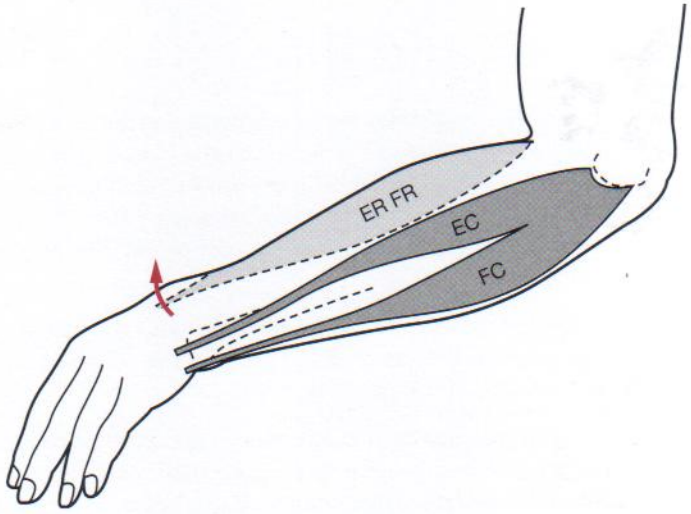


Figura 5.11. Origen de los músculos extensores del antebrazo. Músculos radiales (extensor radial, ER, y flexor radial, FR) que se originan en la cresta supracondílea. Los músculos cubitales (extensor cubital, EC, y flexor cubital, FC) se originan en el epicóndilo lateral.

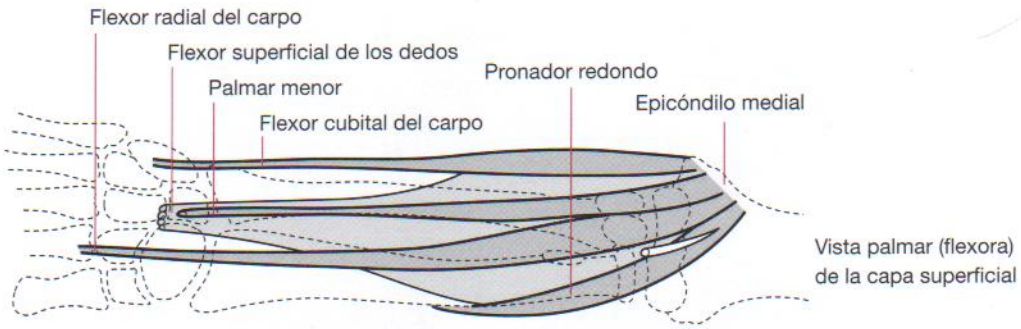


Figura 5.12. Origen del grupo palmar superficial. El grupo muscular palmar superficial se origina en el epicóndilo medial. Estos músculos son flexores de la muñeca y los dedos.

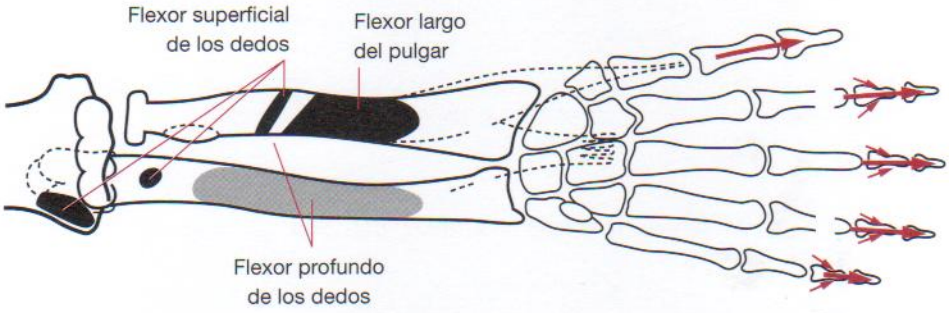


Figura 5.13. Origen de los músculos flexores. El músculo flexor largo del pulgar y los flexores superficial y profundo de los dedos se originan en la porción intermedia del radio y el cúbito.

Muñeca

La articulación de la muñeca, también llamada *carpo*, es la articulación que hay entre el antebrazo y los huesos del carpo. Existen ocho huesos carpianos dispuestos en dos filas. La fila proximal contiene, comenzando por el lado del pulgar, los huesos navicular o escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme. Este último se encuentra por delante del piramidal. Proximalmente encontramos el radio y el cúbito. La apófisis estiloides del radio se encuentra por fuera, en el lado del pulgar, mientras que el cúbito queda en el lado del dedo meñique (Figs. 5.14 y 5.15).

La apófisis estiloides radial se prolonga más que la cubital, aunque en muchas personas ambas son iguales. La superficie articular del radio está en un plano oblicuo. Las superficies dorsales del radio y del cúbito sobresalen más que la superficie palmar (Fig. 5.16).

La extremidad distal del radio es cóncava, y se articula con la superficie convexa de la hilera proximal del carpo. Se forma una unión ósea incongruente en la que las superficies articulares tienen diferente curvatura. La superficie radiocubital es menos cóncava que la superficie convexa de la fila carpiana proximal. En reposo, la mano cuelga en posición ligeramente cubital y palmar (Figs. 5.17 y 5.18).

Existen dos carillas articulares sobre la superficie distal del radio. El escafoides se desliza sobre la carilla triangular, y el semilunar lo hace sobre la cuadrilátera. Los movimientos de la muñeca son oblicuos, y el carpo se desliza sobre el cartílago de la superficie radial (Figs. 5.19, 5.20 y 5.21).

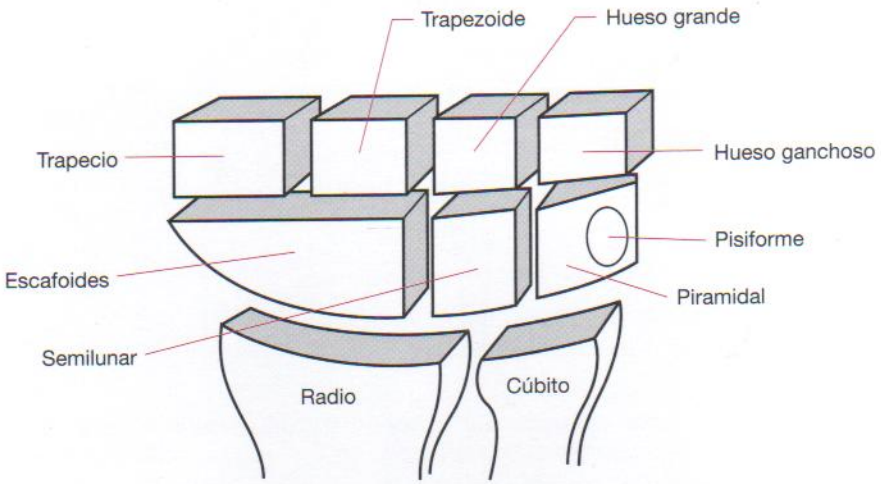


Figura 5.14. Huesos que forman la muñeca. Los huesos carpianos, el radio y el cúbito, que forman la muñeca, se muestran esquemáticamente.

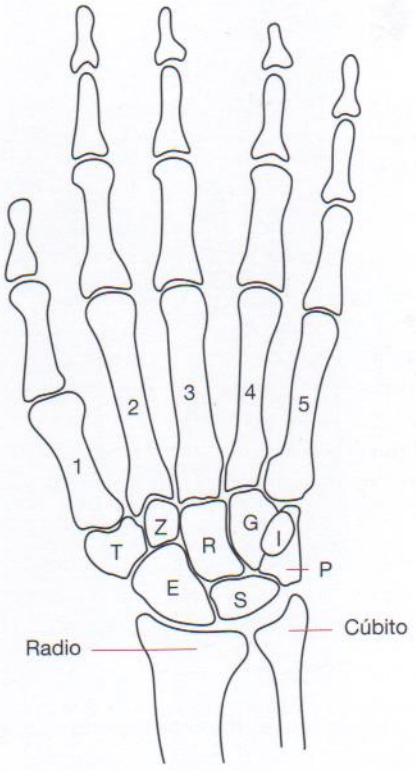


Figura 5.15. Huesos de la mano y la muñeca. Se muestran los huesos que forman la mano y la muñeca. E, escafoides; S, semilunar; P, piramidal; I, pisiforme; G, ganchoso; R, grande; T, trapecio; Z, trapezoide.

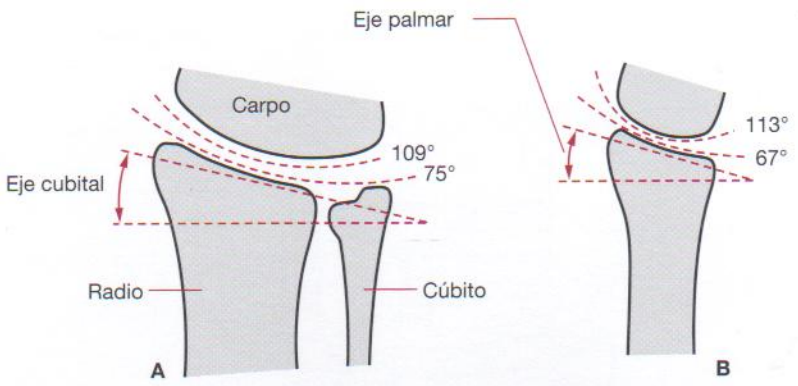


Figura 5.16. Relación del carpo con la superficie radiocubital. A, La porción lateral del radio sobresale más que la medial. La articulación está en un plano oblicuo (eje cubital). La concavidad del margen radiocubital tiene 75°, y la superficie carpiana 109°, por lo que las superficies no son congruentes. **B,** Vista lateral del relieve dorsal que forma el eje palmar. Los márgenes también son incongruentes, con un margen radial de 67° y uno carpiano de 113°.

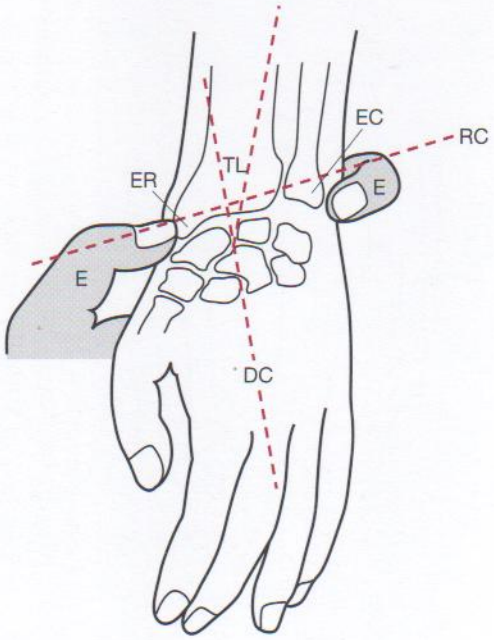


Figura 5.17. Oblicuidad de las apófisis estiloides radial y cubital: mano en reposo. La apófisis estiloides radial (ER) se prolonga más distalmente que la cubital (EC), lo que da lugar a una línea oblicua radiocubital (RC). El explorador (E) puede comprobar esta circunstancia manualmente. La oblicuidad determina que la mano en reposo esté ligeramente desviada hacia el lado cubital y el palmar (DC). TL, tubérculo de Lister, que es palpable.

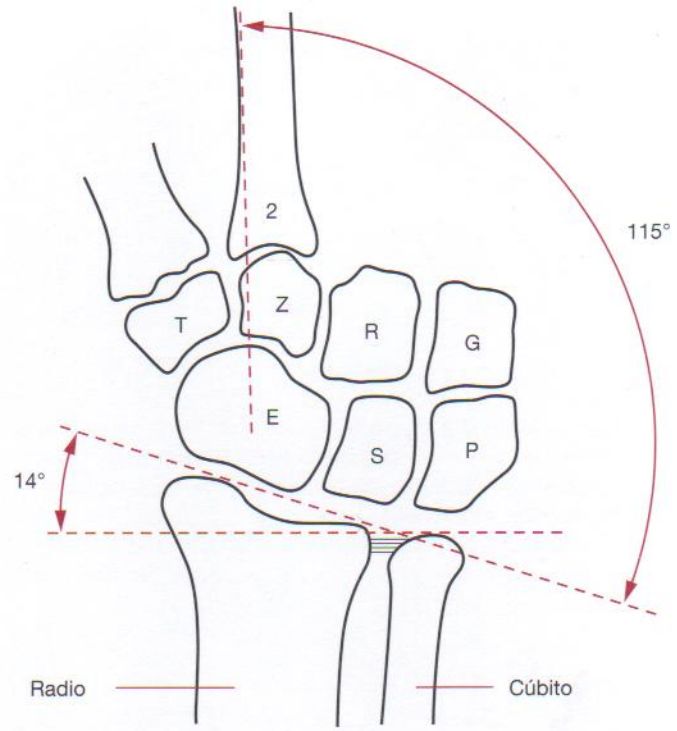


Figura 5.18. Desviación cubital. La muñeca tiene 15° de desviación cubital. El segundo metacarpiano está directamente alineado con la muñeca, la cual está desviada 115° del plano de los huesos radio y cúbito. E, escafoides; S, semilunar; P, piramidal; G, ganchoso; R, grande; T, trapecio; Z, trapezoide.

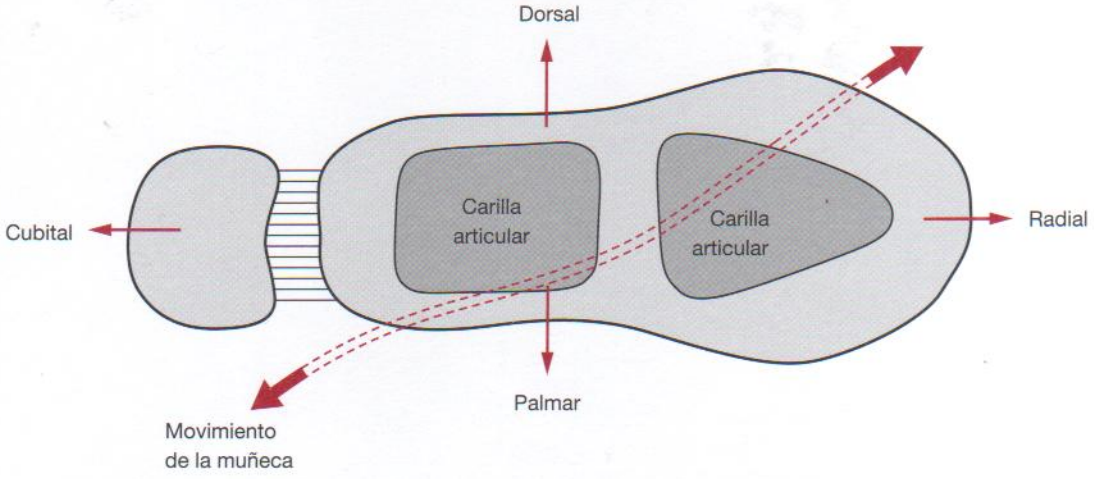


Figura 5.19. Carillas articulares de la superficie dorsal del radio. En la muñeca el carpo se mueve en oblicuo sobre las carillas del radio.

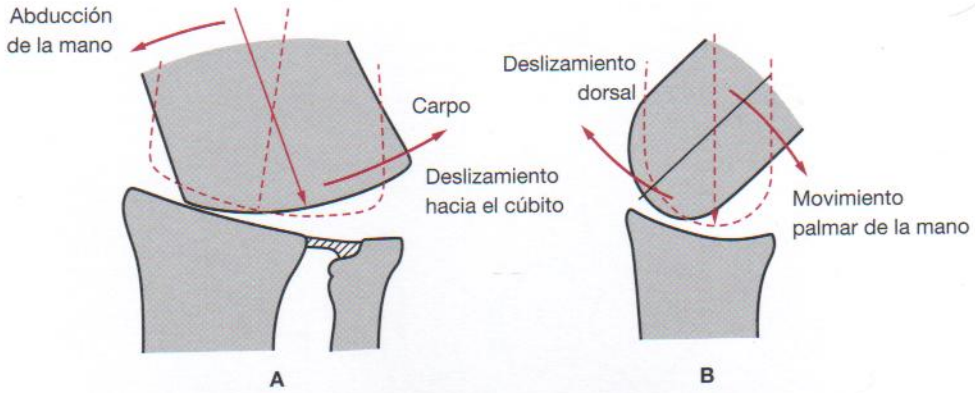


Figura 5.20. Movimiento del carpo. A, Cuando la mano se mueve radialmente, el carpo se mueve en dirección opuesta (cubital). El hueso grande se desliza cubitalmente y se aproxima a la fila proximal del carpo. **B,** Cuando la mano se mueve cubitalmente, sucede lo contrario.

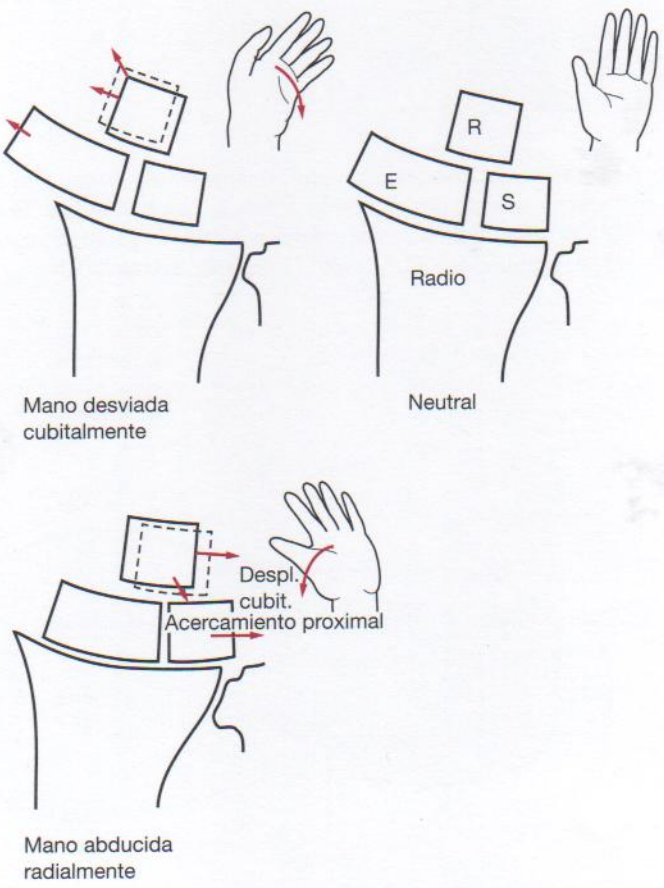


Figura 5.21. Movimiento de deslizamiento de la articulación radiocarpiana. El movimiento entre la superficie radial y la carpiana es deslizante. El carpo se desliza en dirección opuesta al movimiento de la mano. Este deslizamiento está favorecido por la laxitud de la cápsula y los ligamentos. E, escafoides; S, semilunar, R, hueso grande.

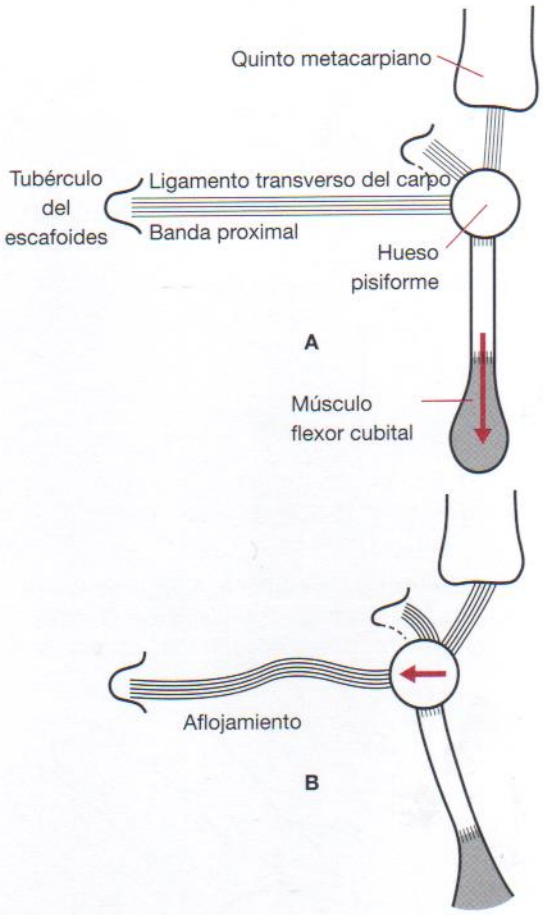


Figura 5.22. Ligamentos del hueso pisiforme. La banda proximal del ligamento transverso del carpo se une al tubérculo escafoideo del hueso pisiforme. **A,** Se tensa por la acción del músculo flexor cubital de la muñeca, en la que el pisiforme básicamente se comporta como un hueso sesamoideo. **B,** Cuando el músculo flexor cubital se relaja, los ligamentos del hueso pisiforme se aflojan.

Ligamentos de la muñeca

Los ligamentos de la mano que proporcionan sujeción a ésta al tiempo que permiten el movimiento son los ligamentos longitudinales radial y cubital y los ligamentos transverso y oblicuo. Los ligamentos colaterales cubitales nacen en la apófisis estiloides cubital y en el ligamento triangular que se une al hueso pisiforme (Fig. 5.22). Este ligamento se tensa cuando la mano se desvía radialmente.

El ligamento colateral radial nace en la apófisis estiloides del radio, se une al hueso escafoides y llega hasta el trapecio y el primer metacarpiano. Se tensa cuando la mano se desvía en dirección cubital (Fig. 5.23). Los ligamentos oblicuos transversos de la muñeca en la superficie palmar mantienen el arco carpiano (Fig. 5.24).

Los ligamentos palmares cubital y radiocarpiano convergen en la línea media para unirse a los huesos semilunar y grande y para formar el ligamento arqueado de Henle. Los ligamentos dorsales son menos simétricos y más laxos. La supinación de la mano pone tensos los ligamentos palmares, y la pronación pone tensos los dorsales. La amplitud de los movimientos activo y pasivo que se valoran clínicamente depende de la laxitud de las estructuras ligamentosas (Figs. 5.25 y 5.26).

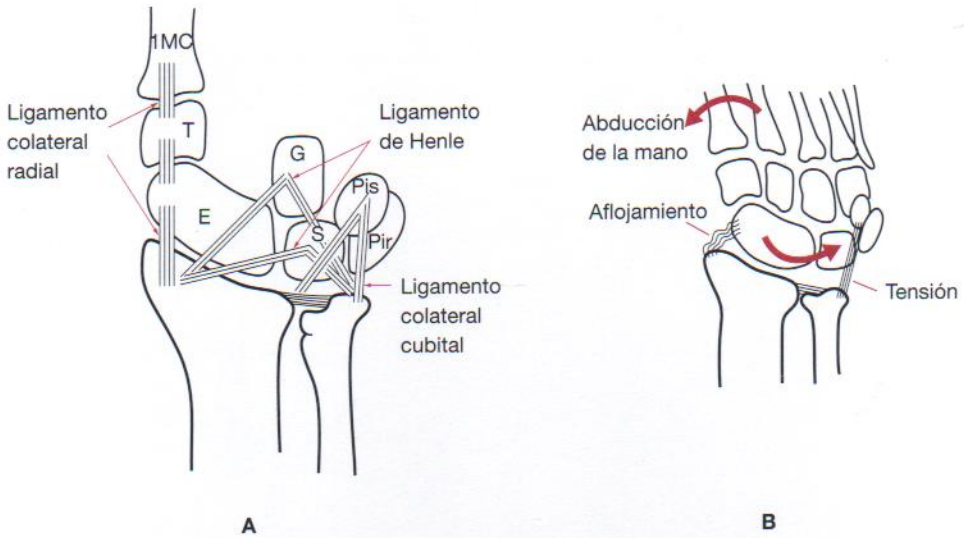


Figura 5.23. Ligamentos de la muñeca. A, Ligamentos de la muñeca. E, escafoides; S, semilunar; Pir, piramidal; Pis, pisiforme; G, hueso grande; T, trapecio; 1MC, primer metacarpiano. **B,** Acciones de los ligamentos de la muñeca.

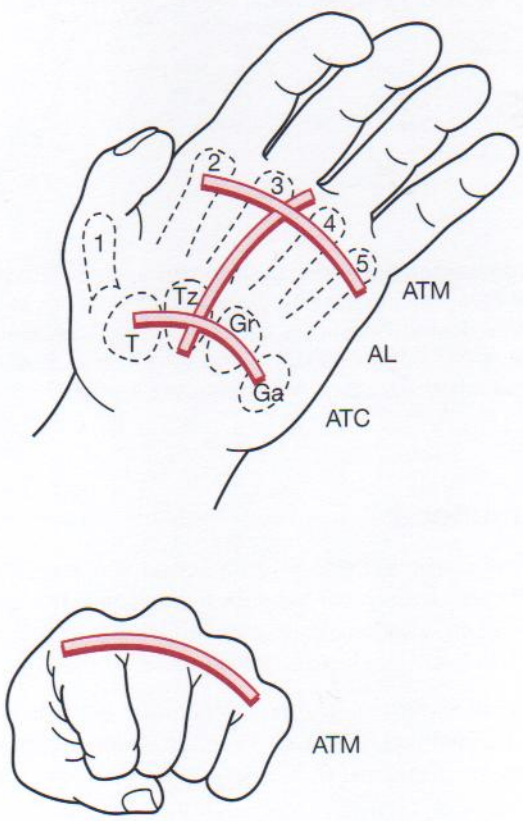


Figura 5.24. Arcos de la mano. La mano tiene varias estructuras arqueadas: el arco tranverso metacarpiano (ATM), el arco transverso carpiano (ATC) y el arco longitudinal (AL). Los huesos que constituyen estos arcos son los metacarpianos, numerados de 1 a 5, el hueso grande (Gr), el trapezoide (Tz), el hueso ganchoso (Ga) y el trapecio (T).

Huesos del carpo

Los ocho huesos del carpo se distribuyen en dos filas. Cada hueso tiene forma cuboidea, con seis superficies. Las cuatro superficies que se articulan con otros huesos del carpo están cubiertas por cartílago. Las otras, la dorsal y la ventral, están descubiertas y son rugosas para permitir las inserciones ligamentosas.

La hilera proximal contiene los huesos escafoides, semilunar y piramidal. El cuarto hueso, el pisiforme, está en la superficie palmar del hueso piramidal, y puede considerarse un hueso sesamoideo del tendón del músculo flexor cubital. La fila proximal se articula con el radio y el cúbito para formar la articulación de la muñeca.

La fila distal contiene el trapecio (multiangular mayor), trapezoide (multiangular menor), hueso grande y hueso ganchoso. La parte distal de la hilera proximal es cóncava, y se articula con la parte convexa de la hilera distal. El trapecio y el trapezoide se articulan con el escafoides, el hueso grande y el semilunar, y el hueso ganchoso se articula con el piramidal. Ningún hueso del carpo se articula con el cúbito.

Los huesos del carpo están estrechamente «empaquetados», lo que supone que cada superficie es simétrica respecto a la superficie opuesta, con la cual se une además mediante los ligamentos intercarpianos (Fig. 5.27).

El arco palmar se mantiene gracias al ligamento transverso del carpo, que se une al tubérculo del hueso escafoides y se extiende hasta el pisiforme. Dado que el hueso pisiforme es básicamente un hueso sesamoideo incluido en el tendón del flexor cubital, el ligamento se puede relajar en cierta medida cuando el músculo se contrae; por ejemplo, cuando la mano se coloca en flexión cubital. La banda distal del ligamento transverso está siempre en tensión, pues está unida a dos puntos fijos: el tubérculo del trapecio y el gancho del hueso ganchoso (Fig. 5.28).

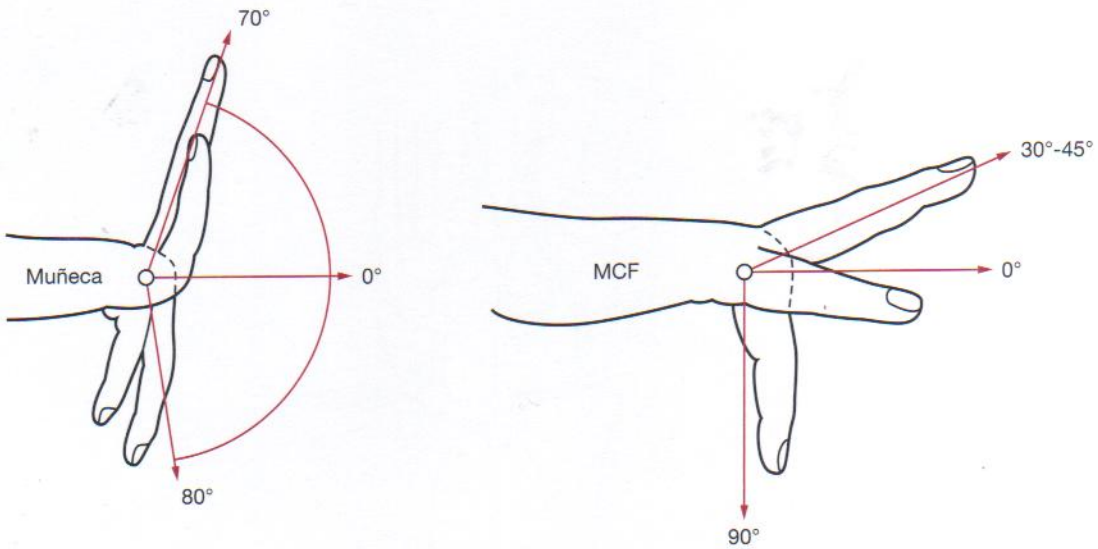


Figura 5.25. Medición de la amplitud del movimiento de la muñeca. La amplitud media del movimiento de la muñeca es de 70° para la extensión y de 80° para la flexión. La amplitud en las articulaciones metacarpofalángicas (MCF) es de 30° a 45° para la extensión y de 90° para la flexión.

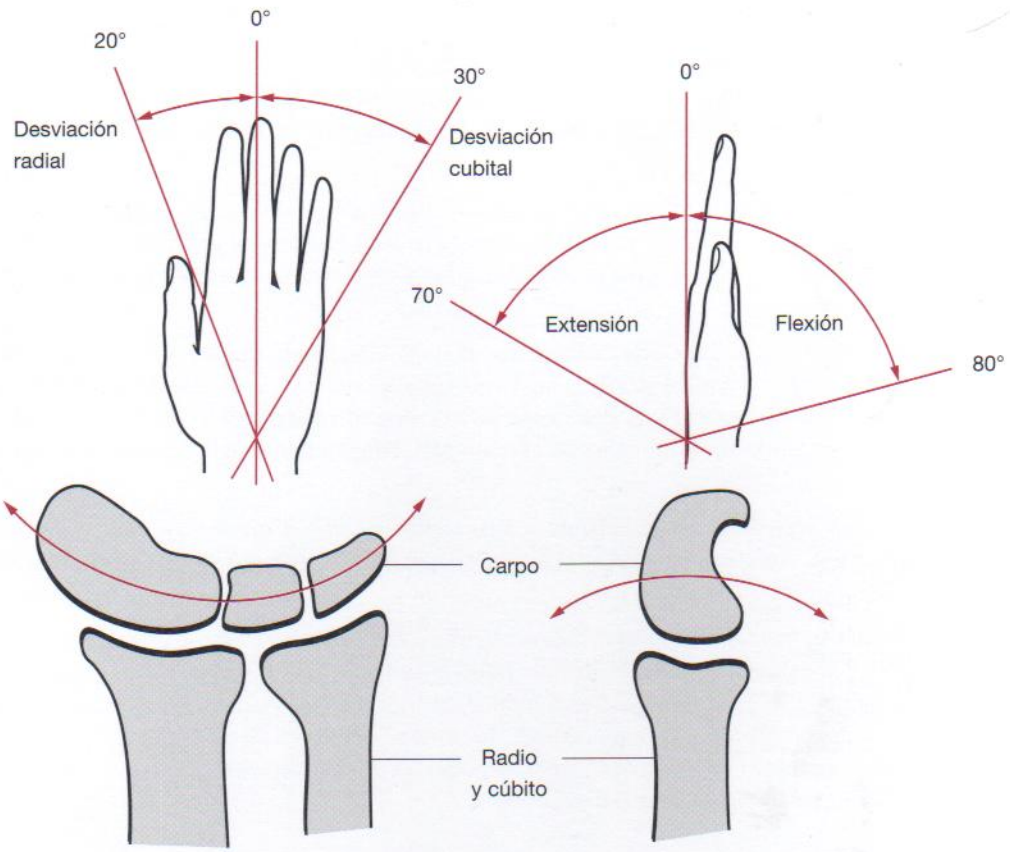


Figura 5.26. Medición de las desviaciones radial y cubital de la muñeca. La muñeca se desvía radialmente 20° y cubitalmente 30°. Los 70° de extensión y los 80° de flexión son un promedio.

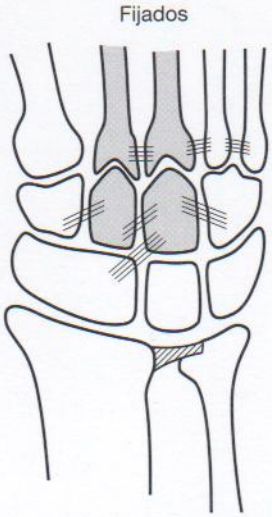


Figura 5.27. Ligamentos intercarpianos. Los ligamentos dorsales se relacionan con los ligamentos palmares (en la figura) y con los huesos que unen. Hay pocos ligamentos entre las filas proximal y distal del carpo.

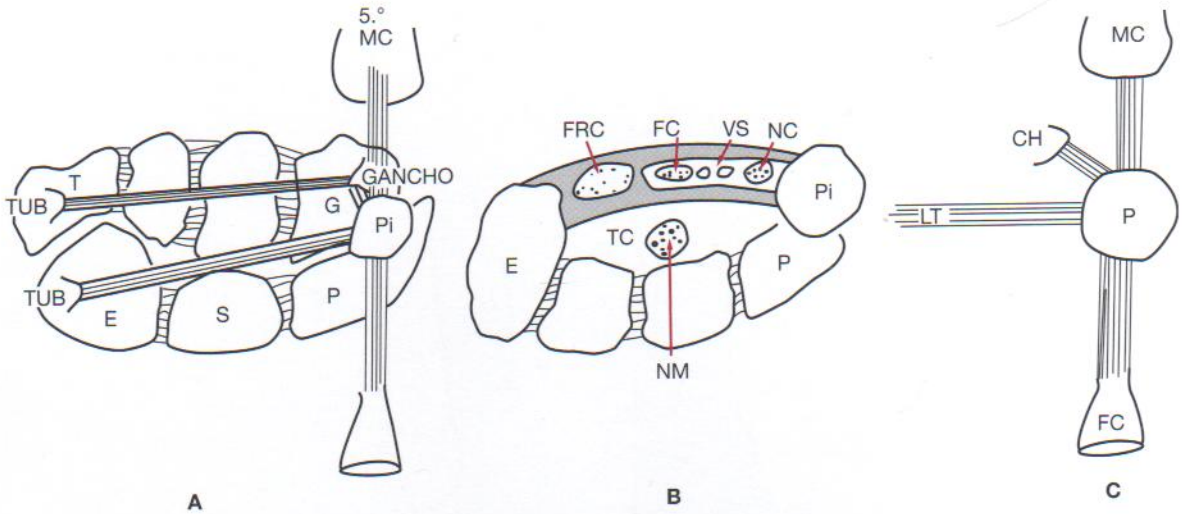


Figura 5.28. Ligamentos transversos del carpo. Los ligamentos transversos del carpo (LT) también se denominan retináculo flexor. Están formados por dos bandas: la proximal, que va desde el tubérculo (TUB) del escafoides (E) hasta el hueso pisiforme (Pi), y la distal, que se extiende entre el tubérculo del trapecio (T) y el gancho del ganchoso (G). S, semilunar; P, piramidal; MC, metacarpiano; TC, túnel del carpo; NM, nervio mediano; FRC, flexor radial del carpo; VS, vasos sanguíneos; NC, nervio cubital.

La concavidad de los huesos del carpo está cerrada por los ligamentos transversos, formándose así el túnel del carpo. Este túnel contiene los tendones del flexor profundo de los dedos, que descansa sobre los huesos del carpo y los ligamentos intercarpianos. También contiene los tendones del flexor superficial de los dedos, el flexor radial del carpo, el flexor largo del pulgar y el nervio mediano (Figs. 5.29, 5.30 y 5.31).

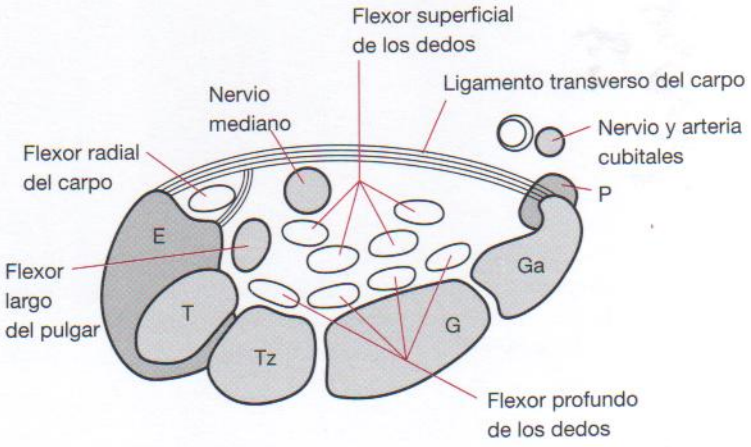


Figura 5.29. Contenido del túnel del carpo. Túnel formado por los huesos del carpo y los ligamentos transversos, que contiene los tendones de los flexores largos de los dedos (profundo y superficial), los tendones del flexor largo del pulgar y el flexor radial del carpo y el nervio mediano. E, escafoides; T, trapecio; Tz, trapezoide; G, hueso grande; Ga, hueso ganchoso; P, pisiforme.

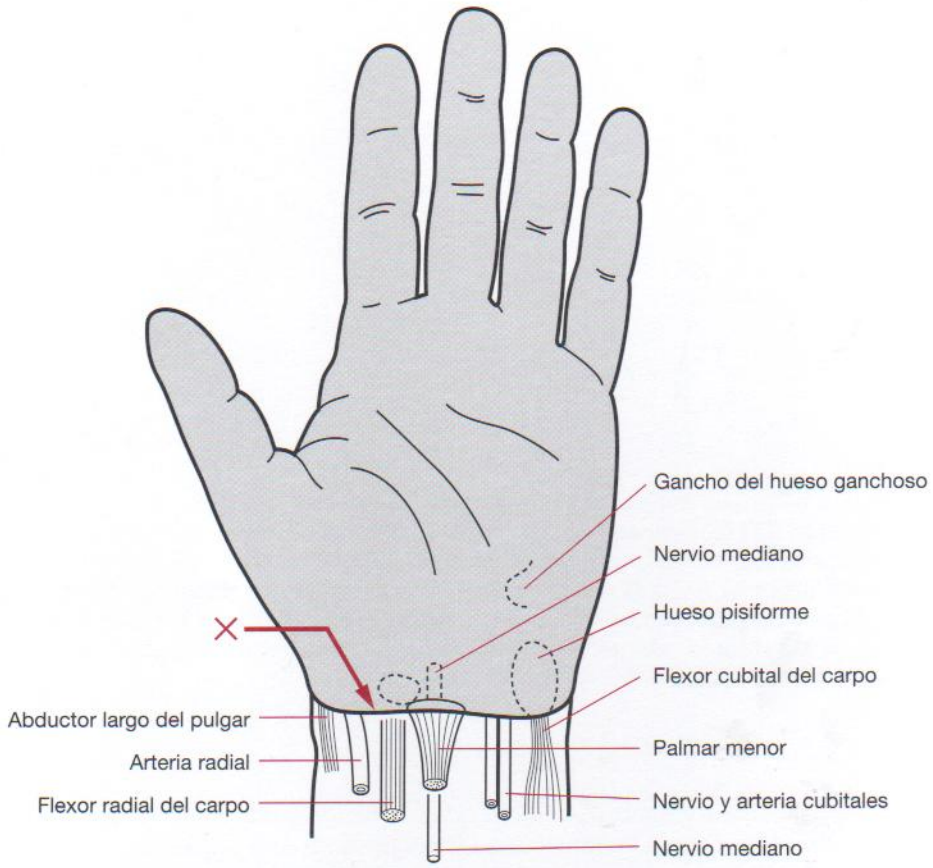


Figura 5.30. Detalles anatómicos de la superficie palmar de la muñeca. La X señala el pliegue en la superficie palmar de la muñeca por debajo del cual pasan todas las estructuras mencionadas.

Túnel cubital

El túnel cubital, también conocido como canal de Guyon, es un estrecho pasadizo entre el hueso pisiforme y el gancho del hueso ganchoso. El suelo es una delgada capa de ligamento y músculo, y el techo está formado por el ligamento palmar del carpo y el músculo palmar mayor. Contiene el nervio cubital, los vasos sanguíneos y el tendón del músculo flexor cubital de la muñeca (Figs. 5.32 y 5.33).

Hueso escafoides (navicular)

El hueso escafoides también se conoce como hueso *navicular,* y es el hueso más intrínsecamente radial y el más largo del carpo proximal. Está situado en la parte inferior de la tabaquera anatómica (Fig. 5.34). El escafoides es el hueso hacia el que todos los dedos se flexionan (Fig. 5.35).

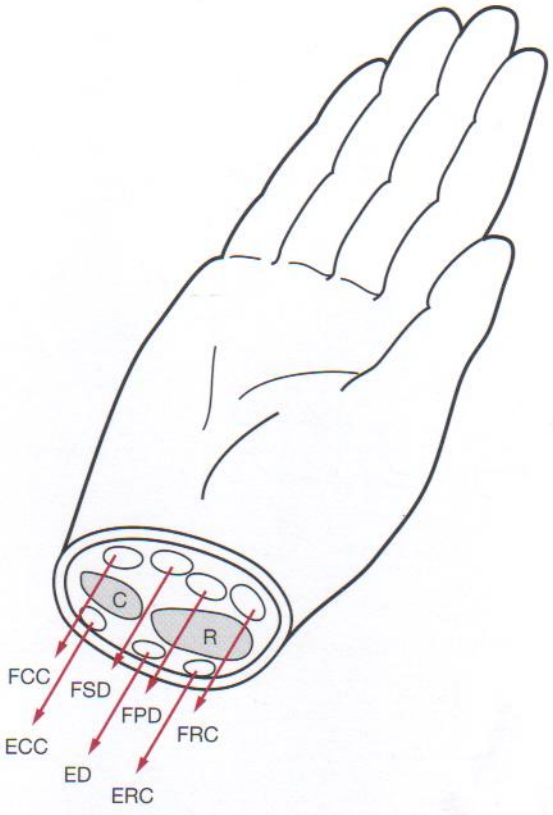


Figura 5.31. Sección transversal de la muñeca. En la muñeca hay siete tendones que transmiten a los dedos la fuerza ejercida por músculos extrínsecos del antebrazo y que pasan por la muñeca. Los tendones flexores incluyen el flexor radial del carpo (FRC), el flexor superficial de los dedos (FSD), el flexor profundo de los dedos (FPD), el flexor cubital del carpo (FCC), el extensor radial del carpo (ERC), el extensor de los dedos (ED) y el extensor cubital del carpo (ECC). C, cúbito; R, radio.

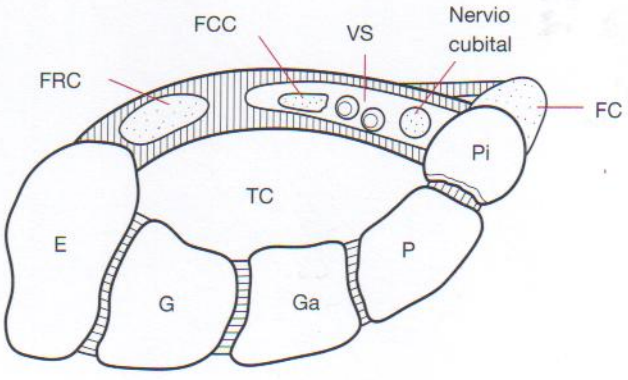


Figura 5.32. Canal de Guyon. El canal de Guyon es adyacente al túnel del carpo (TC) y está en el retináculo flexor. Contiene el nervio cubital, el tendón del músculo flexor cubital del carpo (FCC) y la arteria y venas cubitales. La base del canal está constituida por los huesos escafoides (E), grande (G), ganchoso (Ga), piramidal (P) y pisiforme (Pi). FRC, flexor radial del carpo; VS, vasos sanguíneos.

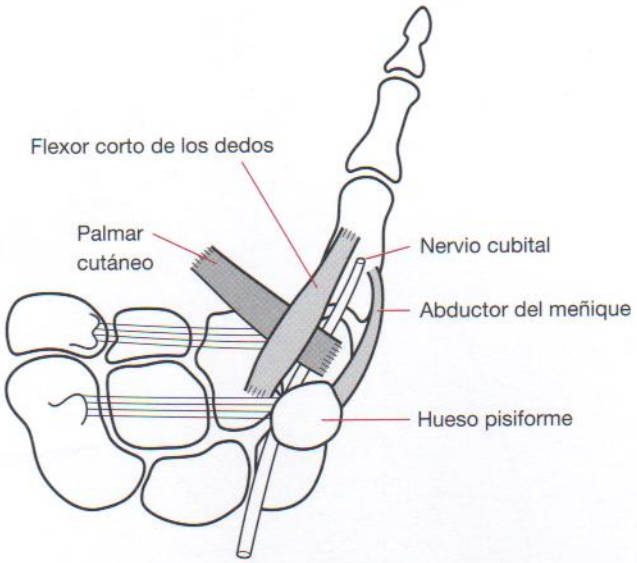


Figura 5.33. Entrada del nervio cubital. Entrada del nervio cubital en el canal de Guyon.

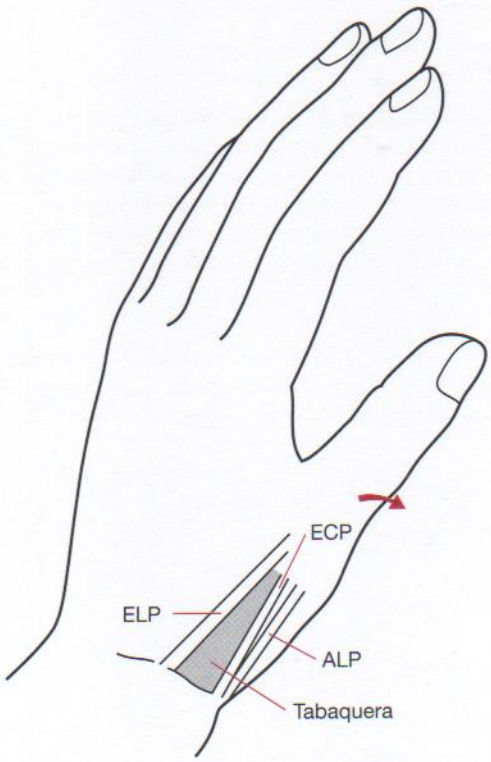


Figura 5.34. Tabaquera anatómica. La tabaquera anatómica es una depresión palpable (área sombreada) que discurre sobre el hueso navicular y entre el músculo extensor largo del pulgar (ELP), el extensor corto del pulgar (ECP) y el abductor largo del pulgar (ALP). El término se debe a que en esta área anatómica era donde se colocaba el rapé para ser inhalado.

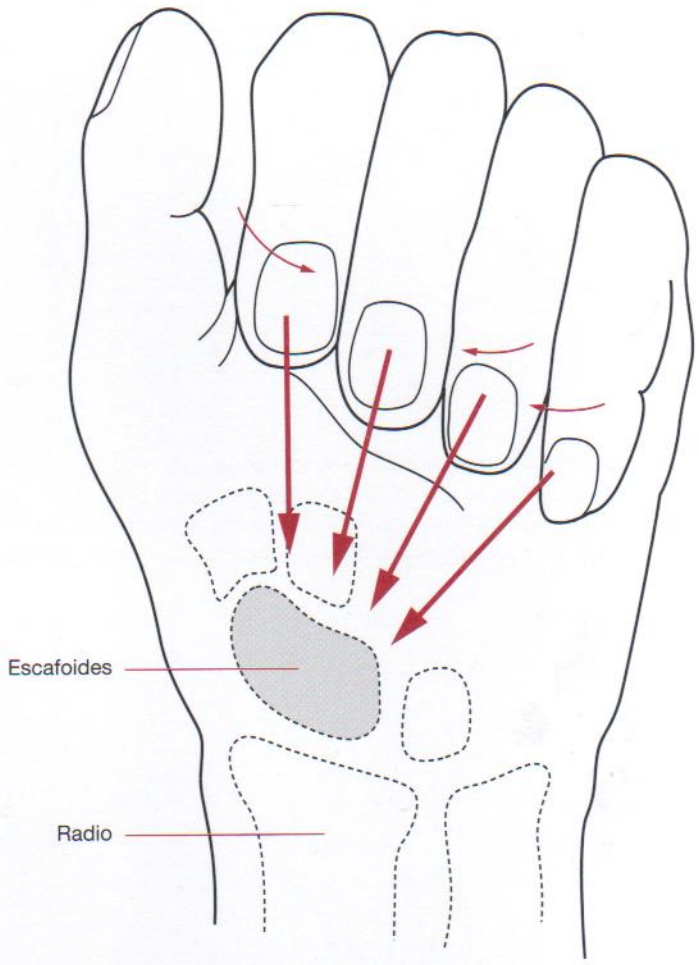


Figura 5.35. Flexión de los dedos hacia el hueso escafoides. Los dedos, en condiciones normales, se flexionan a través de la palma hacia el hueso navicular (flechas grandes). El dedo medio se flexiona y el resto rotan.

Mano y dedos

Metacarpianos

Los metacarpianos se articulan con el borde irregular de la fila distal del carpo (Fig. 5.36).

El movimiento de los metacarpianos es complejo y varía de forma individual en cada uno de ellos. El pulgar rota sobre su base describiendo una circunducción, y todos los metacarpianos se mueven de forma compleja sobre sus bases individuales (Figs. 5.37, 5.38, 5.39, 5.40 y 5.41).

Parece que los complejos movimientos globales de la mano varían con los movimientos de cada metacarpiano y falange proximal. Los movimientos dependen de la articulación y de la musculatura, y son distintos dependiendo de la función para la que se necesiten, así como de su retroalimentación sensitiva.

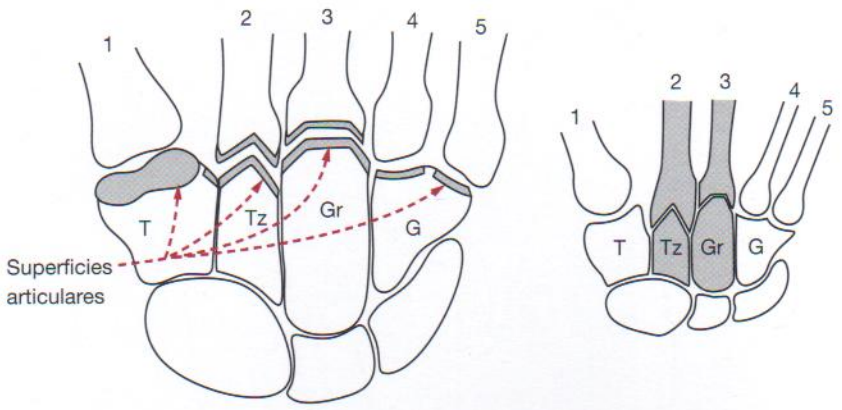


Figura 5.36. Articulaciones carpometacarpianas. Los cinco metacarpianos se articulan con los cuatro huesos de la fila distal del carpo. Debido a la configuración de los huesos del carpo, el segundo y tercer metacarpianos se articulan con el trapezoide (Tz) y el hueso grande (HG). T, trapecio; G, hueso ganchoso.

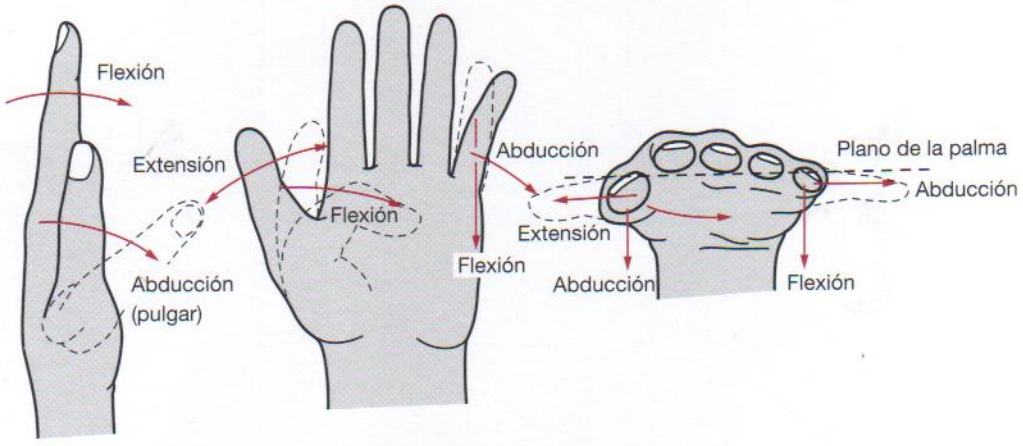


Figura 5.37. Movimientos de los metacarpianos. En el pulgar la extensión consiste en los movimientos de alejamiento del lado radial del índice en la palma de la mano. La abducción es el movimiento de alejamiento de la palma en un plano perpendicular al plano de dicha palma. La flexión es el movimiento de alejamiento de la palma hacia el lado cubital. La abducción del pulgar es perpendicular al plano de la palma. Los dedos 2, 3 y 4 se flexionan hacia el hueso navicular. En el quinto dedo la extensión involucra a todas las falanges. La abducción se realiza mediante el alejamiento de la palma a lo largo de su propio plano. La flexión es de 90° en la articulación metacarpofalángica.

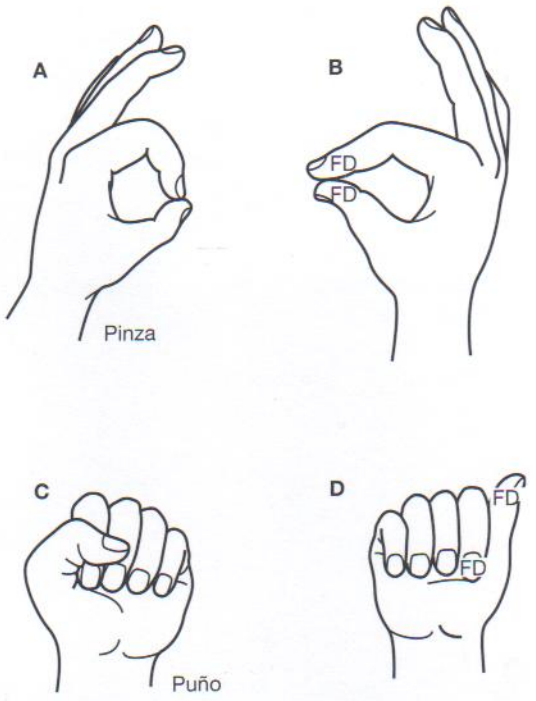


Figura 5.38. Pinzas y puños. A y **B,** Pinzas oponiendo las falanges distales (FD). **C** y **D,** Para hacer un puño todas las falanges se flexionan, excepto el pulgar, que rota y se flexiona.

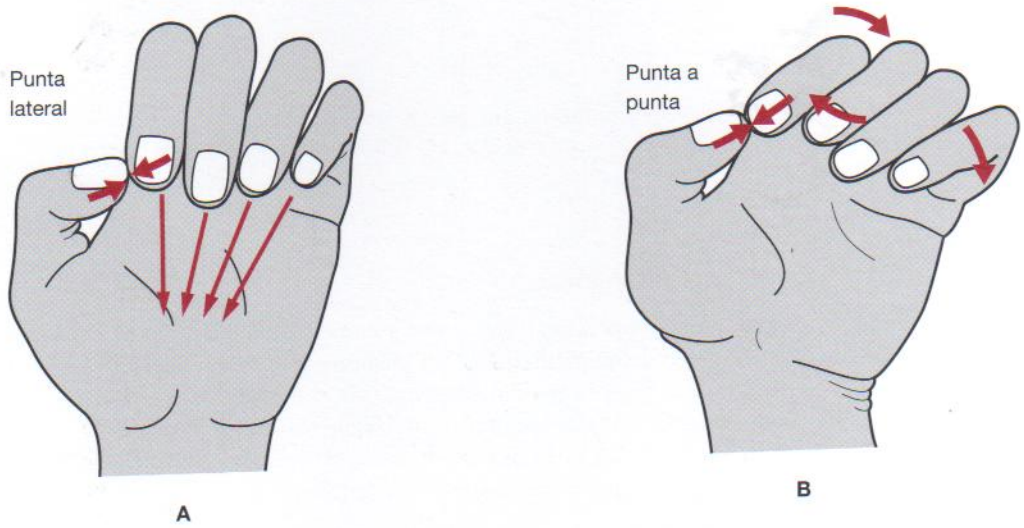


Figura 5.39. Acción punta-punta y punta-lateral del pulgar. A, Punta del pulgar aplicada al lateral del dedo índice. **B,** Punta del pulgar aplicada a la punta del dedo índice. El resto de los metacarpianos se mueven apropiadamente.

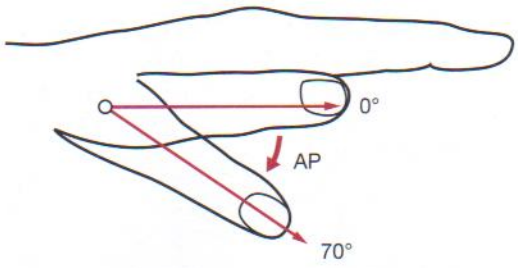


Figura 5.40. Abducción del pulgar. El pulgar puede abducirse en el plano de la palma (0°) o en ángulo recto en la abducción palmar (AP) hasta los 70°.

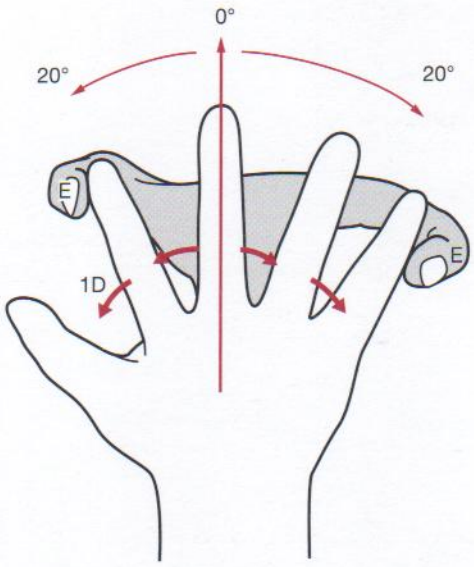


Figura 5.41. Abducción-aducción de los dedos. Usando el dedo medio como referencia, los dedos se separan entre sí 20°. 1D, primer dedo; E, examinador.

Articulación metacarpofalángica

La articulación metacarpofalángica es una articulación incongruente con la concavidad de la falange proximal, diferente de la convexidad del extremo distal del metacarpiano. Con esta configuración, la flexión inicial de la falange proximal desde la posición de extensión completa comienza con la flexión alrededor del eje de la porción distal y en una dirección tangencial a la palma. (La porción distal del metacarpiano es ovoidea más que redonda). Una vez flexionado hacia el eje de la cara redondeada del extremo distal del metacarpiano, la falange proximal se flexiona alrededor (Fig. 5.42).

Los ligamentos colaterales de la articulación metacarpofalángica se encuentran laxos cuando los dedos están extendidos, permitiendo la abducción y la aducción (Fig. 5.43). Sin embargo, los ligamentos se tensan cuando se alcanzan los 90° de flexión, no permitiendo la abducción-aducción en la posición de dedo flexionado.

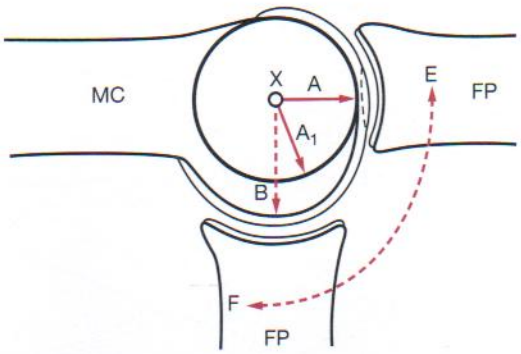


Figura 5.42. Incongruencia de la articulación metacarpofalángica. Alejado del eje de rotación (X), A representaría la rotación de la falange proximal (FP) si ésta rotase alrededor de una falange redondeada (A_1). Pero debido a que el extremo distal del metacarpiano (MC) es ovoideo (B), la flexión (F) significa inicialmente una traslación palmar antes de que la flexión se produzca alrededor de un nuevo eje de flexión. E, extensión desde la flexión.

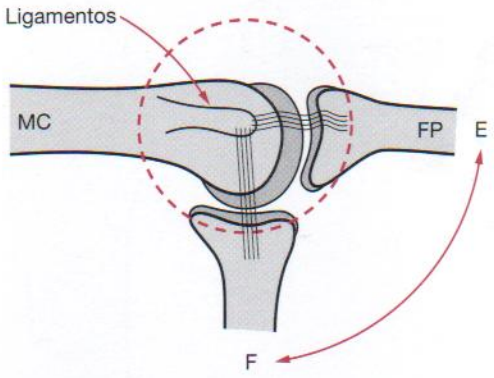


Figura 5.43. Ligamentos colaterales de la articulación metacarpofalángica. Debido a la incongruencia articular, los ligamentos colaterales se encuentran laxos cuando el dedo está extendido (E) y tensos cuando está flexionado (F). MC, metacarpiano; FP, falange proximal.

Las cabezas de los metacarpianos son planas cuando se ven desde arriba si se tensan los ligamentos colaterales. Los ligamentos colaterales se originan en un pequeño tubérculo localizado excéntricamente en las caras laterales de la cabeza; en la posición extendida, estos ligamentos permiten el movimiento lateral. No hay ligamentos en la cara dorsal de la articulación metacarpofalángica.

Existen «placas» en la cara palmar de la cápsula que limitan la movilidad. La porción distal de la placa es cartilaginosa, y está firmemente unida a la porción proximal de la falange. La porción proximal es membranosa y está unida de forma menos firme al metacarpiano. La placa refuerza la cápsula articular y se encuentra interpuesta entre la articulación y los tendones flexores. Éstos son firmemente mantenidos contra las articulaciones por fibras de los ligamentos colaterales. Las placas están conectadas por profundos ligamentos transversos que poseen unas prolongaciones transversas en las caras palmares, conocidas como *ligamentos vaginales de los dedos*, e incluyen los tendones flexores (Figs. 5.44, 5.45 y 5.46).

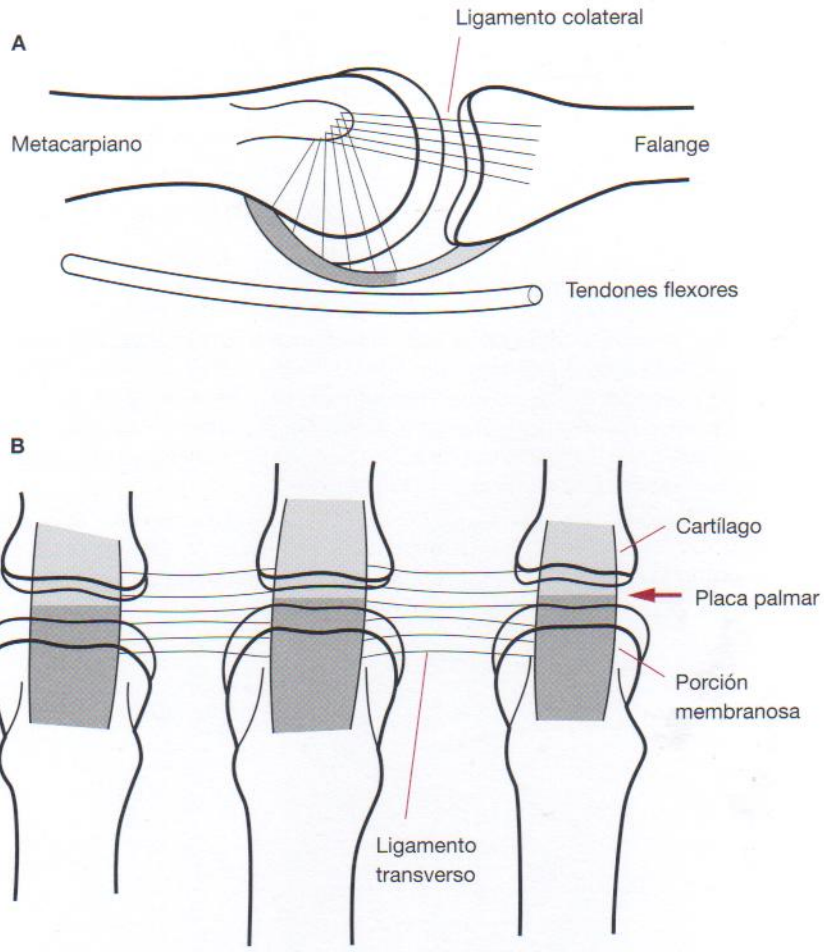


Figura 5.44. Placas palmares. La placa palmar reemplaza esencialmente a los ligamentos de la cara palmar de la articulación. **A,** Las placas se encuentran firmemente sujetas a la cara palmar de la articulación mediante fibras del ligamento colateral. **B,** La vista palmar muestra ligamentos transversos profundos que conectan las placas y previenen el movimiento lateral de todos los metacarpianos excepto el primero. La porción membranosa proximal está sujeta de forma menos rígida al metacarpiano.

Falanges

Hay catorce falanges en cada mano. El pulgar posee dos falanges y los otros cuatro dedos tres. Las articulaciones interfalángicas son auténticas articulaciones bisagra que permiten flexión y extensión. Las articulaciones metacarpofalángicas permiten abducción, aducción y circunducción. Esta articulación es una enartrosis. Debido a la laxitud ligamentosa y capsular, es posible la hiperextensión empleando una fuerza pasiva. Los ligamentos colaterales, que están laxos en la extensión y tensos en la flexión, no existen en las articulaciones interfalángicas (Fig. 5.47).

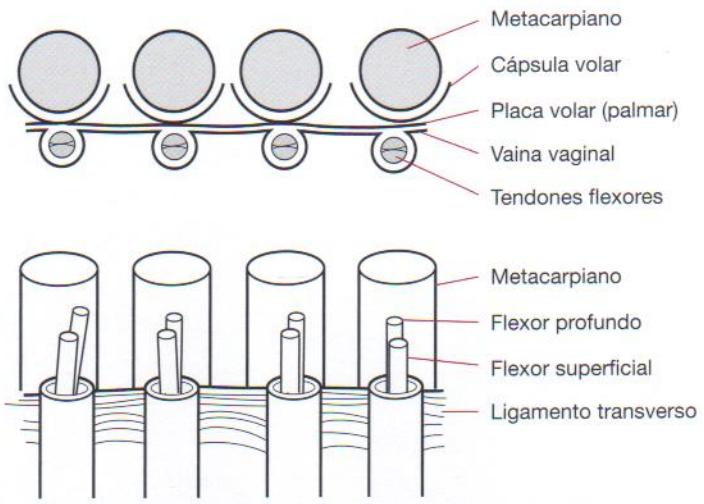


Figura 5.45. Ligamento transverso metacarpiano. La placa fibrocartilaginosa volar refuerza la cápsula articular. También forma parte de la porción dorsal del ligamento vaginal, que forma bolsas que rodean los tendones flexores como parte del mecanismo de deslizamiento. Estas bolsas forman parte del aparato lubricador de los tendones flexores y previenen la inclinación.

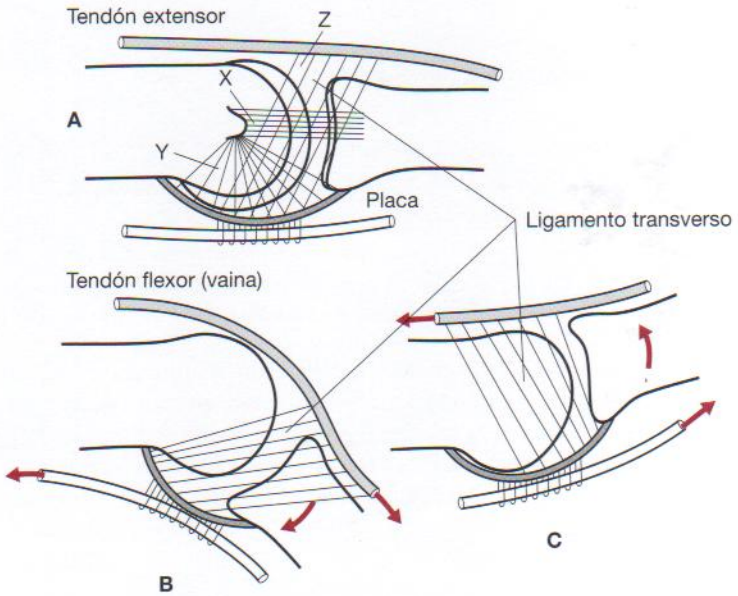


Figura 5.46. Ligamentos metacarpofalángicos. A, Los ligamentos colaterales (X) poseen un ligamento metacarpofalángico y un componente metacarpoglenoideo (Y), el cual suspende la placa palmar y, a la vez, los tendones flexores (Z). El ligamento transverso conecta el tendón extensor a la placa palmar y al tendón flexor. **B,** Flexión del dedo. **C,** Extensión del dedo.

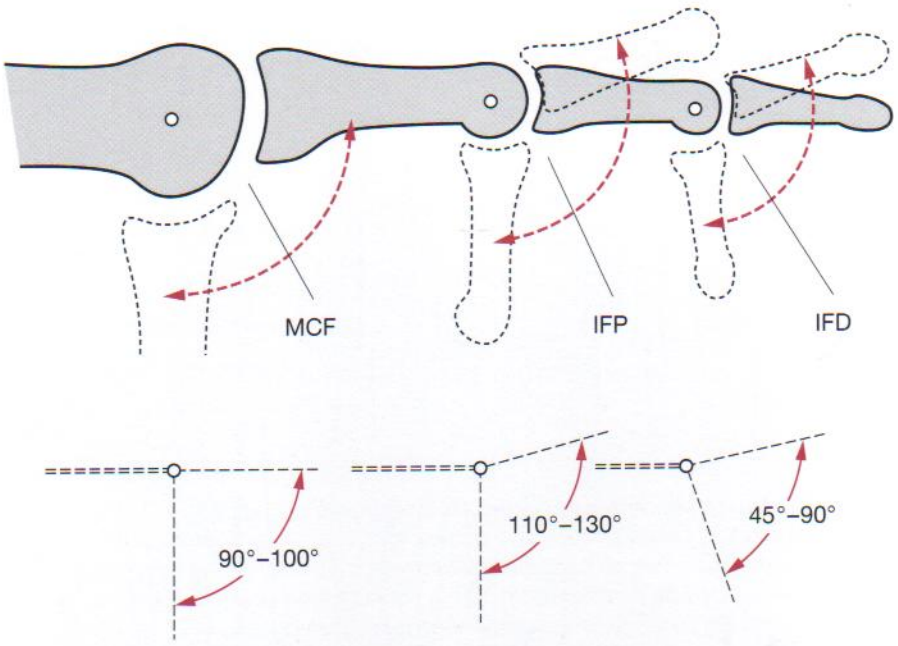


Figura 5.47. Margen de movimiento de las articulaciones interfalángicas. La articulación metacarpofalángica posee un margen de movimiento de 90° a 100°. La articulación interfalángica proximal (IFP) posee como media de 110° a 130°. La interfalángica distal (IFD) posee una media de 45° a 90°.

Control musculotendinoso extrínseco

Los músculos extrínsecos ya han sido descritos e ilustrados (Figs. 5.11 y 5.12). Se componen de extensores superficiales, extensores del plano profundo del antebrazo y flexores palmares. Los tendones se insertan en las falanges (como se describe a continuación).

Tendones flexores

Cada tendón del flexor profundo se inserta en la base de la falange distal (Fig. 5.48). Es inicialmente cilíndrico, pero se aplana al atravesar el tendón superficial cuando cruza de delante a atrás. El flexor superficial se divide en el punto medio de la falange proximal (Fig. 5.49). En el punto medio de la articulación interfalángica proximal se divide en una extensión medial y otra lateral para formar una «V». Cada extensión, a su vez, se divide y cruza hacia el lado contrario. La división final, una cuarta parte del tendón original con la mitad de la abertura, pasa bajo el tendón profundo, que ha cruzado a través de la división inicial del tendón superficial.

Hay vainas que envuelven los tendones, facilitando la lubricación y la protección de los mismos. Estas vainas son compartimentos (túneles) relacionados con la fascia palmar. La fascia palmar pasa distalmente bajo el ligamento transverso del carpo, y se divide en cuatro bandas que discurren bajo los cuatro metacarpianos. Cuando la fascia alcanza las cabezas de los metacarpianos se funde con el ligamento transverso profundo del carpo. Ambos, el tendón profundo y el superficial, se hallan incluidos en esos compartimentos (Figs. 5.50, 5.51 y 5.52).

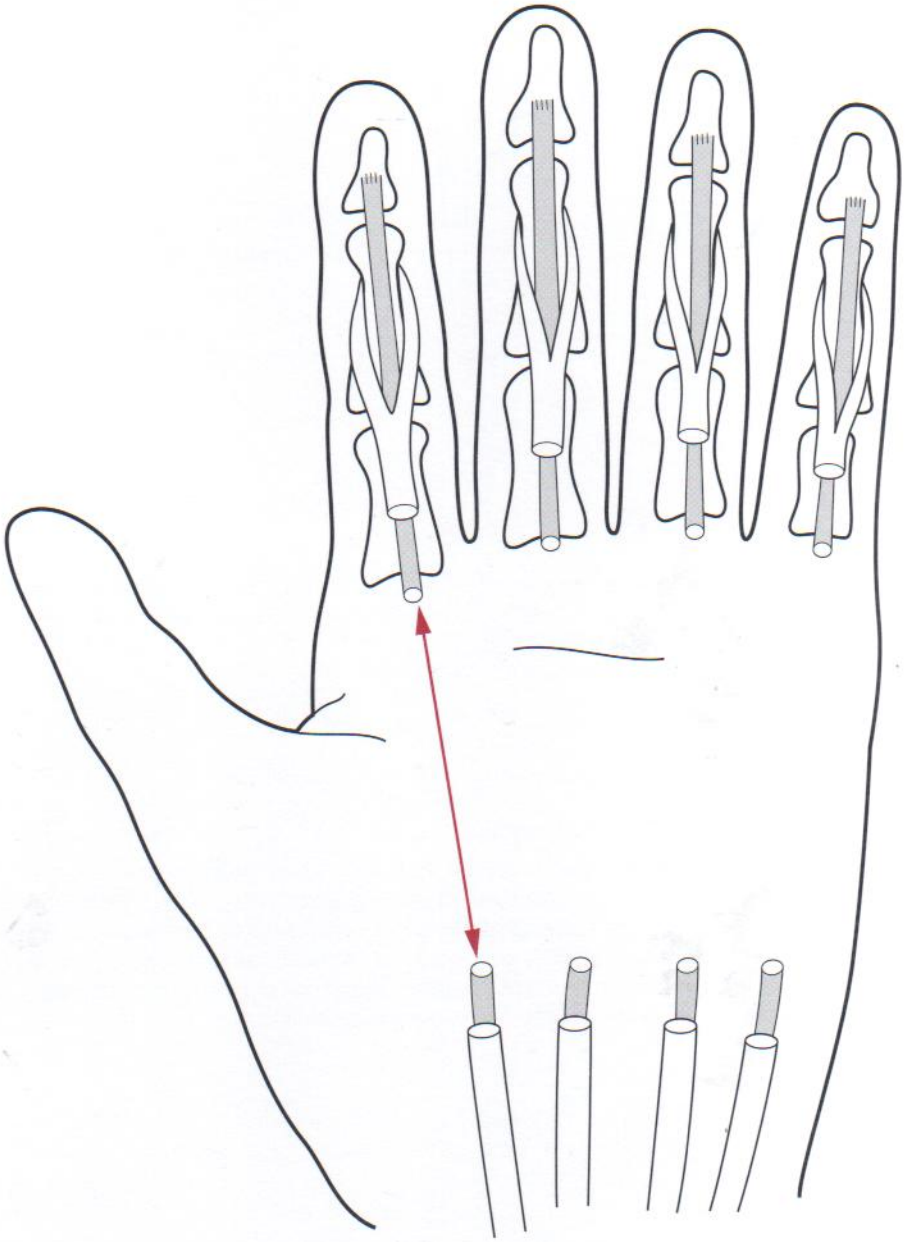


Figura 5.48. Inserción de los tendones flexores. En la muñeca el flexor superficial del dedo está dividido en dos planos: dos tendones internos que discurren en un plano profundo y dos externos en un plano más superficial. En su recorrido estos tendones se abren para permitir el paso a través de la división, y entonces se fijan a la falange media de los cuatro dedos mediales. El flexor profundo en la muñeca se coloca en un plano y en la misma vaina que el tendón flexor superficial. Éste pasa a través de la abertura de los tendones superficiales y se fija a la falange distal.

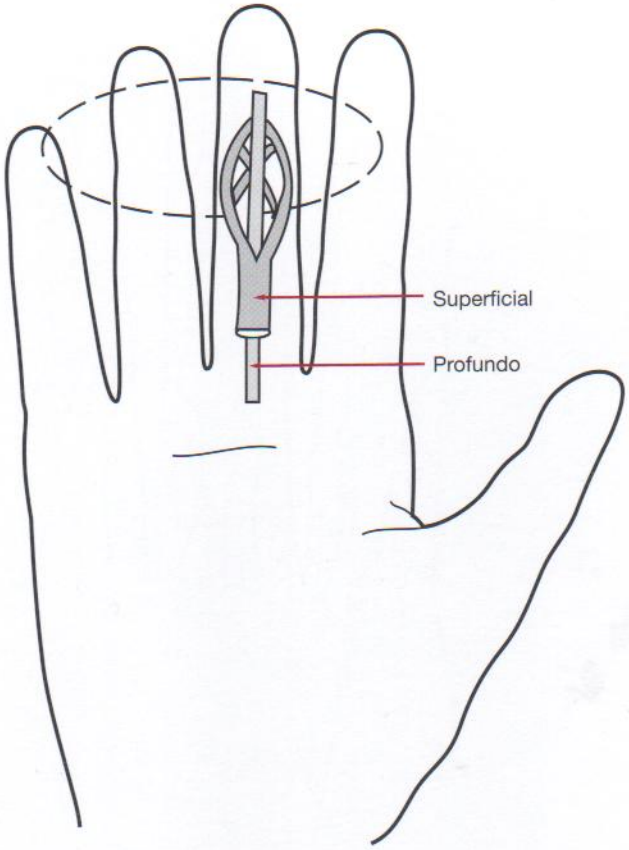


Figura 5.49. Mecanismo flexor digital. El tendón profundo se inserta a lo ancho de la base de la falange distal, en la placa palmar, y desde allí se dirige al pulpejo del dedo. La apertura medial del tendón superficial se abre por la mitad pasada la falange proximal. Tres cuartos de las fibras continúan y se fijan a la cresta lateral de la falange media. Un cuarto cruza bajo el tendón profundo que ha pasado a través de la perforación del tendón superficial.

Músculos intrínsecos

Mientras que los músculos extrínsecos se originan fuera de la mano, los intrínsecos se originan en la propia mano y se dirigen hacia los dedos. Incluyen los siguientes grupos musculares:

- Tenar, que lleva a cabo las funciones del pulgar.
- Hipotenar, que lleva a cabo las funciones del quinto dedo.
- Músculos interóseos y lumbricales, que ejecutan la aducción y la abducción de los dedos y se combinan con los tendones extensores para extenderlos.

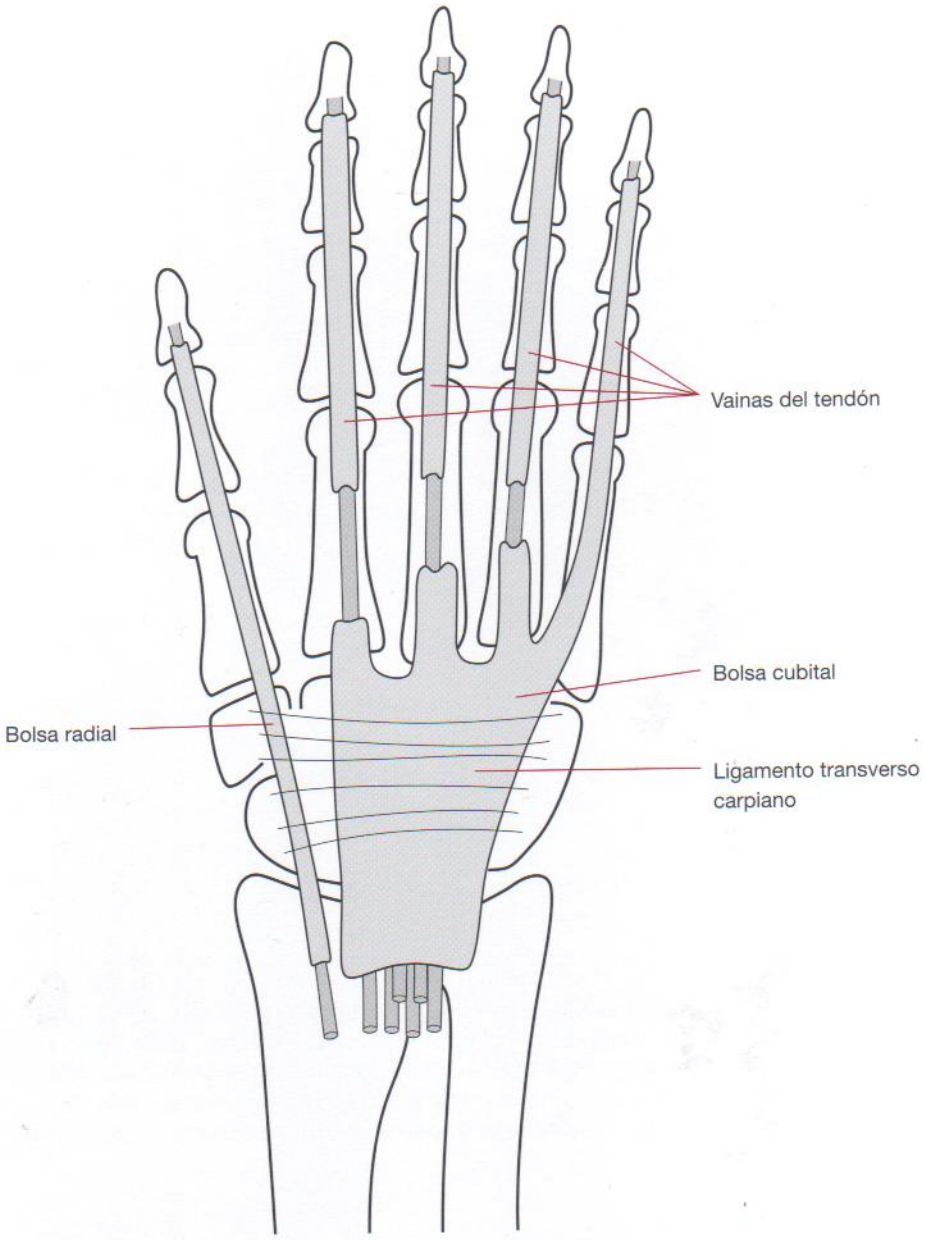


Figura 5.50. Vainas tendinosas y bolsa de los flexores. La vaina del índice, medio y anular se extiende desde la cresta mediopalmar hasta la inserción del flexor profundo de la falange distal. La vaina del quinto dedo continúa desde la bolsa cubital, la cual se encuentra en la palma bajo el ligamento transverso carpiano. La bolsa cubital forma tres compartimentos: uno superficial al tendón superficial, otro entre los tendones superficial y profundo, y un tercero bajo el tendón profundo. La bolsa del pulgar (bolsa radial) se extiende por debajo del ligamento transverso del carpo para acompañar al flexor profundo hasta su inserción en la falange distal. En el 15% al 20% de las personas la vaina del quinto tendón no se comunica con la bolsa cubital, y ocasionalmente todos los tendones conectan con la bolsa.

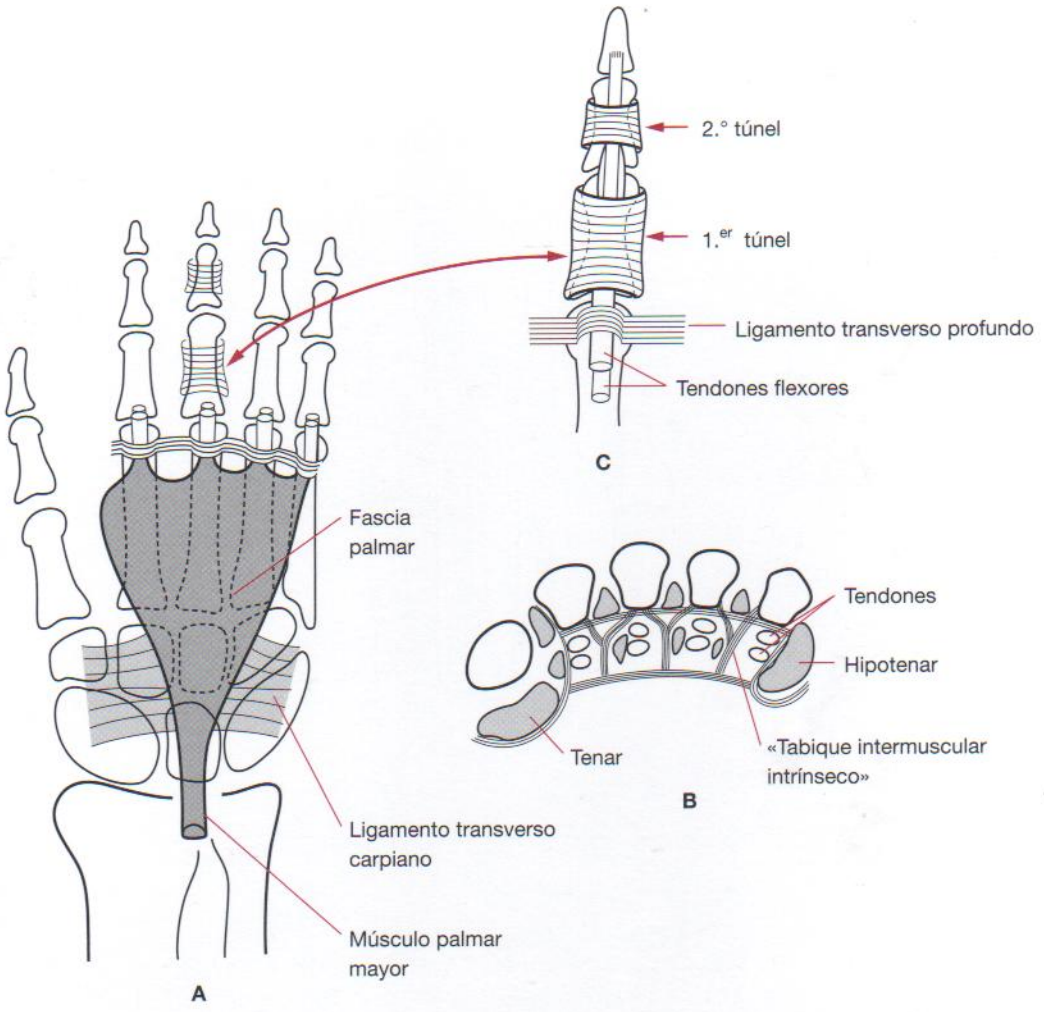


Figura 5.51. Fascia palmar. A, El recorrido de la fascia palmar se hace a través del ligamento transverso del carpo, dirigiéndose hacia los cuatro dedos mediales. **B,** Los tabiques que se originan en la fascia descienden a los metacarpianos, formando compartimentos, cada uno de los cuales contiene tendones flexores y músculos intrínsecos. **C,** Túneles fibrosos que engloban los tendones flexores.

Los interóseos son cuatro músculos dorsales y tres palmares. Los dorsales son músculos bipeniformes que parten de los lados adyacentes de los metacarpianos opuestos y convergen formando bandas laterales que se fijan al mecanismo extensor. El primer dorsal se origina por dos vientres y se inserta en el lado radial del primer metacarpiano, llevando a cabo la aducción del mismo. Se inserta en el hueso y la arteria radial pasa entre las dos cabezas de su origen.

El segundo y tercer interóseos se insertan en el dedo medio, y el cuarto se inserta en el lado cubital del dedo anular. Su función consiste en abducir el índice y el anular desde la línea media. Pueden mover el índice en cualquier dirección, medial o lateral. En la mitad de la población se inserta en el hueso, y en el resto se inserta en el mecanismo extensor. Los tendones interóseos pasan dorsalmente al ligamento palmar.

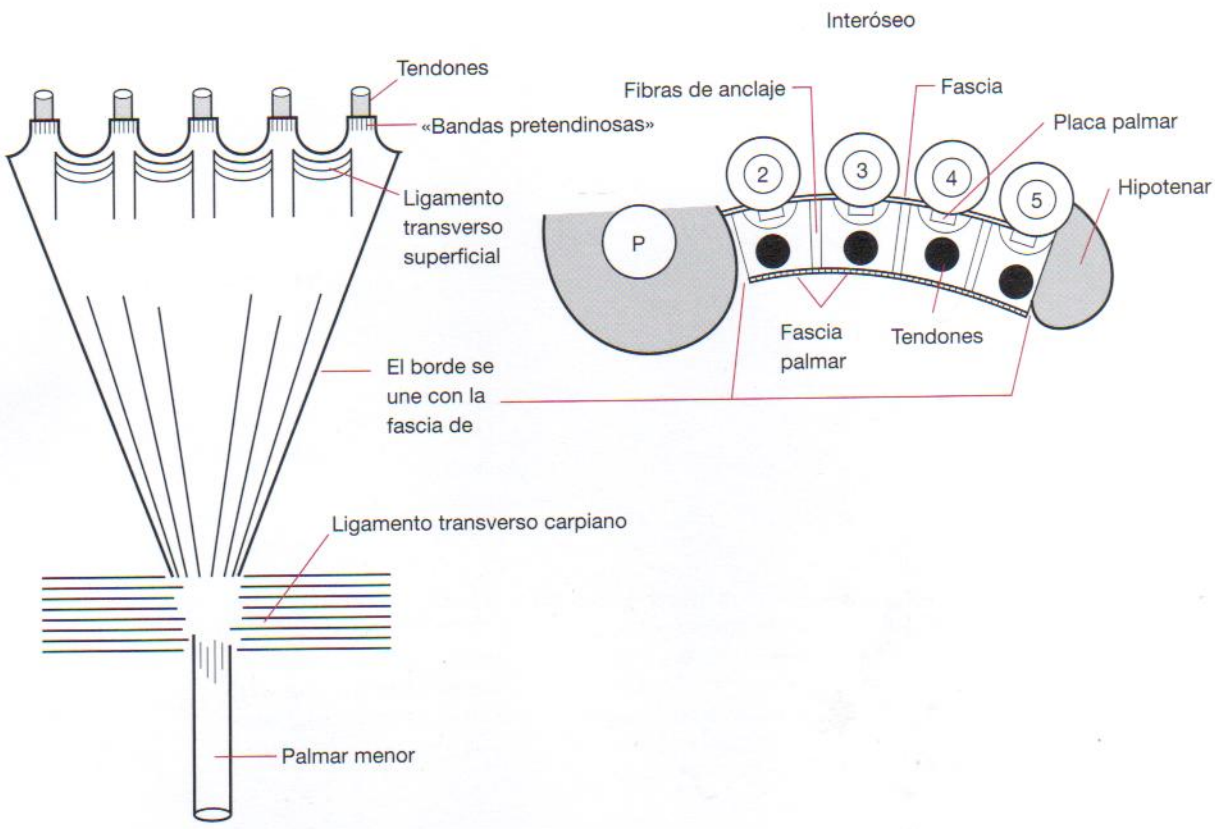


Figura 5.52. Plano triangular de la fascia. El plano triangular de la fascia posee un vértice que se continúa con el ligamento transverso del carpo, como se muestra en este esquema. Se extiende distalmente sobre las cabezas de los metacarpianos a través de bandas pretendinosas engrosadas que cubren el tendón flexor y conectan con el ligamento transverso superficial. Las bandas fibrosas se dirigen dorsalmente hacia la fascia interósea entre los metacarpianos, formando compartimentos para los tendones flexores. El ligamento metacarpiano transverso profundo se confunde con las placas palmares de los flexores, formando vainas fibrosas que constituyen túneles. P, pulgar.

Los tres interóseos palmares funcionan como aproximadores de los dedos hacia el dedo medio. El primer interóseo palmar se origina en el lado cubital del segundo metacarpiano y se fija al aparato extensor de los tendones del mismo lado que el metacarpiano. El segundo interóseo se origina en el lado radial del cuarto metacarpiano, y el tercer interóseo se origina en el quinto, para fijarse al mecanismo extensor del lado radial.

Habitualmente hay cuatro músculos lumbricales que parten del lado radial de los tendones del flexor profundo del dedo y discurren a lo largo del mismo lado del dedo correspondiente para acabar fijándose al mecanismo extensor. Mientras que los siete interóseos pasan por detrás del ligamento transverso profundo, los músculos lumbricales pasan por la parte frontal. Su función está más volcada al movimiento fino que al desarrollo de fuerza (Figs. 5.53, 5.54 y 5.55).

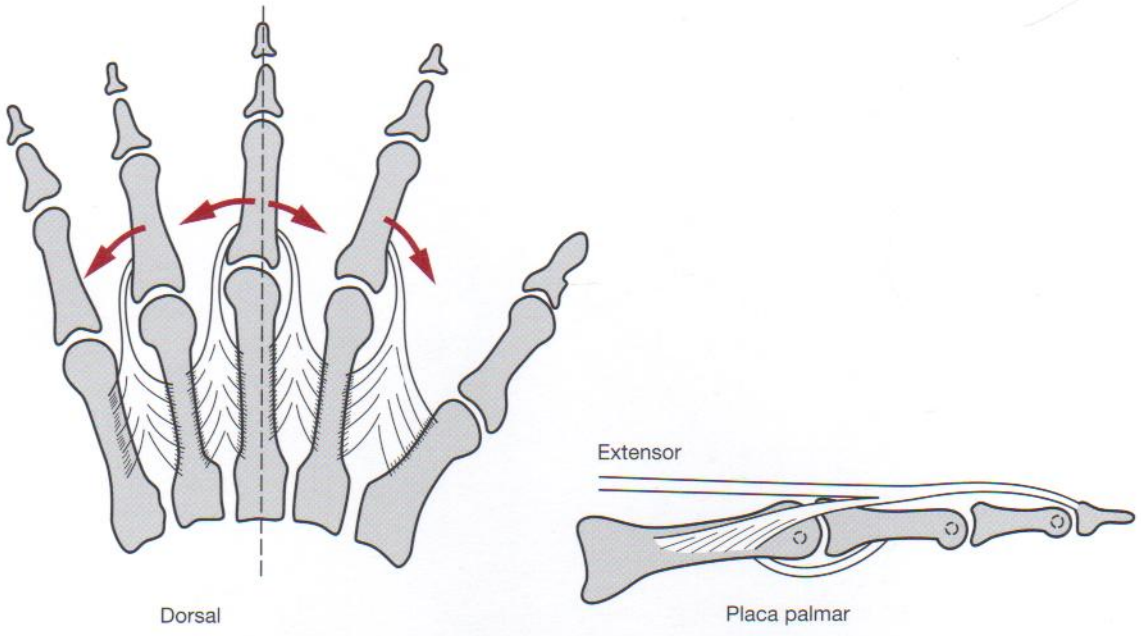


Figura 5.53. Músculos dorsales interóseos. Los músculos dorsales interóseos, junto con el abductor corto del pulgar y el abductor del quinto dedo, extienden o separan los dedos. Permiten mover los dedos alejándose del eje de la mano. Los interóseos se originan por un doble vientre muscular, y pasan dorsalmente a través de los ligamentos palmares transversos. Habitualmente, el primer interóseo dorsal se fija al hueso, y el resto al mecanismo extensor.

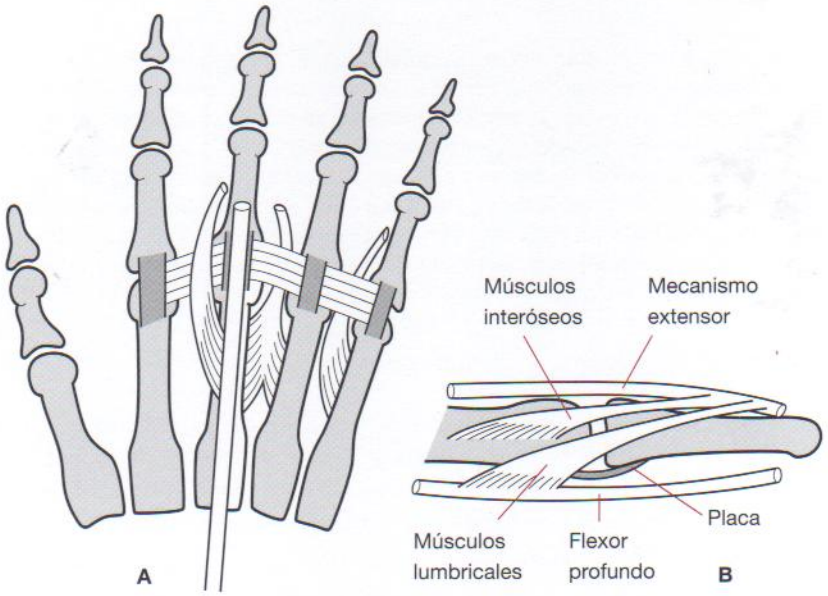


Figura 5.54. Relaciones de los músculos intrínsecos con el ligamento transverso. A, Vista palmar de la mano izquierda. **B,** Los músculos lumbricales se originan en los tendones flexores y cruzan dorsalmente para unirse a los músculos interóseos y el mecanismo extensor.

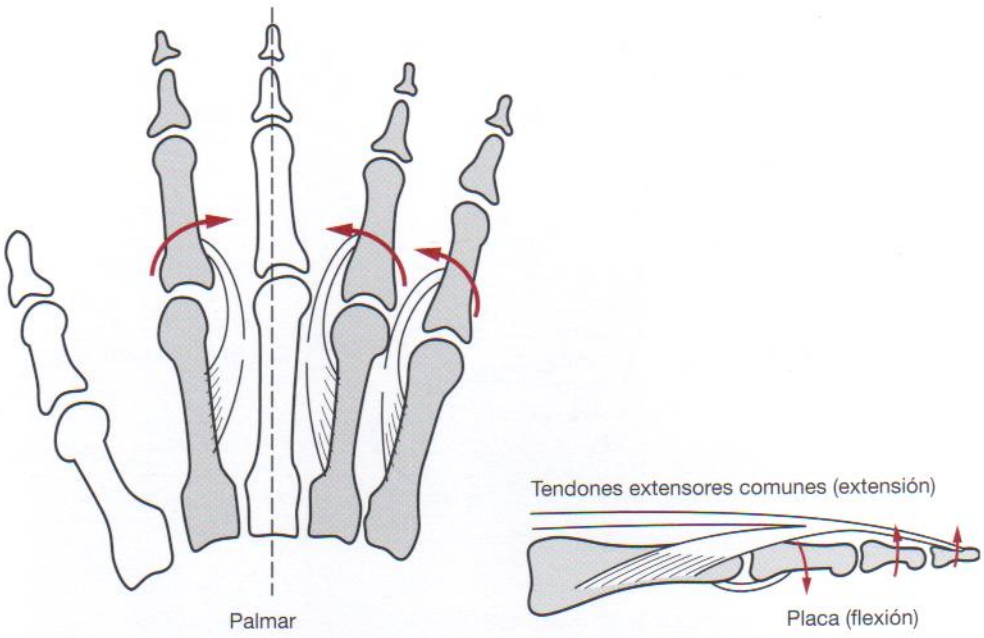


Figura 5.55. Músculos interóseos palmares. Los tres interóseos palmares se originan en el segundo, cuarto y quinto metacarpianos. Sus tendones cruzan dorsalmente para unirse con los tendones extensores comunes. Aducen los dedos a los que se unen. El pulgar tiene su propio aductor.

En términos funcionales se pueden describir los músculos interóseos dorsales y lumbricales de la forma siguiente:

1. El interóseo se podría considerar un «músculo yacente a cada lado de los dedos», más que dorsal o palmar.
2. El primer interóseo dorsal puede producir la separación radial y la rotación de la primera articulación metacarpiana.
3. El primer interóseo dorsal se considera un «extensor de la falange media y distal del dedo medio».
4. Los interóseos de los otros dedos pueden considerarse «flexores y rotadores» de los mismos.
5. Los interóseos del segundo, tercer y cuarto dedos son extensores de las falanges medias y distales.
6. Los músculos lumbricales se pueden describir como «extensores de las falanges».

Mecanismos extensores digitales

Los cuatro tendones de los extensores de los dedos pasan sobre el dorso de la muñeca y bajo el retináculo extensor de la misma, donde penetran en una vaina sinovial (Fig. 5.56). Desde allí, prosiguen a lo largo del dorso de la falange. Al final de la falange proximal los tendones extensores se dividen en dos, que permanecen unidos a los músculos intrínsecos, lumbricales e interóseos, para formar el mecanismo extensor de los dedos.

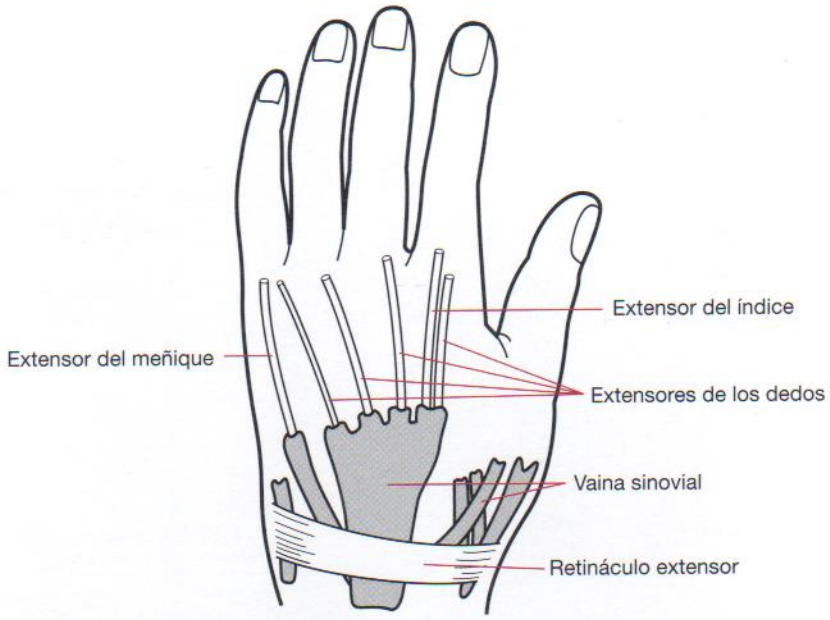


Figura 5.56. Vainas de los tendones extensores. Hay seis correderas osteofibrosas que cruzan bajo el retináculo extensor. El extensor del índice penetra en la vaina común y prosigue para alcanzar la cara medial del primer dedo, donde se reúne con el tendón del extensor común. El extensor del quinto dedo tiene su propia vaina sinovial.

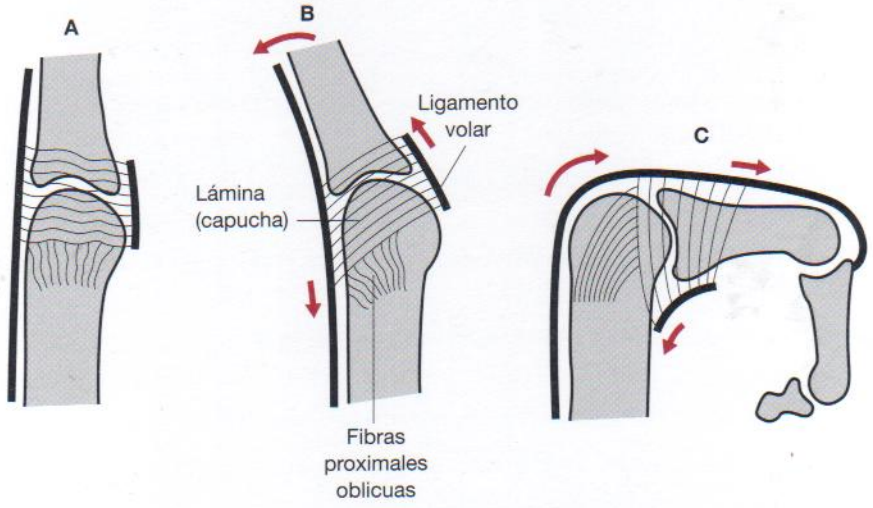


Figura 5.57. Mecanismo extensor de la articulación metacarpofalángica. A, Acción de la lámina transversa (capucha) sobre las falanges en el dedo en posición neutra. La lámina transversa se encuentra relajada, permitiendo la movilización lateral de las falanges mediante los músculos interóseos. En esta posición, los ligamentos colaterales también se encuentran relajados. **B,** En la posición de hiperextensión el tendón extensor desplaza la lámina proximalmente, y el ligamento volar se mueve distalmente. La lámina se tensa, ayudando a extender la falange proximal. Las fibras proximales oblicuas que fijan el tendón extensor y la lámina al cuello del metacarpiano están relajadas. **C,** En la flexión completa el tendón extensor se mueve distalmente, ocasionando que las fibras de la lámina y las fibras oblicuas proximales se tensen. El tendón flexor mueve el ligamento volar proximalmente. Las fibras oblicuas limitan el margen de movimiento del tendón extensor.

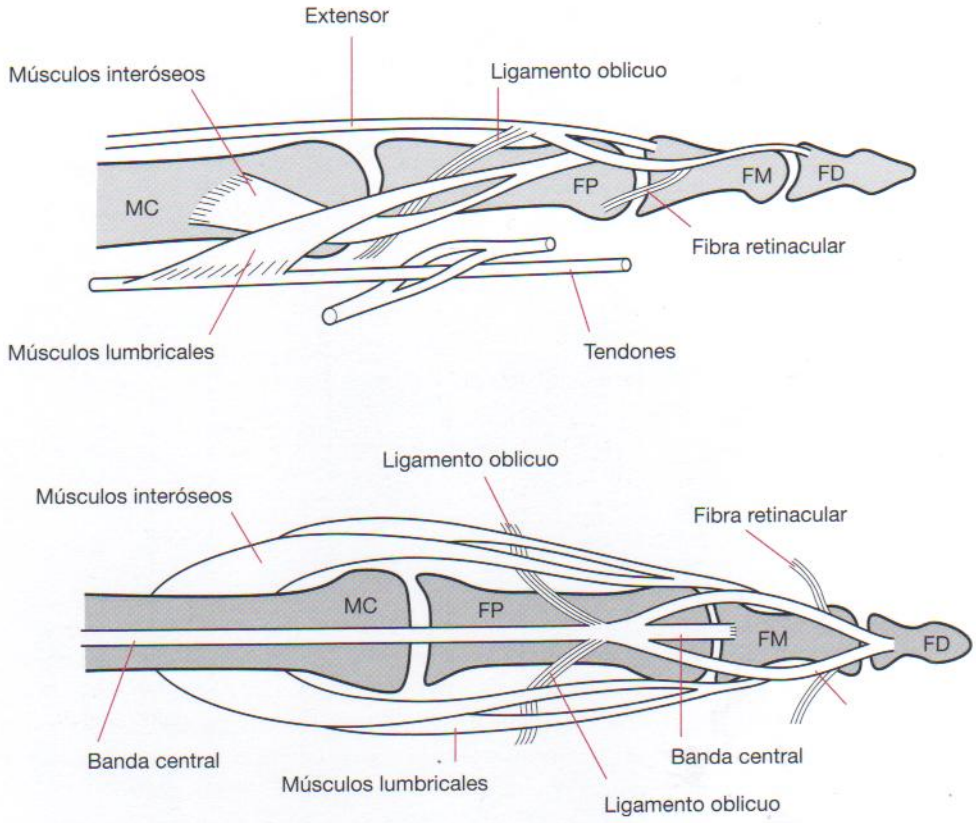


Figura 5.58. Aparato extensor. El extensor del dedo se divide en tres componentes en el extremo distal de la falange proximal: una banda central y dos laterales. La banda central se inserta en el extremo proximal de la falange media (FM). Las bandas laterales pasan sobre las caras laterales de la articulación proximal (FP) para converger sobre la falange media e insertarse en la porción proximal de la falange distal (FD). Una fina capa de fascia se extiende lateralmente desde el tendón extensor para formar una capucha que envuelve a los músculos interóseos y lumbricales. MC, metacarpiano.

Cada banda lateral del tendón dividido se halla unida por su parte media a los tendones de los interóseos, y más distalmente a los tendones de los lumbricales. Esta unión está situada en el dorso de la falange proximal. Estos tendones combinados se unen en última instancia a las falanges media y distal en conjunción con las bandas laterales de la expansión de los extensores (Figs. 5.57, 5.58 y 5.59).

Así, la extensión de los dedos requiere una acción combinada de los tendones de los extensores largos y de los músculos intrínsecos. La extensión de la articulación interfalángica distal se produce gracias a la acción combinada de tres elementos: la banda central del tendón extensor, que se inserta en la base de la falange media; las dos bandas laterales que pasan a cada lado de la articulación interfalángica distal para fusionarse distalmente en la mitad dorsal de la falange media, y finalmente, las dos bandas laterales, que se insertan en la falange distal. La falange media se extiende gracias a la banda central, mientras que la falange distal se extiende gracias a la acción de las dos bandas combinadas.

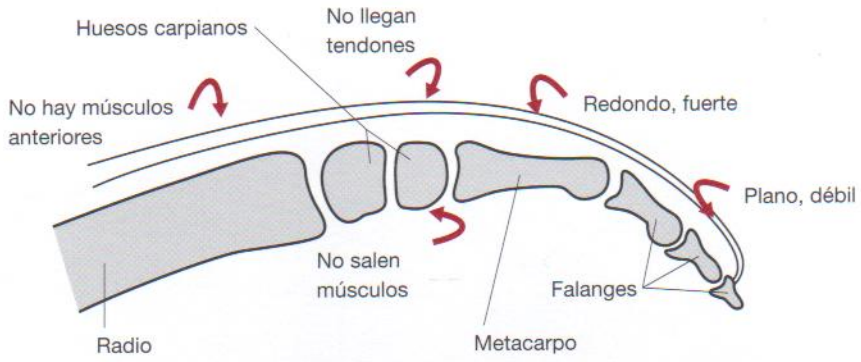


Figura 5.59. Recorrido dorsal del tendón. Esquema de los tendones dorsales, contorno e inserción final.

Ligamentos retinaculares

El sistema retinacular está formado por dos grupos de fibras, dorsal y lateral. Cada ligamento está formado por una lámina lateral, un cordón longitudinal y fibras oblicuas. La lámina lateral posee fibras transversales y oblicuas que cubren los ligamentos colaterales de la articulación interfalángica proximal. Son transversales en su parte proximal y oblicuas en su porción distal (Fig. 5.60).

El cordón longitudinal es grueso y está compuesto por unas pocas fibras. Se extiende sobre la lámina lateral; inicialmente discurre dorsalmente a la articulación con la que se relaciona. Las fibras oblicuas cutáneas discurren oblicuamente desde su hueso de origen hasta el cuello de la falange proximal, para unirse a la piel que cubre la falange media. Las bandas laterales del mecanismo extensor emigran dorsalmente a medida que la interfalángica proximal se extiende (Figs. 5.61 y 5.62).

En el extremo distal del metacarpiano el tendón extensor se aplana hasta asemejarse a una fascia. Se enrolla alrededor de la falange proximal, formando una expansión o capuchón que rodea a la falange y se une con el ligamento transverso metacarpiano (Fig. 5.63).

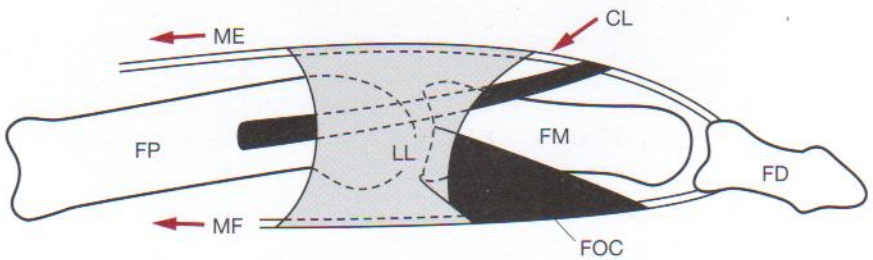


Figura 5.60. Ligamentos retinaculares. La lámina lateral (LL), las fibras oblicuas cutáneas (FOC) y el cordón longitudinal (CL), conectan el mecanismo extensor (ME) y el mecanismo flexor (MF), que controlan el movimiento de la falange proximal (FP), falange media (FM) y falange distal (FD).

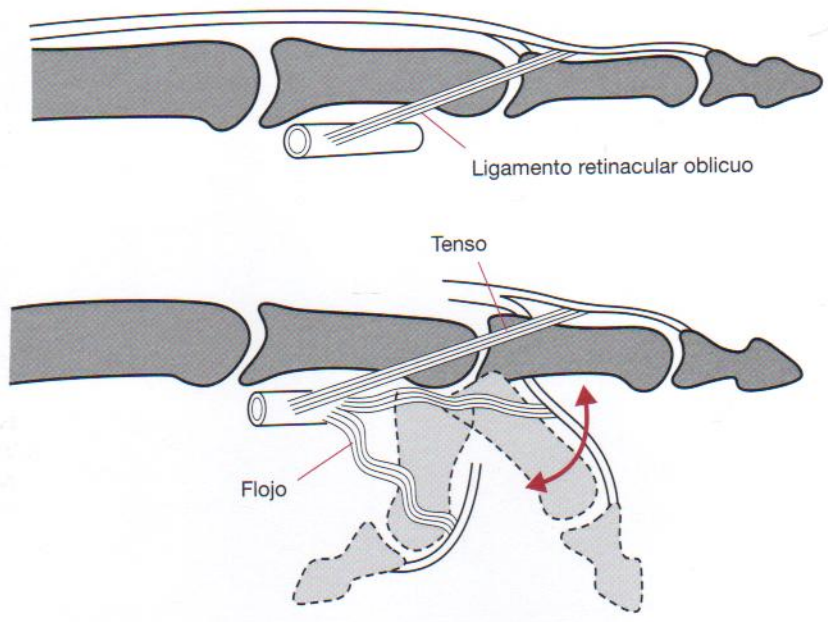


Figura 5.61. Ligamento retinacular oblicuo. La extensión de la articulación distal es auxiliada por el efecto tenodésico del ligamento retinacular cuando se extiende la articulación proximal. En la posición flexionada el ligamento se encuentra laxo.

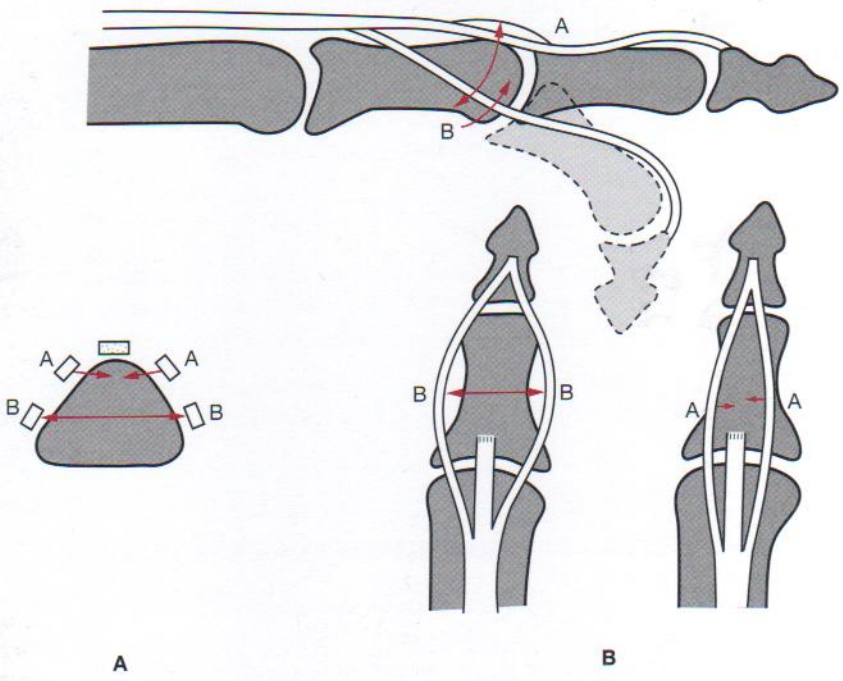


Figura 5.62. Migración dorsal de las bandas laterales. Con la extensión completa debido a la forma de la falange, las bandas se tensan en el dorso de los dedos. **A,** La relación A-A se muestra cuando las bandas han migrado dorsalmente durante la extensión del dedo. **B,** En la flexión las bandas migran ventralmente: B-B.

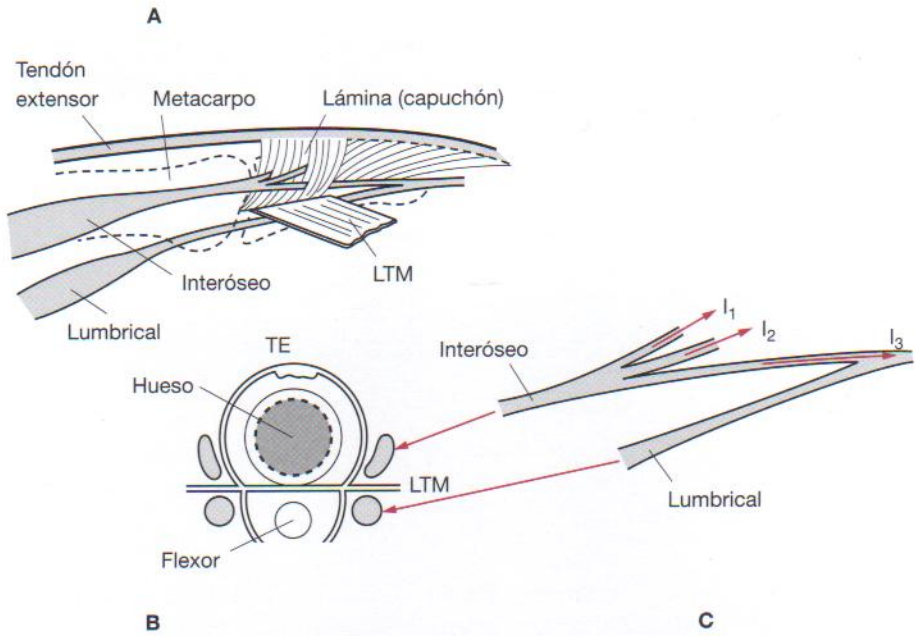


Figura 5.63. Expansión del extensor: «capuchón». A, A medida que el tendón extensor deja atrás al metacarpiano se expande para formar un tendón aplanado semejante a una fascia, la cual envuelve a la falange proximal, formando un «capuchón». El tendón del músculo interóseo se divide en tres porciones: I_1, I_2 e I_3. I_1 se inserta en el hueso y permite el movimiento lateral del dedo: aducción y abducción. I_2 se inserta en la lámina, estabilizando el tendón extensor. I_3 progresa para unirse con el tendón del músculo lumbrical y fundirse con las bandas laterales de la expansión del extensor. **B,** Corte transversal que muestra dos músculos intrínsecos (interóseo y lumbrical), el ligamento interóseo metacarpiano (LTM), el tendón extensor (TE) y el tabique palmar longitudinal englobando el tendón flexor. **C,** Vista de la distribución de los tendones interóseo y lumbrical tal como se muestra en A.

Durante la presa potente, que es pricipalmente una función de los flexores extrínsecos, tiene lugar la actividad simultánea de los extensores; se cree que esto previene la subluxación palmar de las articulaciones metacarpofalángicas durante este movimiento (Figs. 5.64 y 5.65).

En la presa potente hay también una contracción simultánea que se puede apreciar en el mecanismo extensor, cuyo fin es probablemente prevenir la subluxación de las falanges o de los tendones flexores (Fig. 5.66).

Músculos intrínsecos de las eminencias tenar e hipotenar

Los músculos de la eminencia tenar mueven el pulgar. Estos músculos son: el abductor corto, que abduce el pulgar hacia la palma de la mano; el flexor corto, que flexiona el pulgar; el oponente, que flexiona la articulación proximal del pulgar, y el abductor largo, que abduce el pulgar contra el plano de la palma.

Los músculos de la eminencia hipotenar incluyen el músculo abductor del meñique, que abduce el dedo pequeño contra el plano de la palma; el flexor del meñique, que flexiona la falange proximal del dedo pequeño; el oponente del meñique, que opone la punta del dedo pequeño contra la punta del pulgar, y el palmar cutáneo (Figs. 5.67, 5.68, 5.69 y 5.70).

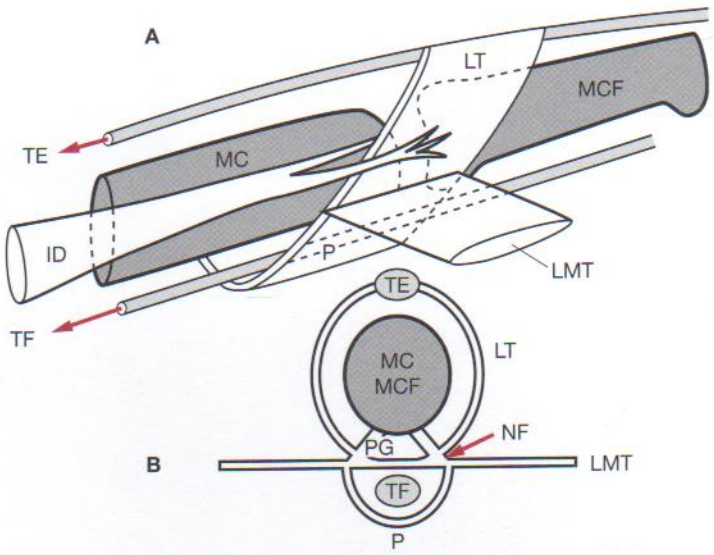


Figura 5.64. Mecanismo flexor complejo de la articulación metacarpiana. A, La articulación metacarpofalángica (MCF) se flexiona de una forma compleja con fuerzas procedentes de todos los tejidos involucrados que actúan vía «núcleo de fuerza» (NF). El tendón flexor (TF) se mueve proximalmente en polea (P), que se suspende desde la lámina transversal (LT, también llamado ligamento Landsmeer). El interóseo dorsal (ID) también es abductor de los dedos, y constituye el «núcleo de fuerza» durante la flexión potente de los dedos. **B,** Los tejidos que constituyen el «núcleo de fuerza» incluyen el paquete glenoideo (PG), o ligamentos colaterales. TE, tendón extensor; LMT, ligamento metacarpiano transverso.

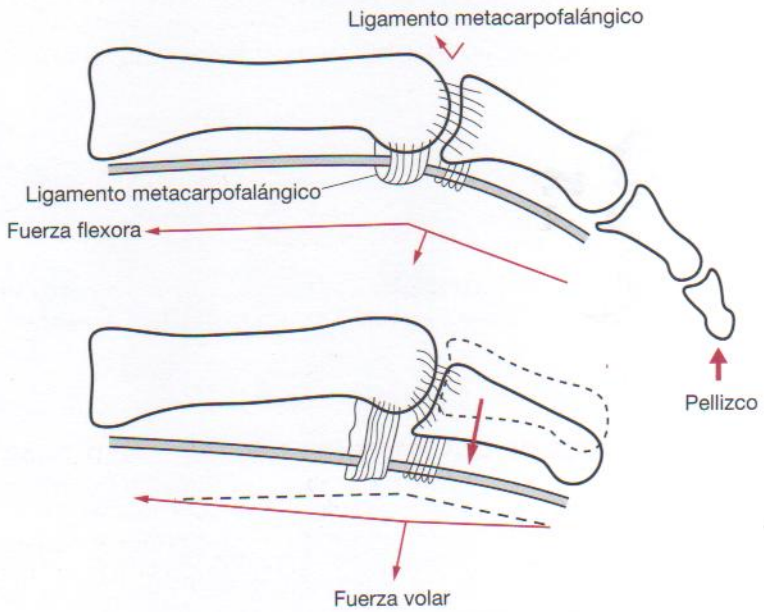


Figura 5.65. Sistema de polea de la articulación metacarpofalángica. Durante el pellizco o la presa potente existen fulcros normales en los tendones flexores. En algunas enfermedades del colágeno estos puntos de apoyo están debilitados y pueden ocasionar una subluxación palmar.

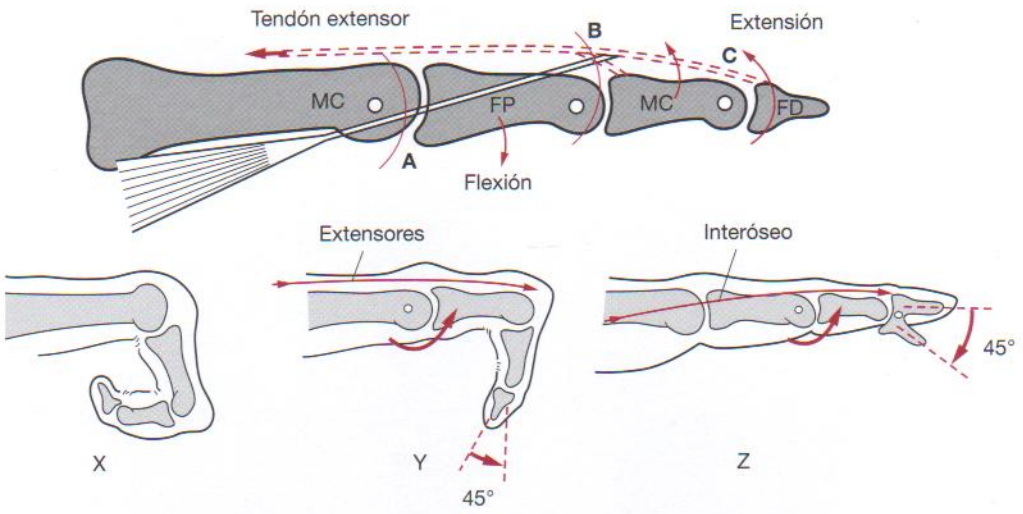
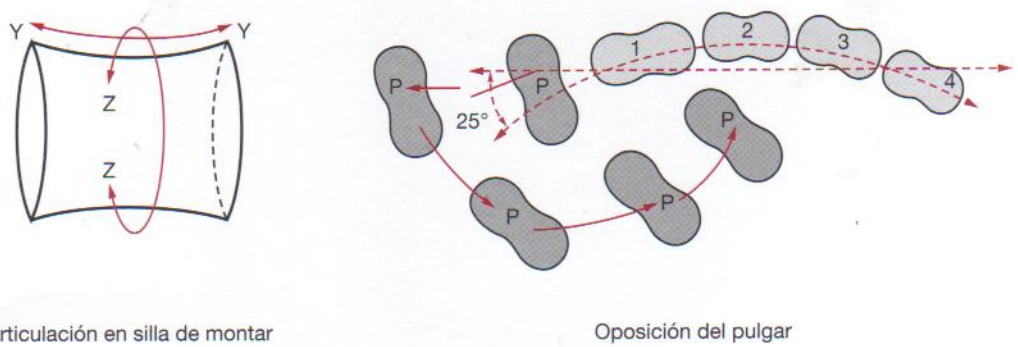


Figura 5.66. Acción de los extensores largos e intrínsecos. A (arriba a la izquierda), Los tendones de los músculos intrínsecos (interóseos y lumbricales) se hallan sobre la cara palmar de la articulación metacarpofalángica y la flexionan. **B** (arriba en el centro), Pasan al dorso del fulcro de la interfalángica proximal y extienden esta articulación. **C** (arriba a la derecha), Los músculos intrínsecos se unen a los extensores, que a su vez se fijan a la falange distal (FD), extendiendo esta articulación. Los tendones interóseos y lumbricales no pueden extender la articulación interfalángica (**B** y **C**) a menos que esta articulación se encuentre estabilizada por el extensor que extiende la falange distal 45° mediante la acción de los ligamentos. Z representa la extensión de la articulación proximal, que permite 45° de flexión de la articulación interfalángica, indicando laxitud del ligamento transverso. MC, metacarpiano; FP, falange proximal.



Articulación en silla de montar

Oposición del pulgar

Figura 5.67. Articulación trapeciometacarpiana del pulgar. La articulación trapeciometacarpiana es una articulación en silla de montar (S) en la que los dos ejes de movimiento tangenciales uno al otro son posibles. El plano de reposo del pulgar (P) forma un ángulo de 25° con el plano de los otros metacarpianos. La oposición del pulgar es una combinación de movimientos consecutivos: 1) extensión en el plano de la palma, 2) abducción hacia la palma, 3) flexión de la articulación metacarpofalángica y 4) aducción simultánea al dedo opuesto.

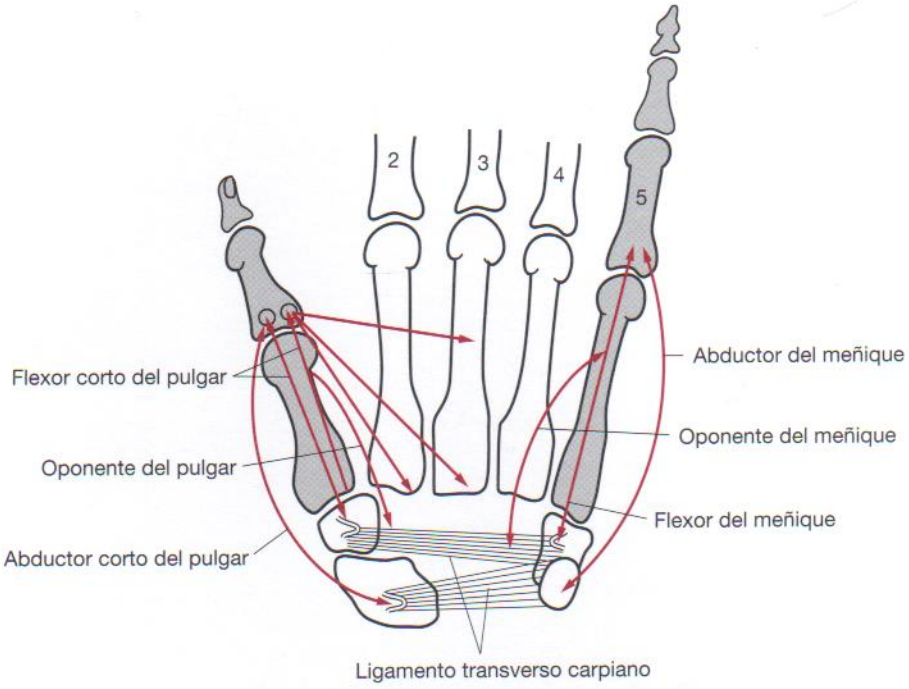


Figura 5.68. Músculos de las regiones tenar e hipotenar. Músculos que mueven el pulgar o el meñique. Sólo se muestran en este esquema los músculos intrínsecos.

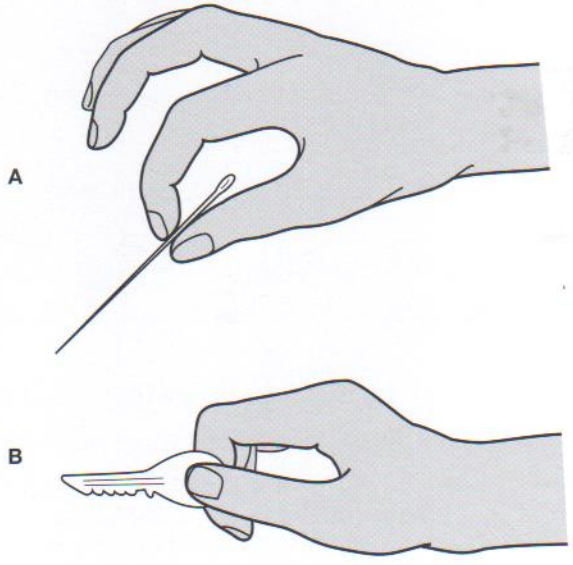


Figura 5.69. Movimiento de pinza del pulgar. A, Pinza entre las puntas de los dedos pulgar y segundo. **B,** Pinza entre la punta del pulgar y la cara lateral del segundo dedo.

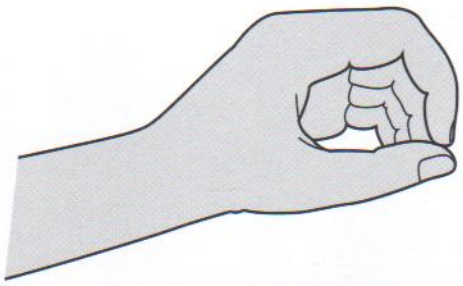


Figura 5.70. Movimiento de oposición del pulgar. Durante el movimiento del músculo oponente del quinto dedo, la muñeca y los dedos se encuentran flexionados, el pulgar se abduce y el índice y los dedos medios se oponen al pulgar.

Control nervioso de la mano

Los nervios que controlan la mano se originan en el plexo braquial, que se divide en diferentes nervios periféricos: musculocutáneo, axilar, radial, mediano y cubital, los cuales controlan la mano.

Nervio mediano

El nervio mediano se origina en las raíces C6, C7, C8 y D1. Los músculos que inervan incluyen:

1. Pronador redondo (C6, C7), que produce la pronación del antebrazo.
2. Flexor radiocarpiano (C6, C7, C8), que flexiona la muñeca en dirección radial.
3. Palmar menor (C7,C8,D1), que flexiona la muñeca.
4. Flexor común superficial de los dedos (C7, C8, D1), que flexiona las articulaciones interfalángicas proximales.
5. Flexor largo del pulgar (C8, D1), que flexiona las falanges del pulgar.
6. Flexor común profundo de los dedos (C8, D1), que flexiona las falanges de los dedos segundo a quinto.
7. Pronador cuadrado (C7, C8, D1), que prona el antebrazo.
8. Abductor corto del pulgar (C8, D1), que eleva el pulgar en ángulo recto con respecto a la palma.
9. Flexor corto del pulgar (C8, D1), que flexiona la articulación metacarpofalángica del pulgar.
10. Oponente del pulgar (C8, D1), que opone la punta del pulgar sobre el segundo o quinto dedo.

El componente dermatotómico (sensorial) del nervio mediano corresponde a la cara palmar del pulgar y siguientes dos dedos, así como a la cara medial del tercer dedo.

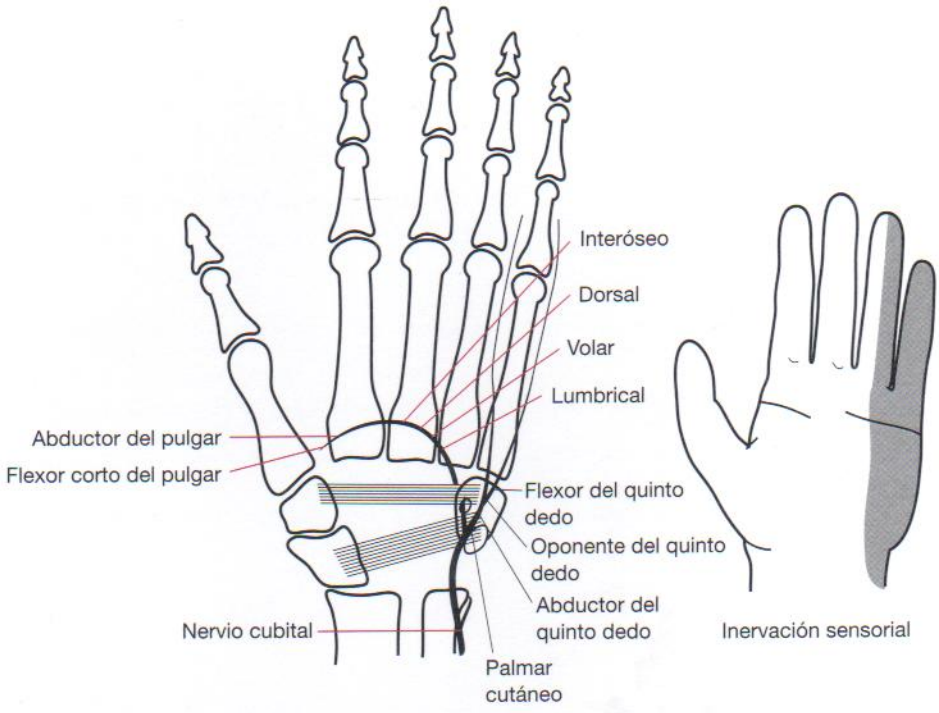


Figura 5.71. Nervio cubital. Inervación motora y sensorial del nervio cubital.

Nervio cubital

El nervio cubital deriva de dos raíces cervicales, C8 y D1. Inerva los siguientes músculos:

1. Flexor cubital carpiano (C8, D1), que flexiona la muñeca en dirección cubital y también flexiona la muñeca cuando se abduce el quinto dedo.
2. Flexor común profundo de los dedos (C8, D1), que flexiona la falange distal del quinto dedo y a menudo la falange distal del cuarto dedo.
3. Abductor del meñique, que abduce el quinto dedo en el plano de la palma.
4. Oponente del meñique, que opone el quinto dedo contra el pulgar.
5. Aductor del pulgar, que aduce el pulgar en el plano de la palma.
6. Interóseos palmares, que aducen los dedos hacia la línea media.

El área sensorial dermatotómica que inerva el nervio cubital corresponde al lado cubital de los dos últimos dedos, la superficie cubital del cuarto, y el quinto dedo completo (Fig. 5.71).

Nervio radial

El nervio radial se origina en las raíces C5, C6, C7, C8 y D1. En la porción superior del antebrazo se divide en dos ramas: una rama superficial sensitiva y otra rama, que constituye el nervio interóseo posterior, que inerva los siguientes músculos:

1. Supinador corto (C5, C6), que supina el antebrazo.
2. Ancóneo.
3. Extensor común de los dedos (C7, C8), que extiende todas las falanges de los dedos salvo las del pulgar.
4. Extensor del meñique (C7, C8).
5. Extensor radiocarpiano y cubital (C7, C8), que extienden la muñeca en direcciones cubital y radial.
6. Abductor largo del pulgar (C7, C8), que abduce el pulgar en el plano de la palma.
7. Extensor largo y corto del pulgar (C7, C8), que abduce y extiende la base del pulgar.

La distribución sensitiva dermatotómica del nervio radial corresponde al dorso de la mano (Fig. 5.72).

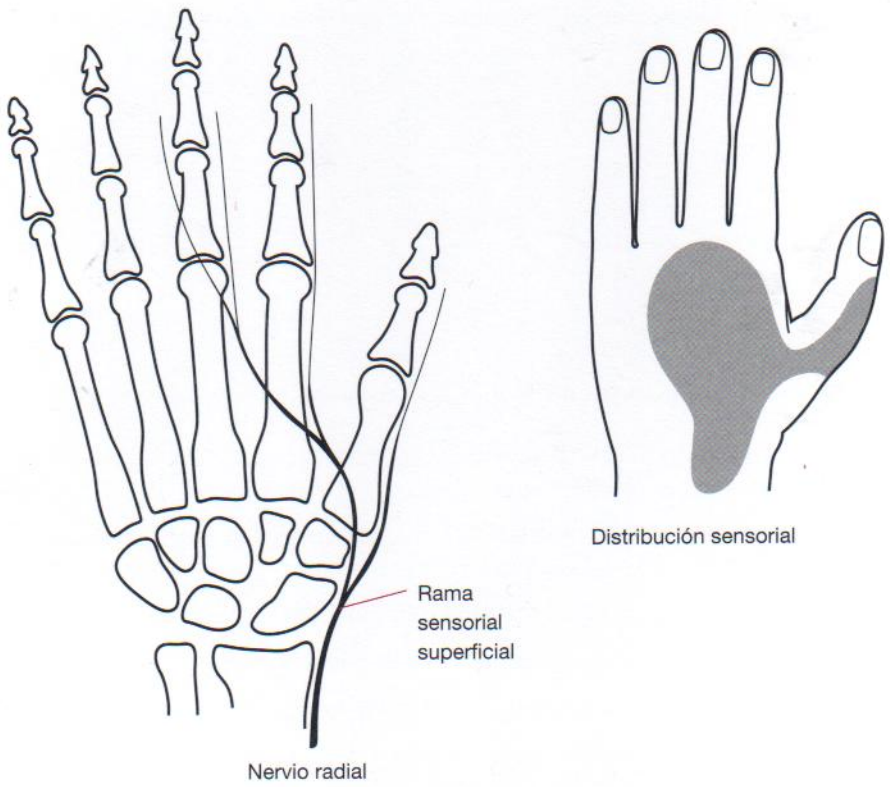


Figura 5.72. Nervio radial. Distribución motora y sensorial del nervio radial.

Anatomía funcional de síndromes dolorosos frecuentes en la mano

De los numerosos síndromes dolorosos de la mano, los más frecuentes se dan en la base del pulgar. La articulación trapeciometacarpiana del pulgar es una articulación multidireccional que permite circunducción, flexión, extensión, aducción y abducción (Figs. 5.73, 5.74 y 5.75).

Otra afección frecuente y discapacitante de los dedos (en flexión y reextensión) es el atrapamiento de tendones cuando hay nódulos dentro del tendón flexor; dichos nódulos pasan bajo el ligamento anular, pueden quedar atrapados y ocasionalmente quedan «bloqueados» en su nueva posición. Cuando la nodularidad aparece en el extensor del pulgar se puede producir dolor, hipersensibilidad y atrapamiento en la tabaquera anatómica en la base del pulgar (veáse Fig. 5.34).

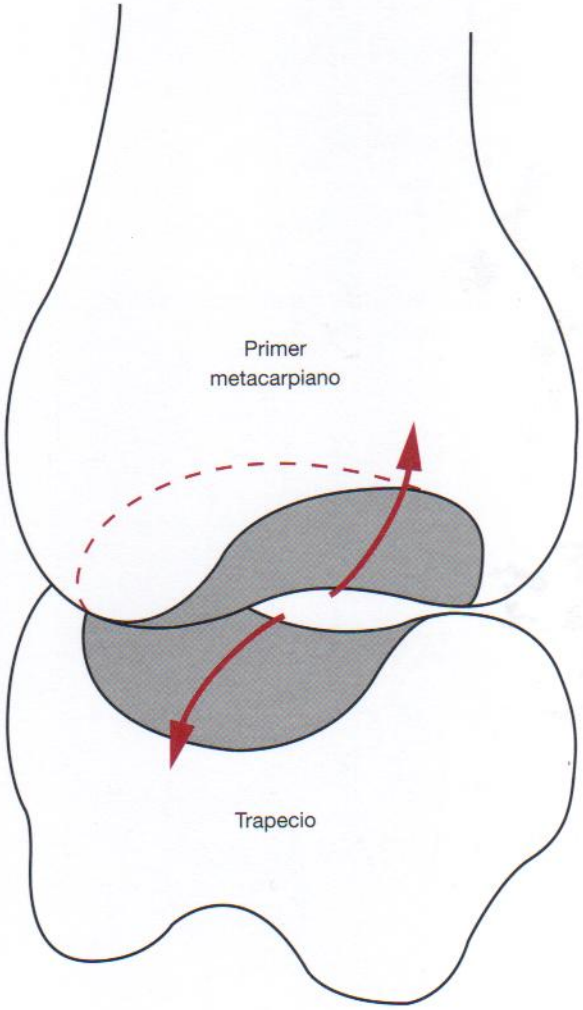


Figura 5.73. Articulación trapeciometacarpiana del pulgar. La articulación entre el trapecio y el primer metacarpiano permite la movilidad del pulgar en todas las direcciones.

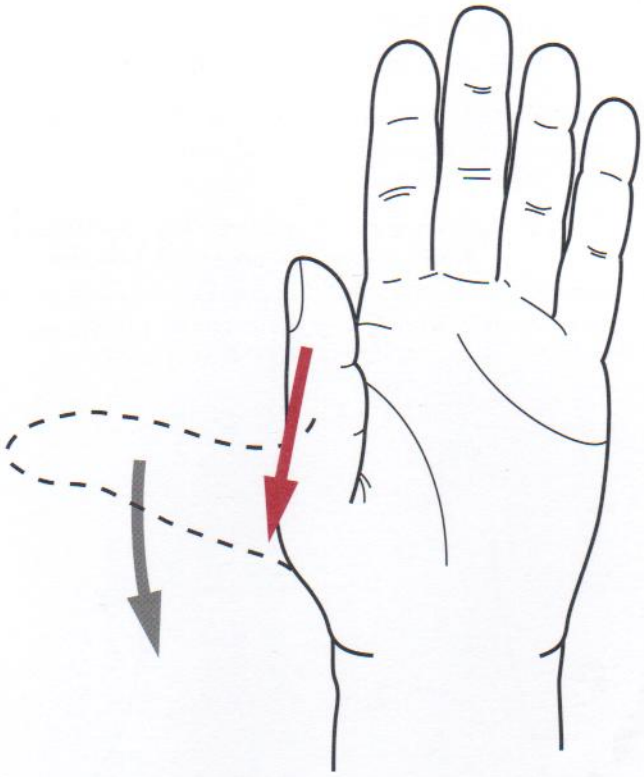


Figura 5.74. Abducción del pulgar. La abducción es una combinación de la flexión hacia la palma y la rotación interna.

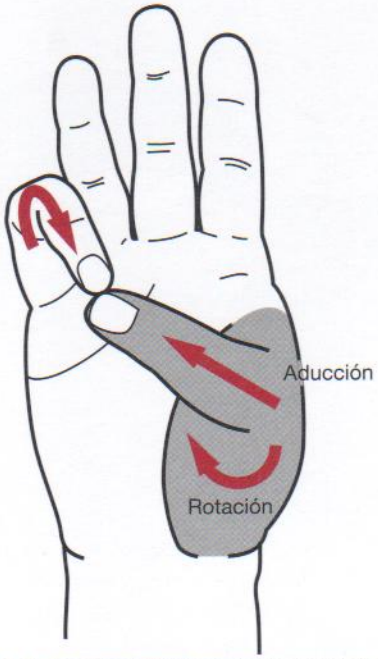


Figura 5.75. Oposición del pulgar. Para oponer el pulgar a cualquier otro dedo, ha de aducirse y rotar internamente.

capítulo 6

Anatomía funcional de la rodilla

La rodilla es una articulación compleja compuesta por dos uniones estructurales y funcionales diferentes, que colaboran en la función que tienen asignada: la articulación tibiofemoral y la articulación femororrotuliana.

Articulación tibiofemoral

La articulación tibiofemoral de la rodilla es estructuralmente inestable en su función estática, excepto por lo que se refiere a su soporte ligamentoso. En las funciones estática y cinética, ejemplifica la incongruencia en todos sus aspectos (véase Cap. 4).

La articulación tibiofemoral está formada por el extremo distal del fémur y las caras proximales de la tibia. El extremo distal del fémur lo constituyen dos carillas convexas de los cóndilos separadas por una profunda escotadura en forma de U, denominada *fosa intercondílea* (Figs. 6.1 y 6.2).

La articulación tibiofemoral es inestable debido a sus caras incongruentes. La convexidad de los cóndilos femorales y la curvatura de las concavidades tibiales son asimétricas y, consecuentemente, inestables. La simetría, y por tanto la congruencia, son restauradas fisiológicamente por los meniscos bilaterales, cuyas caras se aproximan a la congruencia, igualando así la distribución de la carga (Figs. 6.3 y 6.4). No obstante, es necesaria una mínima incongruencia para una adecuada lubricación de la articulación (Fig. 6.5).

Meniscos

Los meniscos son estructuras fibrocartilaginosas curvas y cuneiformes localizadas en la periferia de la articulación tibiofemoral. Están conectados entre sí y con la cápsula articular. El menisco medial tiene una anchura aproximada de 10 mm, y su asta posterior es más ancha que la porción medial. La curvatura del menisco medial es más ancha que la del menisco lateral. Su asta anterior está unida a la cresta anterior de la tibia y a la eminencia intercondílea ventral mediante fascículos fibrosos ligamentosos. Por medio del ligamento transverso se une al asta anterior del menisco lateral. Está firmemente ligado en toda su periferia a la cápsula articular y a la porción profunda del ligamento colateral medial. Posteriormente, el menisco medial se une a un engrosamiento fibroso de la cápsula y a la porción tendinosa del músculo semimembranoso.

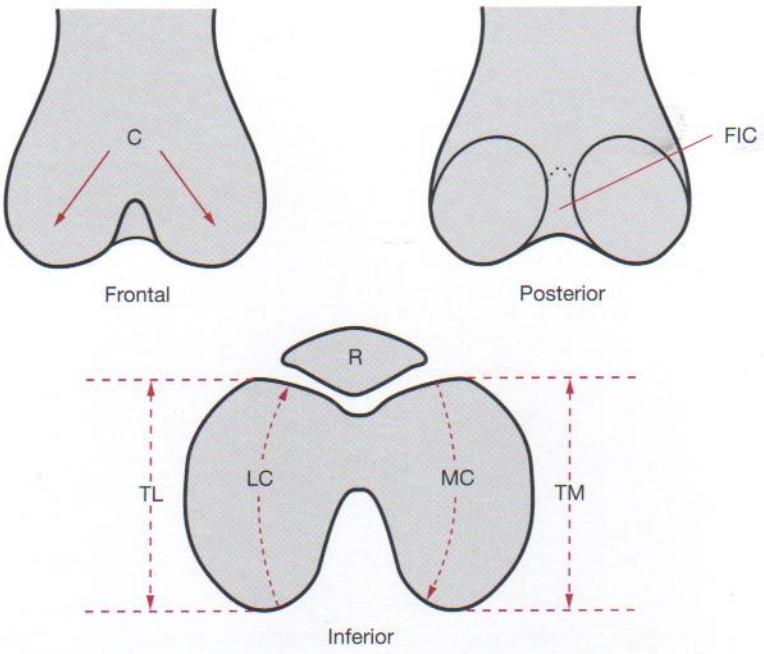


Figura 6.1. Cóndilos femorales. Los cóndilos femorales (C) son estructuras convexas localizadas en el extremo del fémur y recubiertas de cartílago en su cara posterior. Entre los cóndilos, se encuentra la fosa intercondílea (FIC). En la vista inferior se aprecia el surco rotuliano (R). Es evidente que las longitudes totales de los cóndilos son iguales, pero las superficies condilares sobre las que se deslizan las superficies cóncavas de la tibia difieren en que el menisco medial es más largo. LC y MC, longitudes de las superficies condilares en comparación con la longitud total de los cóndilos (TL, lateral; TM, medial).

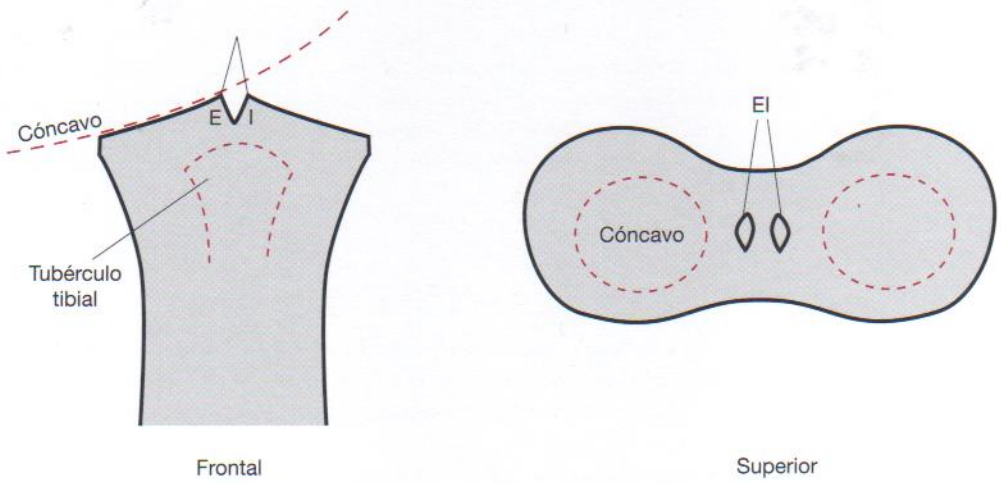


Figura 6.2. Superficie articular tibial. Vista frontal, La tibia, por su cara cóncava, se articula con los cóndilos femorales. EI, eminencia intercondílea. Vista superior, Dos concavidades y EI.

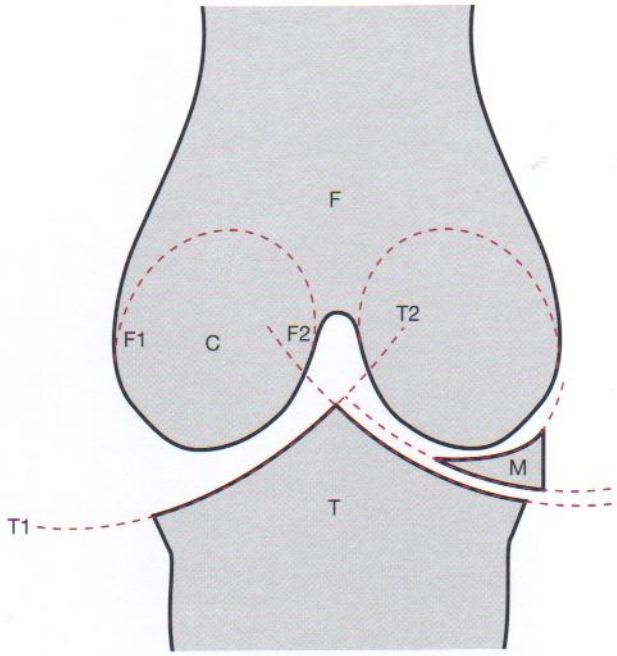


Figura 6.3. Congruencia de la articulación tibiofemoral. Esquemáticamente, la congruencia es restituida por la presencia de los meniscos. Los cóndilos (C) femorales (F) presentan una curvatura específica (F1-F2), que es distinta de la concavidad de la tibia (T) (T1-T2). La congruencia la restablecen las curvas del menisco (M).

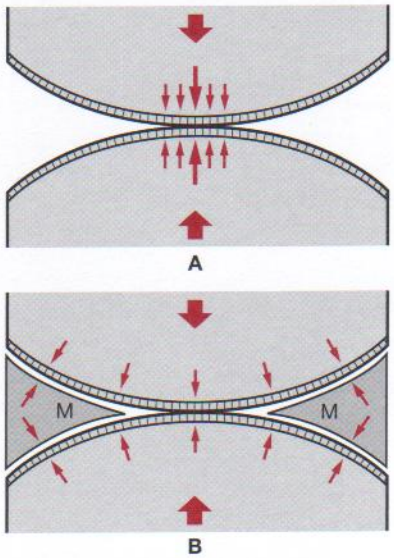


Figura 6.4. Influencia de los meniscos en la distribución de la carga. A, Sin el menisco, la carga se concentra en el centro de las áreas de contacto. **B,** Los meniscos (M) distribuyen la carga a lo largo de todas las caras de las mesetas tibiales y los cóndilos femorales.

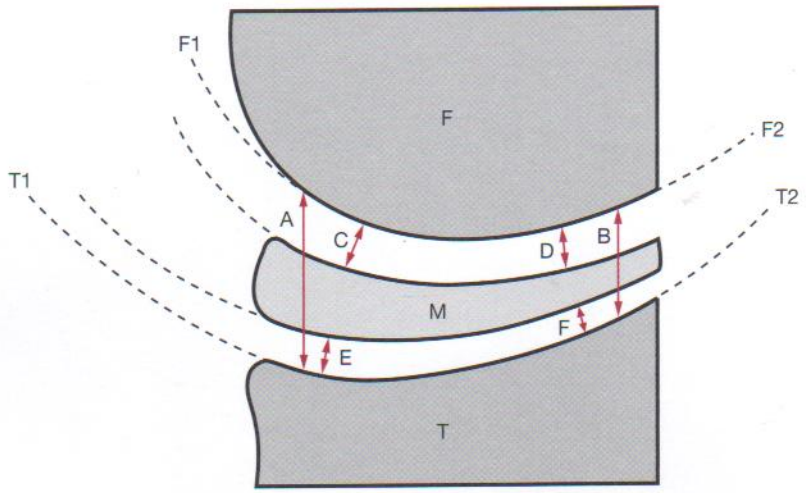


Figura 6.5. Lubricación hidrodinámica de una articulación. Las caras articulares no paralelas (F1-F2 y T1-T2) forman un líquido lubricante cuneiforme, que permanece parcialmente en el ápice (A es más ancho que B.) El líquido lubricante se desplaza por las capas A, B, C, D, E y F a la misma velocidad que las caras óseas en la articulación. La fuerza de traslación entre las capas provoca la deformación del líquido. El lubricante es adhesivo y viscoso, y está recubierto de ácido hialurónico, generado por la sinovia y el cartílago. M, menisco; T, tibia; F, fémur.

El menisco lateral tiene una anchura de entre 12 mm y 13 mm. Su curvatura es mayor que la del menisco medial, y se asemeja a un anillo cerrado, mientras que el menisco medial presenta más bien forma de «C». Las astas anterior y posterior del menisco lateral se unen directamente a las espículas de la eminencia intercondílea y al ligamento cruzado posterior mediante una conexión fibrosa (el ligamento meniscofemoral). La mayor parte del asta posterior se inserta en la fosa intercondílea del fémur mediante un fuerte fascículo conocido como ligamento de Wrisberg, que acompaña al ligamento cruzado posterior.

El menisco lateral presenta conexiones laxas con la cápsula lateral. En el asta posterior, el tendón poplíteo se interpone entre el menisco lateral y la cápsula. Mediante estas conexiones, el menisco lateral, que no está conectado periféricamente a la cápsula, es capaz de rotar alrededor de sus conexiones centrales con las espinas tibiales, que actúan como punto de apoyo (Fig. 6.6).

Es preciso conocer la estructura microscópica de los meniscos para percibir los posibles daños derivados de esfuerzos poco frecuentes. El menisco se compone de tres zonas diferenciadas de haces de fibras colágenas. El tercio exterior del menisco se compone de fibras circunferenciales, mientras que las otras dos capas presentan fibras que discurren en dirección transversa. Estas dos zonas interiores están divididas en haz superior e inferior por una estrecha zona llamada *haz perforante medio* (Fig. 6.7).

Estabilidad articular

La sinartrosis se estabiliza gracias a los ligamentos de la articulación, puesto que no hay estabilidad mecánica en una articulación incongruente. Es preciso examinar todos los componentes de la articulación de la rodilla para determinar la estabilidad (Fig. 6.8). Como se ha señalado, la estructura ósea de la rodilla no puede, por sí misma, alcanzar la estabilidad; antes bien, dicha estabilidad la proveen las estructuras ligamentosas y los músculos de la articulación (Fig. 6.9).

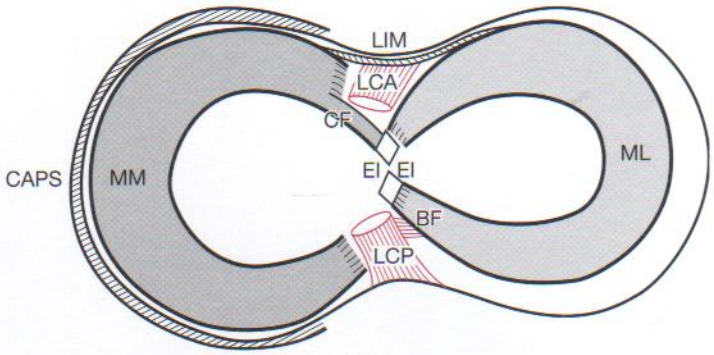


Figura 6.6. Inserciones del menisco. Meseta tibial derecha vista desde arriba. Inserción fibrosa (CF) del menisco medial (MM) en la cresta exterior del tubérculo tibial. Conexión del ligamento cruzado anterior (LCA) con el ligamento intrameniscal (LIM), que se inserta en el asta anterior del menisco lateral (ML). El menisco medial está unido en toda su circunferencia a la cápsula (CAPS). Tanto el asta posterior como la anterior del menisco lateral (ML) están unidas a la eminencia intercondílea (EI) y al ligamento cruzado posterior (LCP) mediante un fascículo fibroso. El fascículo fibroso (BF) se inserta superiormente en la fosa intercondílea del fémur.

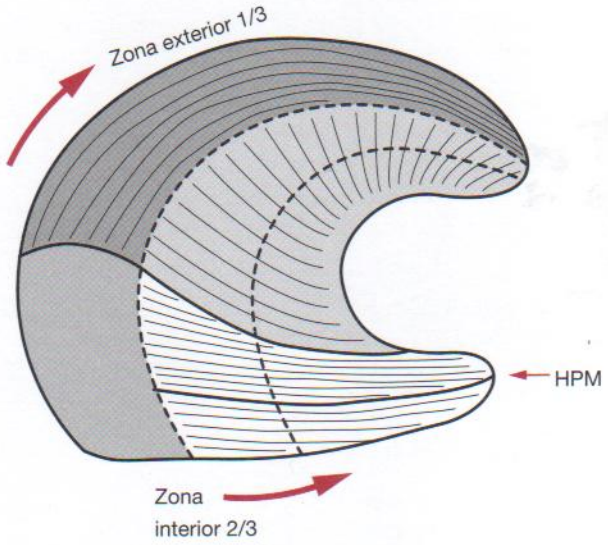


Figura 6.7. Estructura microscópica del menisco. El menisco se divide en tres zonas, cada una de las cuales presenta dos capas. La zona exterior contiene fibras de colágeno circunferenciales, y las dos zonas interiores fibras de colágeno transversales. Dos zonas están separadas por una delgada capa de fibras denominada haz perforante medio (HPM).

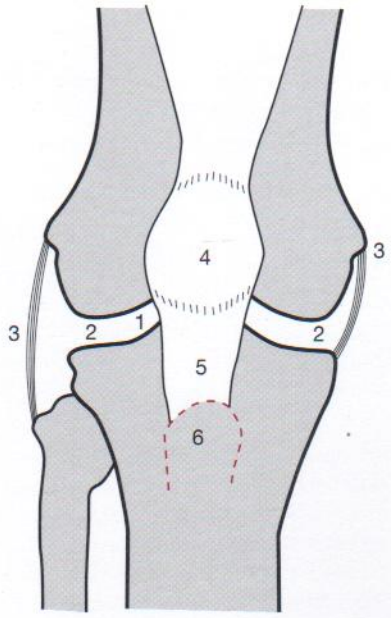


Figura 6.8. Localización de los componentes de la rodilla. 1, localización de los ligamentos cruzados; 2, localización de los meniscos; 3, ligamentos colaterales; 4, rótula; 5, ligamento infrarrotuliano; 6, tubérculo tibial.

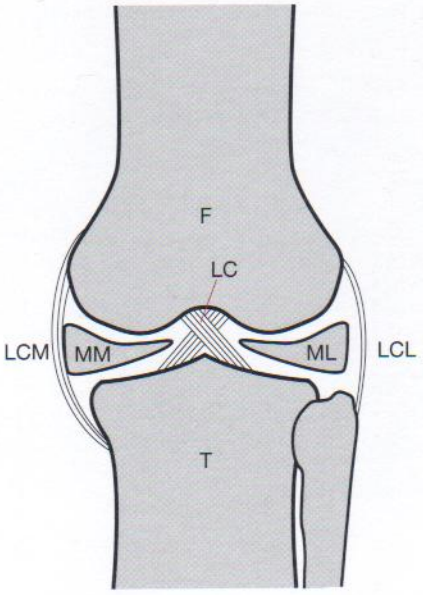


Figura 6.9. Ligamentos de la articulación de la rodilla. La articulación tibiofemoral (T-F) es estabilizada por el ligamento colateral medial (LCM), el ligamento colateral lateral (LCL) y los ligamentos cruzados (LC). Los meniscos (medial, MM; lateral, ML) admiten una congruencia parcial.

Ligamentos colaterales

Los ligamentos presentan una estructura similar a la de los tendones, excepto porque la disposición de las fibras colágenas es más irregular en los ligamentos que en los tendones, donde son más paralelas. Además, los ligamentos contienen más fibras de elastina dentro de las fibras colágenas. Microscópicamente, la mayoría de los ligamentos presentan patrones ondulados en las fibras de colágeno, que se enderezan lentamente cuando una carga o fuerza dadas provocan su elongación.

Tras una lesión los ligamentos se recuperan más lentamente que los tendones, los cuales tienen mayores componentes celulares más activos metabólicamente, contienen menos fibras colágenas de tipo III y tienen más uniones cruzadas.

Los ligamentos, en su inserción en el hueso, presentan tres zonas: son paralelos en la zona 1, fibrocartilaginosos en la zona 2 y mineralizados en la zona 3, donde se funden con el hueso. Esta fusión es la causa de la rigidez de la conexión ligamentosa, y explica por qué se da más comúnmente la avulsión ósea que el desgarro ligamentoso. Los ligamentos reciben el riego sanguíneo de la vascularidad de sus vainas (Fig. 6.10).

Riego sanguíneo de las estructuras de la articulación tibiofemoral

Cinco ramas de la arteria poplítea aportan riego sanguíneo a las estructuras de la rodilla. La arteria femoral tiene su origen en la arteria ilíaca, en el triángulo femoral de la ingle, y desciende anteriormente, bifurcándose en la arteria femoral profunda, que a su vez se ramifica en cuatro arterias perforantes (Fig. 6.11).

Cuando la arteria poplítea se aproxima al espacio poplíteo, se divide en dos arterias superiores de la rodilla, una arteria central (media) de la rodilla y, por debajo del espacio, dos arterias inferiores de la rodilla. Las arterias posteriores se curvan en torno a los cóndilos femorales y forman anteriormente un complejo en la porción suprarrotuliana. La arteria media (central) emerge de la porción posterior de la arteria poplítea, atraviesa el ligamento poplíteo y se divide en tres ramas: la media sigue el trayecto del ligamento cruzado anterior, mientras que las dos restantes penetran en la región perimeniscal para regar los meniscos. Las arterias inferiores discurren por el borde de la meseta tibial y pasan bajo los ligamentos colaterales (Figs. 6.12 y 6.13).

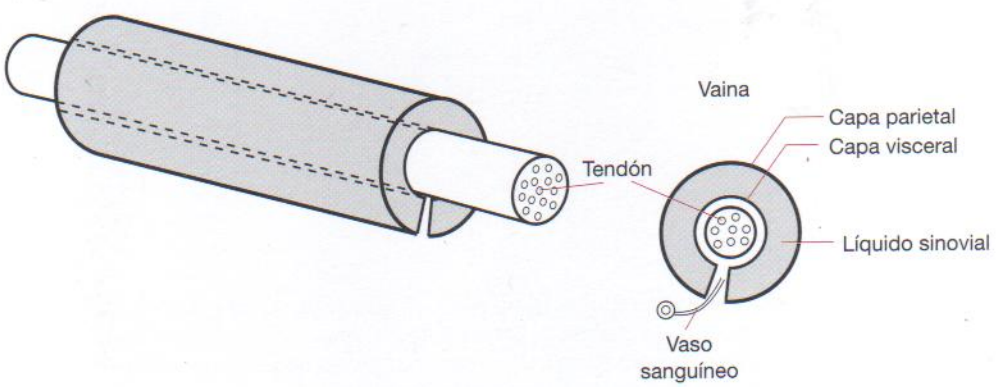


Figura 6.10. Aporte vascular a los tendones. La imagen de la vaina que aporta el riego sanguíneo al tendón muestra cómo entran los vasos sanguíneos en la vaina a través de la escotadura lineal situada entre las capas parietal y visceral de la vaina, que contiene el líquido sinovial.

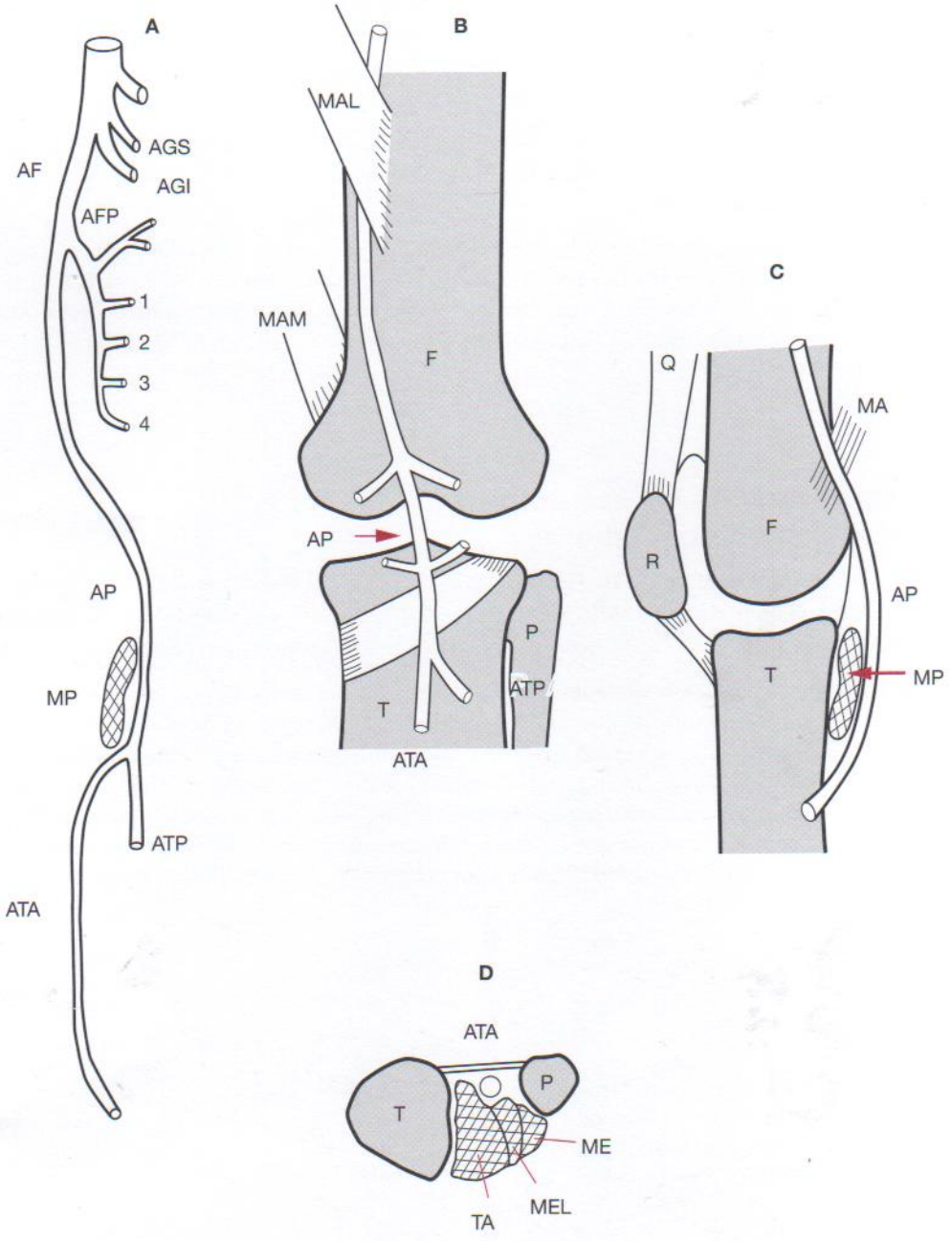


Figura 6.11. Ramas de las arterias femorales. A, Esquema de las ramas de la arteria femoral a través de la pierna. **B,** Cara posterior de la rodilla. **C,** Vista lateral del riego sanguíneo de la rodilla. **D,** Vista superior del compartimento anterior de la región media de la pierna. F, fémur; T, tibia; P, peroné; R, rótula; MAL, músculo abductor largo ; MAM, músculo aductor mayor; AP, arteria poplítea; ATA, arteria tibial anterior; ATP, arteria tibial posterior; AGS, arteria glútea superior; AGI, arteria glútea inferior; AFP, arteria femoral profunda; MP, músculo poplíteo; TA, músculo tibial anterior; MEL, músculo extensor largo del dedo gordo del pie; ME, músculo extensor de los dedos del pie; Q, músculo cuádriceps.

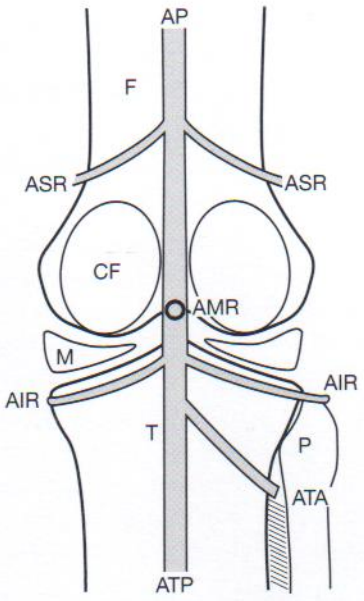


Figura 6.12. Arterias geniculadas que riegan la rodilla. La arteria poplítea (AP) desciende hasta el hueco poplíteo y se divide en las arterias superiores de la rodilla (ASR), la arteria media (AMR) y las dos arterias inferiores (AIR). F, fémur; T, tibia; CF, cóndilos femorales; M, menisco; P, peroné; ATA, arteria tibial anterior; ATP, arteria tibial posterior.

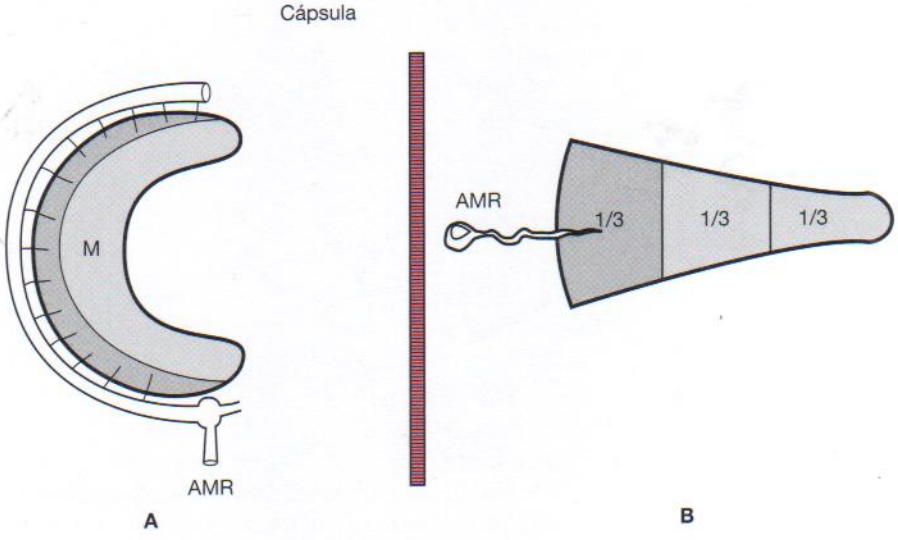


Figura 6.13. Circulación intrínseca de los meniscos. A, Arteria media de la rodilla (AMR) que conduce a una arteria circular alrededor del menisco (M). **B,** Arteria de la rodilla que penetra en el tercio exterior del menisco por medio de la arteriola tortuosa. Los dos tercios interiores del menisco son avasculares.

Ligamentos capsulares y colaterales

La cápsula de la articulación tibiofemoral es una membrana fibrosa delgada que se forma en las estructuras ligamentosas faciales, las cuales contribuyen a estabilizar la articulación de la rodilla. Gracias a sus posiciones, estabilizan el movimiento lateral y medial (varo-valgo) (Fig. 6.14).

El ligamento colateral medial contiene tres capas de tipo fascial localizadas en la cara medial de la articulación. Se inserta superiormente en el epicóndilo femoral medial, e inferiormente en la tibia, justo por debajo del cartílago articular.

Las capas 1, 2 y 3 son la fascia crural profunda, el ligamento superficial medial y la porción medial profunda y la cápsula. La capa superficial situada inmediatamente debajo de la piel es una capa fascial que encierra también la rótula anteriormente y recubre el hueco poplíteo posteriormente. El músculo sartorio se inserta directamente, sin tendón, en esta fascia. Los tendones de los músculos grácil y semitendinoso invaginan la fascia.

La capa 2 constituye el ligamento colateral medial superficial, que tiene fibras paralelas verticales. La capa capsular, más profunda, tiene tres porciones: el segmento medio presenta fibras paralelas verticales, y los segmentos anterior y posterior fibras curvas. Las fibras anteriores se unen al mecanismo extensor, y las fibras posteriores a la cápsula poplítea. La porción media de la capa 2 ha sido denominada tanto «ligamento colateral medial» como «fibras paralelas del ligamento medial superficial»[1].

El segmento medio del ligamento colateral se divide a su vez en dos segmentos: segmento meniscofemoral superior, que fija el menisco medial, y segmento meniscofemoral inferior, que es laxo y permite el movimiento de la tibia sobre el menisco. Esto se abordará más adelante, en la sección dedicada a la anatomía funcional de la rodilla.

La capa 3 es la cápsula, que puede ser una capa independiente, o bien, simplemente, una capa entrecruzada con los ligamentos reticulares profundos (Fig. 6.15).

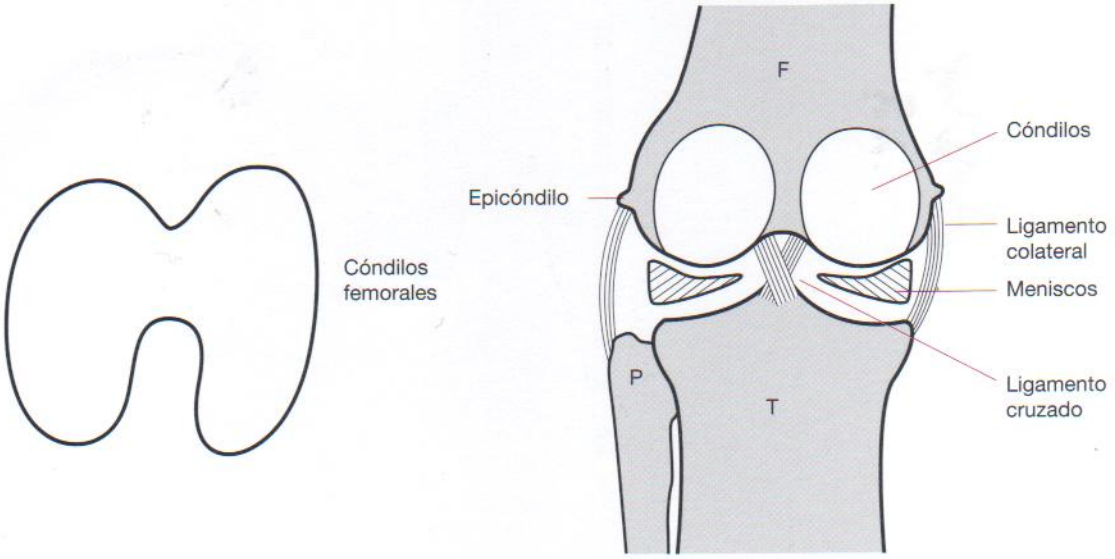


Figura 6.14. Ligamentos de la articulación tibiofemoral. Vista posterior de la articulación de la rodilla y sus ligamentos colaterales y cruzados. P, peroné; F, fémur; T, tibia.

Ligamentos colaterales laterales

El compartimento lateral de la articulación de la rodilla se extiende posteriormente desde el borde lateral del tendón rotuliano (anteriormente) hasta el ligamento cruzado posterior (posteriormente). Se divide en tres fascículos, que se extienden desde el epicóndilo lateral del fémur hasta la cara lateral de la cabeza del peroné, donde se insertan. La cara anterior es la cápsula, que se extiende desde el mecanismo extensor (la rótula y sus tendones) hasta el tracto iliotibial.

La porción media del ligamento colateral lateral es el tracto iliotibial. Este tendón se divide en las porciones meniscotibial y meniscofemoral. El tracto iliotibial se une al epicóndilo lateral del fémur y al tubérculo lateral del peroné. El ligamento colateral lateral se considera la cara posterior del tracto iliotibial, y está situado por delante del centro de rotación de la articulación tibiofemoral.

La porción posterior del compartimento lateral se compone de las fibras interdigitales de la cápsula, y se denomina *complejo ligamentoso arcuato*; este compartimento contiene el tendón del músculo poplíteo (Fig. 6.16).

El músculo poplíteo forma parte del suelo del hueco poplíteo. Tiene tres puntos de origen tendinosos en el epicóndilo lateral del fémur (Fig. 6.17).

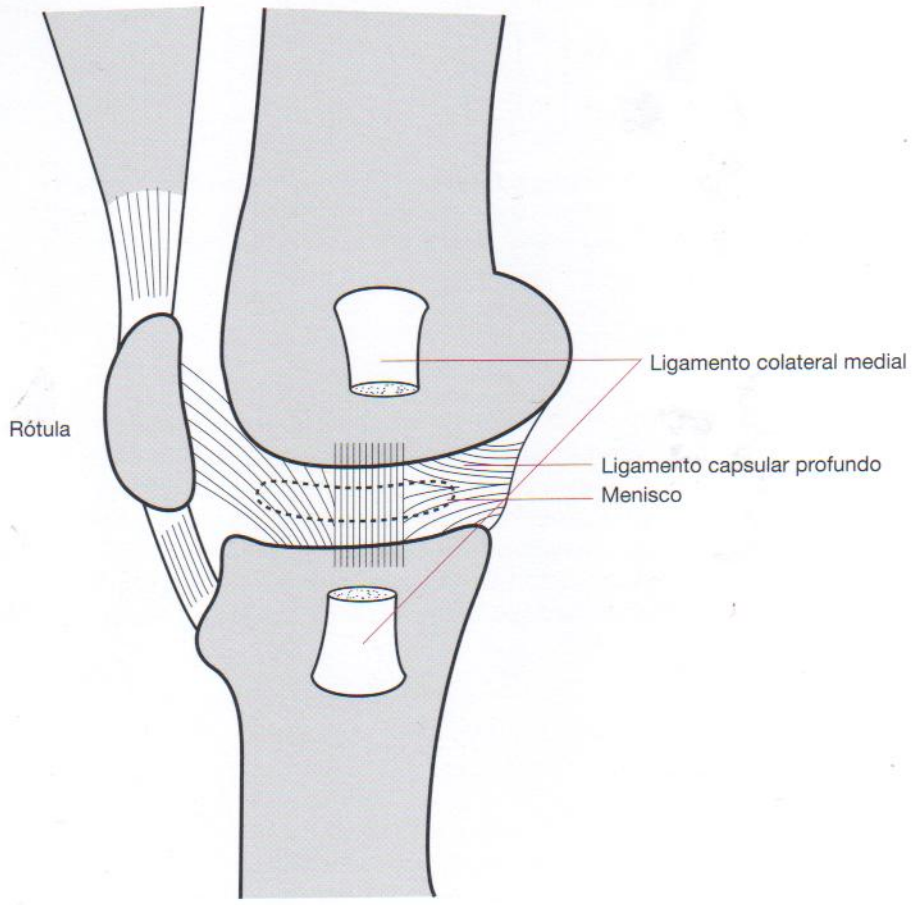


Figura 6.15. Ligamentos colaterales mediales. Ligamentos colaterales mediales e inserciones.

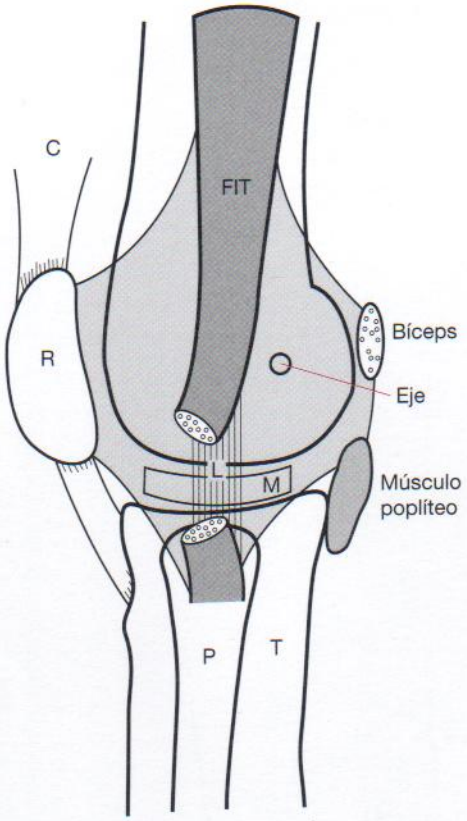


Figura 6.16. Ligamento colateral lateral. Tejidos que forman el ligamento colateral lateral. FIT, fascículo iliotibial; C, músculos cuadrados; R, rótula; P, peroné; T, tibia; L, ligamento colateral lateral; M, menisco lateral. El eje es el centro de rotación de la rodilla.

El ligamento arcuato se superpone a la fascia poplítea y está firmemente unido a la misma. El hueco posterior limita superiormente con los músculos semimembranoso y semitendinoso y el tendón del bíceps, e inferiormente con las dos cabezas del músculo gastrocnemio. La pared superior del hueco es la fascia poplítea. El nervio peroneo atraviesa el cuello del peroné por detrás del tendón del bíceps. El hueco contiene la arteria, vena y nervio poplíteos, que se dividen en las ramas tibial y peronea; estas ramas pasan por encima de la cabeza lateral del músculo gastrocnemio y acaban entremezclándose en un vientre muscular, el cual, a su vez, se inserta por medio del tendón en la tibia posterior proximal (Fig. 6.18).

Ligamentos cruzados

Hay dos ligamentos cruzados: el anterior y el posterior. El ligamento cruzado anterior (LCA) emerge de la cara no articular de la tibia y pasa superior, lateral y posteriormente, y acaba insertándose en la porción posterior de la escotadura intercondílea. Se considera anterior en virtud de su origen en la porción anterior de la tibia. Es largo y firme. Muchas de sus fibras se adhieren a la punta anterior del menisco lateral, y se calcula que un 20% de sus fibras llegan posteriormente hasta el origen posterior del menisco lateral. Finalmente, se inserta en la carilla posterior de la cara medial del cóndilo femoral lateral.

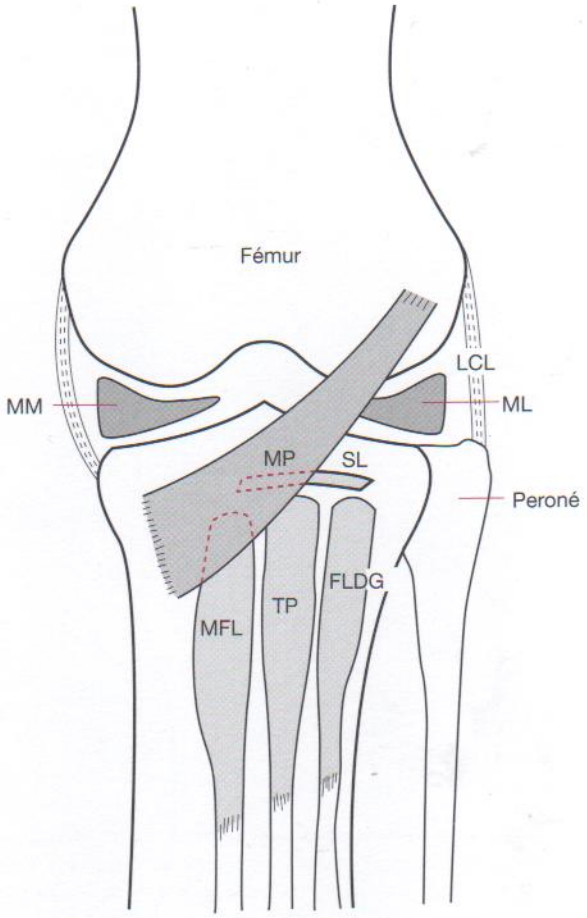


Figura 6.17. Músculo poplíteo. El músculo poplíteo (MP) tiene su origen en el epicóndilo lateral del fémur, debajo del origen del músculo gastrocnemio, y se inserta en la porción medial superior de la tibia. Superiormente, está unido al músculo flexor largo (MFL) de los dedos de los pies, al músculo tibial posterior (TP) y al músculo flexor largo del dedo gordo del pie (FLDG). MM, menisco medial. ML, menisco lateral; LCL, ligamento colateral lateral; SL, origen del músculo sóleo.

El LCA se compone de dos fascículos: un pequeño fascículo anteromedial y un voluminoso fascículo posterolateral, que avanzan en paralelo y están unidos entre sí mediante un material blando que les permite moverse de forma diferenciada. Una porción puede permanecer inerte mientras la otra se mueve. Es sabido que los ligamentos cruzados son esencialmente avasculares, como todos los ligamentos, pero el LCA recibe el riego sanguíneo de las arterias inferior y media de la rodilla, mientras que la sinovia aporta la nutrición.

La resistencia a la tensión del ligamento cruzado anterior se ha equiparado a la de los ligamentos colaterales, pero es sólo la mitad de la del ligamento cruzado posterior[2]. En las funciones cotidianas, sólo la mitad del ligamento funciona, mientras que la otra permanece tensa.

El ligamento cruzado posterior (LCP) es un ligamento intraarticular extrasinovial que se inserta en la cara lateral del cóndilo femoral tibial. Su más estrecha porción posterior se despliega en abanico sobre el borde posterior de la tibia. Como se ha señalado, presenta el doble de resistencia que el LCA.

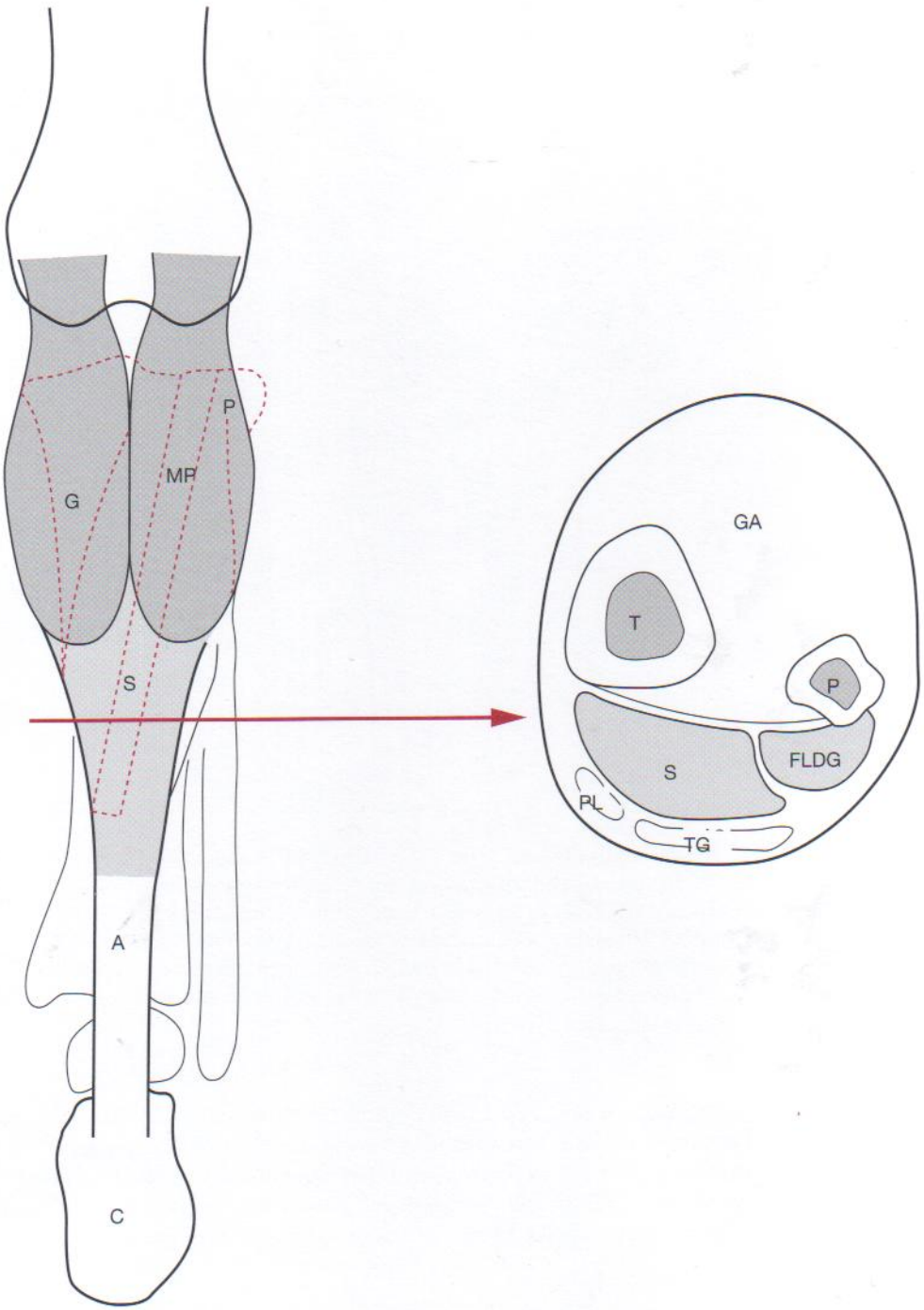


Figura 6.18. Musculatura posterior de la rodilla. El músculo poplíteo (MP) subyace al origen del músculo gastrocnemio (G). La figura izquierda es una vista superior. T, tibia; P, peroné; S, músculo sóleo; A, tendón de Aquiles; C, calcáneo; GA, grupo anterior de músculos; PL, músculo plantar; FLDG, flexor largo del dedo gordo; TG, porción tendinosa del músculo gastrocnemio.

Articulación femororrotuliana

La rótula es un hueso sesamoideo que forma parte del tendón del cuádriceps. El tendón del cuádriceps femoral está constituido por tres láminas: la capa superficial del cuádriceps femoral, la capa media de las caras lateral y medial del fémur (vasto interno y vasto externo) y la capa profunda de las caras anterior y lateral del fémur (vasto intermedio). La capa superficial recubre la porción anterior de la rótula. El vasto interno y el externo se insertan en la cara media (superior y lateral) de la rótula, y el vasto intermedio en el borde posterosuperior.

El cuádriceps está inervado por el nervio femoral, que está formado por la división anterior primaria de las raíces nerviosas L2 a L4. Además de ser el motor del cuádriceps, inerva mediante una gran rama cutánea la parte medial de la pierna y el pie. Las divisiones sensitivas del nervio femoral son los dermatomas de L2, L3 y L4.

Entre el grupo de músculos anteriores del muslo se encuentran el músculo sartorio y el músculo tensor de la fascia lata. El músculo sartorio es un músculo cintiforme que avanza en espiral a través del muslo, desde su origen en la espina anterosuperior, hasta su inserción en la porción anterosuperior medial de la tibia, debajo de la tuberosidad anterior. Su función consiste en flexionar levemente la rodilla y la cadera. El músculo tensor de la fascia lata tiene su origen en la cara lateral de la pelvis y desciende por la región lateral del muslo, atravesando la articulación de la rodilla, donde conforma una pequeña porción del ligamento colateral lateral de esta articulación. Su función consiste en estabilizar lateralmente la rodilla y contribuir a su extensión (Fig. 6.19).

Existen numerosas bolsas en torno a la articulación de la rodilla que evitan la fricción y permiten la lubricación. Una bolsa es un saco que contiene el líquido sinovial localizado entre los tendones y los ligamentos (Fig. 6.20).

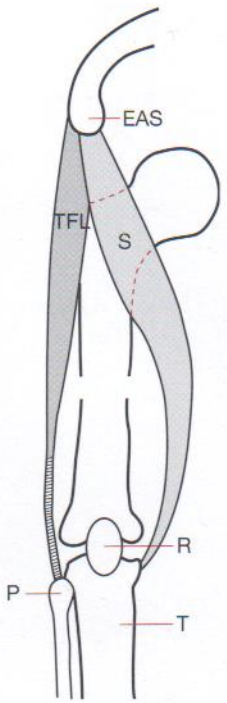


Figura 6.19. Músculo sartorio y tensor de la fascia lata. Origen e inserción del músculo sartorio (S) y del tensor de la fascia lata (TFL). EAS, espina anterior superior de la cresta ilíaca; R, rótula; T, tibia.

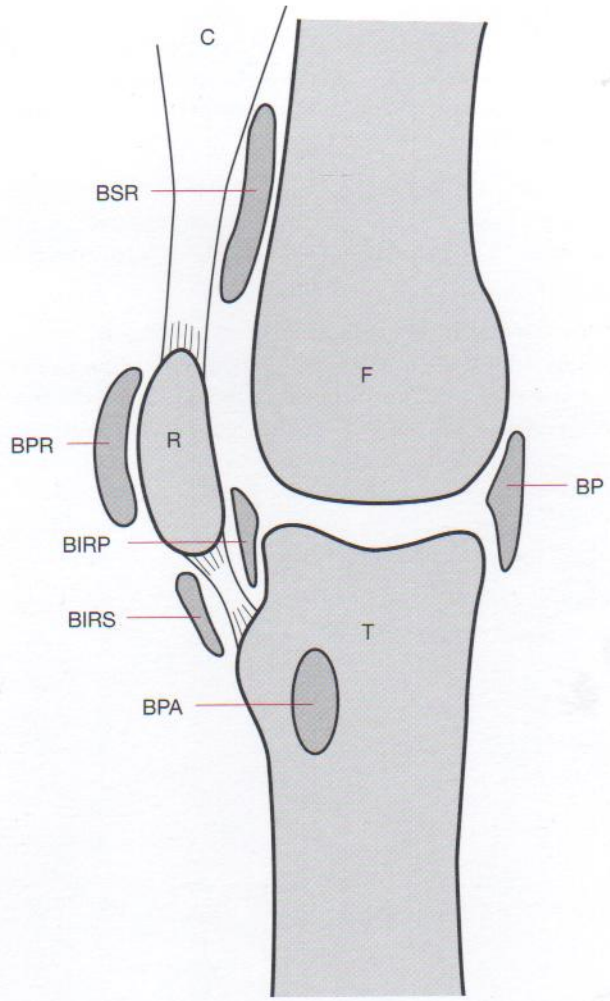


Figura 6.20. Bolsas en torno a la articulación de la rodilla. Bolsas que rodean la rodilla: fémur (F), tibia (T), músculo cuádriceps (C), rótula (R), bolsa suprarrotuliana (BSR), bolsa infrarrotuliana profunda (BIRP), bolsa prerrotuliana (BPR), bolsa infrarrotuliana superficial (BIRS), bolsa del pie anserino (BPA) y bolsa poplítea (BP), que puede ser una hernia de la cápsula.

Articulaciones tibiofemoral y femororrotuliana

La flexión y extensión de la rodilla son una combinación de rotación alrededor del eje sagital de los cóndilos femorales y un movimiento deslizante de desplazamiento. Cuando la rodilla se flexiona, la tibia se desliza posteriormente sobre los cóndilos femorales hasta alcanzar el eje de rotación, flexionándose a continuación. Vistos lateralmente, los cóndilos femorales no son completamente redondos, sino que son inicialmente planos, redondeándose gradualmente hacia la porción posterior (Fig. 6.21).

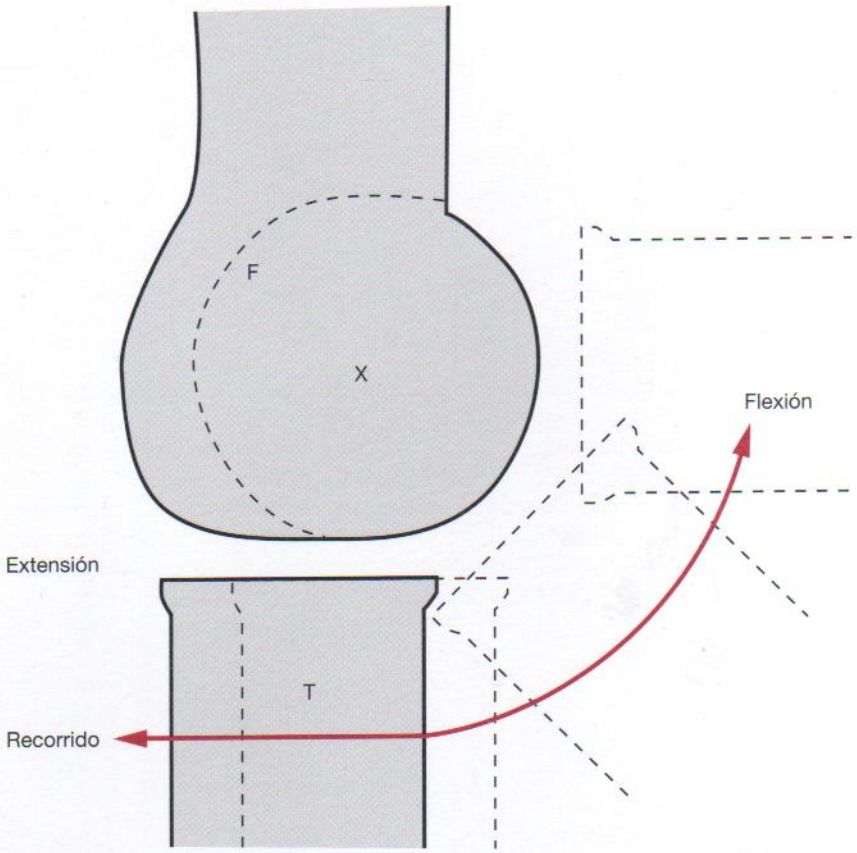


Figura 6.21. Flexión-extensión sagital de la articulación tibiofemoral. La tibia (T) se flexiona sobre el fémur (F) en la dirección señalada. Los primeros grados de flexión en torno al eje femoral (X) son lineales (horizontales), hasta que la tibia se aproxima al centro de rotación alrededor de los cóndilos del fémur; a continuación, inicia la rotación (flexión).

Control de los ligamentos de la flexión-extensión

Los ligamentos de la rodilla son esenciales para una flexión-extensión adecuadas, tanto en el plano sagital como en la flexión-extensión fisiológica rotatoria.

Los ligamentos cruzados anteriores evitan una excesiva extensión y traslación. Una vez iniciadas la flexión a lo largo del plano horizontal y alrededor del eje, los ligamentos cruzados posteriores se convierten en el eje de rotación (Figs. 6.22 y 6.23).

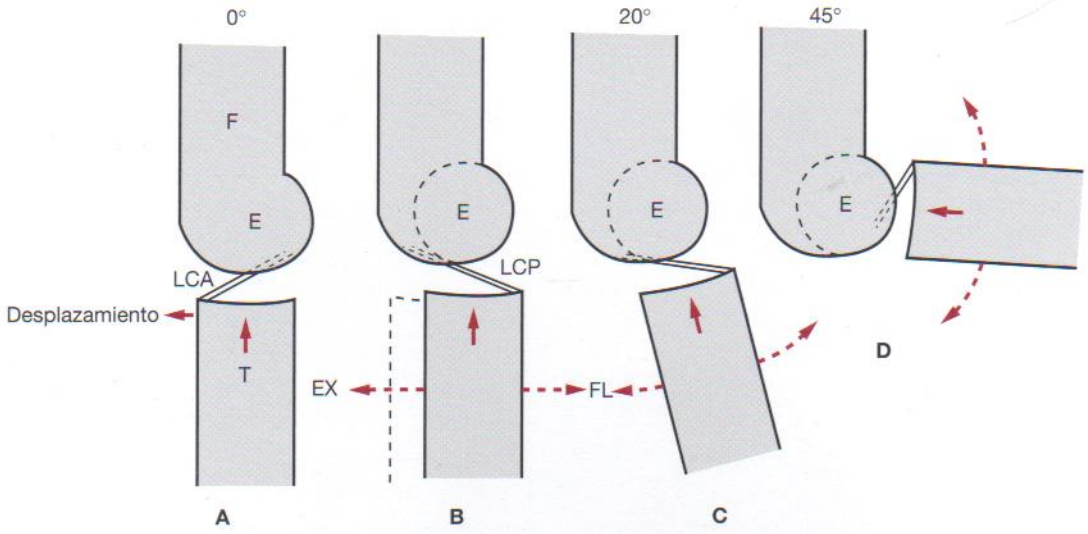


Figura 6.22. Acción de los ligamentos cruzados en la flexión-extensión de la rodilla. A, Extensión completa de la rodilla del fémur (F) sobre la tibia (T). Los ligamentos cruzados anteriores (LCA) impiden un mayor desplazamiento anterior. **B,** A los 20° de flexión (FL), aproximadamente, la tibia se aproxima al centro de rotación de los cóndilos femorales, iniciándose así la flexión. LCP, ligamento cruzado posterior; EX, extensión; E, eje. **C,** El ligamento cruzado posterior se convierte en el eje de rotación (E), evitando un mayor desplazamiento posterior e iniciando la rotación hasta que se alcanzan los 45° de flexión **(D)**.

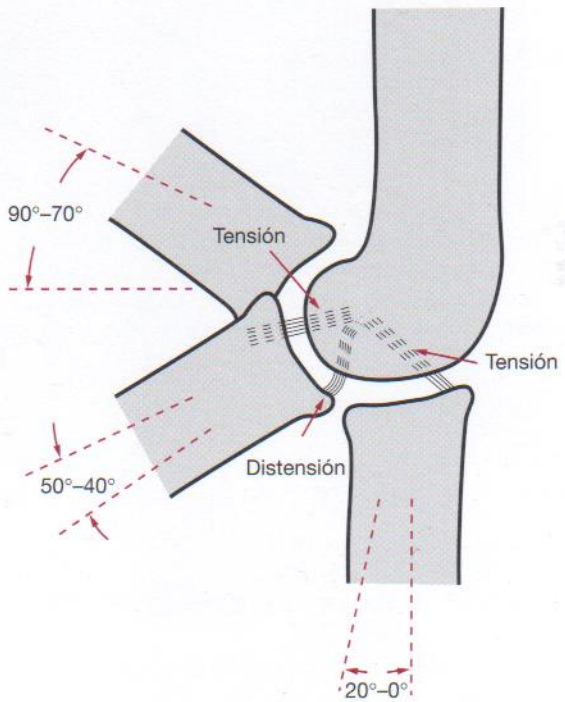


Figura 6.23. Ligamento cruzado anterior durante la flexión. El ligamento cruzado anterior se tensa con la extensión completa de la rodilla (0°) y de nuevo a los 70° u 80° de flexión.

Ligamentos colaterales durante la flexión-extensión

Los ligamentos colaterales medial y lateral, que, esencialmente, impiden el movimiento lateral y medial de la rodilla, intervienen también en la flexión-extensión. En la extensión completa están tensos, situándose por delante del eje de rotación e impidiendo todo movimiento lateral-medial (varo-valgo) y toda rotación. A los 20° de flexión, estos ligamentos se distienden, permitiendo cierto movimiento lateral-medial y, especialmente, la rotación de la tibia sobre los cóndilos femorales durante toda la flexión y extensión de la rodilla (Fig. 6.24).

Durante la flexión y extensión se suele producir simultáneamente la rotación de la tibia sobre el fémur, con la rotación interna gradual de la tibia durante la flexión, particularmente en los últimos grados de flexión. En la reextensión, se da una rotación externa simultánea de la tibia sobre los cóndilos femorales hasta llegar a la extensión completa, momento en que la tibia rota externamente. La causa de esta rotación simultánea se halla en la relación de las mesetas tibiales con los cóndilos femorales durante su deslizamiento recíproco.

Las carillas articulares de los cóndilos femorales son más largas en las distancias anteroposteriores, lo que implica que la tibia tiene un recorrido de deslizamiento más largo sobre los cóndilos mediales que sobre los laterales. La tibia alcanza el tope de su deslizamiento sobre ambos cóndilos sin atravesar completamente sus caras mediales. Se produce así un movimiento ulterior, que sólo puede ser de rotación y en grado limitado, consistente en la rotación externa para una mayor extensión y en la rotación interna para una mayor flexión de la rodilla (Figs. 6.25 y 6.26).

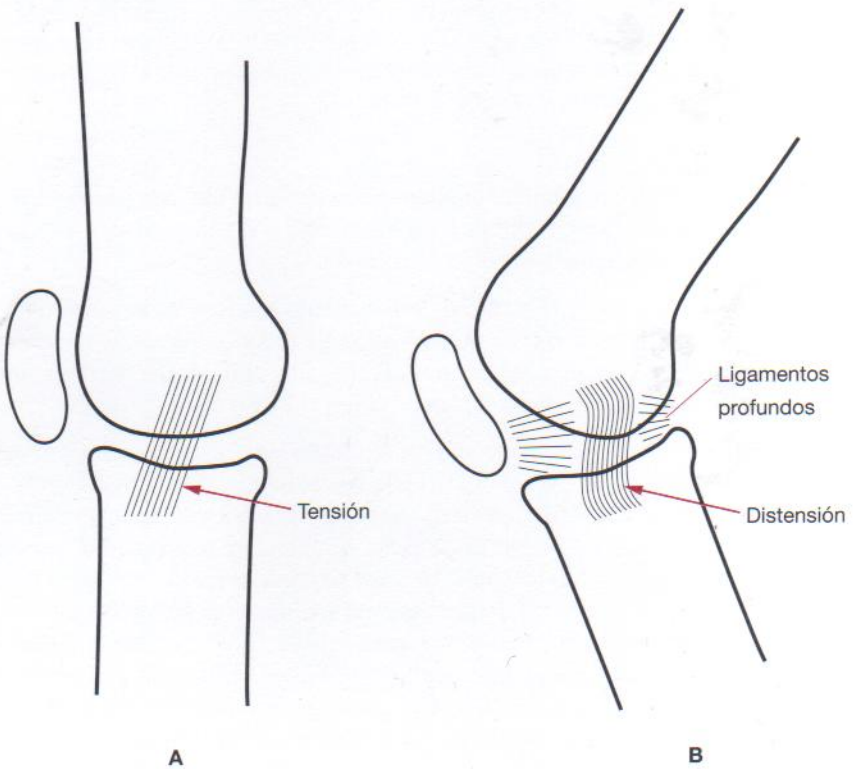


Figura 6.24. Ligamentos colaterales tibiales en la flexión de la rodilla. A, Con la rodilla completamente extendida, el ligamento colateral se tensa. **B,** A medida que la rodilla se flexiona, el ligamento se distiende y permite la rotación y cierto movimiento lateral-medial en varo y valgo.

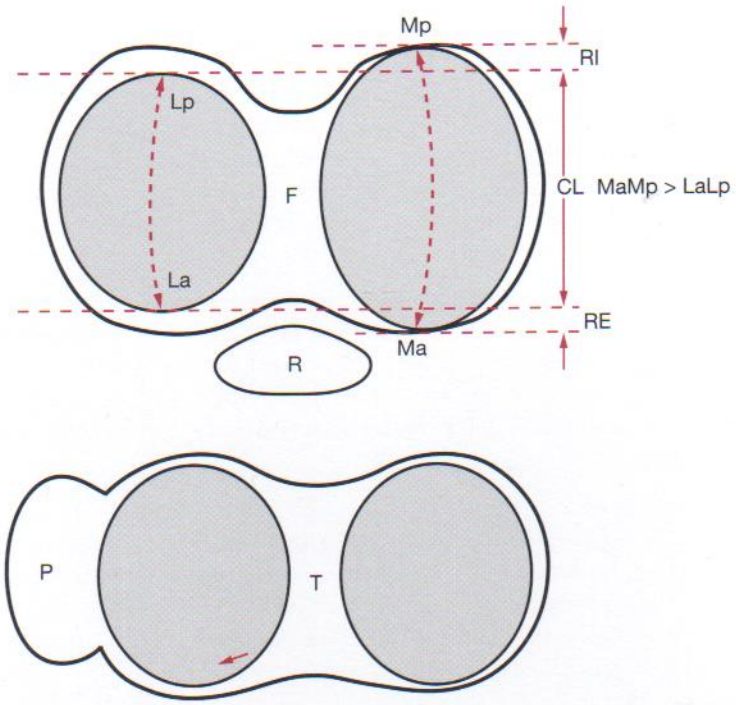


Figura 6.25. Caras articulares de los cóndilos femorales. Longitudes anteroposteriores iguales de ambos cóndilos (CL). Lp-La, longitud articular de los cóndilos laterales; Mp-Ma, longitud de los cóndilos laterales, que es mayor (MaMp > LaLp); RI, superficie de rotación interna todavía disponible; RE, rotación externa; F, fémur; R, rótula; P, peroné; T, tibia.

El grado de rotación de la tibia sobre los cóndilos femorales está limitado por los ligamentos de la articulación tibiofemoral. Ya nos hemos referido a los ligamentos colaterales, si bien los ligamentos cruzados son aún más determinantes en el control de la rotación.

Los ligamentos cruzados limitan el grado de deslizamiento anteroposterior de la tibia sobre el fémur, así como la rotación. El ligamento cruzado anterior se destorsiona durante los primeros 15° a 20° de flexión y rotación externa. A medida que progresa la rotación, el ligamento se tensa, torsionándose alrededor de la cara medial del cóndilo femoral lateral (Figs. 6.27 y 6.28).

Sólo determinadas porciones del ligamento cruzado intervienen en el movimiento de la articulación tibiofemoral. El ligamento se divide en el fascículo posterolateral (FPL), más grande y voluminoso, y en el fascículo anteromedial (FAM), más pequeño. Una parte de cada fascículo permanece relajada, mientras que la otra se tensa a lo largo de la gama completa de movimiento, pero una porción permanece en tensión en todos los movimientos. El FAM se tensa desde los 70° hasta la flexión completa, aportando el 85% de la resistencia al desplazamiento anterior a los 90° de flexión de la rodilla. El FPL se tensa en la extensión completa y durante los primeros 40° a 50° de flexión. A los 40° a 50° de flexión, ambos se distienden, siendo el estadio de flexión en el que el desplazamiento anterior es más notable. Ambos fascículos restringen la rotación. Gracias a su inervación, los fascículos del ligamento cruzado retroalimentan el sistema neuromuscular, interviniendo en la función de la rodilla (Fig. 6.29).

La contracción muscular resultante de la articulación de la rodilla está moderada por la tensión aparentemente impuesta del ligamento cruzado. Los ligamentos contienen terminaciones nerviosas similares a las terminaciones de Ruffini y los corpúsculos de Pacini, que probablemente envían impulsos propioceptores a los músculos. Estas terminaciones se localizan en las terminaciones del ligamento. Se han encontrado terminaciones nerviosas similares en los ligamentos cruzados posteriores.

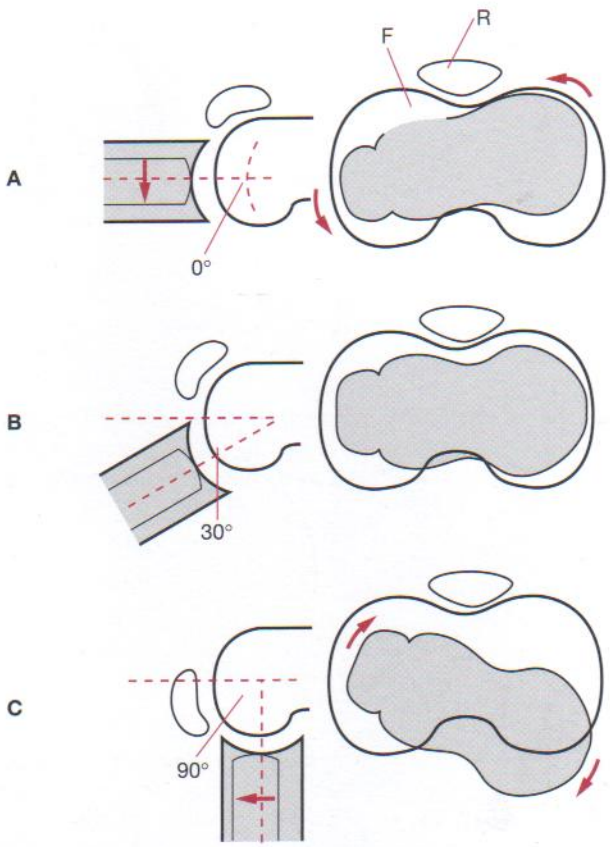


Figura 6.26. Rotación de la tibia sobre el fémur. A, Con la rodilla completamente extendida (0°), la tibia rota externamente (flechas curvas). **B,** A los 30° de flexión, la tibia y el fémur (F) están alineados. **C,** A los 90° de flexión, la tibia ha rotado internamente. R, rótula.

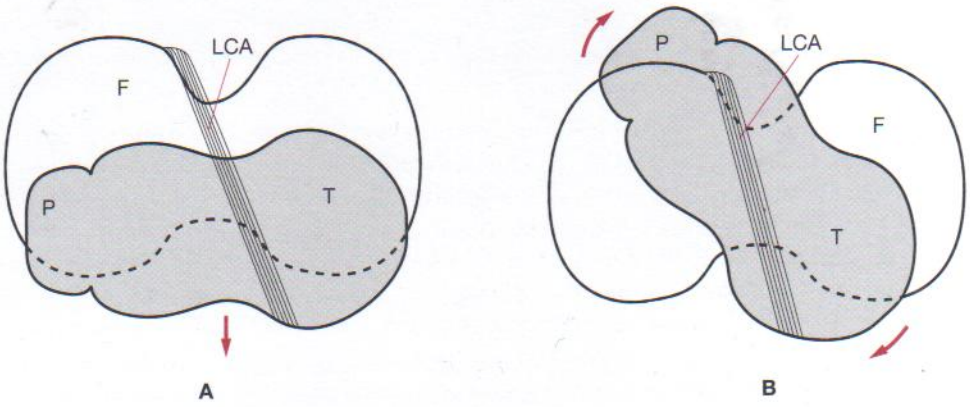


Figura 6.27. Limitación del deslizamiento anteroposterior y la rotación por los ligamentos cruzados. El ligamento cruzado anterior (LCA) tiene su origen en la cara anteromedial de la tibia (T) y se inserta en la cara posteromedial del cóndilo femoral lateral (F). **A,** El deslizamiento anteroposterior (flecha) de la tibia y el peroné (P) sobre los cóndilos femorales se ve limitado por el ligamento cruzado anterior. **B,** Limitación de la rotación externa (flechas curvas) por el LCA.

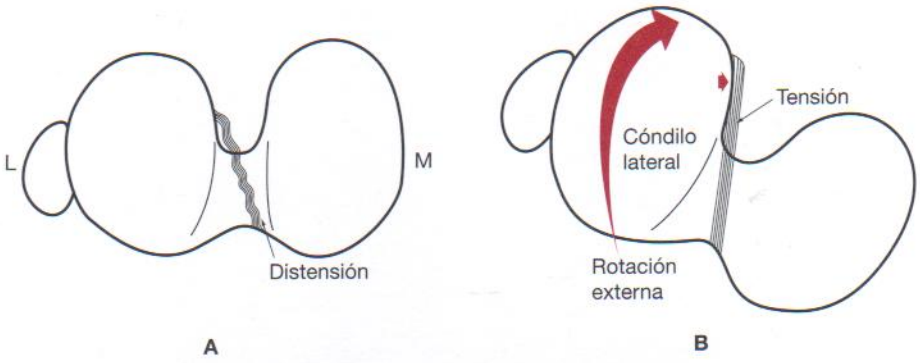


Figura 6.28. Acción del ligamento cruzado anterior. A, El ligamento cruzado anterior permanece distendido cuando no hay rotación ni deslizamiento anteroposterior. **B,** Cuando se produce la rotación externa, el ligamento cruzado anterior se tensa. L, lateral; M, medial.

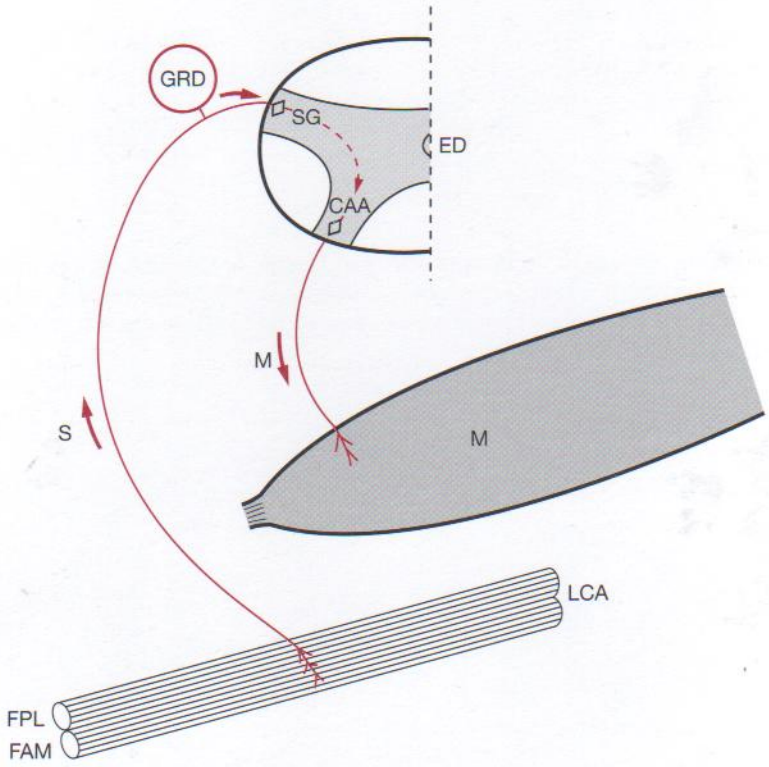


Figura 6.29. Inervación propioceptora del ligamento cruzado anterior. El ligamento cruzado anterior (LCA) está formado por dos fascículos paralelos: el fascículo posterolateral (FPL), más voluminoso, y un fascículo paralelo más delgado y pequeño, llamado fascículo anteromedial (FAM). Se supone que hay propioceptores aferentes (flecha S) que se insertan en la espina dorsal (ED) a través del ganglio radicular dorsal (GRD), introduciendo la sustancia gelatinosa (SG). La célula del asta anterior (CAA) se activa e inerva (flecha M) los músculos (M), donde el sistema fusiforme y el aparato de Golgi moderan la intensidad de la contracción muscular.

Movimiento de los meniscos

Básicamente, los meniscos están unidos a la tibia por los ligamentos colaterales, por lo que se mueven junto con la tibia en todos los movimientos de la rodilla. El menisco medial está unido al ligamento colateral medial en toda su periferia, y ambas astas del menisco medial están ligadas al tubérculo tibial. El menisco lateral no tiene inserciones periféricas del ligamento colateral lateral, pero también se une centralmente al tubérculo tibial.

En la flexión y reextensión de la rodilla, el menisco se mueve junto con la tibia en la flexión-extensión y en la rotación simultánea (Fig. 6.30).

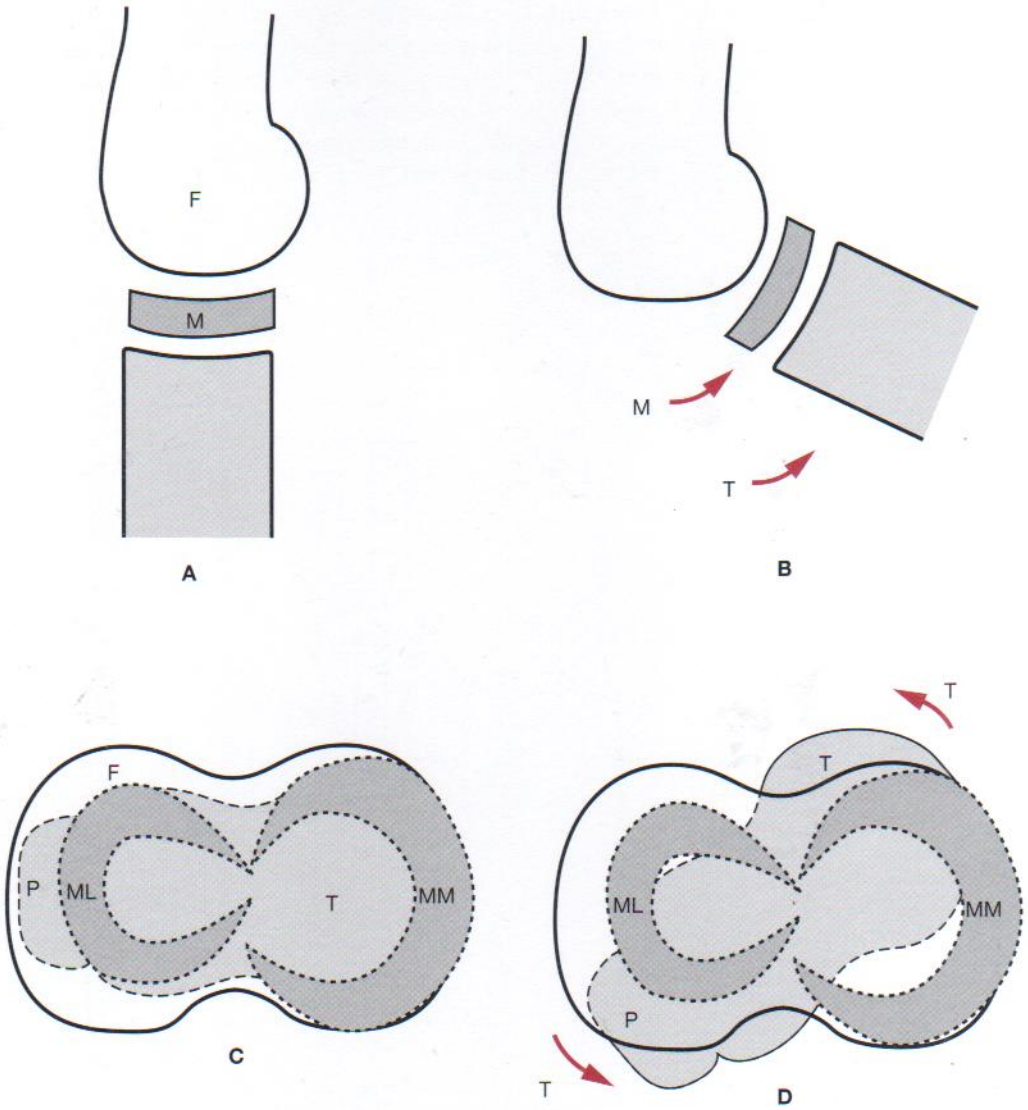


Figura 6.30. Movimiento de los meniscos en los movimientos de la rodilla. **A** y **C,** Posición del menisco (M) en la rodilla completamente flexionada. **B,** Movimiento del menisco (M) en la flexión (flechas curvas). **D,** En la rotación simultánea, el menisco permanece junto a los cóndilos femorales y no acompaña a la tibia (T). F, fémur; P, peroné; ML, menisco lateral; MM, menisco medial.

Acción muscular en el movimiento de la articulación de la rodilla

Los principales músculos que intervienen en la articulación de la rodilla son las cuatro cabezas del cuádriceps femoral, conocidas como «mecanismo extensor». Los cuatro componentes son el recto femoral, el vasto interno, el vasto externo y el vasto intermedio (Fig. 6.31). El recto femoral tiene un origen tendinoso en la cresta ilíaca inferior de la pelvis, que yace inmediatamente superficial al ligamento iliofemoral (Fig. 6.32).

El alineamiento de los músculos del cuádriceps al atravesar el fémur forma un ángulo con la vertical llamado ángulo Q. De estas líneas que forman el ángulo, la primera arranca de la cresta ilíaca anterosuperior y atraviesa la línea media de la rótula, y la segunda arranca del tubérculo tibial para atravesar el punto medio de la rótula (Figs. 6.33, 6.34 y 6.35).

El músculo sartorio y el músculo tensor de la fascia lata se consideran músculos anteriores del muslo. El sartorio, como se ha señalado, tiene su origen en la cresta ilíaca anterosuperior y desciende en espiral por el muslo anterior, insertándose en la porción anterosuperior de la tibia, por debajo de la tuberosidad anterior. El músculo tensor de la fascia lata se origina en la cara lateral de la pelvis y desciende por la región lateral del muslo, atravesando la rodilla, para insertarse en una porción del ligamento colateral lateral de la misma. Contribuye a la estabilidad de ésta en posición de extensión completa (Fig. 6.36).

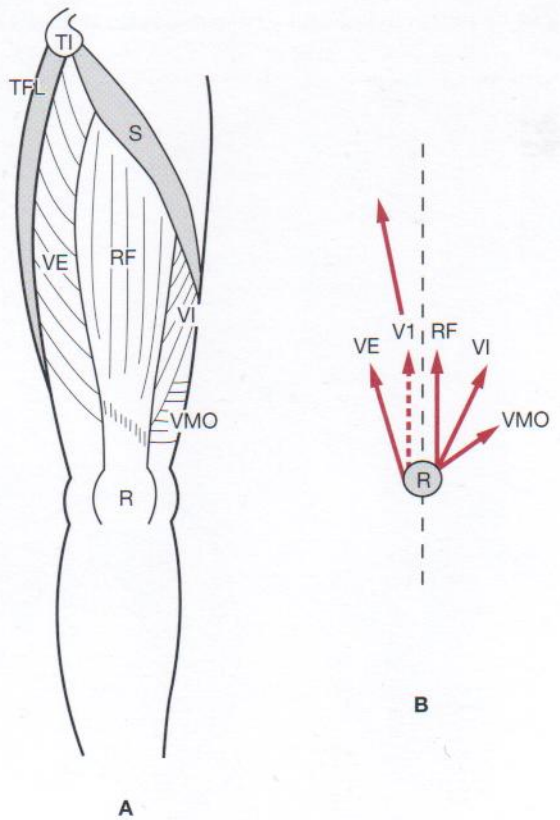


Figura 6.31. Músculo cuádriceps femoral. Se muestran los músculos del mecanismo extensor, así como sus líneas de tracción en la articulación de la rodilla. **A,** Recto femoral (RF), vasto externo (VE), vasto interno (VI) y vasto medio oblicuo (VMO). TFL, músculo tensor de la fascia lata; S, músculo sartorio; no pertenecen al mecanismo extensor. TI, tuberosidad ilíaca; R, rótula. **B,** Líneas de tracción del centro de gravedad (líneas discontinuas). V1, vasto intermedio.

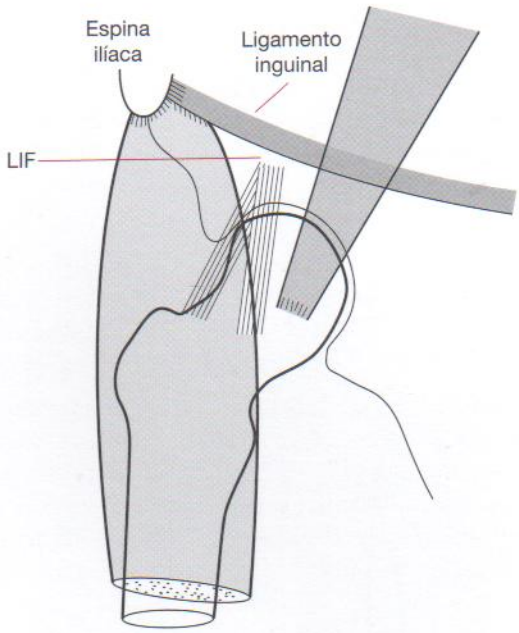


Figura 6.32. Origen del recto femoral. El músculo recto femoral se origina como tendón en la cresta ilíaca inferior de la pelvis, donde también se origina el ligamento inguinal. Es suprayacente al ligamento iliofemoral (LIF) y desciende por la articulación de la cadera.

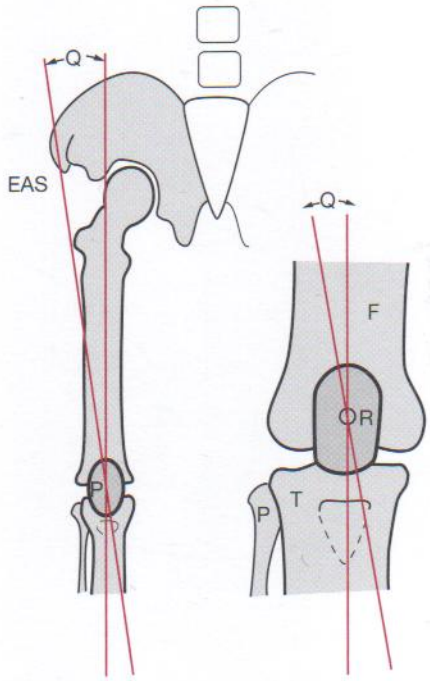


Figura 6.33. Ángulo Q. El ángulo Q resulta de la intersección de dos líneas. Una línea procede de la espina anterosuperior de la cresta ilíaca (EAS), atravesando la rótula (R) por su punto medio. La otra atraviesa verticalmente el punto medio de la rótula. F, fémur; T, tibia; P, peroné.

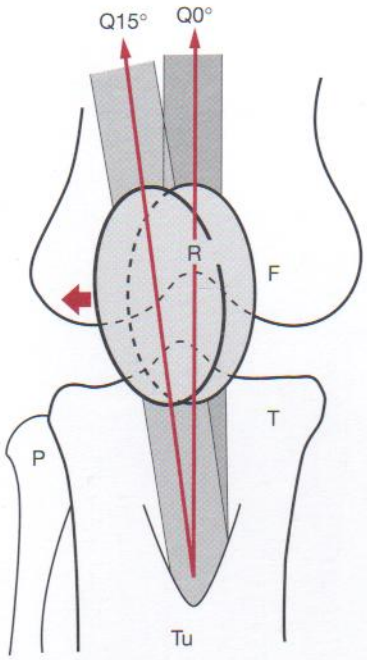


Figura 6.34. Tracción rotuliana lateral. Cuando el cuádriceps ejerce tracción sobre la rótula (R) en un ángulo Q de 15° aproximadamente, es necesaria cierta acción muscular para mantener su centralidad (flecha gruesa). F, fémur; P, peroné; Tu, tubérculo tibial.

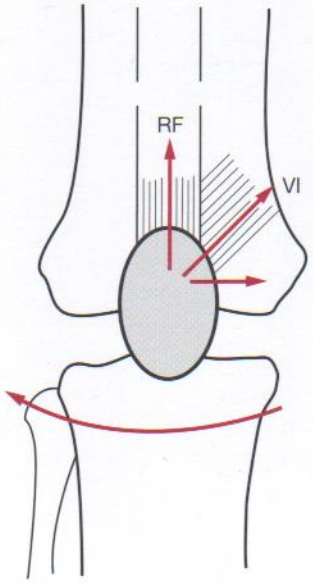


Figura 6.35. Tracción rotuliana del vasto interno. El vasto interno (VI) tracciona la rótula hacia arriba y medialmente, neutralizando así parcialmente la tracción en ángulo Q. RF, recto femoral.

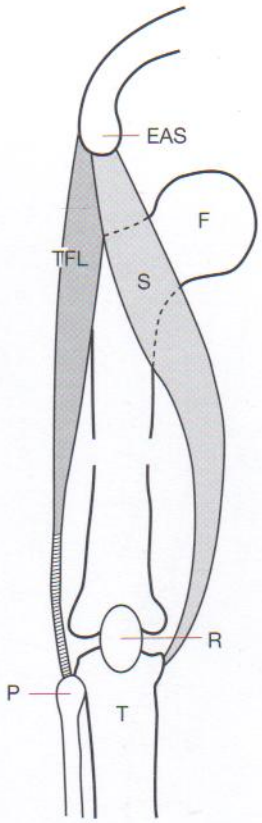


Figura 6.36. Músculo sartorio y músculo tensor de la fascia lata. El sartorio (S) es un músculo flexor poco potente de la rodilla y la cadera. El músculo tensor de la fascia lata (TFL) se considera un músculo tensor, pero, fundamentalmente, aduce y estabiliza la articulación de la cadera. EAS, espina anterosuperior de la cresta ilíaca; F, fémur; T, tibia; P, peroné; R, rótula.

Articulador femororrotuliano

La rótula es un hueso sesamoideo contenido en el ligamento infrarrotuliano del cuádriceps. En una vista lateral, se observa que el cuádriceps realiza directamente la tracción vertical de la rótula, sin aplicar fuerzas de extensión de la rodilla en una dirección fisiológica para extender la articulación. Las líneas de fuerza que le permiten al cuádriceps extender la articulación de la rodilla se deben al punto de apoyo que ofrece la rótula (Fig. 6.37).

Movimiento rotuliano durante la articulación de la rodilla

Las carillas de la rótula contactan con los cóndilos femorales en varios grados de la flexión de la rodilla (Fig. 6.38).

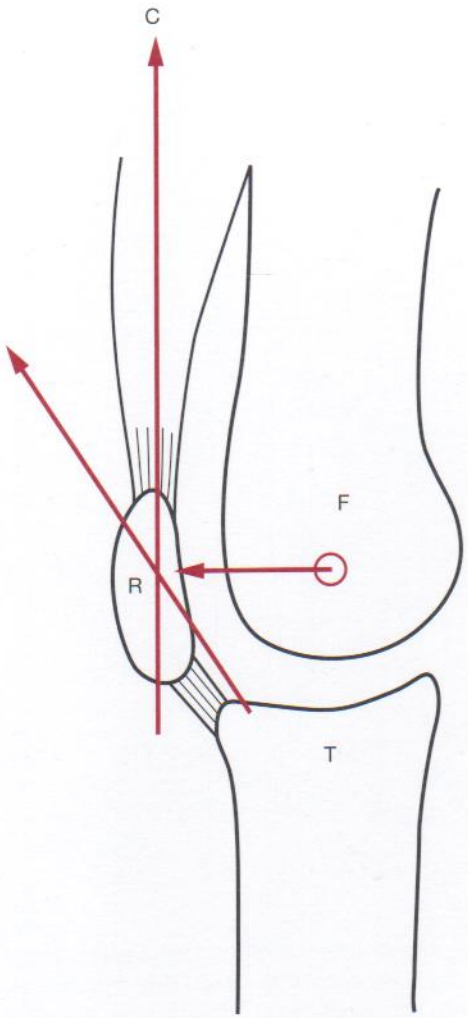


Figura 6.37. Desplazamiento hacia fuera del punto de apoyo por el mecanismo extensor de la rótula. La rótula (R) se encuentra alejada del eje de rotación de la articulación de la rodilla. La tracción vertical del cuádriceps (C) debida a la rótula provoca una fuerza (flecha oblicua) que ejerce tracción horizontal sobre la tibia, desplazándola hacia fuera. F, fémur; T, tibia.

A los 20° de flexión se produce un leve contacto de la porción superior de la rótula con los cóndilos femorales. A los 45° a 50° de flexión las carillas medias de la rótula realizan el contacto principal, y en la flexión completa (90°) todo contacto se da en la carilla lateral inferior. La carilla impar no toma contacto hasta los 135° de flexión, y lo mismo sucede con las carillas mediales, una vez que han rotado la tibia y el fémur (Figs. 6.39, 6.40, 6.41, 6.42 y 6.43).

En el retináculo, que también dirige el movimiento de la rótula dentro de los cóndilos femorales, se encuentra el pequeño nervio que probablemente transmite la propiorrecepción y la nocirrecepción (Fig. 6.44).

Los movimientos rotulianos fisiológicos pasivos son numerosos y, con frecuencia, están determinados clínicamente, de modo que merecen atención para evitar considerarlos movimientos patológicos (Figs. 6.45 y 6.46).

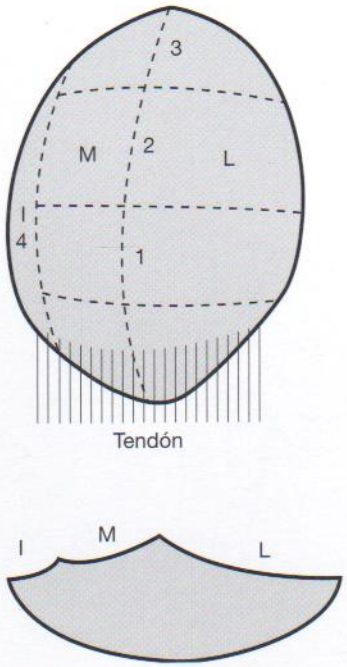


Figura 6.38. Carillas de la rótula. La cara cartilaginosa interna de la rótula está formada por numerosas carillas. La mitad lateral (L) es más ancha que la medial (M), y se divide en tres carillas. La carilla inferior está unida al tendón infrarrotuliano. A media altura de la mitad medial se encuentra la carilla impar (I). La ilustración inferior muestra una vista superior de la rótula.

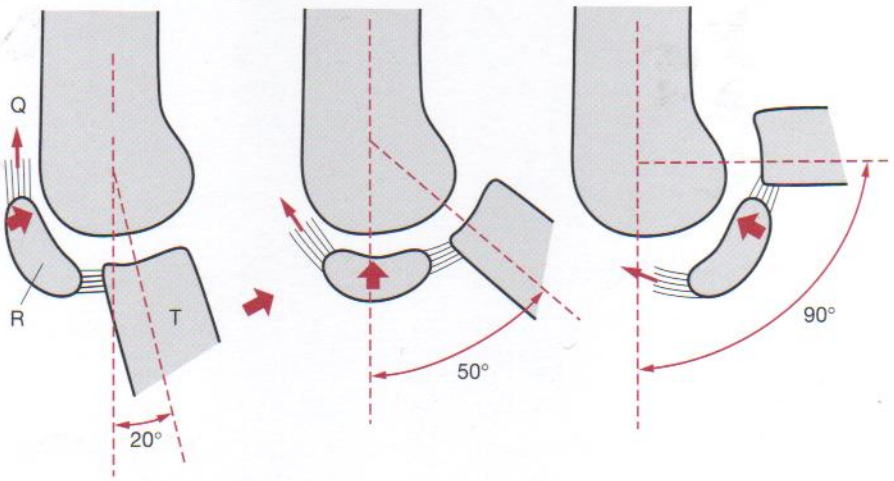


Figura 6.39. Contacto rotuliano con los cóndilos femorales. Con la rodilla flexionada a 20°, 50° y 90°, las flechas muestran dónde se produce el contacto con los cóndilos femorales. R, rótula; T, tibia; Q, tracción vertical del músculo cuádriceps.

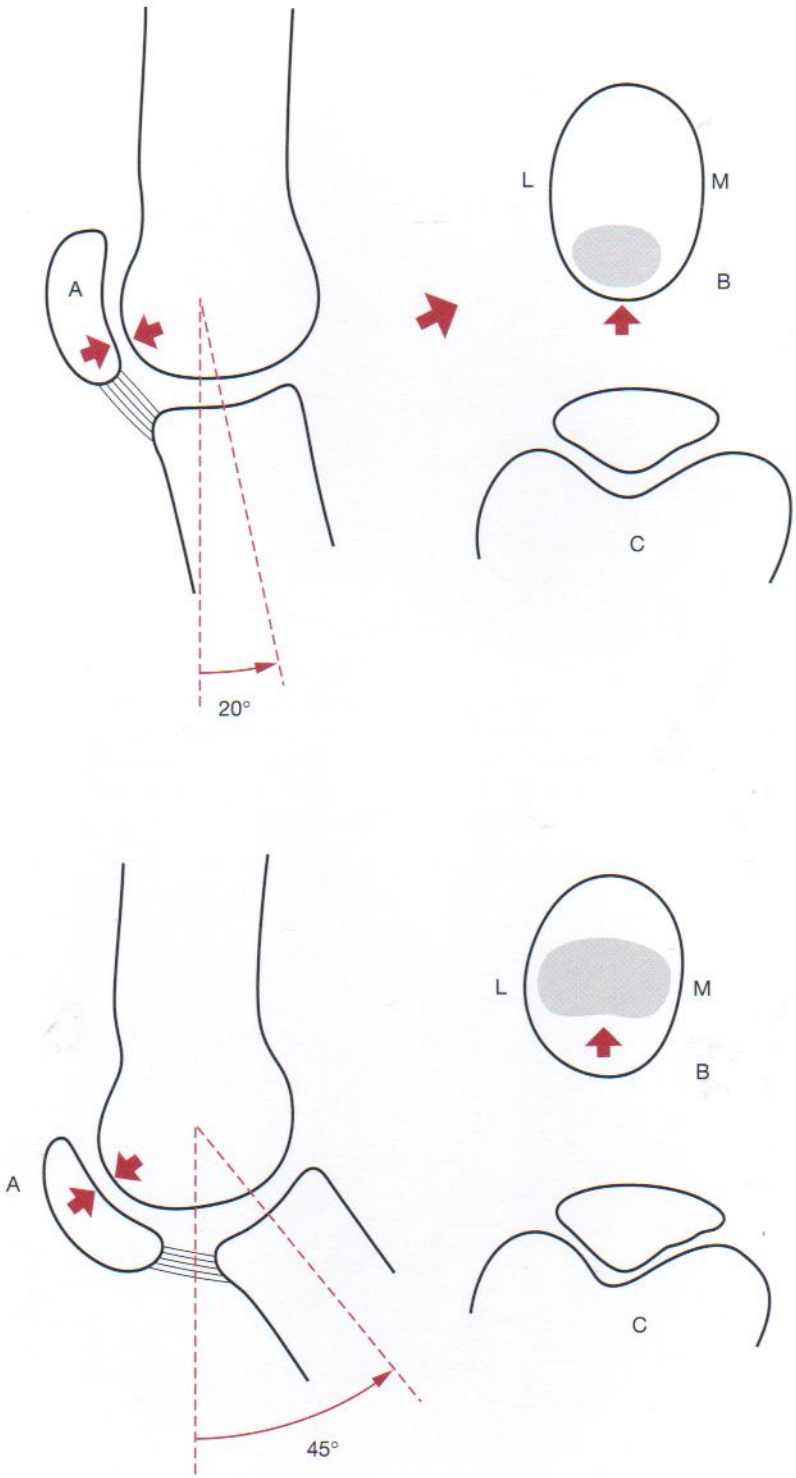


Figura 6.40. Puntos de contacto rotuliano con la rodilla flexionada. Arriba, A, B y C muestran el contacto rotuliano con la rodilla flexionada 20°. Abajo, Puntos de contacto con la rodilla flexionada 45°. L, lateral; M, medial.

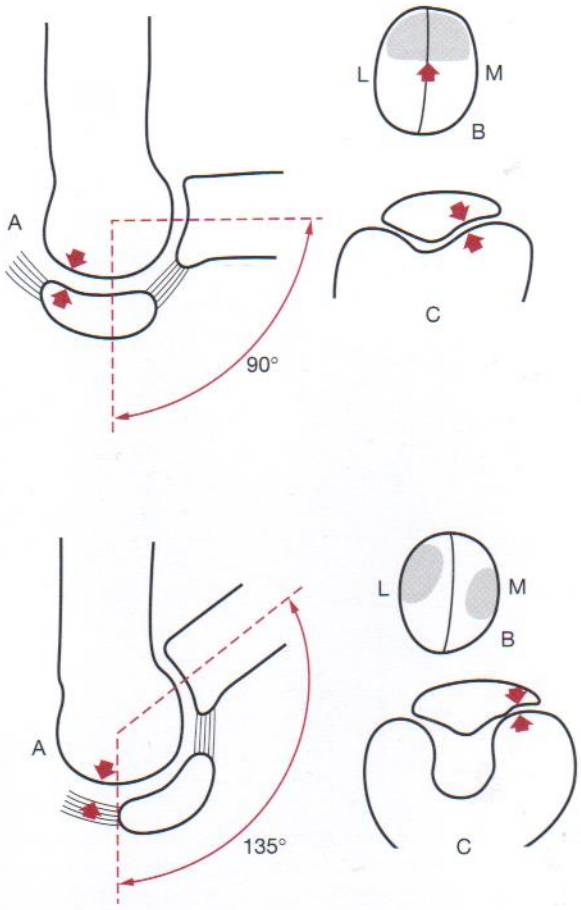


Figura 6.41. Puntos de contacto rotuliano con la rodilla flexionada 90° y 135°. Puntos de contacto rotuliano con los cóndilos a 90° y 135° en la flexión de la rodilla. L, lateral; M, medial.

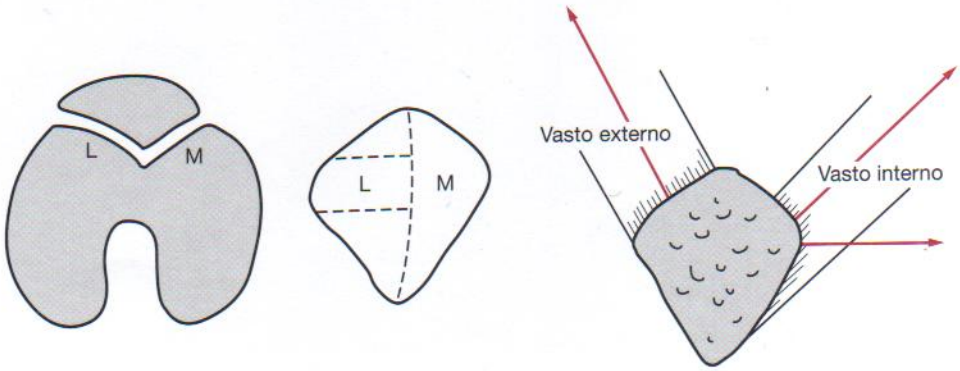


Figura 6.42. Acción muscular que afecta al contacto rotuliano. Músculos que actúan sobre la rótula y dirección de su tracción. L, lateral; M, medial.

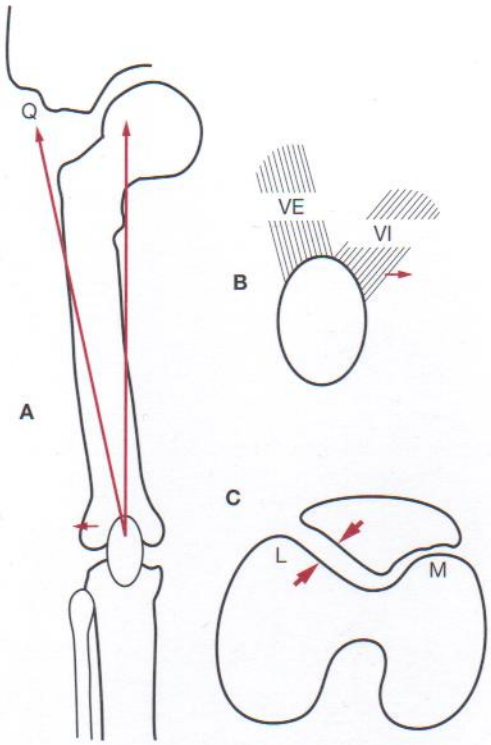


Figura 6.43. Efecto del ángulo Q sobre la tracción rotuliana. La tracción del cuádriceps en ángulo Q (**A**) ejerce una tracción lateral (**C**) sobre la rótula, provocando el contacto con los cóndilos femorales laterales (L). **B,** Músculos que corrigen en cierta medida la tracción lateral. M, medial; VE, vasto externo; VI, vasto interno.

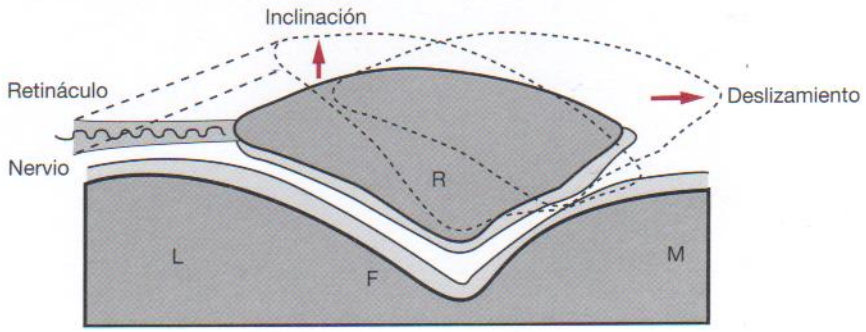


Figura 6.44. Inervación del retináculo. El nervio se inserta en el mecanismo rotuliano a través del retináculo. Se señalan diversos movimientos pasivos de la rótula.

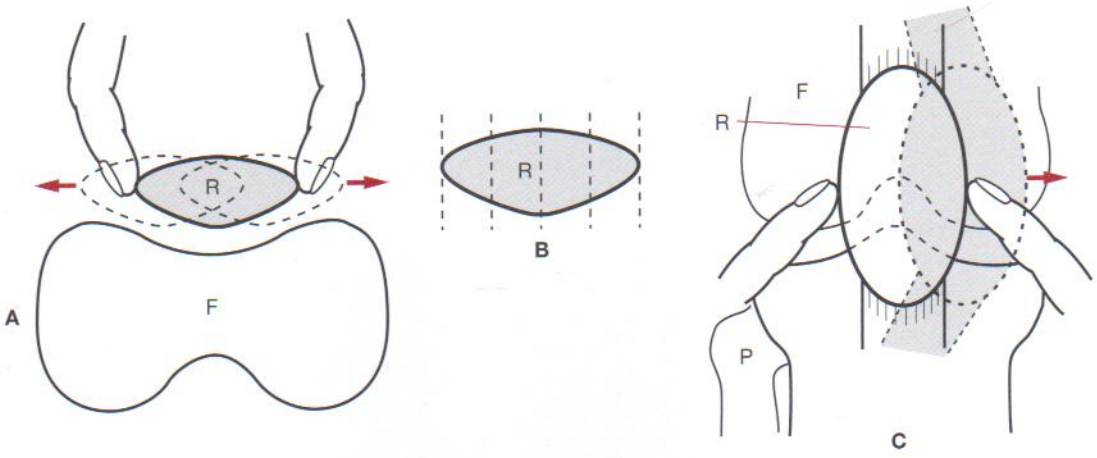


Figura 6.45. Exploración del movimiento rotuliano lateral-medial. Se muestra la exploración del movimiento pasivo lateral-medial, así como la amplitud de movimientos prevista. R, rótula; F, fémur; P, peroné.

Músculos posteriores del muslo y la rodilla

Los músculos posteriores del muslo y de la pierna inferior atraviesan posteriormente la articulación de la rodilla, la flexionan y participan en su rotación. Es preferible dividir los músculos posteriores del muslo en dos grupos: medial y lateral. El grupo medial contiene los músculos semimembranoso y semitendinoso, y el principal músculo lateral es el bíceps femoral (Fig. 6.47).

El músculo semimembranoso se origina en la tuberosidad isquiática de la pelvis, entremezclándose con el origen de la cabeza larga del músculo bíceps femoral. Desciende por la cara medial del fémur, atraviesa la articulación de la rodilla y se inserta en la tibia mediante un tendón grueso que se divide en tres ramas. La rama medial más gruesa del tendón se une al músculo poplíteo, de donde sale una rama que se inserta en el menisco medial (Fig. 6.48).

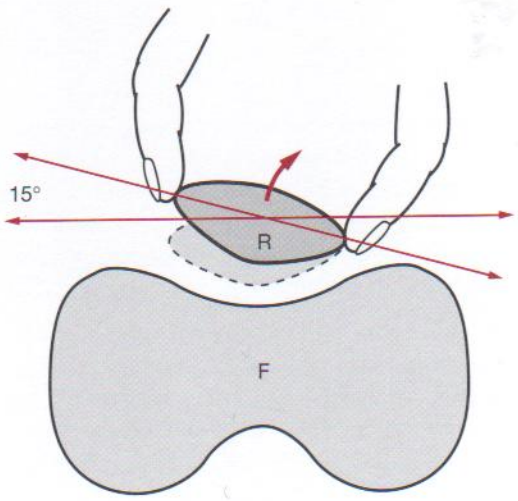


Figura 6.46. Exploración de inclinación rotuliana. Técnica de exploración de inclinación rotuliana (R) de aproximadamente 15°. F, fémur.

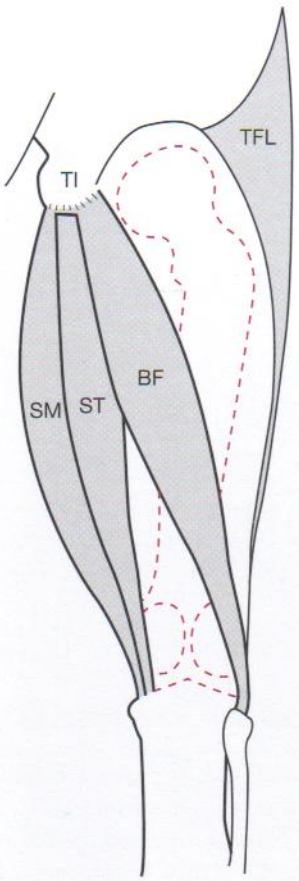


Figura 6.47. Músculos posteriores del muslo. Los músculos posteriores del muslo que intervienen en la rodilla incluyen el grupo lateral, semimembranoso (SM) y semitendinoso (ST), y el grupo medial, músculo bíceps femoral (BF). Todos ellos se originan en la tuberosidad isquiática (TI) de la pelvis. El músculo tensor de la fascia lata (TFL) tiene su origen en la cresta ilíaca y desciende paralelamente al fémur, uniéndose en la cara lateral de la rodilla al ligamento colateral lateral.

La función del músculo semimembranoso consiste en flexionar la rodilla y, una vez que ésta se encuentra flexionada, en hacer rotar la tibia sobre los cóndilos femorales. El músculo semitendinoso tiene también su origen en la tuberosidad isquiática, y se inserta en la cara medial de la tibia, en una línea vertical inmediatamente posterior a los puntos de inserción de los músculos sartorio y grácil. Estos tres músculos —semitendinoso, sartorio y grácil— forman un tendón conjunto llamado pie anserino (Fig. 6.49). Hay una bolsa debajo de este tendón conjunto.

El flexor lateral del grupo de la corva es el músculo bíceps femoral. La cabeza larga del bíceps femoral se origina en la tuberosidad isquiática y desciende posteriormente por el fémur, entremezclándose a media altura con la cabeza corta del bíceps femoral, que tiene su origen en la línea áspera del fémur. Excepto la cabeza corta del fémur, todos los músculos de la corva atraviesan dos articulaciones en su recorrido, actuando así sobre la rodilla y la articulación de la cadera.

La cabeza larga del bíceps femoral forma un tendón plano y ancho de entre 7 cm y 10 cm por encima de la articulación de la rodilla, donde se le une la terminación carnosa de la cabeza profunda. Finalmente, se divide en tres inserciones tendinosas: capas superficial, media y profunda.

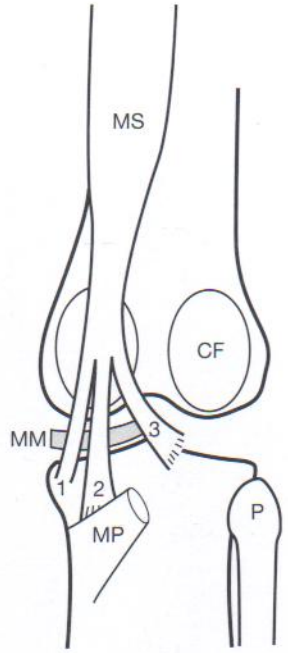


Figura 6.48. Inserción del músculo semimembranoso. El músculo semimembranoso (MS) pasa por encima del cóndilo femoral (CF) medial, terminando en tres tendones: el 1 se inserta en la cara medial de la tibia posterior y en la cara medial del menisco medial (MM); el 2 se inserta en la cara media de la tibia y continúa hasta el músculo poplíteo (MP); y el 3 se inserta en la cara mediolateral de la tibia y continúa hasta la cara lateral del menisco medial. P, peroné.

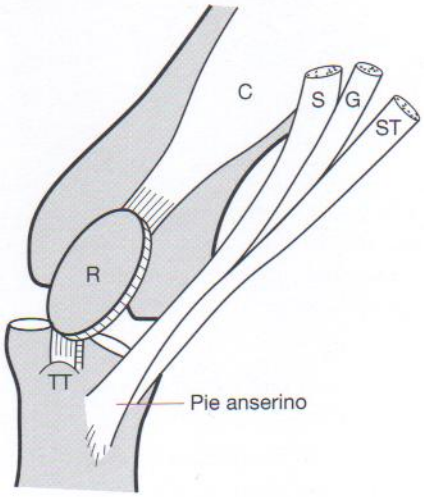


Figura 6.49. Pie anserino. Inserción medial de los músculos externos de la corva: el músculo semitendinoso (ST) se entremezcla con los tendones de los músculos grácil (G) y sartorio (S) para formar un tendón conjunto llamado pie anserino. El cuádriceps (C) se inserta en la rótula (R) a través del tubérculo tibial (TT).

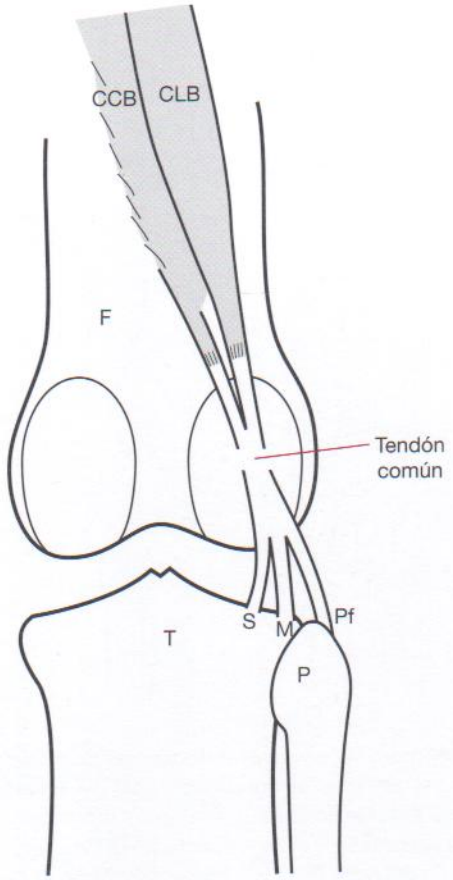


Figura 6.50. Tendón del bíceps femoral. La cabeza larga del músculo bíceps femoral (CLB) es carnosa hasta unos 10 cm por encima de la articulación de la rodilla, donde se convierte en un tendón plano. La cabeza corta del bíceps femoral (CCB) es carnosa hasta que alcanza la cabeza del peroné (P). El tendón común a ambas cabezas se divide en tres fascículos: superficial (S), medio (M) y profundo (Pf). F, fémur; T, tibia.

La capa superficial presenta tres extensiones: anterior, media y posterior. La anterior es delgada, aunque resistente, y se despliega en abanico hacia delante y hacia abajo en la porción inferior de la pierna. La capa media es también delgada y se bifurca para rodear el ligamento colateral lateral, del que la separa una bolsa. La extensión posterior está unida al ligamento colateral, y la cápsula de la articulación por un firme fascículo fibroso.

La capa profunda se bifurca en los ligamentos peroneo y tibial, que se insertan en la cabeza peronea y en la cara posterior de la cápsula articular. Las capas superficial y profunda disponen de fibras que se unen posteriormente al tendón infrarrotuliano, que contribuye a dirigir la rótula (Figs. 6.50 y 6.51).

El músculo bíceps femoral flexiona la rodilla y, una vez flexionada ésta, hace rotar externamente la tibia sobre los cóndilos femorales. En la flexión de la rodilla, la capa media, que rodea el ligamento colateral, hace que éste se distienda. Mediante su inserción en la cápsula, evita la impronta de la cápsula entre la tibia y el fémur. Mediante su inserción en el tracto iliotibial, lo mantiene tenso durante el movimiento de la rodilla.

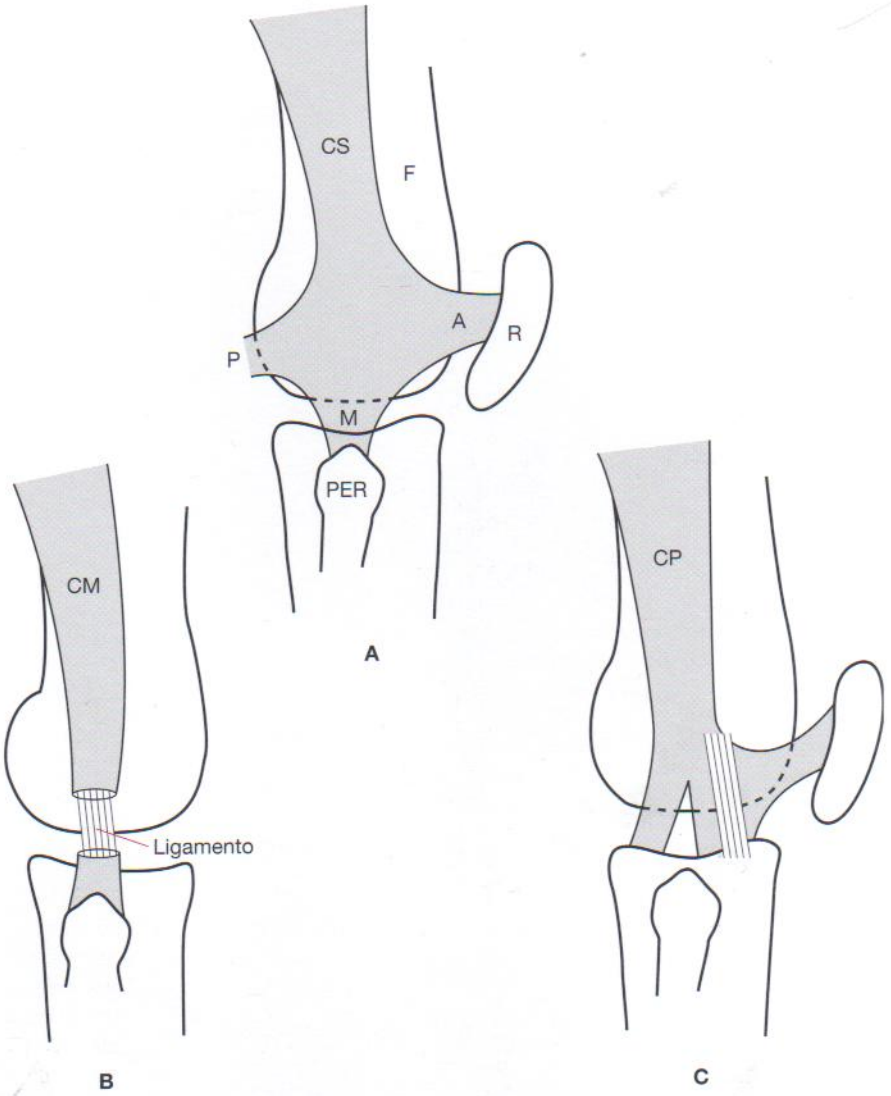


Figura 6.51. Capas del tendón común del bíceps. A, Las divisiones del tendón común superficial del bíceps (CS) se entremezclan con la fascia crural anterior, uniéndose al tendón rotuliano (R). M, extensión media hasta el ligamento colateral lateral y la cabeza del peroné (PER); P, división posterior que se une a la fascia de los músculos de la pantorrilla. **B,** La capa media (CM) recubre el ligamento colateral lateral. **C,** La capa profunda (CP) se bifurca en la hebra de la cabeza peronea y en la pantorrilla que pasa por detrás del ligamento peroneofemoral.

Inervación

Los músculos flexores están inervados por el nervio ciático, que se bifurca en los nervios tibial y peroneo común por encima de la articulación de la rodilla, debajo del borde inferior de la cabeza larga del bíceps. El tibial inerva los músculos semimembranoso y semitendinoso, así como la cabeza larga del músculo bíceps (Fig. 6.52).

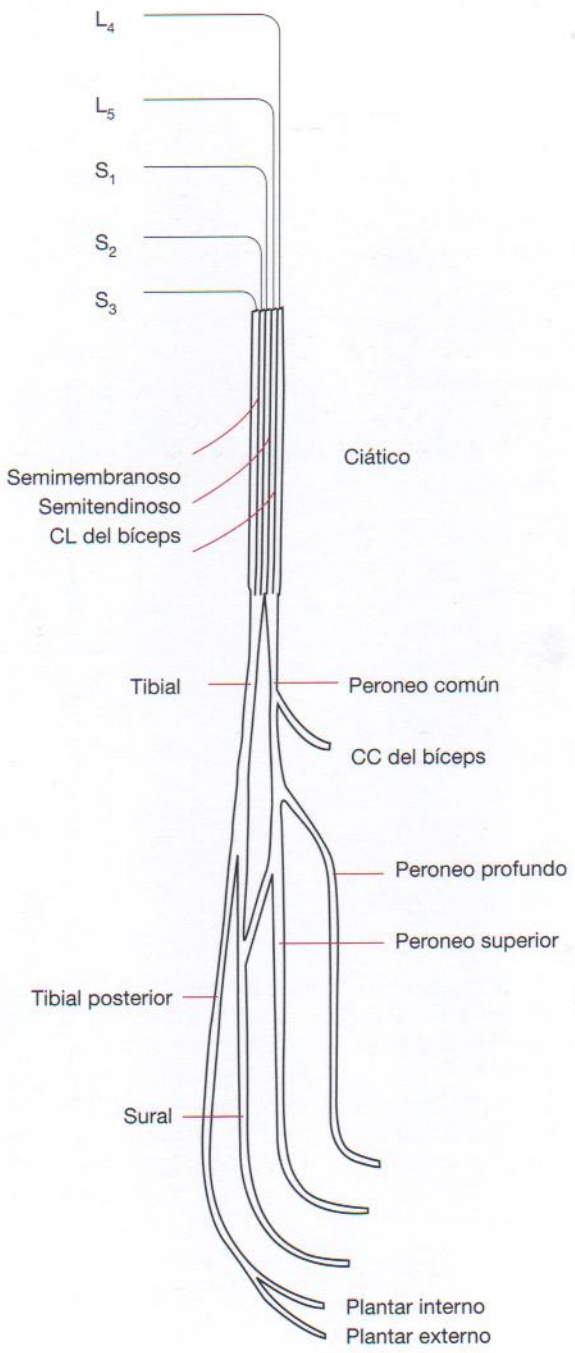


Figura 6.52. Inervación de los músculos posteriores del muslo. El nervio ciático se bifurca en los nervios tibial y peroneo común por encima de la articulación de la rodilla y justo por debajo del borde inferior de la cabeza larga (CL) del músculo bíceps. La rama del peroneo común inerva la cabeza corta (CC) del bíceps.

La articulación de la rodilla en la marcha normal

Existen determinantes de la marcha normal que intentan minimizar el desplazamiento vertical del cuerpo para reducir el gasto energético. El tronco oscila de lado a lado, con rotación axial y sagital simultáneas, experimentando, aproximadamente, 2 cm de desplazamiento. El peso corporal, medido desde el centro de gravedad, es el del tronco, la cabeza y las extremidades superiores (Fig. 6.53).

Los determinantes de la marcha durante la marcha normal son la fase de oscilación y la fase de reposo o apoyo (Figs. 6.54 y 6.55). Durante la fase en que una pierna se balancea, dicha pierna aumenta en un 15% la carga que soporta la otra pierna (de apoyo). En la fase de apoyo de una pierna, el 85% de todo el peso corporal recae sobre dicha pierna.

Cuando se inicia la marcha hacia delante, el centro de gravedad del cuerpo se desplaza en la misma dirección, y la carga recae sobre una pierna mientras la otra «se balancea», básicamente para evitar que el cuerpo caiga hacia delante. Ésta es la fase de oscilación, en la que la cadera se flexiona unos 20° y la rodilla se flexiona lo suficiente como para que el pie pueda elevarse del suelo. Cuando la pierna completa la fase de oscilación, el pie adelantado golpea el suelo con el talón, ya que el pie, en este punto, se ha dorsiflexionado para no tocar el suelo durante el «balanceo». Cuando el cuerpo pasa por encima del talón-pie estante, la rodilla pasa de una posición levemente flexionada a la extensión total, de forma que el peso corporal no recaiga en la rodilla flexionada. En el momento del impacto del «golpe de talón», la rodilla se curva levemente (15°) para minimizar el impacto.

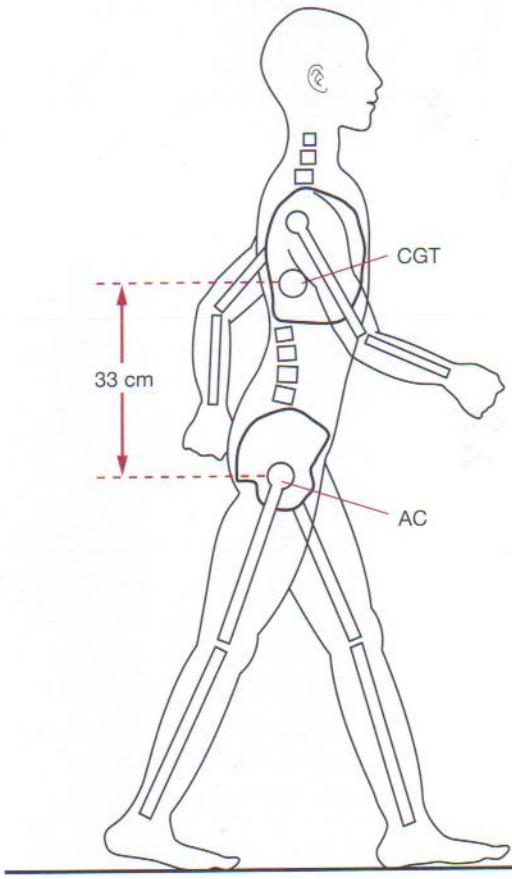


Figura 6.53. Centro de gravedad corporal. El centro de gravedad torácico (CGT) se encuentra 33 cm por encima de la articulación de la cadera (AC), estando alineados ambos centros de gravedad.

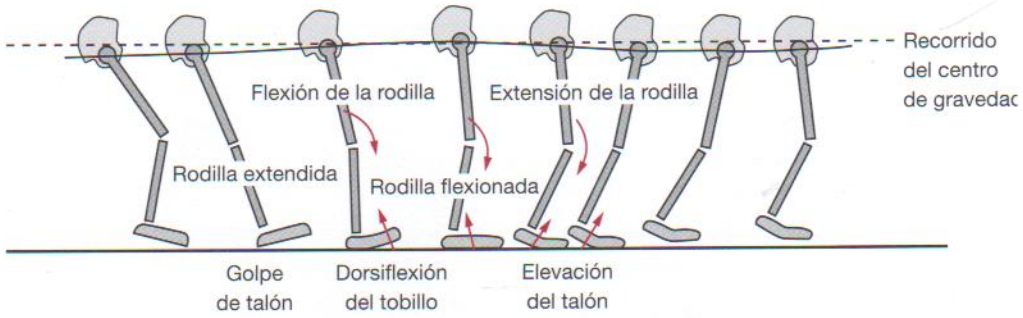


Figura 6.54. Flexión-extensión de la rodilla durante la marcha. La flexión y extensión de la rodilla durante la marcha se representa con relación al centro de gravedad, el golpe de talón y la elevación del talón.

Tras el impacto del talón, empieza la «fase de apoyo», dado que la pierna adelantada es la que soporta ahora la carga. El enderezamiento de la rodilla se produce no sólo mediante la contracción del grupo muscular extensor del cuádriceps, sino también por medio del grupo gastrocnemio-sóleo, que se inserta encima de la articulación de la rodilla y tracciona la parte inferior de la pierna colocándola de nuevo debajo de la rodilla, lo que produce la extensión.

En la fase de apoyo medio, el cuerpo pasa por encima del centro de gravedad del pie. En esta fase, la rodilla se encuentra completamente extendida, pero el mecanismo extensor permanece inactivo, sin que haya contracción muscular. La rodilla permanece extendida hasta la siguiente fase de oscilación de ese miembro.

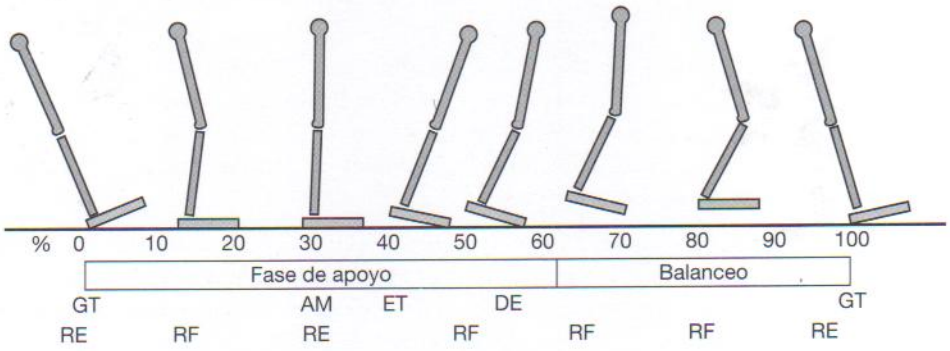


Figura 6.55. Ciclo de marcha. El porcentaje (%) indica los incrementos de un ciclo de marcha completo (representación de la pierna derecha). GT es el golpe de talón que inicia la fase de apoyo (0%). En el golpe de talón, la rodilla está extendida (RE). Cuando el cuerpo pasa por encima de la pierna cargada, la rodilla se flexiona (RF) levemente para absorber el golpe. En la fase de apoyo medio (AM, 30%), la rodilla está completamente extendida (RE). Cuando el talón se eleva (ET, 40%), la rodilla comienza a flexionarse levemente (FR, 50%), y permanece flexionada mientras los dedos están elevados (DE, 62%), cuando comienza la fase de oscilación. La rodilla permanece flexionada toda la fase de oscilación hasta justo antes del golpe de talón, momento en el que la rodilla se reextiende (RE, 100%).

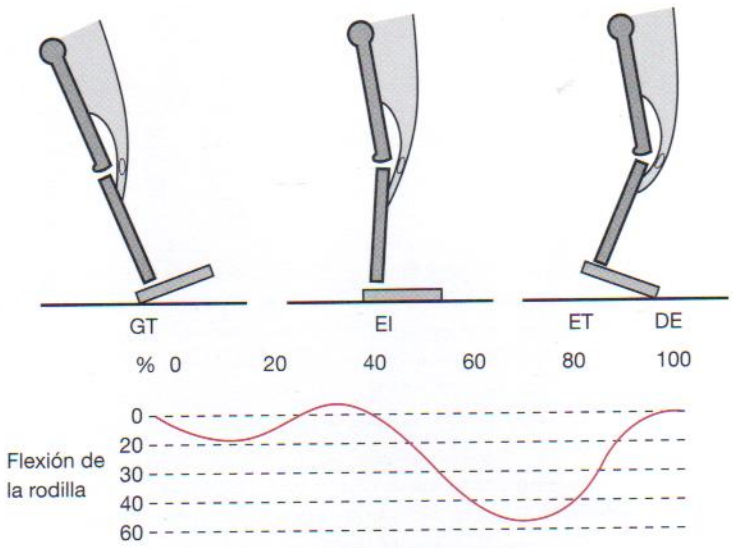


Figura 6.56. Flexión de la rodilla y contracción del cuádriceps durante la marcha. En el golpe de talón (GT), al principio de la fase de apoyo (0%), el cuádriceps está contraído para desacelerar la pierna en la flexión de la rodilla. En la fase de apoyo medio (EI, 40%) el cuádriceps extiende activamente la rodilla. A medida que avanza la fase de apoyo, la rodilla vuelve a flexionarse hasta los 60° aproximadamente, punto en el que el cuádriceps desacelera toda flexión ulterior. Tras la elevación de los dedos (100%) la pierna inicia la fase de oscilación, con el cuádriceps extendiendo la pierna. ET, elevación del talón.

En los determinantes de la marcha, se produce cierta rotación de la pelvis (8°), el fémur (8°) y la tibia (9°), así como de la articulación del tobillo. Desde el inicio de la fase de oscilación, toda la rotación es interna hasta la fase de apoyo medio, momento en que la rotación se hace externa hasta la elevación del pie de apoyo. La rotación del fémur y la tibia no son iguales; así, se produce la rotación de la tibia sobre el fémur, y la de éste en la pelvis.

La acción muscular que inicia estos movimientos se produce del siguiente modo: al inicio de la fase de oscilación, que iliopsoas y cuádriceps se contraen, como lo hacen también la cabeza corta del bíceps, el grácil y el sartorio, que se contraen para desacelerar el balanceo. Los músculos grácil y sartorio se contraen para extender la rodilla y dirigirla hacia delante.

El músculo cuádriceps se contrae junto con el iliopsoas para iniciar la fase de oscilación hacia adelante. En el golpe de talón, el músculo cuádriceps se contrae al máximo para absorber el golpe, relajándose a continuación para desacelerar la flexión de la rodilla (15°), que disminuye la elevación total del cuerpo durante la fase de apoyo medio (Fig. 6.56).

En la fase de apoyo medio se produce una leve flexión de la rodilla y, por tanto, la contracción isométrica del cuádriceps. Tras el golpe de talón y una vez que el pie se ha plantado firmemente sobre el suelo, el cuerpo pasa por encima del pie con la rodilla extendida, pero ligeramente flexionada en la fase de apoyo medio. El grupo de músculos de la corva actúa como desacelerador y, probablemente, como propioceptor cinestésico (Fig. 6.57).

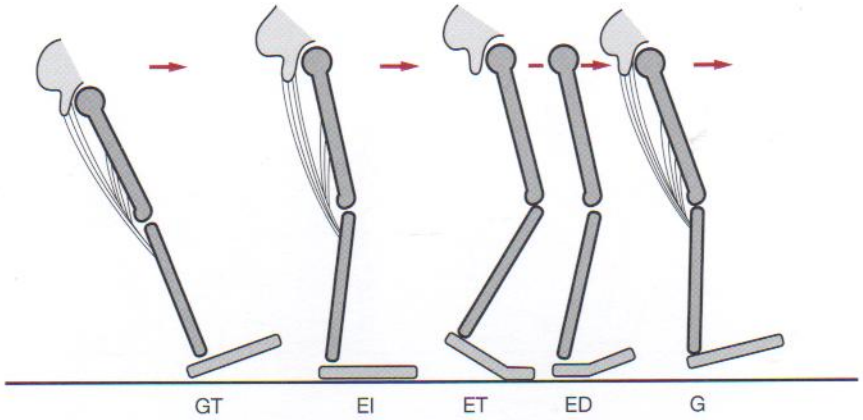


Figura 6.57. Función de la corva en la marcha. El grupo muscular de la corva desacelera la pierna en el último estadio de la fase de oscilación. Contribuye a la extensión de la pierna en el golpe de talón (GT). La acción del grupo muscular aparece representada en la fase de apoyo medio (EI), elevación del talón (ET), elevación de los dedos (ED) y golpe de talón (G).

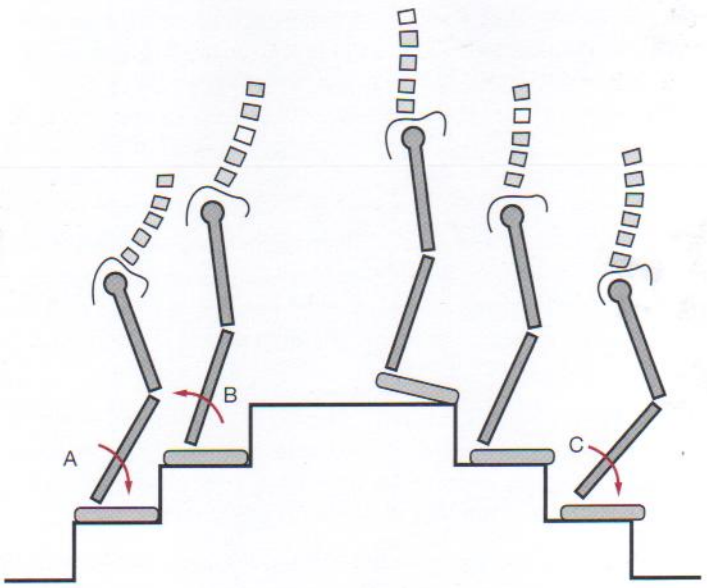


Figura 6.58. Subida y bajada de escaleras: movimientos articulares y musculares. La articulación pie-tobillo interviene en la subida y bajada de escaleras, pero los músculos del cuádriceps constituyen la fuerza principal (**A**). Inicialmente, la articulación pie-tobillo se dorsiflexiona pasivamente, produciendo gradualmente la flexión plantar (**B**) a medida que se extiende la rodilla. En el descenso, el cuádriceps desacelera el descenso a medida que el pie se dorsiflexiona pasivamente (**C**).

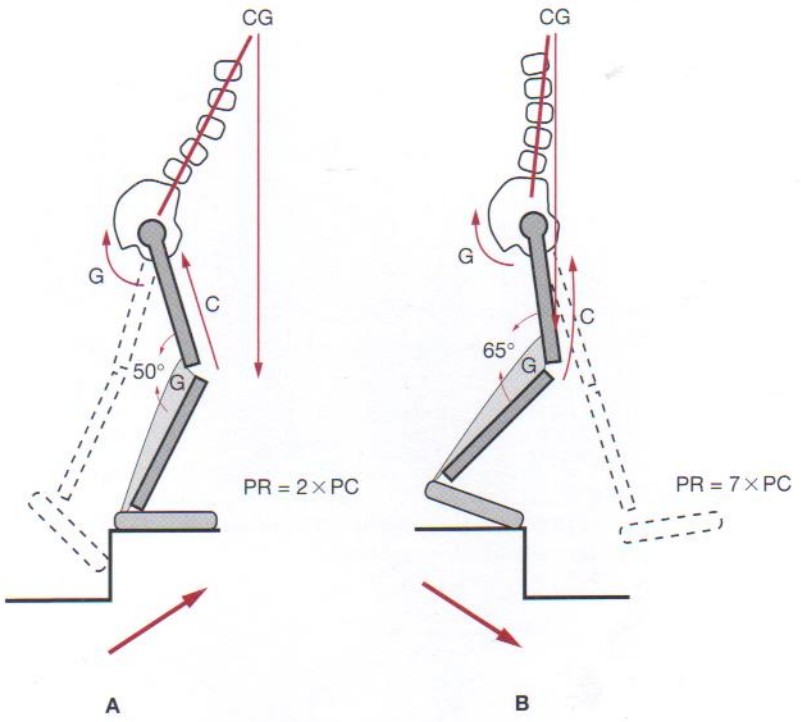


Figura 6.59. Subida y bajada de escaleras: presión rotuliana. A, En la subida de escaleras, la rodilla se flexiona 50° cuando el cuerpo se inclina hacia delante, avanzando el centro de gravedad (CG) y aumentando la eficiencia glútea (G). La presión rotuliana (PR) se produce debido a la contracción del cuádriceps (C), y es dos veces el peso corporal (PC). **B,** En la bajada de escaleras, la rodilla se flexiona una media de 65° cuando el cuerpo retrocede hacia el centro de gravedad. Disminuye la eficiencia glútea, y la presión rotuliana equivale a siete veces el peso corporal.

La rodilla en la subida y bajada de escaleras

El grupo muscular del cuádriceps es vital en la subida y bajada de escaleras (Figs. 6.58 y 6.59).

Deformidad de la rodilla

Existen varios términos relacionados con la rodilla que conviene definir: varo, valgo y recurvado. *Varo* significa «girada hacia dentro»; *valgo*, «girada hacia fuera respecto de la línea media»; y *recurvado* significa «girada hacia atrás respecto de la línea media, vista lateralmente» (Figs. 6.60 y 6.61).

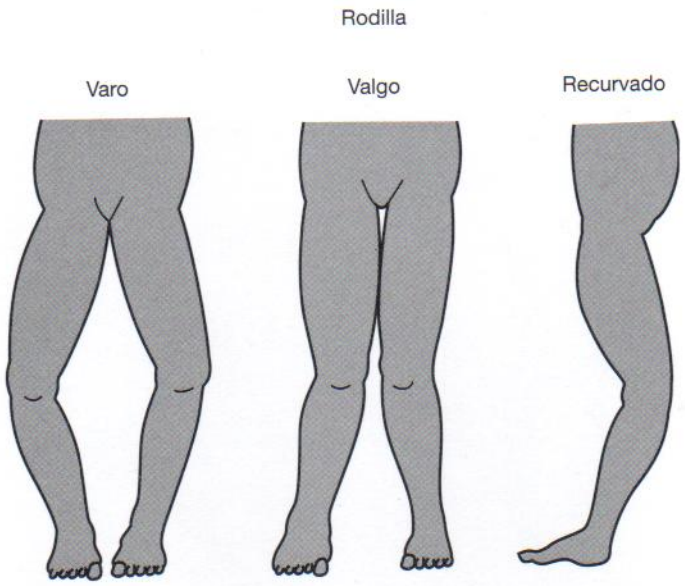


Figura 6.60. Varo, valgo y recurvado de la extremidad inferior. Extremidad inferior con las rodillas en varo, valgo y recurvado.

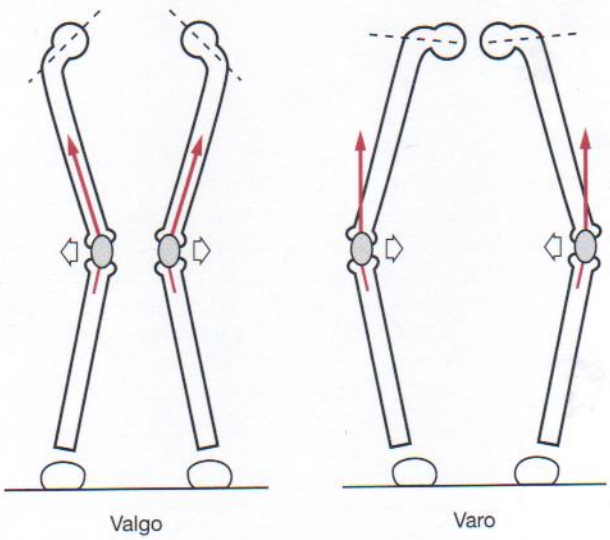


Figura 6.61. Efectos del varo y el valgo en la rótula. Presión sobre las articulaciones femororrotulianas de los movimientos en valgo y varo. Las flechas indican la acción de los músculos del cuádriceps.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brantigan OC, Voshell AF. The tibial collateral ligament: its function, its bursae, and its relationship to the medial meniscus. *J Bone Joint Surg*. 1943;25:121.
2. Calliet R. *Knee Pain and Disability*. 3rd ed. Philadelphia, Pa: FA Davis, Co; 1992.

capítulo 7

Anatomía funcional de la articulación de la cadera

La articulación de la cadera (coxofemoral) humana está bien construida para desempeñar las funciones previstas: la bipedestación y la marcha. Esta articulación es un excelente ejemplo de articulación congruente. La superficie cóncava (acetábulo) y la convexa (cabeza femoral) son simétricas, y el espacio articular es igual en todos los puntos, con una leve desviación para propiciar una lubricación adecuada. Esta simetría permite la rotación alrededor de un eje fijo y simplifica la acción muscular en la articulación.

El peso del cuerpo recae sobre la quinta vértebra lumbar, desplazándose posteriormente a la base del sacro y el ilion a través de las articulaciones sacroilíacas. En la bipedestación, el peso corporal se desplaza a los acetábulos y, finalmente, a los fémures. En sedestación, el peso lo soportan ambas tuberosidades isquiáticas (Figs. 7.1 y 7.2).

La cabeza femoral se articula dentro del acetábulo, que tiene forma de herradura y está recubierto de cartílago en la mayor parte de su superficie. El centro carece de cartílago. El fondo del «anillo» del acetábulo periférico es incompleto. El anillo lo cierra el ligamento acetabular transverso. Su profundidad aumenta además debido a un anillo recubierto de cartílago denominado *labrum*.

La cabeza del fémur encaja en el acetábulo, donde es firmemente sostenida por una cápsula gruesa, la cual se divide en capas engrosadas que forman los ligamentos iliofemoral, pubofemoral e isquiofemoral.

En la bipedestación, el centro de gravedad pasa por detrás del centro de rotación de la articulación de la cadera. La pelvis es angulada para permitir que la cabeza femoral se asiente directamente en el interior del acetábulo. La porción anterior de la cápsula se engrosa para formar el ligamento iliofemoral; esto permite que el apoyo estático reciba soporte ligamentoso sin necesidad de que se produzca soporte mediante contracción muscular.

En el apoyo con los dedos en extensión, la cabeza del fémur se orienta en dirección anteroexterior. Esta dirección provocaría una subluxación de no ser por el soporte del tendón del músculo iliopsoas, y no por el del ligamento iliofemoral, que está situado demasiado lejos lateralmente para cumplir esa función.

La cabeza del fémur está recubierta por un cartílago que amortigua las fuerzas compresivas y lubrica la articulación durante la compresión. Cuando no soporta peso, el cartílago absorbe el líquido nutricional.

Existen varios ángulos de la cabeza y el cuello del fémur que conviene revisar. La cabeza y cuello del fémur, vistos frontalmente, presentan un ángulo de inclinación (Fig. 7.3). Vistos superiormente, la cabeza y el cuello femorales forman un ángulo de anteroversión (Fig. 7.4).

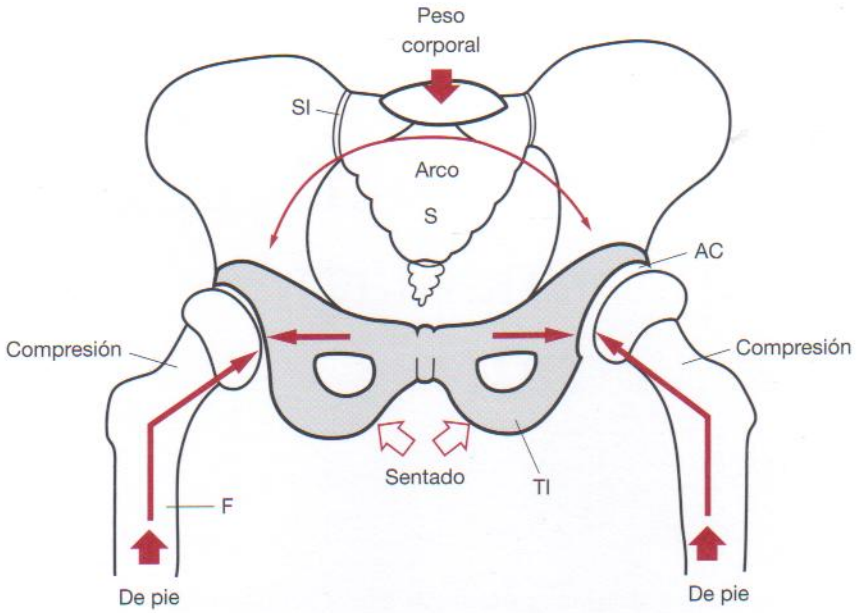


Figura 7.1. Soporte de peso de la pelvis. El peso corporal recae en el sacro (S) y se transmite a continuación a las articulaciones sacroilíacas (SI), que forman un arco. El peso pasa después a las articulaciones acetabulares (AC). Los íliones forman puntales púbicos, que neutralizan la fuerza ejercida sobre los fémures (F). La bipedestación produce fuerzas de compresión en los acetábulos, y la sedestación provoca una compresión en las tuberosidades isquiáticas (TI).

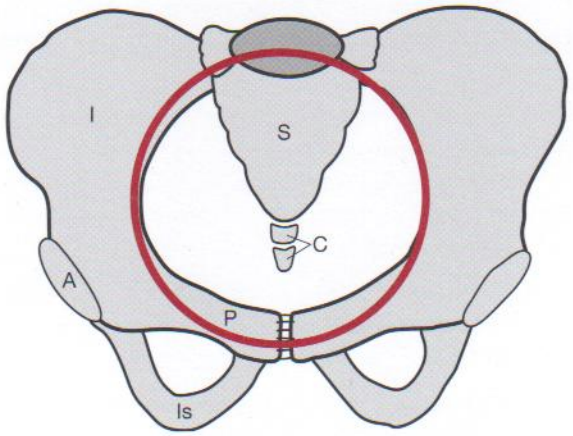


Figura 7.2. Anillo pélvico. Las estructuras óseas de la pelvis forman un anillo que contiene las vísceras de la pelvis. Los componentes del anillo son el sacro (S), los íliones (I), los huesos púbicos (P), los isquiones (Is) y los acetábulos (A).

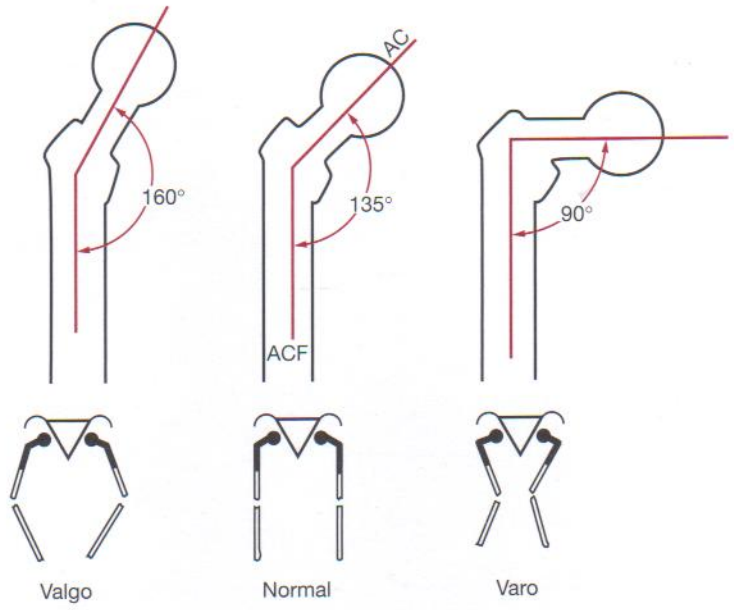


Figura 7.3. Ángulo de inclinación. Ángulo formado por la intersección del cuello (AC) femoral con el eje trazado por el cuerpo del fémur (ACF), denominado ángulo de inclinación. Este ángulo oscila normalmente entre los 90° y los 160°, siendo el promedio 135°.

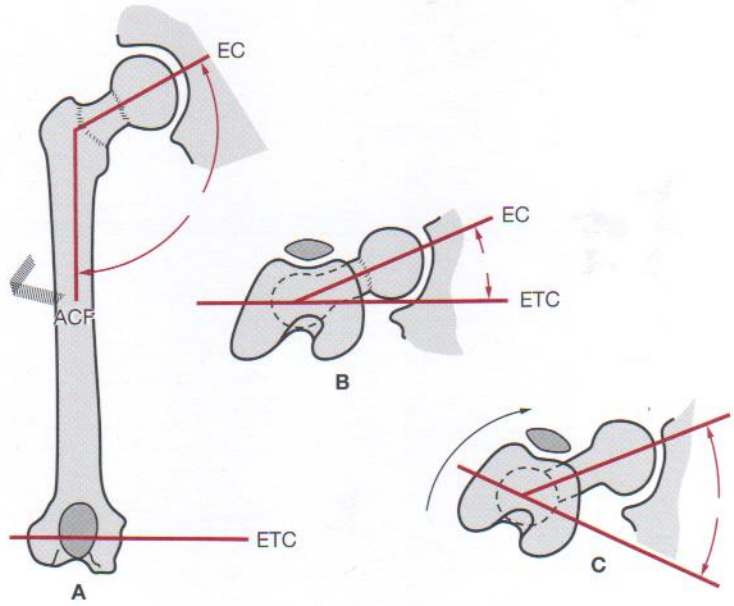


Figura 7.4. Ángulo de anteroversión. A, El eje transcondíleo (ETC) constituye una línea transversa que atraviesa los cóndilos femorales. El eje localizado en el cuello femoral (EC) forma un ángulo con el ETC denominado ángulo de anteroversión. **B,** Ángulo de la cabeza femoral, vista superiormente. Un ángulo de entre 15° y 20° se considera normal. **C,** Cambio del ángulo de anteroversión debido a la rotación interna de la pierna.

Amplitud de movimientos de la cadera

La amplitud de movimientos de la cadera incluye la flexión, extensión, abducción, aducción y rotación, existiendo una limitación fisiológica debida a los tejidos blandos de la articulación (Figs. 7.5 y 7.6).

La flexión está limitada por el grupo muscular de la corva. La extensión la limita el engrosamiento ligamentoso de la cápsula; la abducción, el grupo de músculos abductores; la aducción, el músculo tensor y la fascia de los músculos abductores; y la rotación, las fibras capsulares (Fig. 7.7).

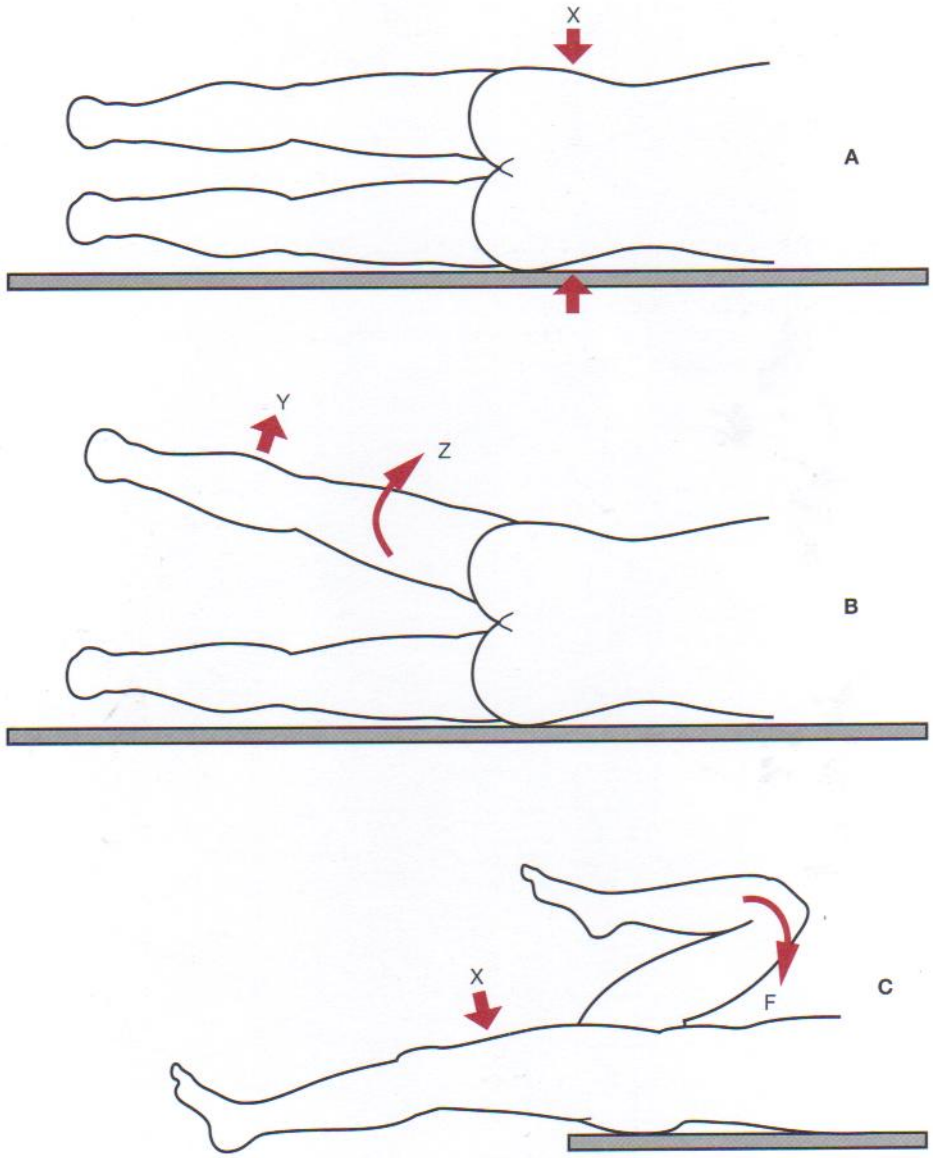


Figura 7.5. Amplitud de movimientos de la cadera: flexión y extensión. A, Persona en decúbito lateral con la pierna superior en posición neutra (X). **B,** Abducción de la pierna (Y) y rotación del muslo (Z). **C,** Flexión de la cadera de la pierna derecha (F) y posición extendida neutral de la pierna inferior (X).

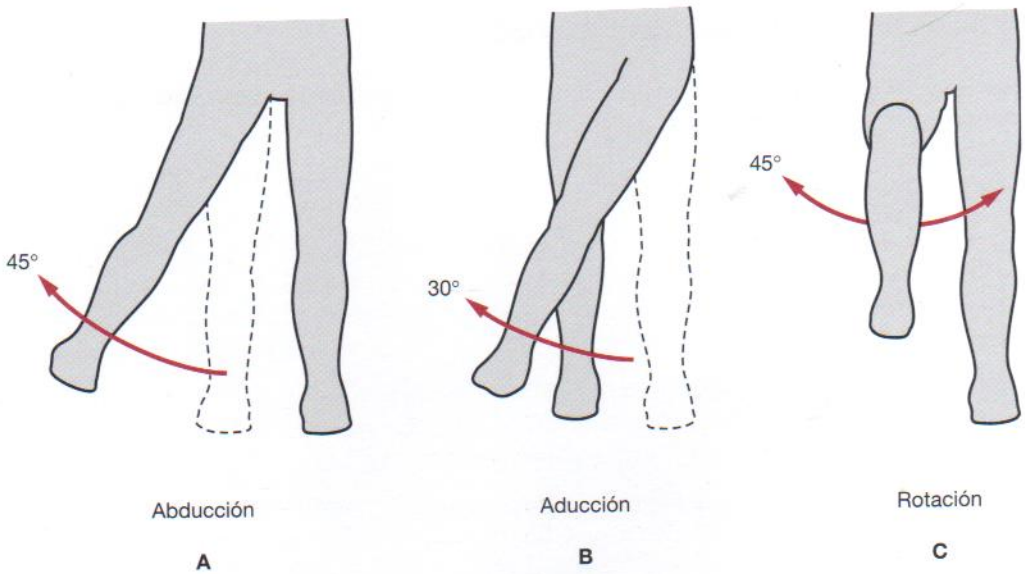


Figura 7.6. Amplitud de movimientos de la cadera. Abducción, aducción y rotación. **A,** Abducción (45°). **B,** Aducción (30°) de la cadera. **C,** Vista superior de la rotación (45°) del muslo.

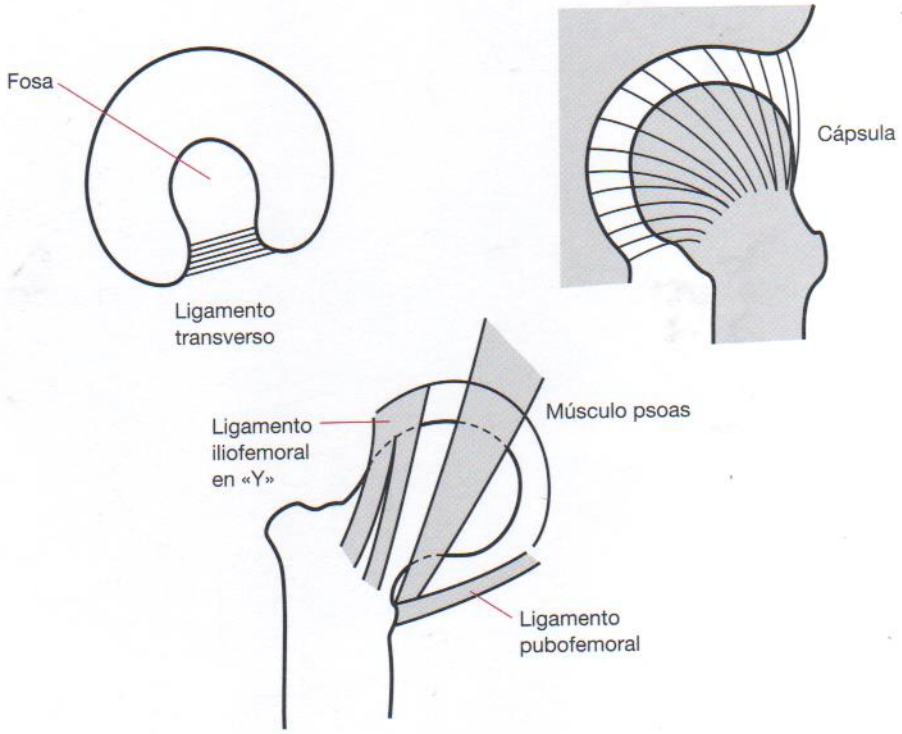


Figura 7.7. Limitación de la rotación por la cápsula. Puesto que la articulación es congruente, la rotación se produce en todas las direcciones. La cápsula está relativamente distendida en posición neutral, pero las fibras se tensan durante la rotación.

Músculos de la articulación de la cadera

Numerosos músculos mueven la articulación de la cadera, ya sea directa o indirectamente.

Glúteo mayor

El glúteo mayor es un músculo romboideo muy extenso que se origina en la línea glútea posterior del hueso ilion, el tendón del sacroespinoso, la cara dorsal del sacro, el cóccix y el ligamento sacrotuberoso. Se inserta en la tuberosidad mayor del fémur y en el tracto iliotibial de la fascia lata situada lateralmente respecto del fémur.

Su función consiste en extender la cadera, e interviene en su rotación externa. En la bipedestación, cuando la pierna se encuentra apoyada sobre el suelo, este músculo extiende la pelvis en la parte superior de la pierna. Está inervado por el nervio glúteo superior (Fig. 7.8).

El músculo piriforme tiene su origen en la cara anterior del sacro, la cápsula de la articulación sacroilíaca y el borde del foramen ciático mayor. Se inserta en el borde superior del trocánter mayor del fémur. Su función consiste en rotar lateralmente el fémur y abducir el muslo cuando la pierna está flexionada. Está inervado por el plexo sacro (L5, S1 y S2).

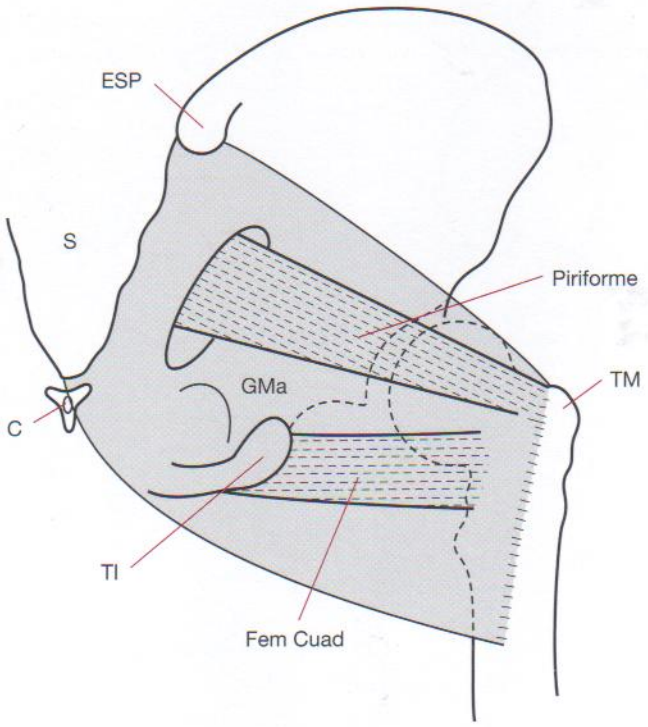


Figura 7.8. Glúteo mayor. El músculo glúteo mayor (GMa) es suprayacente a los músculos piriforme y femoral cuadrado (Fem Cuad). Los puntos de origen e inserción son la espina posterior superior (EPS) del hueso ilion, el sacro (S), el cóccix (C) y la tuberosidad mayor del fémur (TM) desde las raíces L4, L5, S1 y S2.

Glúteos medio y menor

Los glúteos medio y menor son esencialmente dos partes del mismo músculo; sus bordes anteriores se funden. Su origen se encuentra en la cara exterior del hueso ilion, desde la cresta ilíaca y la línea glútea posterior superiormente hasta la línea glútea anterior inferiormente y la aponeurosis glútea. Se inserta en la cara lateral del trocánter mayor del fémur. Su función consiste en abducir el muslo y rotarlo medialmente (hacia dentro). Está inervado por el nervio glúteo superior (L4, L5 y S1) (Fig. 7.9).

Músculos iliopsoas

El músculo psoas tiene su origen en la cara anterior de las apófisis transversas y los bordes laterales de las vértebras lumbares, de la T12 a la L5. Se inserta en el trocánter menor del fémur con un tendón conjunto del músculo ilíaco. Su función consiste, principalmente, en flexionar el muslo y aportar el movimiento mínimo de rotación lateral (externa) y de abducción. Está inervado por el plexo lumbar (L1, L2, L3 y L4).

El músculo ilíaco tiene su origen en los dos tercios superiores de la cresta ilíaca; el borde interno de la cresta ilíaca; los ligamentos sacroilíaco anterior, lumbosacro e iliolumbar; y el ala del sacro. Se inserta como tendón conjunto con el músculo psoas en el trocánter menor del fémur. Está inervado por el nervio femoral (L1, L2 y L3) (Fig. 7.10).

Músculos de la corva

El grupo de músculos mediales de la corva incluye el semitendinoso y el semimembranoso. Estos músculos se originan en la tuberosidad isquiática, junto con el músculo bíceps femoral. Se insertan en la porción proximal de la tibia y en la fascia profunda de la pierna. Su función consiste en flexionar la rodilla y, simultáneamente, rotar internamente la parte inferior de la pierna, así como aducir y extender la pierna. El músculo semimembranoso tiene su origen en la cara superior y lateral de la tuberosidad isquiática, y se inserta en la cara posteromedial del cóndilo medial de la tibia.

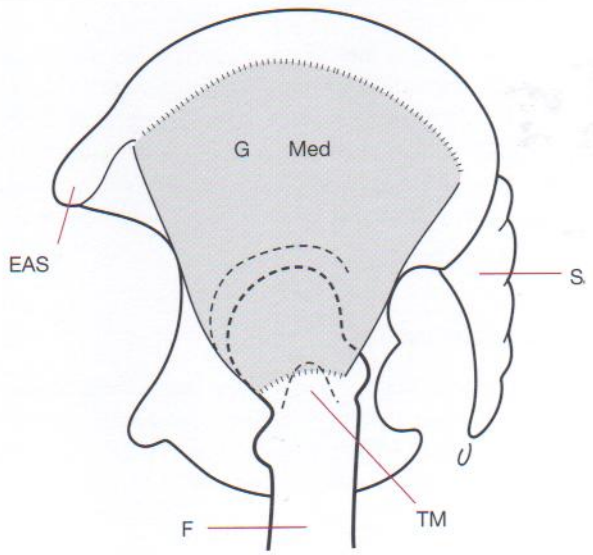


Figura 7.9. Glúteos medio y menor. Los glúteos medio y menor (G Med) tienen su origen en la cara externa del hueso ilion (EAS, espina anterior superior) y en el sacro (S). Se insertan en el trocánter mayor (TM) del fémur (F).

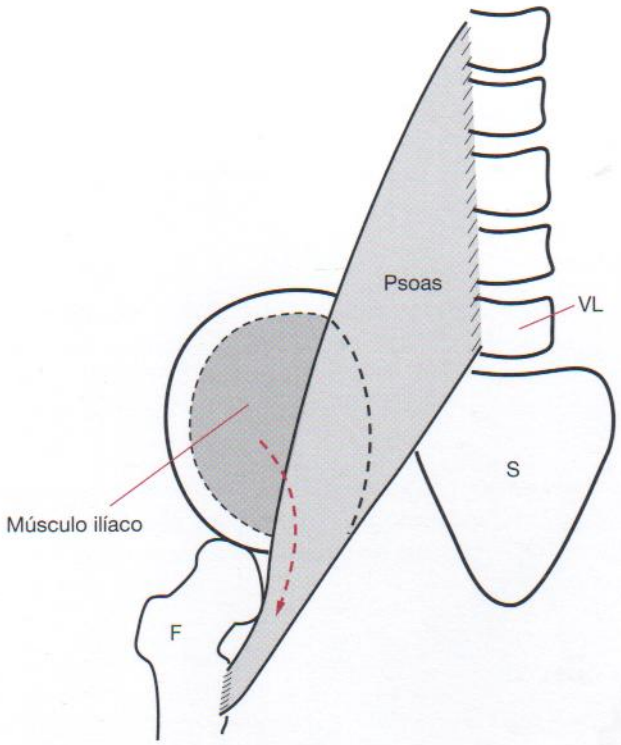


Figura 7.10. Músculos iliopsoas. El músculo psoas (mostrado en posición superficial respecto del músculo ilíaco) se origina en las vértebras lumbares (VL) L1 a L5, y se inserta en el trocánter menor del fémur (F). El músculo ilíaco (debajo del psoas) se origina en la cresta del hueso ilion. Se inserta (flecha curva discontinua) como tendón conjunto en el trocánter menor del fémur (F). S, sacro.

La cabeza larga del bíceps femoral se origina en la tuberosidad isquiática y el ligamento sacrotuberoso, y la cabeza corta se origina en cara lateral de la línea áspera y el supracóndilo lateral del fémur. Se inserta en la cara lateral de la cabeza peronea, en el cóndilo lateral de la tibia y en la fascia profunda. Su función consiste, principalmente, en flexionar la rodilla, rotar lateralmente la parte inferior de la pierna sobre el fémur y aducir levemente la pierna. Está inervado por la cabeza larga de la rama tibial del nervio ciático (L5, S1, S2 y S3) y la cabeza corta de la rama peronea del mismo nervio (L5, S1 y S2) (Fig. 7.11).

Músculo tensor de la fascia lata

El músculo tensor de la fascia lata tiene su origen en la parte anterior del labio exterior de la cresta ilíaca y en el borde anterior del hueso ilion. Se inserta en el tercio medio del tracto iliotibial de la fascia lata. Su función consiste en flexionar, abducir y rotar medialmente el muslo. Tensa la fascia lata y estabiliza lateralmente la articulación de la rodilla. Está inervado por el nervio glúteo superior (L4, L5 y S1) (Fig. 7.12).

Existen numerosos aductores de la pierna, como los músculos pectíneo, aductor corto, aductor largo y grácil. El músculo pectíneo se origina en la cara superior del pubis, entre la eminencia iliopectínea y el tubérculo púbico. Se inserta en la línea pectínea, desde el trocánter menor hasta la línea áspera. Los músculos aductores largo y corto se originan en la cara exterior de la rama interna del pubis, y se inser-

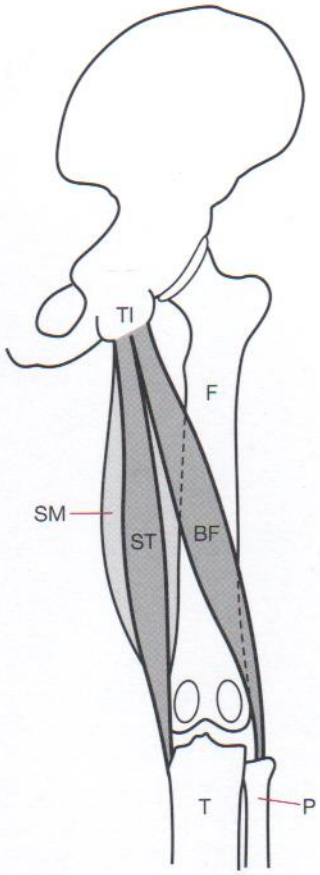


Figura 7.11. Grupo muscular de la corva. El grupo muscular de la corva incluye los músculos semimembranoso (SM), semitendinoso (ST) y bíceps femoral (BF). TI, tuberosidad isquiática; F, fémur; T, tibia; P, peroné.

tan en una línea que se extiende desde el trocánter menor hasta la línea áspera. El músculo aductor mayor se origina en la tuberosidad isquiática, la rama del isquion y el pubis. Se inserta en una línea que se extiende desde el trocánter menor y discurre a lo largo de la línea áspera hasta el tubérculo aductor del cóndilo medial del fémur. El músculo grácil tiene su origen en la mitad inferior de la sínfisis púbica y el borde medial de la rama inferior del arco púbico. Se inserta en la parte superior de la cara medial de la tibia, situada distalmente respecto del cóndilo. Su función consiste en aducir el muslo y flexionar la cadera y la rodilla, así como rotar medialmente el muslo y la tibia. Está inervado por el nervio obturador (L2, L3 y L4) (Fig. 7.13).

Músculo sartorio

El músculo sartorio, así llamado tradicionalmente por corresponder a la postura en cuclillas empleada por los sastres para coser, se origina en la cresta ilíaca anterosuperior y en la mitad superior de la escotadura ilíaca. Atraviesa la pierna superior y se inserta en la parte superior de la cara medial de la tibia, cerca de su borde anterior. Su función consiste en flexionar la rodilla y la cadera, rotar el muslo lateralmente y, cuando la rodilla está flexionada, rotar medialmente la tibia. Está inervado por el nervio femoral (L2 y L3) (Fig. 7.14).

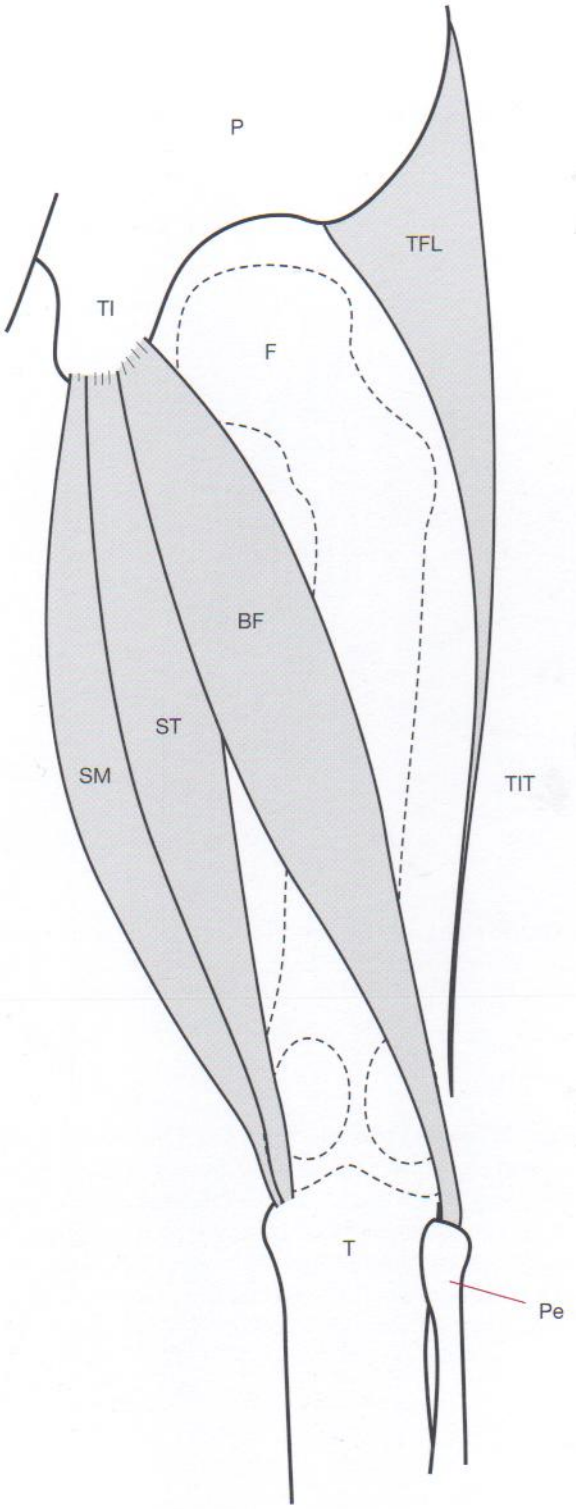


Figura 7.12. Aductores del grupo de la corva y tensor de la fascia lata. Los músculos posteriores del muslo —semimembranoso (SM), semitendinoso (ST), bíceps femoral (BF) y tensor de la fascia lata (TFL)— se insertan en el tracto iliotibial (TIT). TI, tuberosidad isquiática; P, pelvis; F, fémur; T, tibia; Pe, peroné.

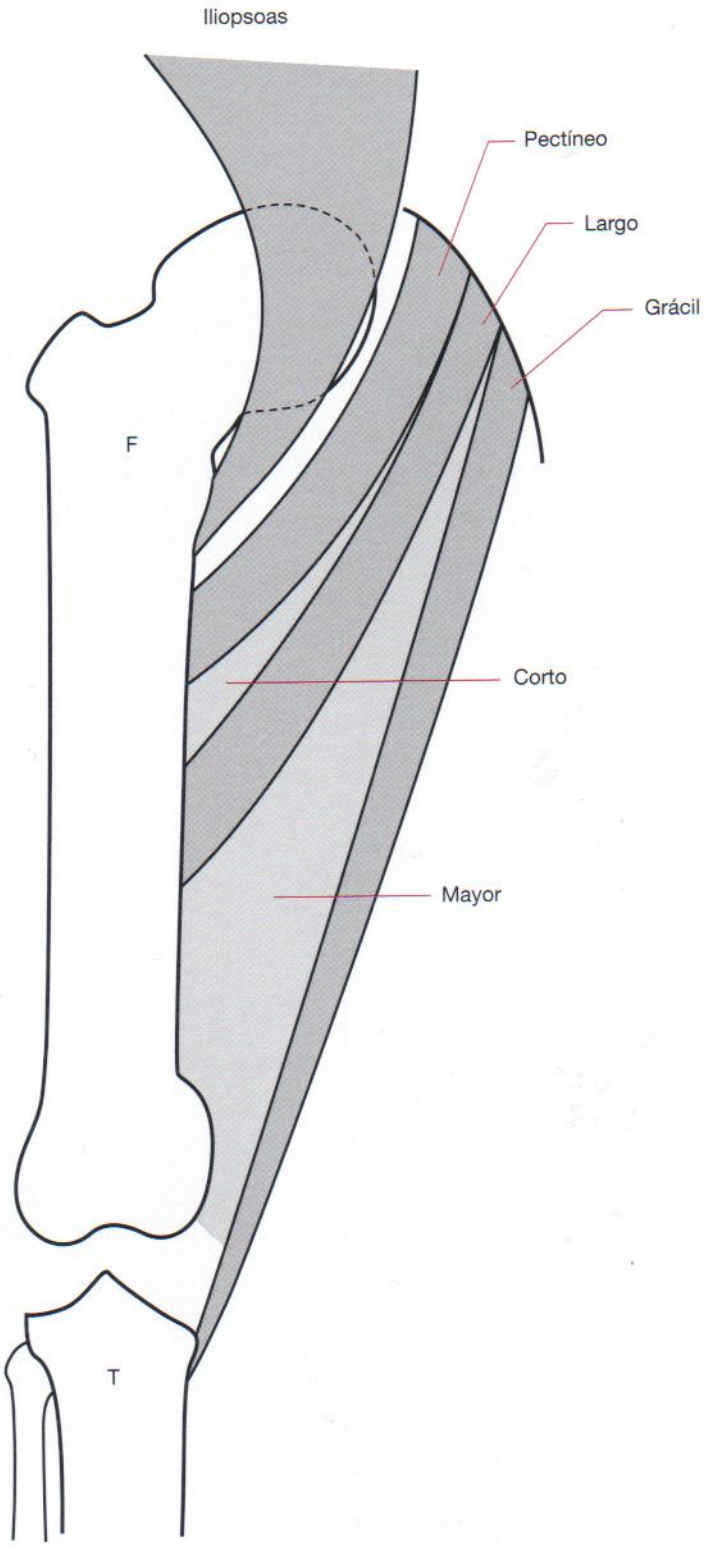


Figura 7.13. Grupo muscular aductor del muslo. Músculos aductores del muslo. F, fémur; T, tibia.

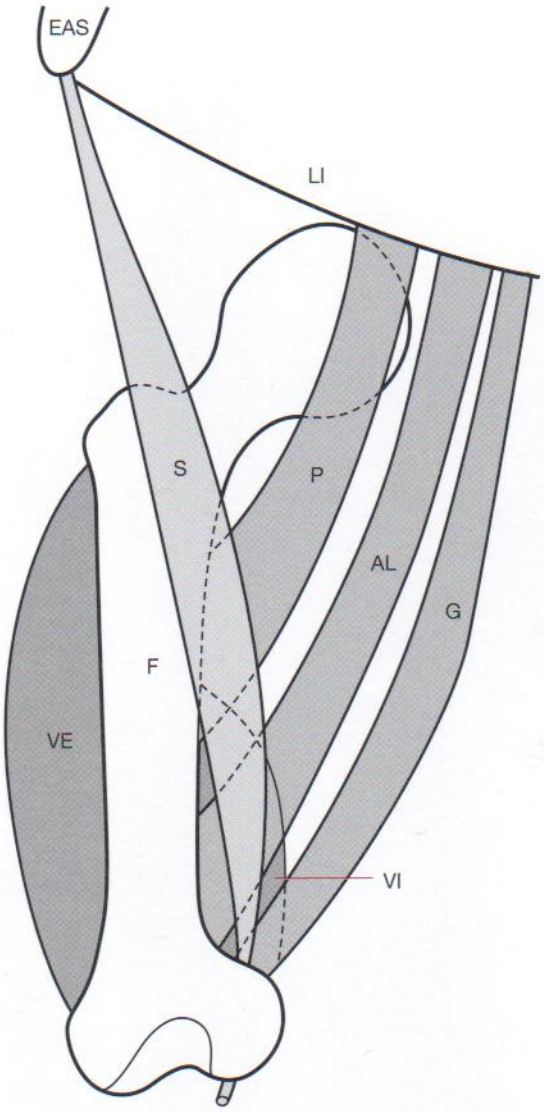


Figura 7.14. Músculo sartorio. El músculo sartorio (S) es un músculo anterior del muslo que actúa sobre el fémur (F) y la tibia. Tiene su origen en la espina anterosuperior (EAS). LI, ligamento inguinal; VE, vasto externo del grupo muscular del cuádriceps; P, músculo pectíneo; AL, músculo aductor largo; G, músculo grácil; VI, vasto interno del grupo del cuádriceps.

Triángulo femoral

El triángulo femoral (triángulo de Scarpa) es un canal triangular por donde pasa la arteria femoral profunda, las ramas circunflejas y la vena y nervio femorales profundos. La base del triángulo la forma el ligamento inguinal, y su vértice se encuentra aproximadamente 10 cm por debajo del punto en el que el músculo sartorio atraviesa el borde lateral del músculo aductor largo (Fig. 7.15).

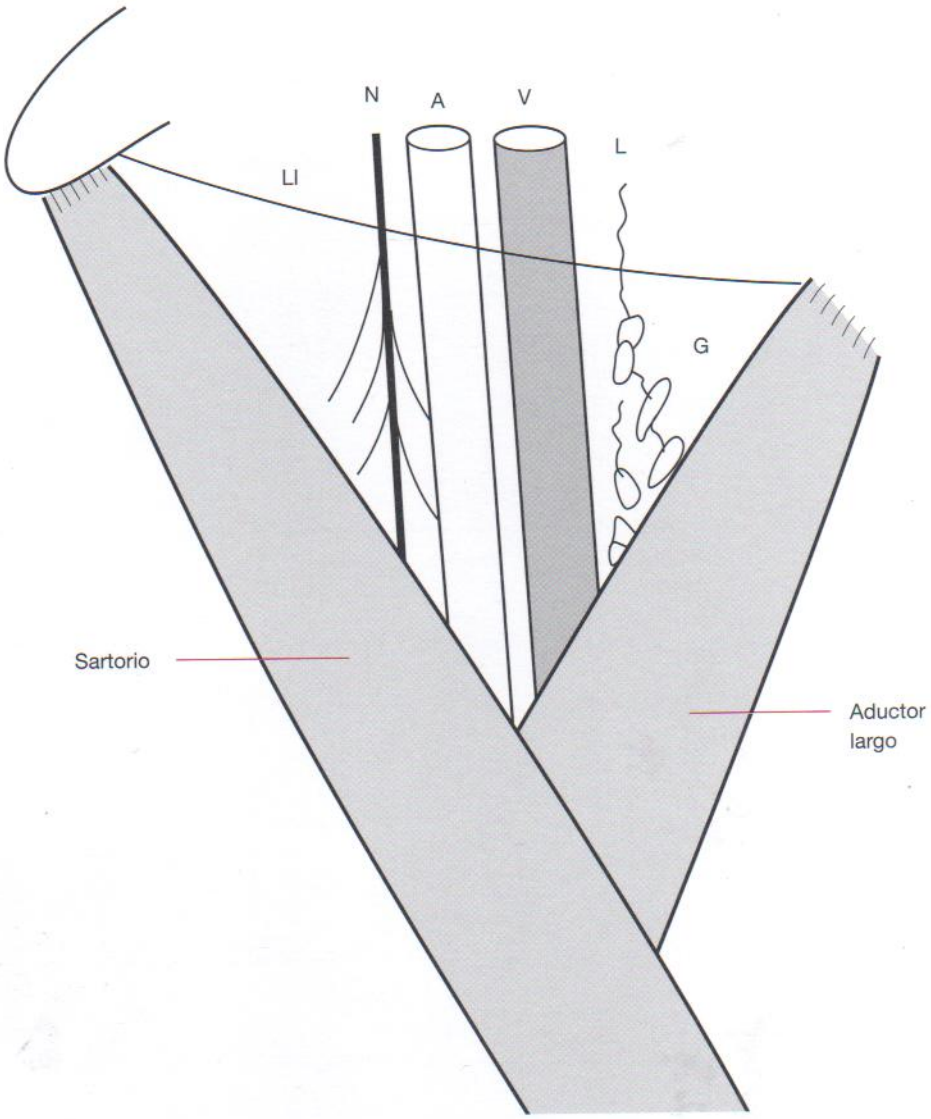


Figura 7.15. Triángulo femoral. El triángulo femoral contiene la arteria (A), la vena (V) y el nervio (N) femorales; las ramas del nervio; y numerosas glándulas linfáticas (G). LI, ligamento inguinal; L, vasos linfáticos.

La cadera en la marcha

En la determinación de la marcha, el fémur rota internamente sobre la pelvis (5°), y la tibia rota sobre el fémur cuando se pasa de la fase de apoyo a la de oscilación. A continuación, el fémur rota externamente unos 7° durante el resto de la fase de apoyo y en los primeros estadios de la fase de oscilación. La cadera se flexiona en la fase de oscilación, se mantiene en posición neutral durante la fase estante intermedia y se extiende luego cuando la pierna pasa por la fase de oscilación (Fig. 7.16).

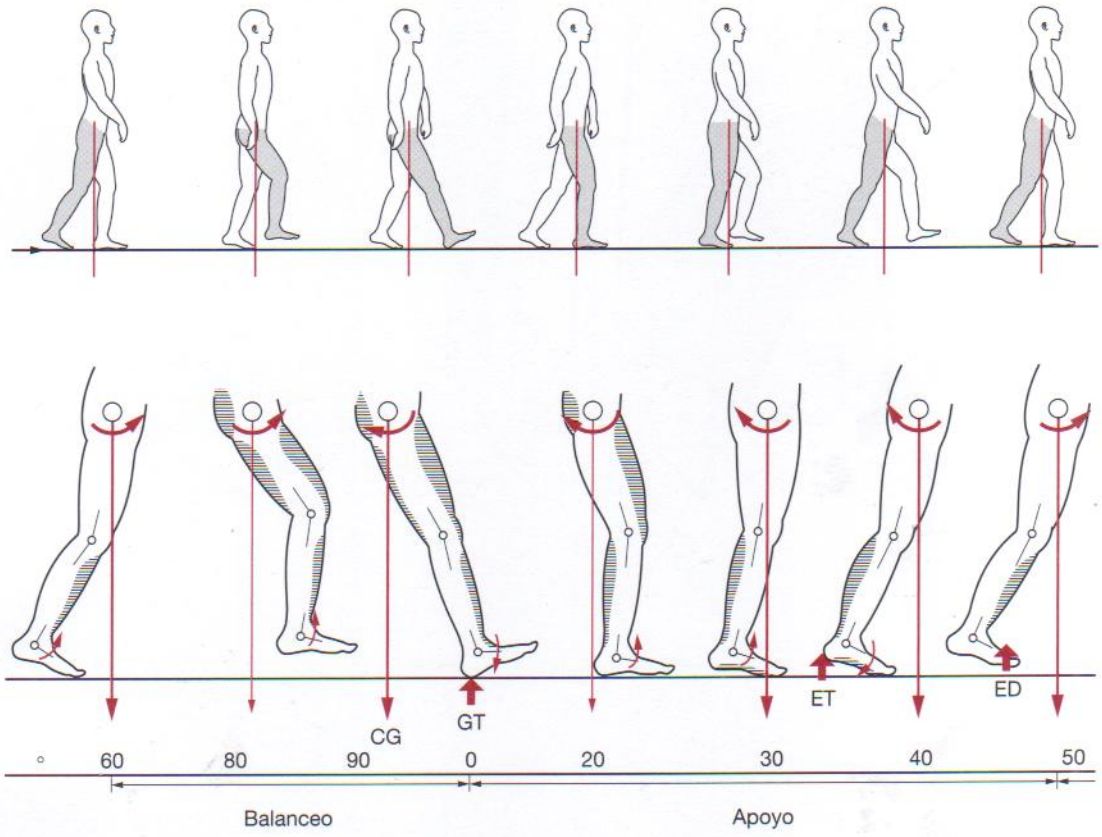


Figura 7.16. Cadera durante la marcha normal. Las flechas curvas representan la flexión-extensión de la cadera durante la marcha normal. La cadera oscila inicialmente 60° en la fase de oscilación hasta el golpe de talón (GT), momento en que se inicia la extensión de la cadera, que se prolonga hasta la elevación del talón (ET) y la elevación de los dedos (ED). CG, centro de gravedad.

capítulo 8

Anatomía funcional del pie y el tobillo

El tobillo es la articulación localizada entre el astragálo del pie y la mortaja situada entre la tibia y el peroné distales. La tibia y el peroné están conectados mediante una membrana interósea oblicua que permite un grado limitado de separación cuando las diversas anchuras del astrágalo separan mecánicamente los dos huesos para ensanchar la mortaja. Las fibras de la membrana interósea no se alargan, sino que, simplemente, cambian de angulación, lo cual permite la separación de la tibia y el peroné (Figs. 8.1 y 8.2).

El ligamento interóseo puede muy bien denominarse ligamento tibioperoneo; sus fibras están adheridas a lo largo de una cresta lineal en la cara lateral de la tibia y en la cara medial del peroné (Fig. 8.3).

Articulación del tobillo

La articulación del tobillo es el astrágalo del pie entre el maléolo tibial medial y el maléolo peroneo lateral. Esta articulación es inestable, pero los ligamentos mediales y laterales la hacen más estable (Figs. 8.4, 8.5 y 8.6).

Los ligamentos colaterales mediales tienen un eje de rotación excéntrico, de modo que todas las fibras están tensas en la posición neutral, pero las fibras posteriores se relajan en la flexión plantar y las fibras anteriores en la dorsiflexión. Los ligamentos colaterales laterales tienen un eje de rotación central, por lo que todas las fibras se mantienen tensas en la flexión plantar y en la dorsiflexión (Fig. 8.7).

Los ligamentos se extienden desde los maléolos hasta los huesos astrágalo, calcáneo y navicular. Están muy inervados por nervios sensitivos, que facilitan la propiocepción y transmiten el dolor cuando resultan dañados.

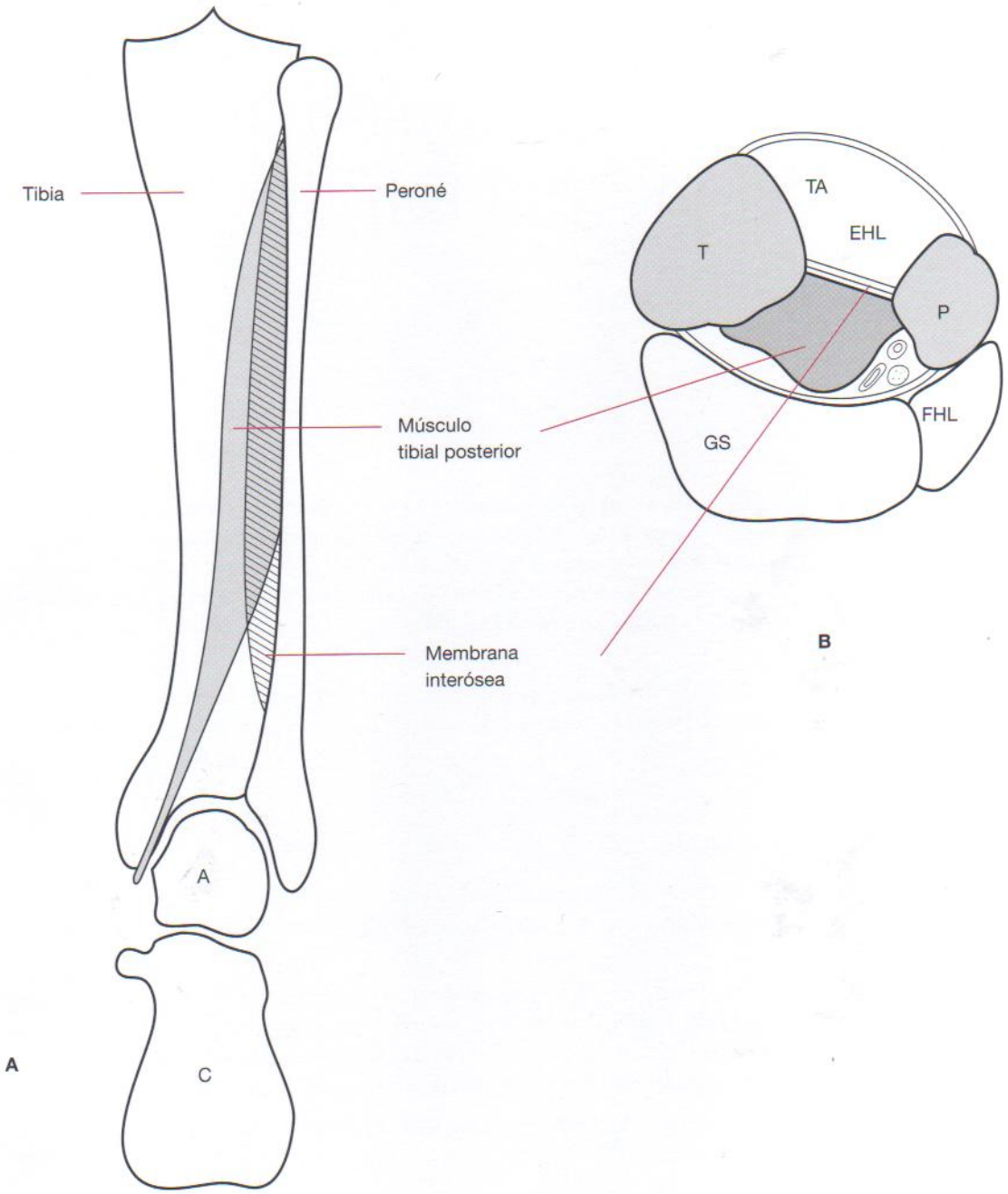


Figura 8.1. Vista posterior de la cara inferior de la pierna. A, Cara inferior de la pierna, con la tibia (T) y el peroné (P) formando la mortaja del tobillo que contiene el astrágalo (A) del pie. La tibia y el peroné están conectados por la membrana interósea. **B,** Sección transversal de la cara inferior de la pierna. GS, gastrocnemio y sóleo; TA, músculo tibial anterior; EHL, músculo extensor largo del dedo gordo (extensor hallucis longus); FHL, músculo flexor largo del dedo gordo (flexor hallucis longus); C, calcáneo.

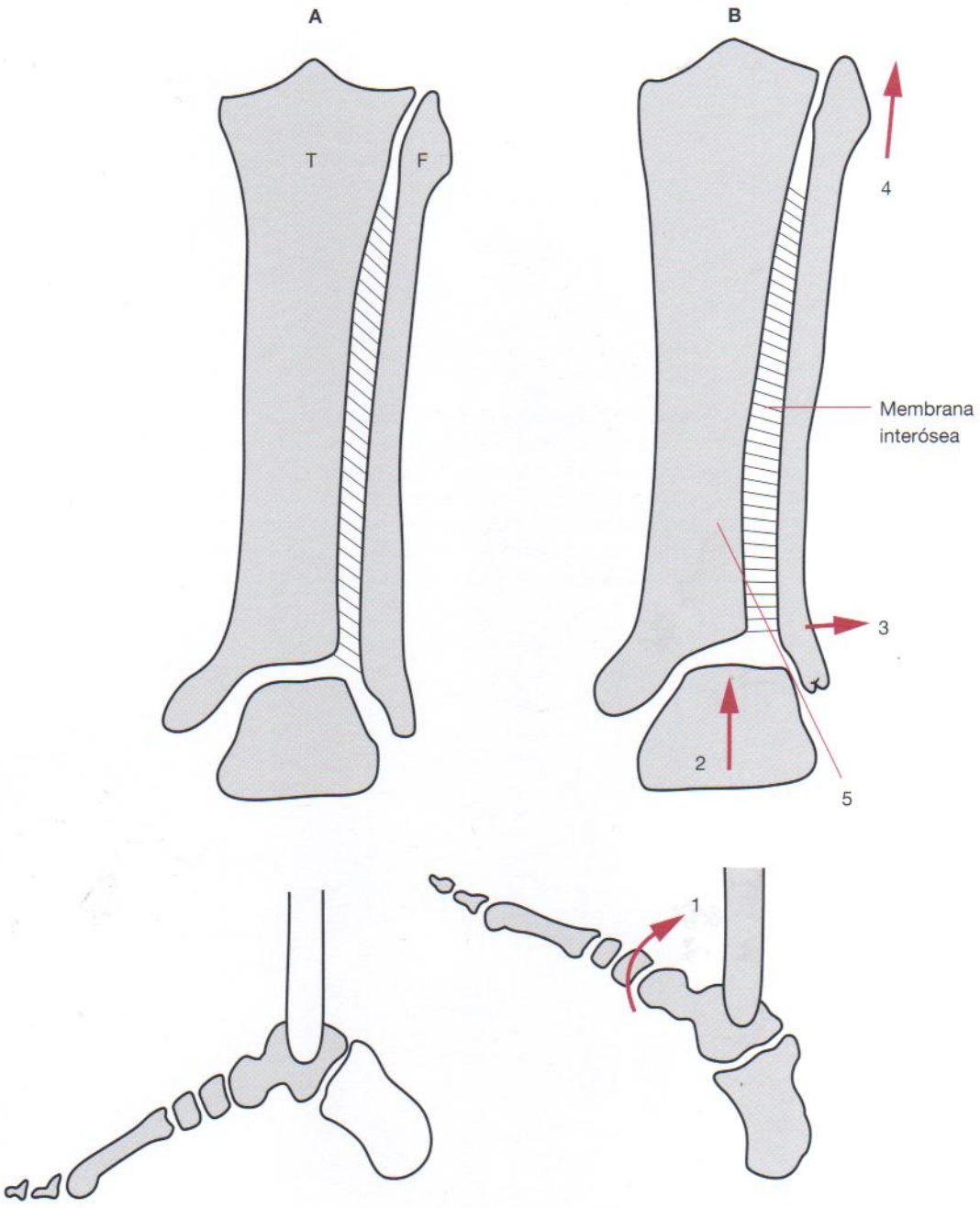


Figura 8.2. Efecto de la dorsiflexión del pie sobre la membrana interósea. **A,** Con el pie en posición neutral, las fibras de la membrana interósea están en posición oblicua, y la tibia y el peroné están razonablemente cerca. **B,** Con la dorsiflexión del pie (1), la más ancha porción anterior del astrágalo (2) separa los maléolos y endereza la dirección de las fibras de la membrana interósea, permitiendo la separación de ambos huesos (3) y la elevación del peroné (4). La tibia continúa descargando el peso sobre el astrágalo (5).

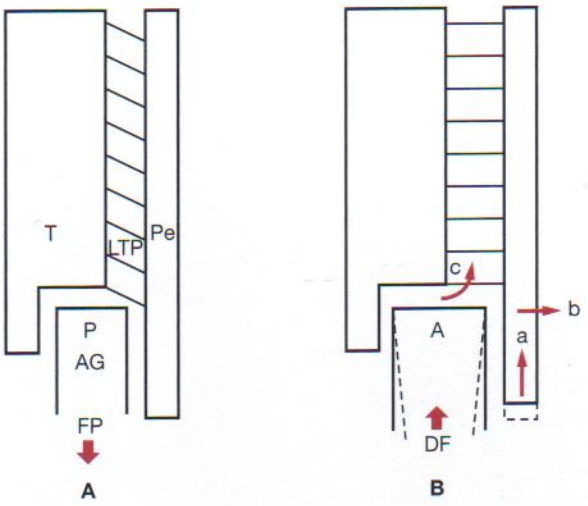


Figura 8.3. Ligamento tibioperoneo. A, Esquemáticamente, angulación de las fibras del ligamento interóseo (LTP) con el pie en posición de flexión plantar (FP). En esta posición, el astrágalo (AG) tiene su estrecha cara posterior (P) entre los maléolos tibial (T) y peroneo (Pe), y las fibras están en posición oblicua. **B,** Con el pie en posición dorsiflexionada (DF), la más ancha cara anterior (A) del astrágalo está entre los maléolos, colocándose las fibras en posición horizontal (flecha c); el peroné se desplaza lateralmente (flecha b) y se eleva (flecha a).

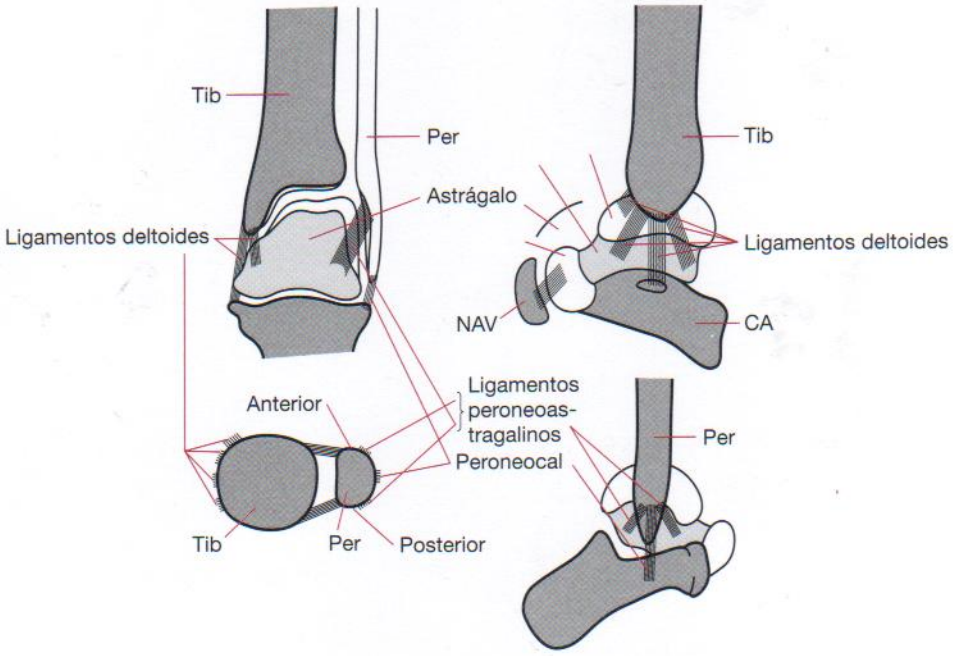


Figura 8.4. Ligamentos colaterales de la articulación del tobillo. Los ligamentos de la articulación del tobillo unen la tibia (Tib) y el peroné (Per) con el astrágalo y el calcáneo (CA) del pie. Los ligamentos se denominan de acuerdo con sus puntos de unión al hueso navicular (NAV) y al calcáneo. La figura superior izquierda es una vista posterior; la figura superior derecha, una vista medial; la figura inferior izquierda, una vista superior; y la figura inferior derecha, la vista lateral del tobillo. Peroneocal, ligamento peroneocalcáneo.

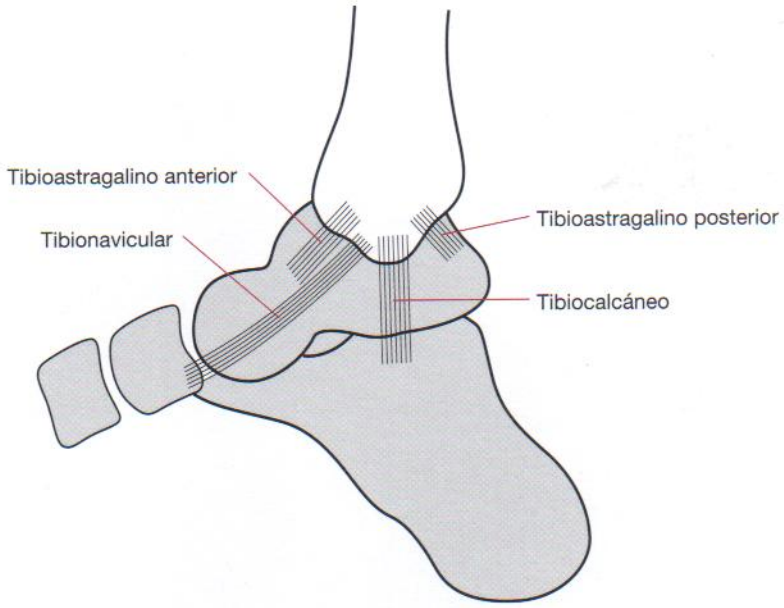


Figura 8.5. Ligamentos colaterales mediales (deltoideo). Los ligamentos colaterales mediales, o ligamento deltoideo, son el tibioastragalino anterior, el tibionavicular, el tibioastragalino posterior y el tibiocalcáneo, llamados así por sus puntos de inserción.

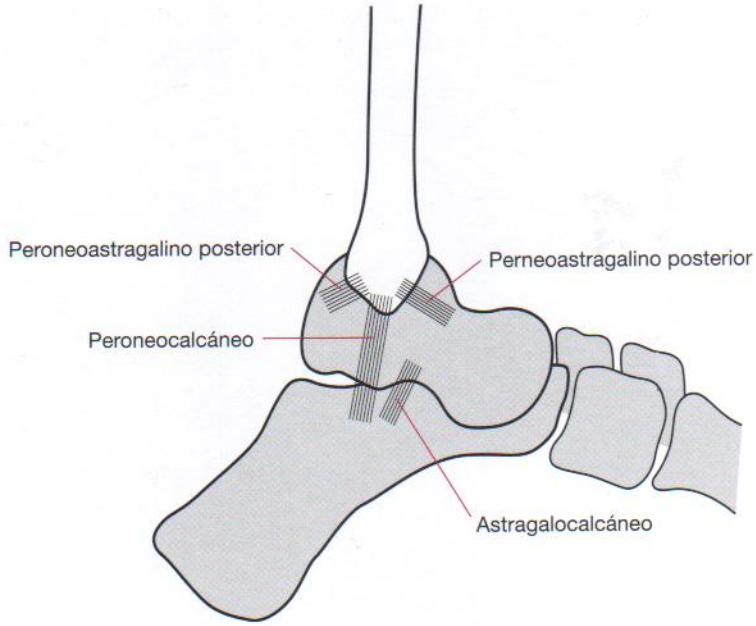


Figura 8.6. Ligamentos colaterales laterales del tobillo. Los ligamentos colaterales laterales del tobillo reciben su nombre de acuerdo con su punto de inserción: peroneoastragalino anterior, peroneoastragalino posterior, peroneocalcáneo y astragalocalcáneo.

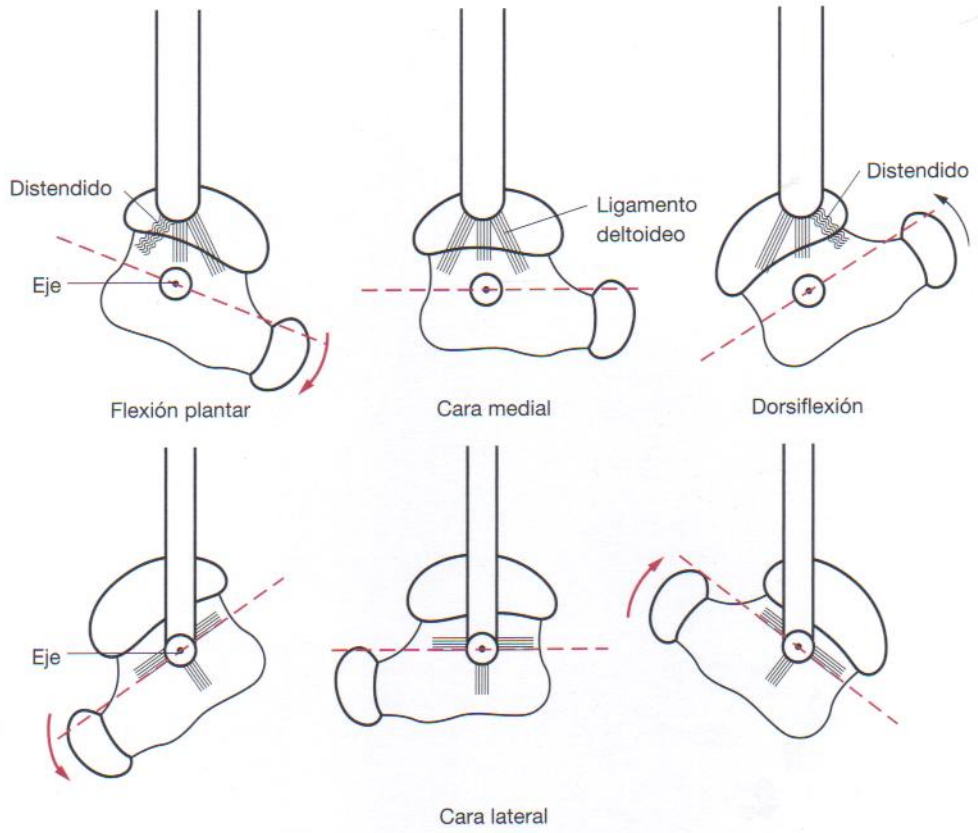


Figura 8.7. Relación de los ligamentos colaterales con su eje de rotación. El eje medial de rotación es excéntrico y medial central, dando lugar a cambios de los ligamentos colaterales mediales y laterales durante la flexión plantar y la dorsiflexión.

Huesos y articulaciones del pie

Existen veintiséis huesos en el pie, que incluyen catorce falanges, cinco metatarsianos y siete tarsianos. El pie puede dividirse en tres segmentos funcionales: el posterior, que alberga el astrágalo y el calcáneo; el central, que contiene cinco tarsianos, y el segmento anterior, que alberga cinco metatarsianos y catorce falanges (Fig. 8.8).

El astrágalo es el hueso del pie que soporta la carga en el segmento posterior. Es cuneiforme, siendo la porción anterior más ancha que la posterior. Se aloja en la mortaja del tobillo formada por los maléolos de la tibia y el peroné. Como se ha señalado en la sección precedente referida al tobillo, cuando el pie se dorsiflexiona, la porción anterior del astrágalo se interpone entre los maléolos y ensancha la mortaja. En la flexión plantar, la más estrecha porción posterior del astrágalo entra en la mortaja y se acerca a los maléolos de ésta (Figs. 8.9 y 8.10).

Los ligamentos del tobillo sujetan el astrágalo y el calcáneo en la mortaja del tobillo, y están sujetos por la elongación debida al movimiento en valgo y varo de la articulación pie-tobillo. El ángulo de rotación del astrágalo en la mortaja influye en la estabilidad de los ligamentos colaterales para evitar lesiones debidas al sobre-estiramiento o a desgarros o avulsiones ligamentosos (Figs. 8.11 y 8.12).

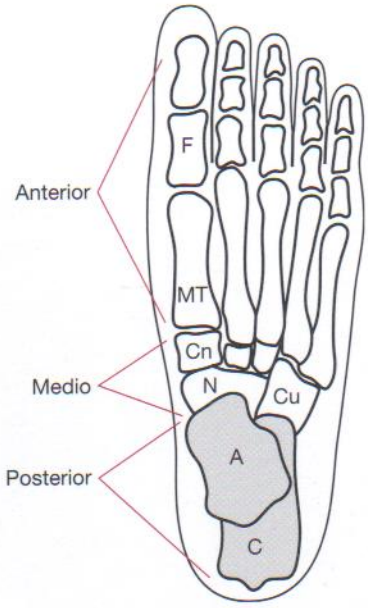


Figura 8.8. Segmentos funcionales del pie. Se muestran tres segmentos del pie: anterior, que contiene los metatarsianos (MT) y las falanges (F); medio, que contiene los tarsianos [navicular (N), tres cuneiformes (Cn) y cuboides (Cu)] y posterior, que contiene el astrágalo (A) y el calcáneo (C).

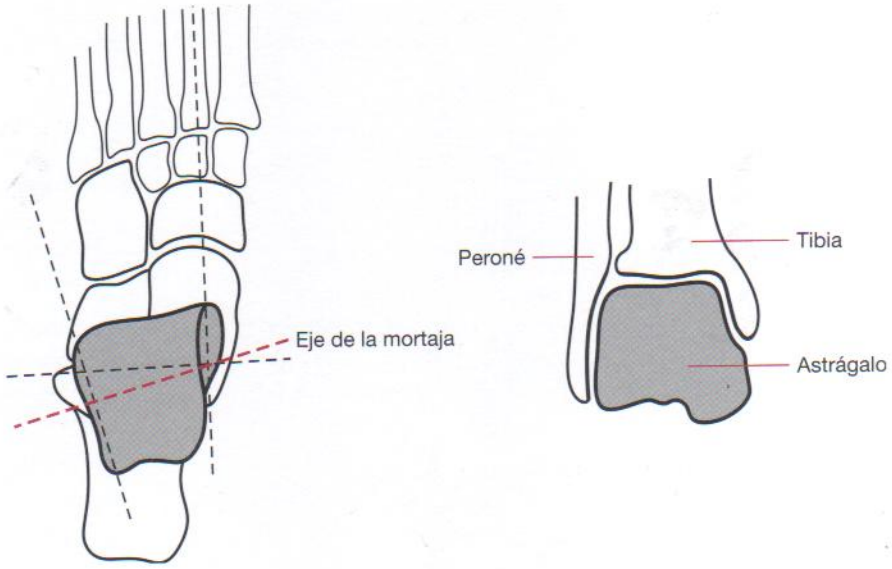


Figura 8.9. Vista superior del astrágalo. Visto desde arriba, el astrágalo es cuneiforme; es más ancho en la parte anterior que en la posterior. Se inserta en la mortaja formada por los maléolos de la tibia y el peroné. Su eje de rotación es oblicuo a la línea anteroposterior de la región inferior de la pierna (desde la rodilla hasta el tobillo).

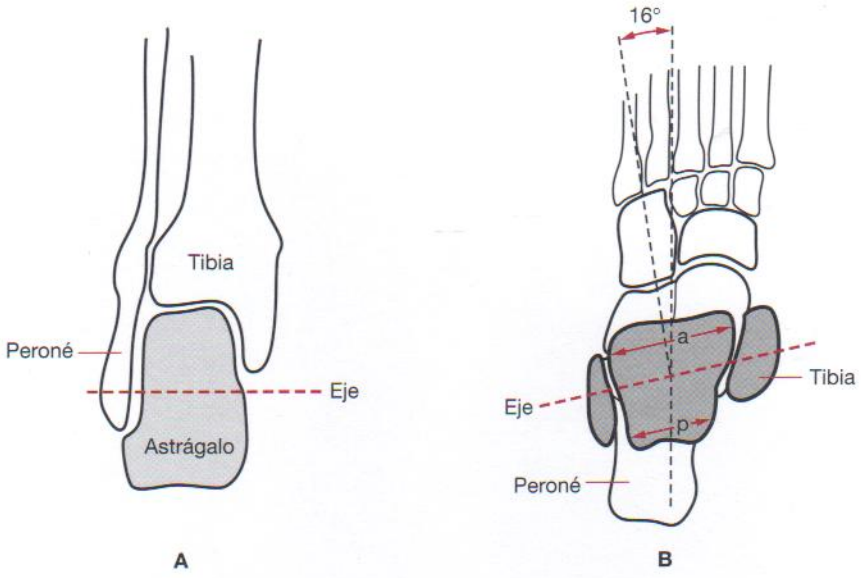


Figura 8.10. Eje de rotación del astrágalo. A, La vista anterior de la articulación del tobillo muestra el astrágalo entre los maléolos del peroné y la tibia. **B,** Grado de desviación lateral (16°) del astrágalo y su eje de rotación. Cara ancha del astrágalo (a) frente a anchura posterior (p).

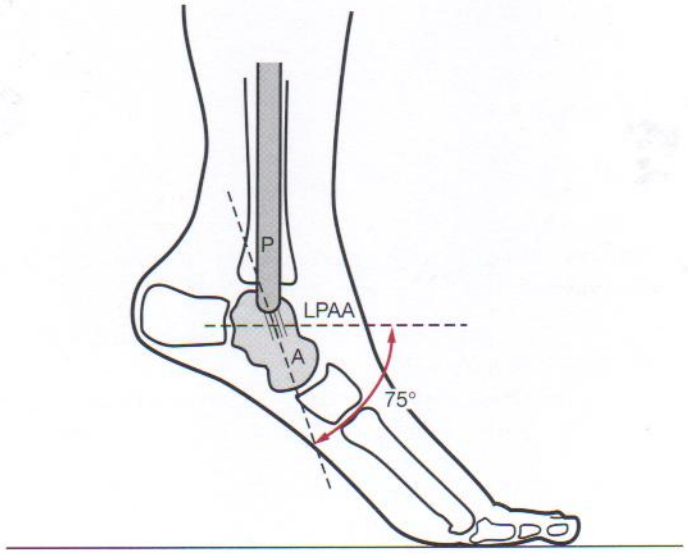


Figura 8.11. Ligamento peroneoastragalino anterior durante la flexión plantar. En la flexión plantar extrema, el ligamento peroneoastragalino anterior (LPAA) se sitúa casi en posición vertical (75° respecto de la línea horizontal). P, peroné; A, astrágalo.

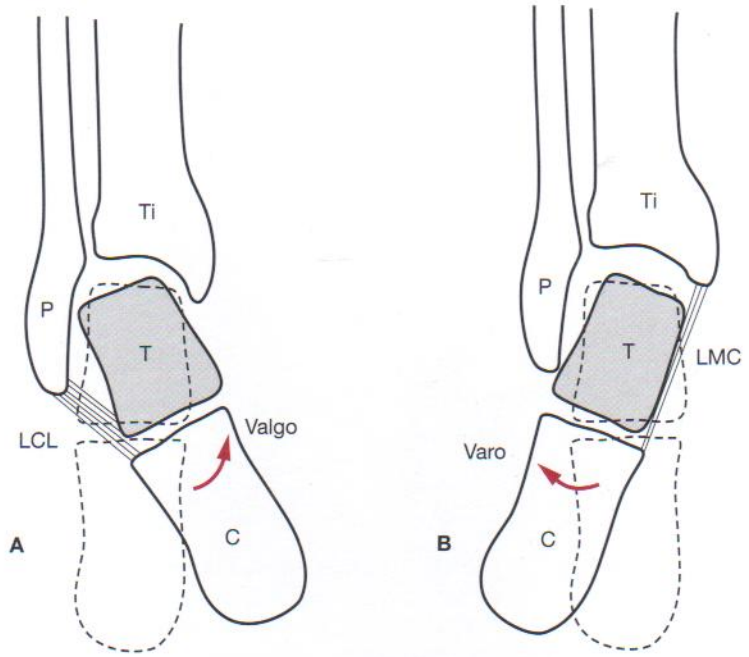


Figura 8.12. Desplazamiento lateral medial del tobillo. A, En un valgo pronunciado del pie, el ligamento colateral lateral (LCL) se prolonga, y el calcáneo (C) se desplaza levemente sobre el astrágalo en dirección de valgo dentro de la mortaja. **B,** En el varo sucede lo contrario, estirándose los ligamentos colaterales mediales (LCM). P, peroné; Ti, tibia.

Articulación astragalocalcánea

Buena parte de la inversión y eversión del pie se produce en la articulación astragalocalcánea. La carga sobre el pie la soporta el astrágalo, el cual se apoya en los dos tercios anteriores del calcáneo (os calcis). Las articulaciones funcionales que soportan mayor carga en el pie son la articulación subastragalina, la articulación astragaloescafoidea cuboidea y las articulaciones distales metatarsofalángicas. El centro de gravedad se ubica entre los dos huesos naviculares (escafoides) (Figs. 8.13, 8.14 y 8.15).

La articulación astragalocalcánea (subastragalina) contiene diversas articulaciones en distintos planos que permiten un leve grado de movimiento. La articulación posterior de la cara superior del calcáneo es convexa, y la cara articular de la cara inferior del astrágalo es cóncava; esta relación forma una articulación incongruente que permite leves grados de inversión y eversión. Cuando la articulación del tobillo está «cerrada», con el pie ampliamente dorsiflexionado, todo el movimiento en valgo y varo en el pie inferior se produce en la articulación astragalocalcánea.

Todo el cuerpo y parte de la cabeza del astrágalo se apoyan en los dos tercios anteriores del calcáneo y se proyectan levemente delante de éste. Las carillas anteriores de la articulación subastragalina son dos carillas similares situadas en la cara superior del calcáneo y en la cara inferior del cuerpo y el cuello del astrágalo. Las carillas del astrágalo son conversas, y las del calcáneo, cóncavas. En las carillas posteriores es justo al contrario. Esta asimetría forma una articulación incongruente de motilidad limitada (Figs. 8.16, 8.17 y 8.18).

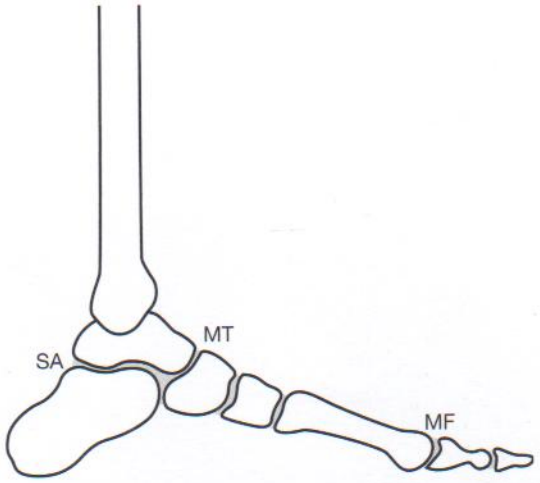


Figura 8.13. Principales articulaciones funcionales de carga del pie. Las tres principales unidades funcionales del pie que soportan la carga son la articulación subastragalina (SA), situada entre el astrágalo y el calcáneo; la mediotarsiana (MT), situada entre el astrágalo y los huesos navicular y cuneiforme; y las articulaciones metatarsofalángicas (MF).

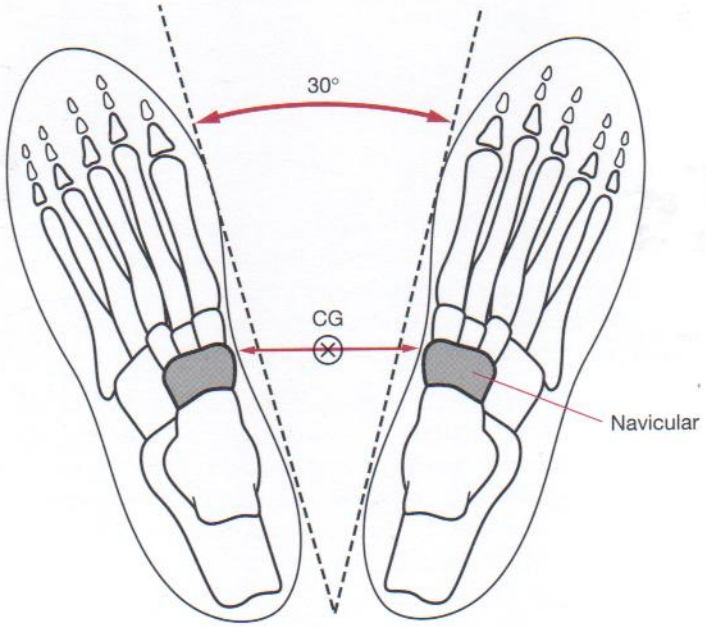


Figura 8.14. Centro de gravedad de los pies en carga. El centro de gravedad (CG) se encuentra a medio camino entre los dos huesos naviculares de los pies que, en bipedestación normal, hacen que los pies se abran normalmente en un ángulo de 30°.

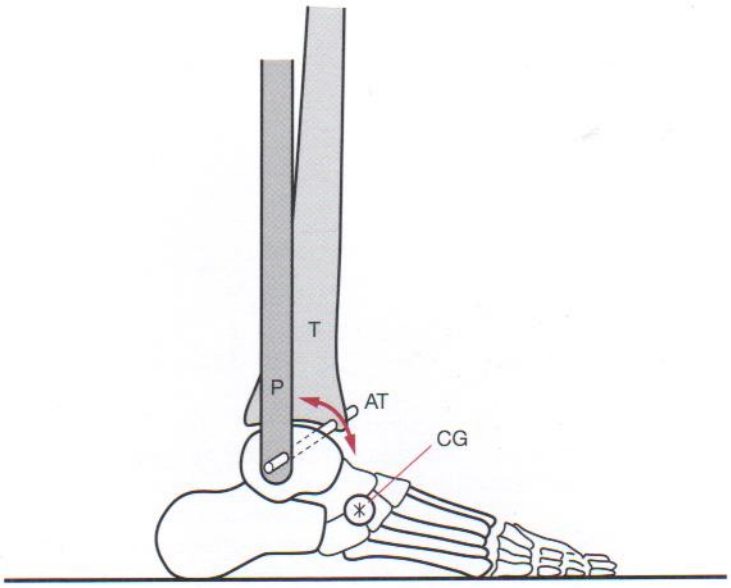


Figura 8.15. Relación de la articulación del tobillo con el centro de gravedad. El eje de rotación de la articulación del tobillo (AT) es posterior al centro de gravedad (CG) del pie. El brazo de palanca del talón es más corto que el del antepié; así, se produce cierta rotación de la porción posterior del anterpié. P, peroné; T, tibia.

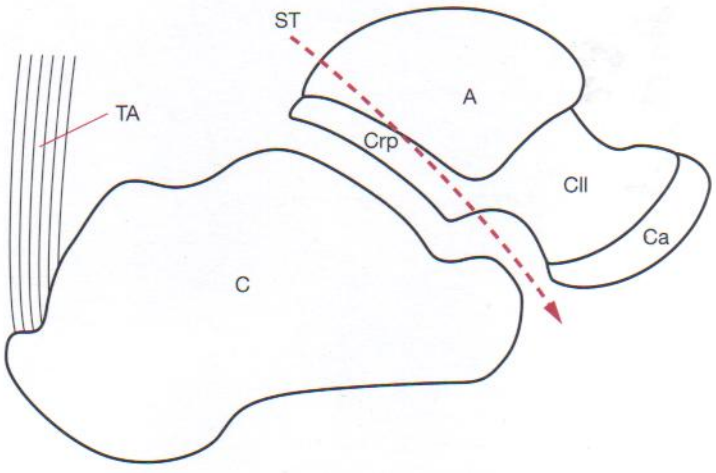


Figura 8.16. Cara lateral de la articulación astragalocalcánea. El astrágalo (A) se divide en cuerpo (Crp), cuello (CII) y cabeza (Ca). Se articula con el calcáneo (C). La articulación forma el seno del tarso (sinus tarsi, ST), en el que se encuentra el ligamento astragalocalcáneo. TA, tendón de Aquiles.

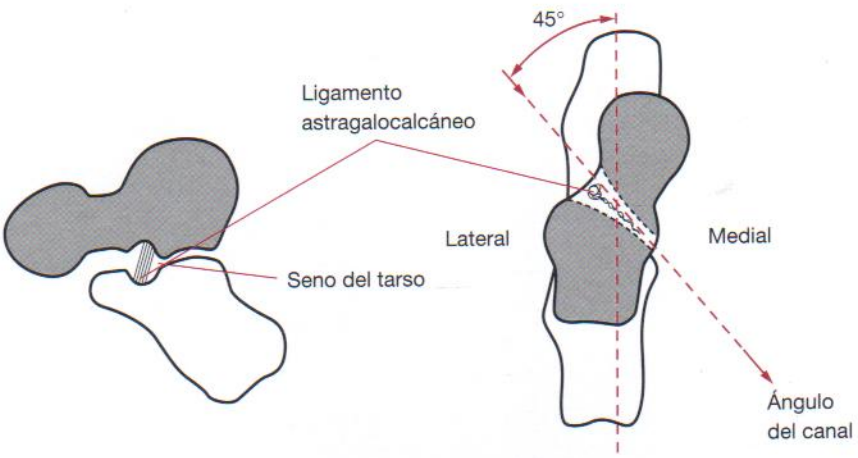


Figura 8.17. Articulación astragalocalcánea (subastragalina). El astrágalo y el calcáneo se articulan mediante tres carillas: anterior, media y posterior. La articulación astragalocalcánea tiene un recorrido oblicuo y forma el seno del tarso (sinus tarsi), el cual contiene el ligamento astragalocalcáneo, que une los dos huesos. La terminación redondeada del ligamento se denomina ligamento cervical. «Lateral» y «medial» son las caras de la articulación astragalocalcánea.

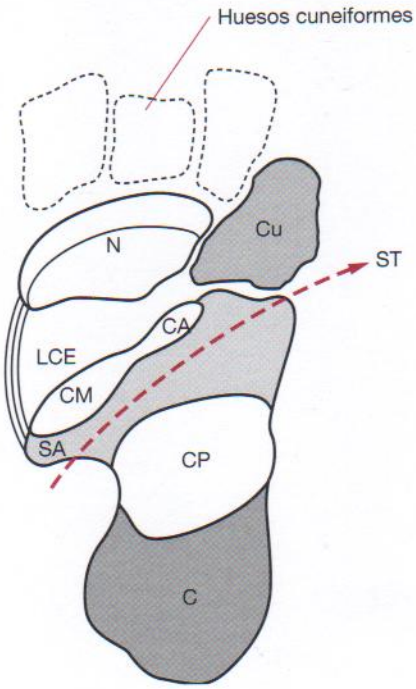


Figura 8.18. Descanso del astrágalo sobre el calcáneo. El ligamento calcaneoescafoideo plantar (LCE) desciende hacia el calcáneo (C). Habiéndose retirado el astrágalo, pueden verse las carillas –carilla media (CM), carilla anterior (CA) y carilla posterior (CP). El sustentáculo del astrágalo (SA) es el punto de unión del ligamento calcaneoescafoideo plantar. El seno del tarso (ST), el hueso navicular (N) y el cuboides (Cu) se muestran para una mejor orientación.

Ligamentos astragalocalcáneos

Hay dos ligamentos principales que conectan el astrágalo con el calcáneo: el ligamento astragalocalcáneo interóseo y el ligamento astragalocalcáneo lateral. Dado que ambos son ligamentos relativamente débiles, la articulación astragalocalcánea se apoya principalmente en la porción peroneocalcánea de los ligamentos colaterales laterales del tobillo y en la porción tibiocalcánea de los ligamentos mediales (deltoideos) del tobillo. Esa articulación la soportan también los tendones de los músculos peroneo largo, peroneo corto, flexor largo del dedo gordo, tibial posterior y flexor largo de los dedos.

Todos los tendones que atraviesan la articulación del tobillo llegan a insertarse en el pie. Cuatro tendones pasan anteriormente al eje articular, y cinco posteriormente. Estos tendones soportan también la anteroversión del pie y el tobillo (Figs. 8.19 y 8.20).

La articulación astragalocalcánea está dividida por el ligamento interóseo en una porción posterior y otra anterior. El espacio articular posterior astragalocalcáneo tiene una cavidad sinovial, conocida como *articulación subastragalina*. El espacio articular anterior comparte una cavidad sinovial con la articulación astragolocalcánea denominada *articulación astragalocalcaneoescafoidea*. La articulación astragalocalcaneoescafoidea está formada, en la parte superior, por la cara posterior del hueso navicular (escafoides) y, en la parte inferior, por las carillas media y anterior del astrágalo, y entre el navicular y el sustentáculo del astrágalo, por un ligamento firme. Este ligamento, el ligamento calcaneoescafoideo plantar, se llama también *ligamento de muelle*.

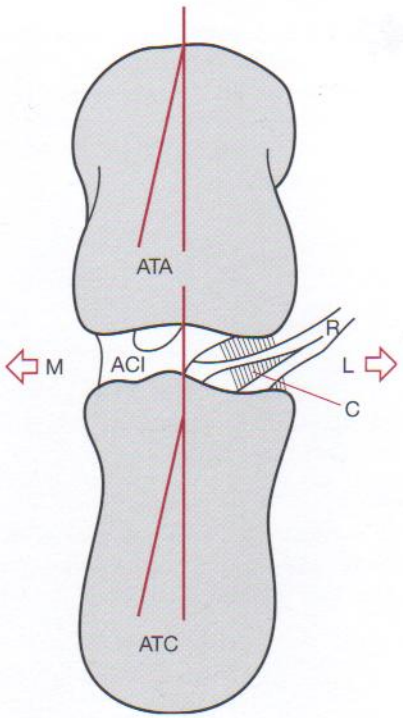


Figura 8.19. Ligamentos astragalocalcáneos. Los ligamentos de la articulación astragalocalcánea son el ligamento astragalocalcáneo interóseo (ACI) y el ligamento cervical (C). Las líneas trazadas a través del astrágalo y la tibia forman el ángulo tibioastragalino (ATA), y las líneas trazadas a través del astrágalo y el calcáneo forman el ángulo tibiocalcáneo (ATC). R, retináculos; M, lado medial; L, lado lateral.

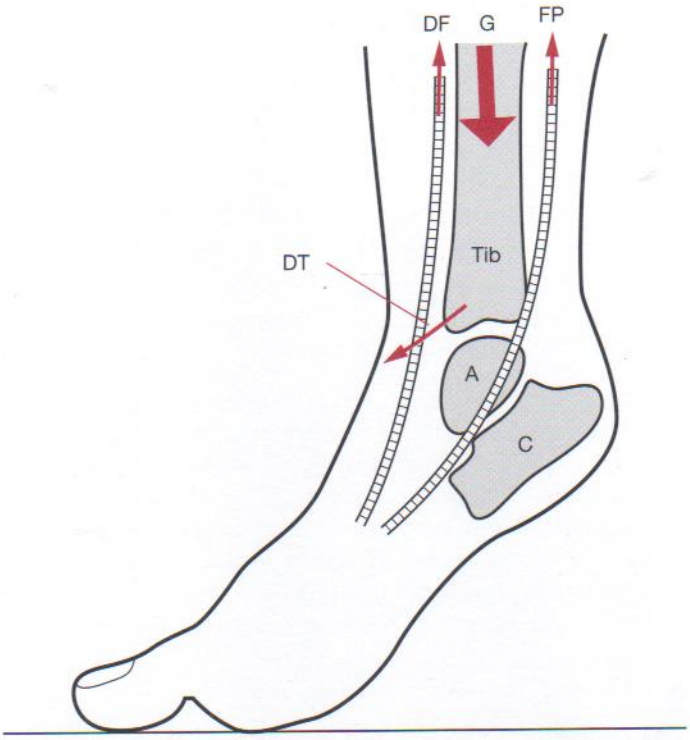


Figura 8.20. Prevención del desplazamiento anterior de la pierna sobre el pie. La gravedad (G) y el peso corporal (flecha larga) tienden a ejercer una fuerza de desplazamiento anterógrada (flecha pequeña) de la tibia (Tib) sobre el astrágalo (A) y del astrágalo sobre el calcáneo (C). Esta fuerza de desplazamiento es minimizada por los dorsiflexores del tobillo (DT) y los flexores plantares. DF, dorsiflexores; FP, flexores plantares.

El ligamento astragalocalcáneo interóseo discurre a lo largo del seno del tarso. En su extremo peroneo, se ensancha en una banda fibrosa que conecta las dos pequeñas apófisis externas del astrágalo y el calcáneo, situadas una enfrente de la otra. Esta banda se denomina *ligamento cervical,* y permite una pequeña rotación del astrágalo sobre el calcáneo.

El ligamento astragalocalcáneo interóseo discurre perpendicularmente al eje subastragalino, y el ligamento cervical yace lateralmente. Así, el ligamento cervical se tensa durante la inversión del pie y se distiende durante la eversión. Pequeñas apófisis óseas localizadas en la cara lateral inferior del cuerpo del astrágalo improntan en el tubérculo opuesto del calcáneo, siendo la inversión y la eversión limitadas (Fig. 8.21).

Articulación astragaloescafoidea

La cabeza redondeada del astrágalo encaja en la cara acampanada del navicular. El movimiento de esta articulación consiste en la rotación sobre un eje, de descenso anterógrado y medial. Es posible cierto deslizamiento, lo que permite la inversión y la eversión. Esta articulación, junto con la articulación calcaneocuboidea, es parte de la articulación transversa del tarso.

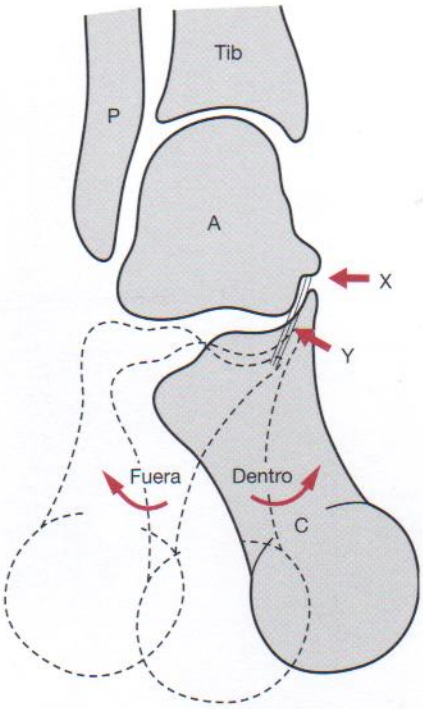


Figura 8.21. Limitación mecánica de la eversión y la inversión. Cuando el astrágalo (A) se encuentra fijo en la mortaja de la tibia (Tib) y el peroné (P), la inversión y eversión (hacia dentro y hacia fuera, respectivamente) son limitadas. Se produce una protrusión mecánica de la apófisis superior del calcáneo (C) en la apófisis inferior del astrágalo en la inversión (X). La eversión (hacia fuera) está limitada por un ligamento (Y).

Articulación calcaneocuboidea

La articulación entre el calcáneo y el cuboides es una articulación accesoria formada por la cara anterior del calcáneo, que es convexa. El calcáneo se inserta en la superficie cóncava de la cara posterior del cuboides. Esto permite cierta inversión y eversión.

Articulación transversa del tarso

La articulación transversa del tarso está compuesta por la articulación astragaloescafoidea y la calcaneocuboidea. Esta articulación se ha denominado «articulación tarsiana del cirujano», articulación mediotarsiana, o articulación de Chopart, puesto que es el punto habitual de amputación del pie.

Los movimientos en torno a esta articulación incluyen la supinación y la pronación (rotación en torno a un eje largo anteroposterior del pie), la abducción y aducción (movimientos horizontales de la porción anterior del pie en dirección opuesta al plano longitudinal) e «inversión-eversión» (giro de la planta del pie para situarla frente a la planta del otro pie). La inversión es una combinación de supinación y aducción, y la eversión es una combinación de pronación y abducción. La inversión y la eversión conllevan el movimiento de todo el pie, excepto del astrágalo, e implican a todas las articulaciones localizadas debajo y enfrente del astrágalo (Fig. 8.22).

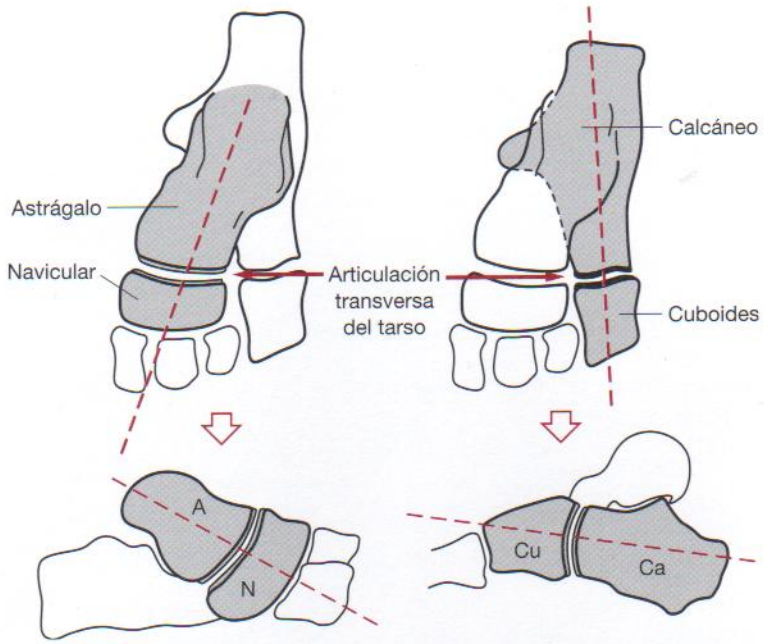


Figura 8.22. Articulación transversa del tarso. La articulación transversa del tarso se compone de articulaciones entre el astrágalo (A) y el navicular (N), y una articulación entre el calcáneo anterior (Ca) y los huesos cuboides (Cu).

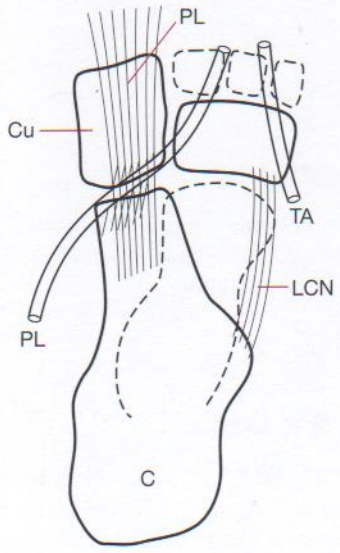


Figura 8.23. Ligamentos plantares. El ligamento plantar largo (PL) se extiende desde la cara plantar del calcáneo (C) hasta el cuboides (Cu). Sus fibras superficiales se extienden hasta las bases del segundo, tercero, cuarto y quinto metatarsianos (no se muestran). Estas fibras convierten el surco en el cuboides en un túnel para el tendón peroneo largo (PL). El ligamento plantar corto se extiende desde el tubérculo anterior (TA) del calcáneo hasta el cuboides. El ligamento calcaneoescafoideo plantar (LCN) conecta el calcáneo con el navicular (escafoides).

Todos los huesos de la articulación transversa del tarso están sujetos por dos ligamentos: el plantar largo y el plantar corto. El ligamento plantar largo se extiende desde la cara plantar del calcáneo hasta la cresta del cuboides. Sus fibras más superficiales se prolongan hasta insertarse en las bases de los metatarsianos segundo, tercero y cuarto. Estas fibras convierten el surco del cuboides en un túnel que alberga el tendón del músculo peroneo largo, que avanza distalmente a través de un surco en la base del quinto metatarsiano. El ligamento plantar corto se extiende desde el tubérculo anterior del calcáneo hasta el cuboides. Este ligamento une específicamente la articulación calcaneocuboidea (Fig. 8.23).

Arcos del pie

Existen cuatro arcos en el pie: tres a través de los huesos del pie (arcos transversos), y el cuarto a lo largo del lateral del pie (arco longitudinal).

Arcos transversos

Los arcos transversos son el tarsiano, el metatarsiano posterior y el metatarsiano anterior (Fig. 8.24).

El arco tarsiano está formado por el navicular, el cuboides y los tres huesos cuneiformes que, por sus formas y juntura, forman un arco óseo similar a un «arco de dovela». Están reforzados por ligamentos (Fig. 8.25).

El arco transverso, también conocido como *arco metatarsiano posterior,* está formado por la base de cada uno de los huesos metatarsianos. La forma de los metatarsos configura el arco y proporciona estabilidad simplemente por su disposición incluso cuando el pie soporta el peso del cuerpo (Fig. 8.26).

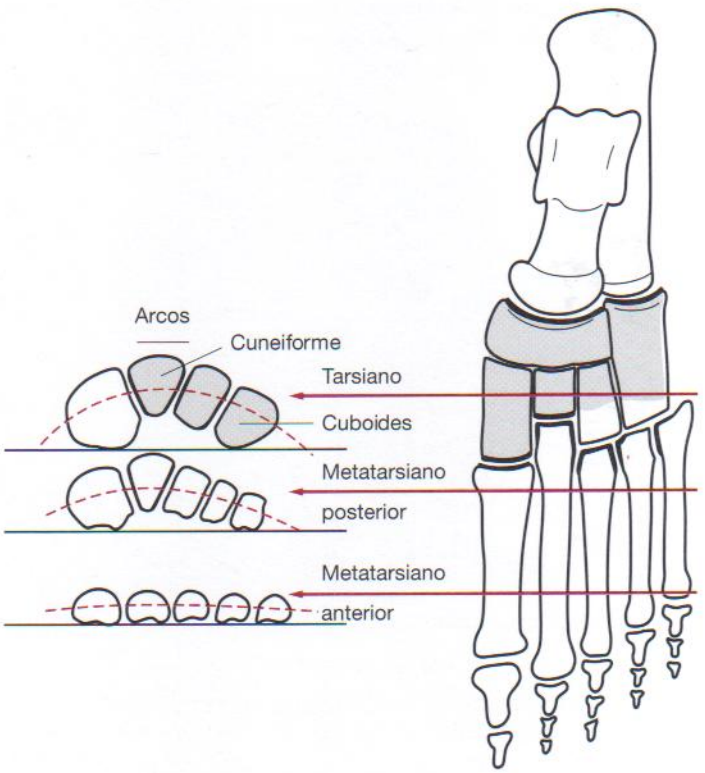


Figura 8.24. Arcos transversos del pie. Hay tres arcos transversos en el pie: tarsiano, metatarsiano posterior y metatarsiano anterior.

Arcos longitudinales

Visto de lado, el pie tiene dos arcos longitudinales, dependiendo de si se mira desde el lado medial o lateral. Los arcos se sostienen en virtud de las formas específicas de todos los huesos que los integran, y están reforzados por la fascia plantar.

Arco longitudinal lateral

El arco longitudinal lateral está formado por el calcáneo, el cuboides y los metatarsianos cuarto y quinto. Es un pequeño arco que soporta el peso corporal. Puede «aplanarse» en el gínglimo entre el cuboides y los metatarsianos cuarto y quinto.

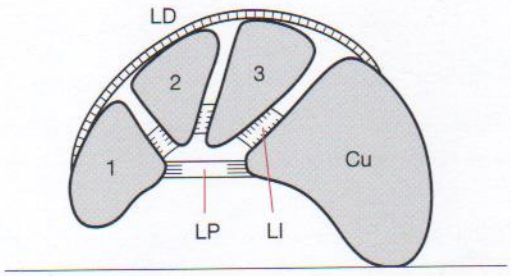


Figura 8.25. Ligamentos del arco tarsiano. Existen tres ligamentos principales que atraviesan y conectan los huesos tarsianos para formar un arco: ligamento dorsal (LD), ligamento interno (LI) y ligamento plantar (LP). 1, 2 y 3 representan los huesos cuneiformes; Cu, cuboides.

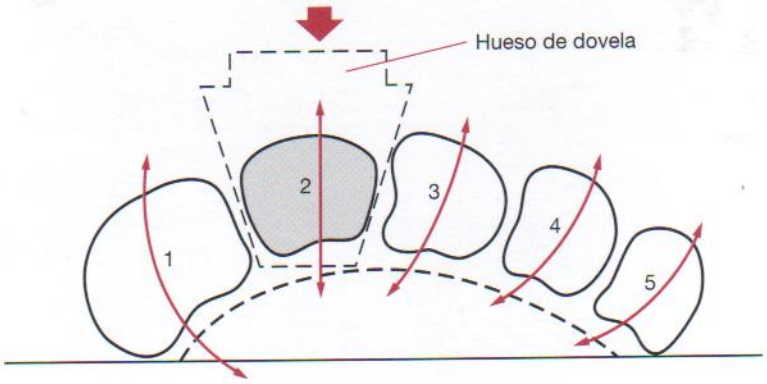


Figura 8.26. Arco transverso. El arco transverso, también llamado arco metatarsiano posterior, está formado por la base de los cinco metatarsianos. Aunque se produce cierto movimiento entre los huesos, éstos son relativamente fijos. La base del segundo metatarsiano (2) es cuneiforme y funciona como hueso de dovela del arco. Todos los huesos rotan alrededor de este segundo metatarsiano fijo (flechas curvadas).

Arco longitudinal medial

El arco longitudinal medial está formado por el calcáneo, el astrágalo, los tres huesos cuneiformes y los tres metatarsianos mediales. Es más alto que el arco longitudinal lateral, situándose su vértice en las cabezas del estrágalo y el navicular. El tendón del músculo tibial posterior pasa bajo el ligamento calcaneoescafoideo plantar, y se inserta por la base en los metatarsianos segundo, tercero y cuarto. Todo «aplanamiento» del arco se da en la articulación astragaloescafoidea (Figs. 8.27 y 8.28).

Fascia plantar

La fascia plantar, que soporta los arcos, emerge del tubérculo medial de la cara anteromedial del calcáneo y avanza anteriormente para dividirse en cinco bandas, cada una de las cuales se inserta en un dedo. Cada una de las bandas distales se divide en la articulación metatarsofalángica para unirse a las caras interior y exterior de dicha articulación. A través de esta división distal pasan los tendones flexores largo y corto. Ocasionalmente, se presenta una banda lateral fibrosa corta que se inserta en la base del quinto metatarsiano. Ésta se denomina *ligamento calcaneoescafoideo lateral* (Figs. 8.29 y 8.30).

Aún no se ha determinado con exactitud la función de la fascia plantar, pero lo más probable es que sostenga los arcos longitudinales, que son sólidos gracias a la estructura y relación con todos los huesos y sus cápsulas, formando estructuras de dovela individuales.

La fascia plantar se hace más firme con la extensión de los dedos, porque las bandas anteriores distales de la fascia, tras su división, se insertan en la base de las falanges proximales; así, la extensión de las falanges proximales produce un aumento de tensión en la fascia plantar (Figs. 8.31 y 8.32).

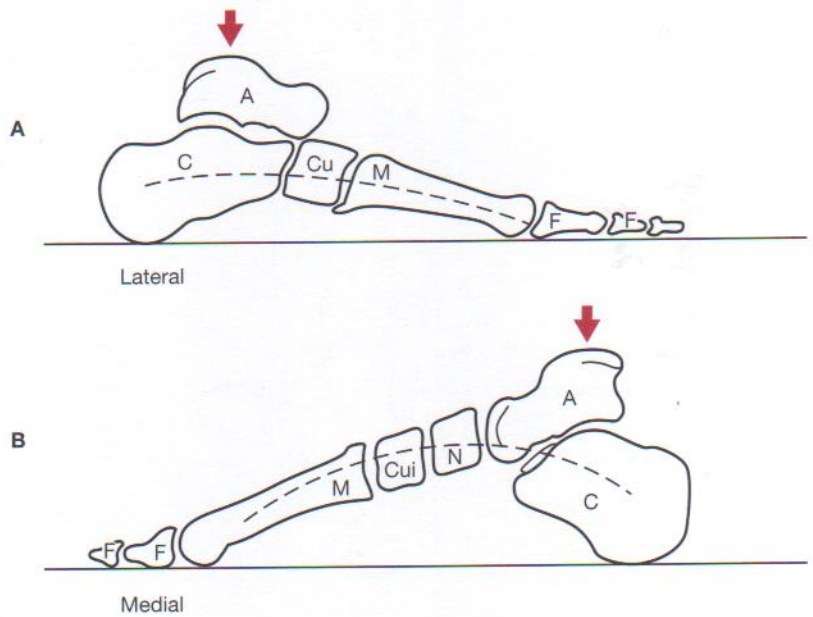


Figura 8.27. Arcos longitudinales. A, Visto de lado, el arco longitudinal lateral comprende el calcáneo (C), el astrágalo (A), el cuboides (Cu), los metatarsianos (M) y las falanges laterales (F). **B,** El arco longitudinal medial está formado por el astrágalo (A), el calcáneo (C), los huesos naviculares (N), los huesos cuneiformes (Cui) y los tres metatarsianos mediales (M).

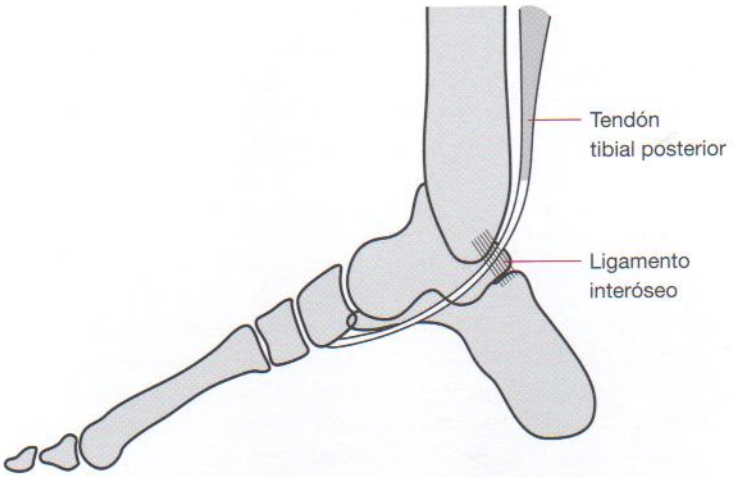


Figura 8.28. Tendón tibial posterior. El tendón tibial posterior emerge de los dos tercios superiores de la membrana interósea entre la tibia y el peroné, y se une a la base del segundo, tercero y cuarto metatarsianos. Pasa por detrás del maléolo medial bajo el ligamento interóseo astragalocalcáneo, que forma un canal. A su paso, se comporta como una polea, produciendo la flexión plantar y la inversión del pie.

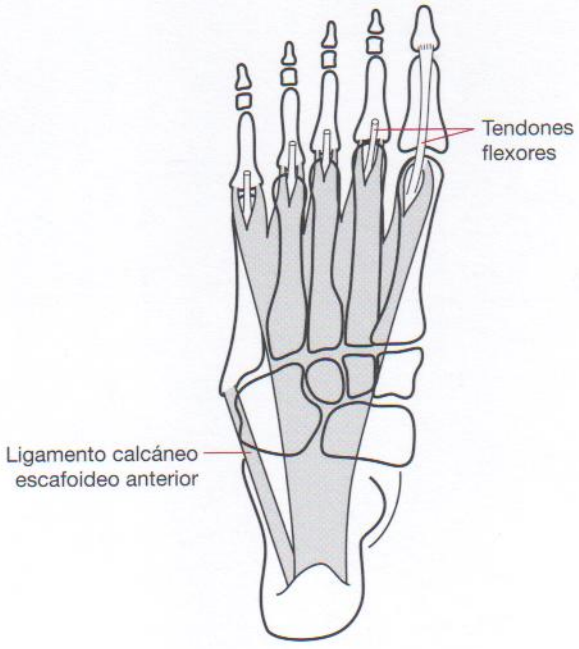


Figura 8.29. Fascia plantar. La fascia plantar nace en la tuberosidad calcánea y pasa anteriormente hacia cada dedo. Se divide en cinco bandas, cada una de las cuales se divide a su vez en las articulaciones metatarsofalángicas para formar un surco, a través del cual pasan los tendones flexores. La banda fibrosa se encuentra a menudo en el margen lateral, que conecta con la base del quinto hueso metatarsiano.

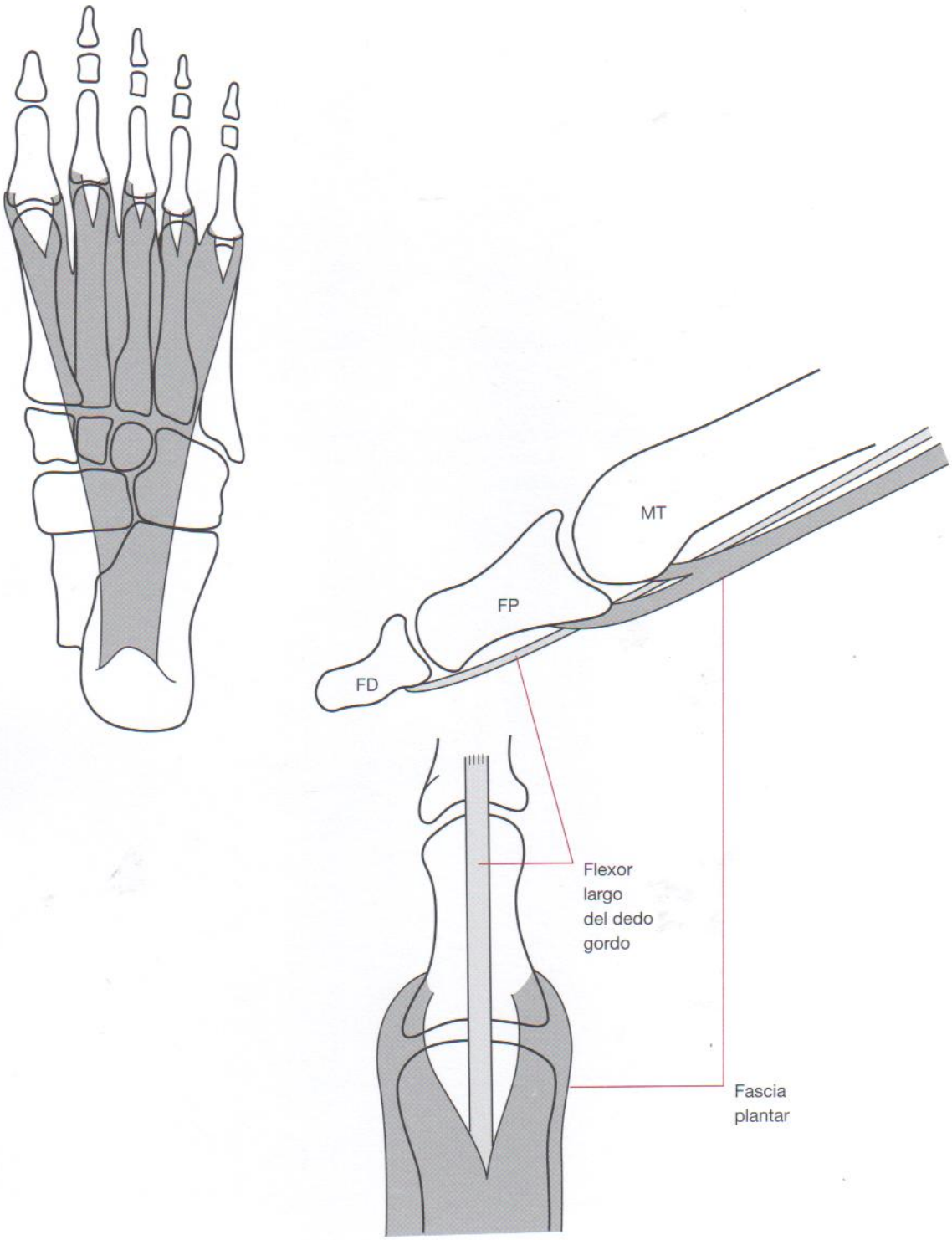


Figura 8.30. Porción anterior de la fascia plantar. En el margen anterior distal de la fascia plantar, las bandas plantares se dividen, formando un surco a través del cual pasan los tendones flexores. Se muestran los metatarsos (MT), las falanges proximales (FP) y las falanges distales (FD).

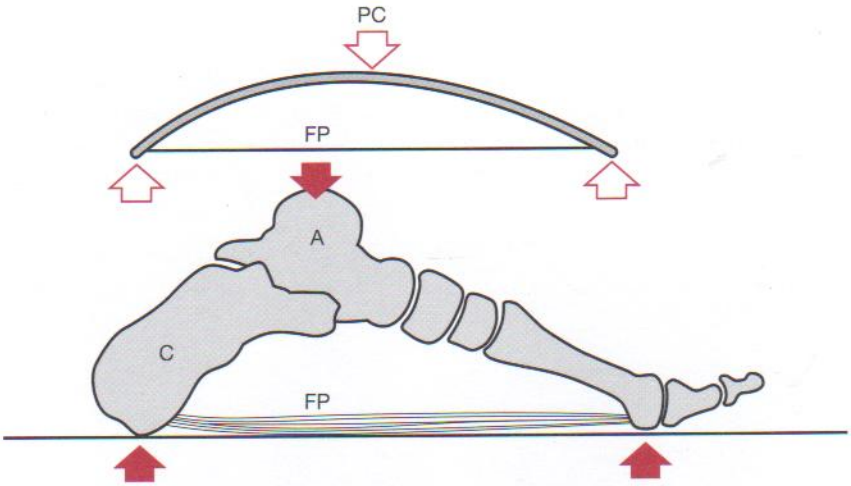


Figura 8.31. Mecanismo de la fascia plantar sobre el arco longitudinal. El peso corporal (PC) lo soporta el astrágalo (A), que es el vértice del arco longitudinal. La figura superior muestra la carga sobre el calcáneo (C) y las cabezas de los metatarsianos. El mecanismo de la fascia plantar (FP) es como el del arco y la cuerda.

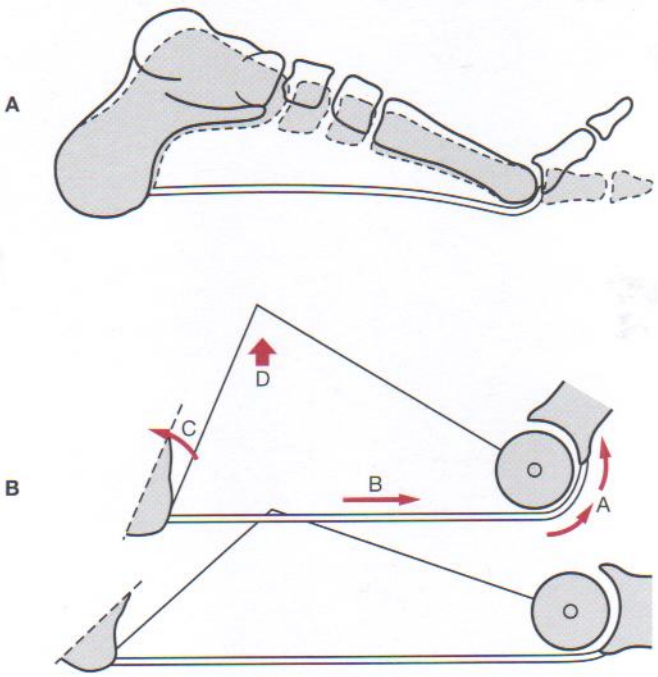


Figura 8.32. Efectos de la extensión de los dedos sobre la fascia plantar. A, El arco longitudinal se aplana (área sombreada) cuando soporta peso. **B,** Efecto de la extensión del dedo (flechas curvadas A) sobre la fascia (flecha B) y el calcáneo (flecha C). El arco debería aumentar (D), pero no lo hace debido al peso corporal.

Articulaciones metatarsofalángicas

Los extremos distales de los huesos metatarsianos están curvados de forma oblicua. Se articulan con los extremos proximales de las falanges, los cuales son cóncavos. Forman una articulación incongruente en cuanto a que presentan curvaturas diferentes, y la flexión en una posición neutral debe ser deslizante para que pueda darse la rotación en torno al eje de rotación de la cabeza metatarsiana. Todos los dedos, especialmente el dedo gordo, se hiperextienden fisiológicamente (Figs. 8.33 y 8.34).

Hay dos falanges en el primer dedo (gordo) y tres en el resto de los dedos. Sus proyecciones presentan habitualmente el dedo gordo más largo, seguido por los otros dedos consecutivamente, siendo el quinto el más corto (Fig. 8.35).

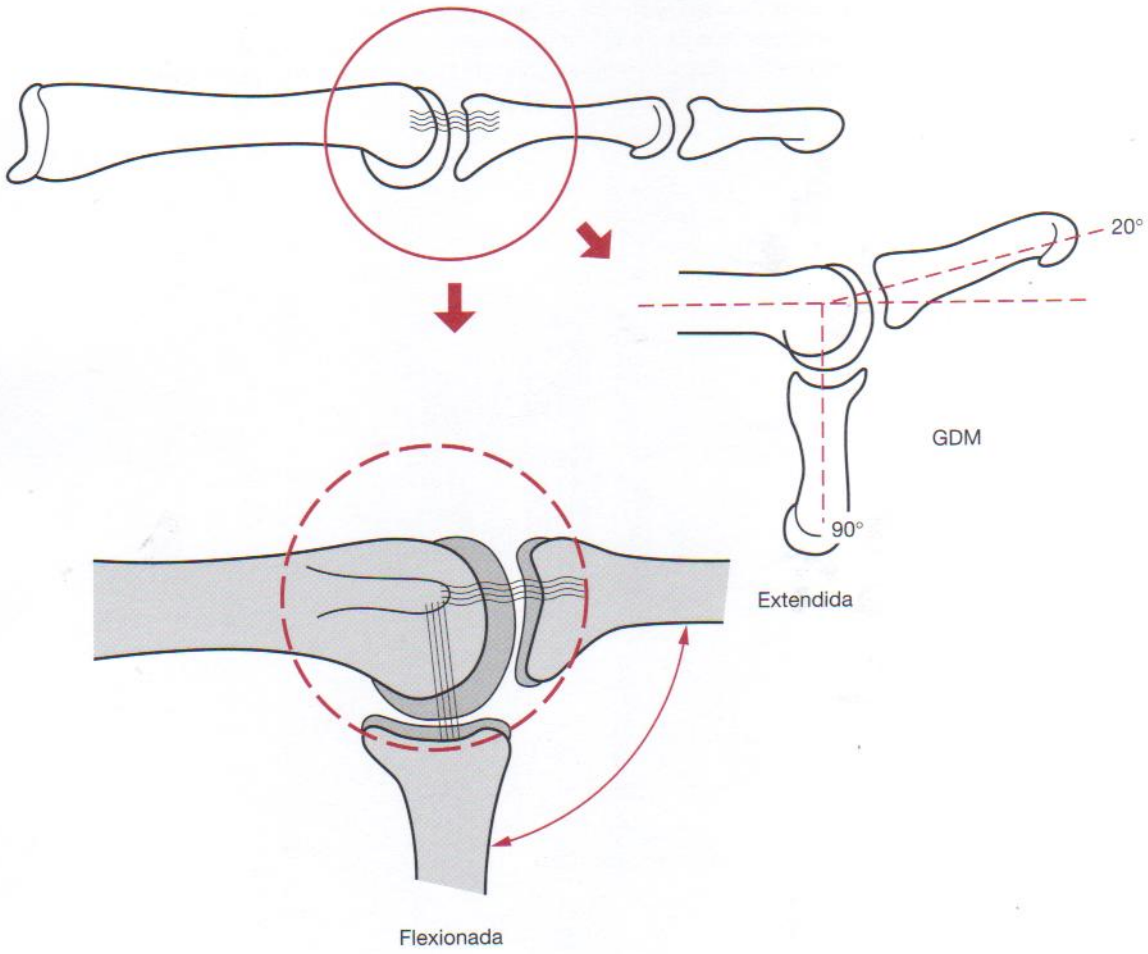


Figura 8.33. Movimientos de la articulación metatarsofalángica. El eje de rotación de la articulación es excéntrico (círculo discontinuo) y, por tanto, permite la flexión, que es posible a los 90°. La flexión inicial es un deslizamiento descendente hasta que se alcanza el centro de rotación (eje), haciendo que el dedo se flexione. Es posible la hiperextensión (hasta 20°). GDM, gama de movimientos.

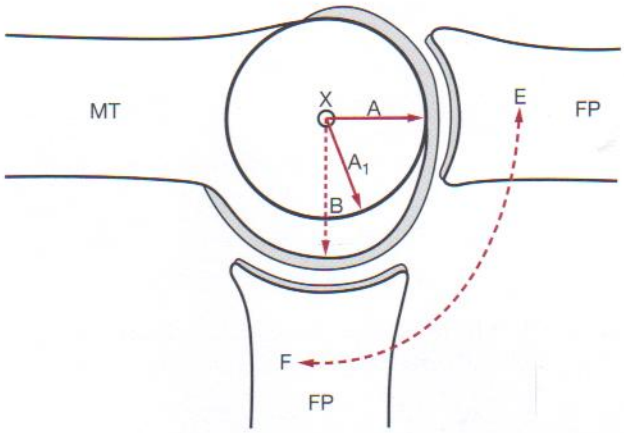


Figura 8.34. Articulación metatarsofalángica. El extremo distal del metatarsiano está recubierto de cartílago y presenta una forma ovoide (B desde el eje de rotación) comparado con la circunferencia completa (A). Cuando la falange proximal (FP) se flexiona sobre el metatarsiano (MT), de E a F, se desliza hacia abajo antes de rotar.

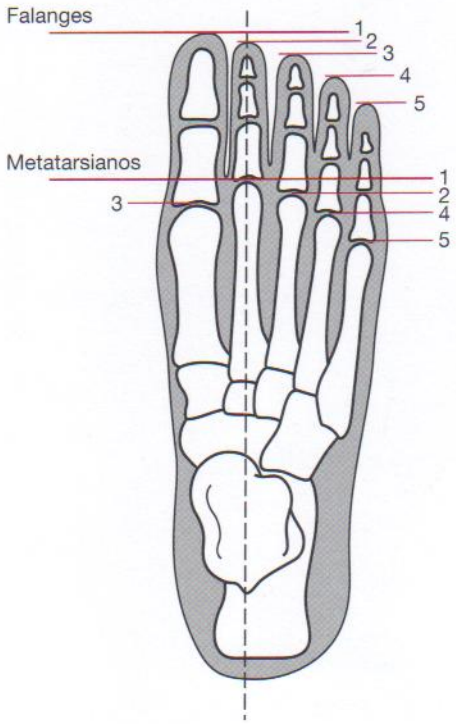


Figura 8.35. Longitudes de los dedos. La longitud total de cada dedo sigue esta secuencia: 1>2>3>4>5. La longitud de los metatarsianos, no obstante, difiere, siendo el segundo metatarso el más largo, el tercero el siguiente más largo, y así sucesivamente: 2>3>4>5>1.

Inserciones del tendón en los dedos

Los tendones de los músculos de la pierna se insertan en los huesos de este segmento del pie individualmente con cada dedo. Puesto que el primero (dedo gordo) tiene sólo dos falanges, se flexiona de modo diferente a los demás. El primer dedo «presiona» hacia abajo a los otros, que se flexionan en forma de «garra» (Figuras 8.36, 8.37 y 8.38).

Músculos del pie

Los músculos que tienen su origen fuera del pie, pero que, sin embargo, actúan sobre él, se consideran músculos *extrínsecos* del pie. Los músculos *intrínsecos* del pie tienen su origen y se insertan en los huesos del propio pie.

Músculos extrínsecos del pie

De los principales músculos extrínsecos del pie, los flexores plantares son los músculos gastrocnemio, sóleo, tibial posterior, flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo gordo. La función principal de los tres últimos es la flexión plantar, pero el gastrocnemio y el sóleo son los principales flexores plantares.

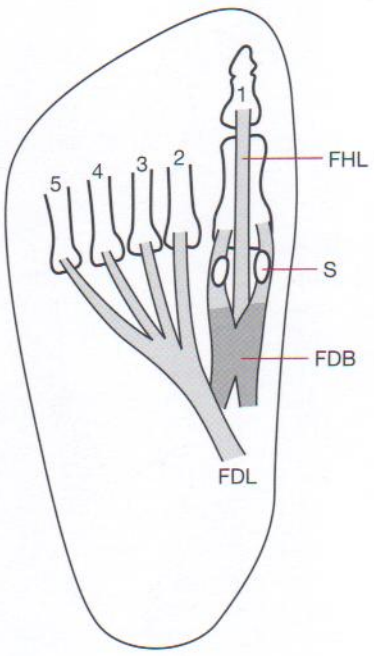


Figura 8.36. Inserciones del tendón flexor. El tendón flexor largo del dedo gordo (FHL) se inserta en la base de la falange distal, y el flexor corto de los dedos (FDB) se divide y se une a la base de la falange proximal. Los huesos sesamoideos (S) se ubican dentro de los tendones flexores cortos de los dedos. Los tendones flexores largos de los dedos (FDL) se insertan en la base de las falanges proximales 2, 3 y 4.

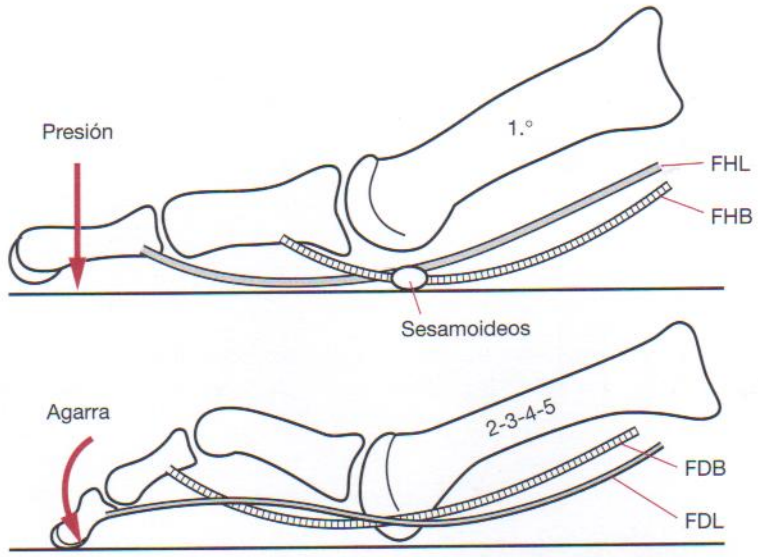


Figura 8.37. Acción de los flexores de los dedos. Los tendones flexores del primer dedo (gordo) cruzan dos articulaciones y «presionan» la falange distal contra el suelo. Se muestran los tendones flexores –flexor largo del dedo gordo (FHL) y flexor corto del dedo gordo (FHB). Los huesos sesamoideos dentro del flexor corto del dedo gordo actúan como punto de apoyo en la flexión. La acción flexora de los otros dedos (2, 3, 4 y 5) cruza tres articulaciones y «agarra» el suelo al flexionarse. Los tendones son el flexor largo de los dedos (FDL) y el flexor corto de los dedos (FDB).

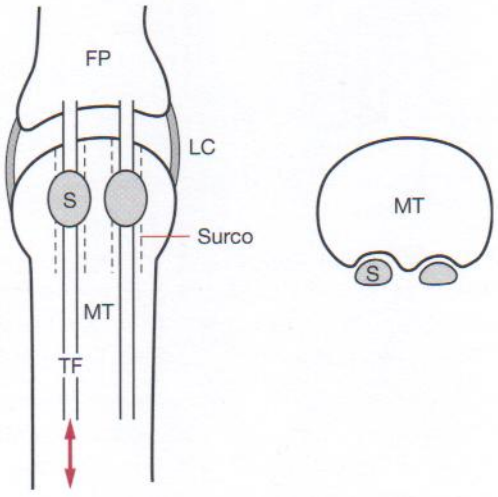


Figura 8.38. Huesos sesamoideos. Los huesos sesamoideos (S) contenidos en los tendones del flexor corto del dedo gordo (TF, tendón flexor) avanzan por un surco en la cara plantar de los huesos metatarsianos (MT). Estos surcos dirigen el movimiento de los huesos y, por tanto, de los tendones. El flexor corto del dedo gordo se une a la falange proximal (FP), y la articulación metatarsofalángica está reforzada por ligamentos colaterales (LC).

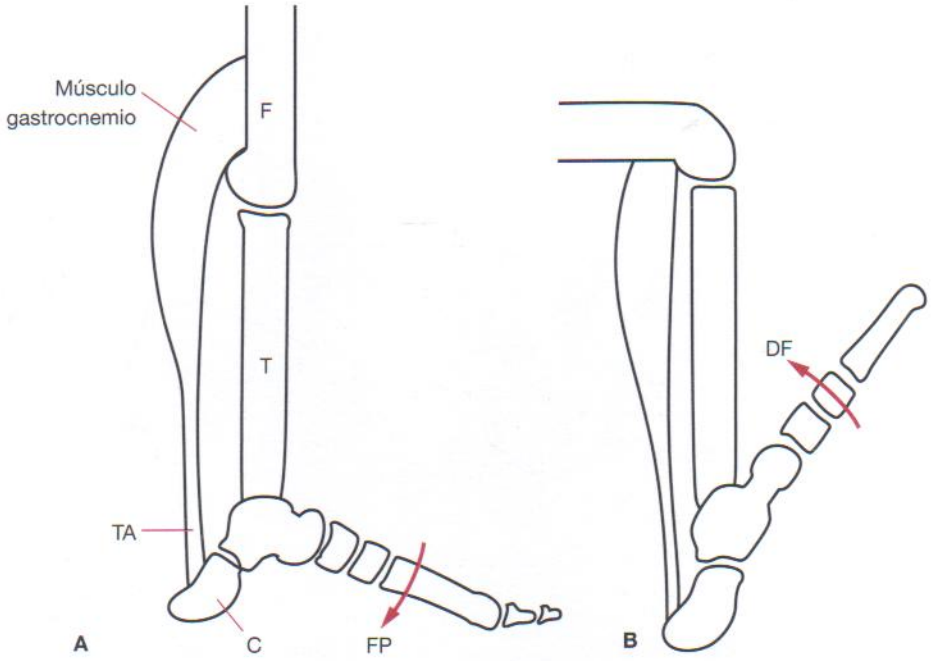


Figura 8.39. Función del músculo gastrocnemio. A, Esquemáticamente, el músculo gastrocnemio nace del fémur (F) y se inserta, por el tendón de Aquiles (TA), en el calcáneo (C), permitiendo la flexión plantar (FP) del pie. **B,** El pie se desacelera a medida que dorsiflexiona (DF). T, tibia.

El músculo gastrocnemio se origina por encima de la articulación de la rodilla en dos cabezas, cada una de ellas ligada a los cóndilos femorales opuestos. Bajando por la pierna, a media altura, el gastrocnemio se aplana, convirtiéndose en el tendón de Aquiles, que se inserta en la cara posterior del hueso calcáneo.

La función del gastrocnemio es levantar todo el cuerpo en bipedestación mediante la flexión plantar del pie en el tobillo. Puesto que es oblicuo a la mortaja plantar, es también un potente supinador de la articulación subastragalina cuando el pie está apoyado en el suelo. Desacelera la dorsiflexión del tobillo y, cuando el pie está sobre el suelo, el origen y la inserción cambian de sitio (Fig. 8.39).

El músculo sóleo tiene su origen en la tibia y el peroné superiores, debajo de la articulación de la rodilla, y subyace al gastrocnemio. Al contrario que el gastrocnemio, el sóleo es un músculo de articulación única que no actúa sobre la rodilla. Con la rodilla flexionada, el sóleo es el principal flexor plantar del tobillo, mientras que el gastrocnemio resulta inoperante.

Todos los músculos que pasan por debajo y por detrás de los maléolos se consideran flexores plantares. Éstos son el tibial posterior, el flexor largo de los dedos y el flexor largo del dedo gordo. En posición de puntillas, se considera que estos músculos ejercen sólo el 5% de la fuerza necesaria para levantar el cuerpo. El principal músculo flexor del tobillo es el gastrocnemio (Fig. 8.40).

Los músculos extrínsecos que actúan sobre pie y tobillo pueden dividirse en tres grupos: lateral, anterior y posterior.

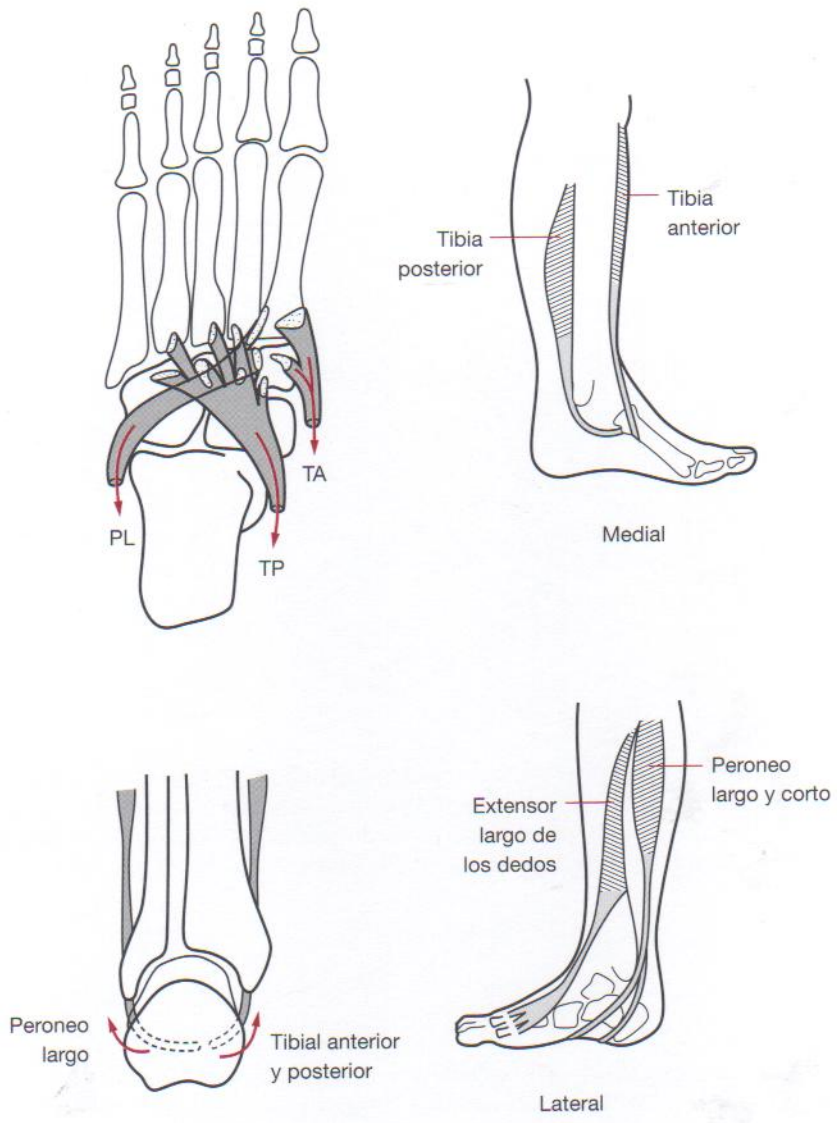


Figura 8.40. Músculos extrínsecos del pie. Origen, dirección e inserción de los músculos extrínsecos que intervienen en el pie, el tibial anterior (TA), el tibial posterior (TP) y el peroneo largo (PL). El tibial posterior y el peroneo largo flexionan la planta del pie, y el tibial anterior y el extensor de los dedos dorsiflexionan el pie.

Grupo lateral

El grupo lateral contiene el peroneo largo y el peroneo corto, que nacen de la cara lateral del peroné, naciendo el largo más arriba en el peroné y siendo el más superficial. Ambos tendones musculares comparten una vaina común a su paso por debajo y por detrás del maléolo lateral. El peroneo largo discurre en profundidad por la superficie plantar del pie para insertarse en la base del primer metatarsiano, mientras que el peroneo corto se inserta en la base del quinto metatarsiano (Fig. 8.41).

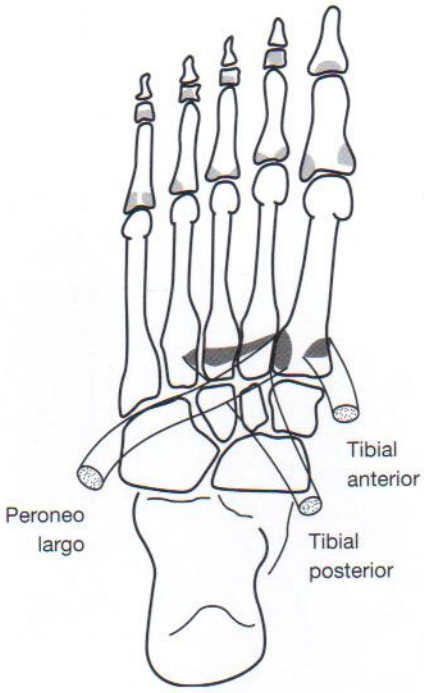


Figura 8.41. Inserción del tendón al primer hueso metatarsiano. La vista de la cara plantar del pie indica que el tendón tibial anterior se inserta en la cara medial de la base del primer metatarsiano, que el peroneo largo se inserta en la cara lateral del mismo hueso, y que el tendón tibial posterior se inserta en la base del segundo, tercero y cuarto metatarsianos.

Grupo anterior

El grupo anterior de músculos extrínsecos lo conforman el extensor largo de los dedos, el peroneo anterior, el extensor largo del dedo gordo y el tibial anterior. El tibial anterior tiene su origen en la cara lateral de la tibia, y cruza medialmente el dorso del pie para insertarse en el hueso cuneiforme medial y en la base del primer metatarsiano. Su acción consiste en dorsiflexionar e invertir el pie sobre el tobillo.

El extensor largo de los dedos emerge a lo largo de toda la extensión de la cara anterior del peroné y de la membrana interósea existente entre la tibia y el peroné. Se inserta en las dos falanges distales de los cuatro dedos laterales. El cuarto inferior de este músculo unipeniforme se conoce como *peroneo anterior,* y se adhiere al dorso de los metatarsianos cuarto y quinto. Es un eversor del pie.

El extensor largo del dedo gordo emerge en los dos tercios centrales de la superficie anterior del peroné y de la membrana interósea. Se inserta en la base de la falange distal del dedo gordo.

El extensor corto de los dedos nace en la cara superior anterior del calcáneo y del retináculo extensor, que está dividido en dos segmentos. El segmento superior se extiende desde la cara medial inferior del peroné hasta su unión a la cara medial de la tibia inferior. Recubre el tibial anterior. El segmento inferior forma una banda en forma de Y que contiene los tendones del peroneo anterior, el extensor largo de los dedos y el extensor largo del dedo gordo. Evita que estos tendones se arqueen cuando los músculos se contraen. El retináculo peroneo superior se une al maléolo lateral distal y contiene los tendones peroneos (Figs. 8.42, 8.43 y 8.44).

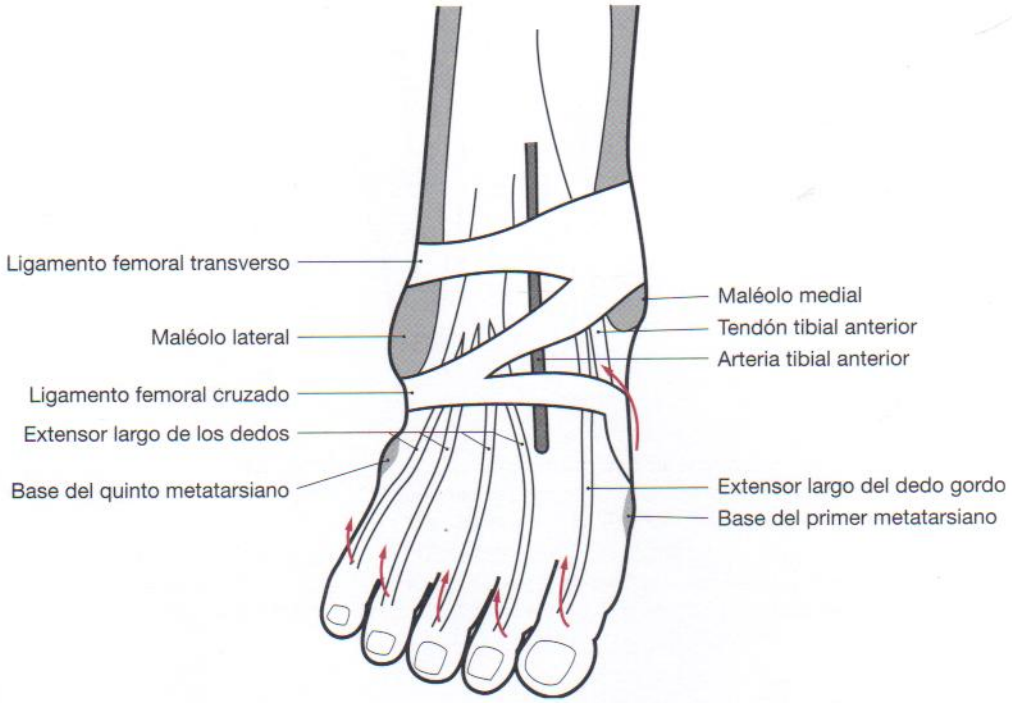


Figura 8.42. Vista dorsal del pie y sus tendones anteriores. Todos los tendones del dorso del pie. Las flechas curvadas muestran su acción.

Grupo posterior

El grupo posterior de los músculos de la pierna se denomina también *grupo femoral posterior,* y se divide en músculos superficiales y profundos. Además del gastrocnemio y el sóleo, que comprenden el grupo superficial que termina en el tendón de Aquiles, incluye el músculo plantar, situado entre el gastrocnemio y el sóleo.

Músculos posteriores profundos

El músculo plantar tiene un tendón largo que emerge cerca de la cabeza lateral del gastrocnemio y penetra en la cara medial del tendón de Aquiles.

El músculo tibial posterior emerge de los dos tercios superiores de la membrana interósea y de los huesos a ambos lados de la membrana. Se inclina medialmente hasta llegar al maléolo medial y pasa por su parte posterior; finalmente, se inserta en los huesos naviculares y en ciertas fibras del primer hueso cuneiforme (Fig. 8.45).

Músculos intrínsecos del pie

Los músculos intrínsecos del pie tienen su origen e inserción en el propio pie; movilizan las falanges, y flexionan y extienden las falanges proximales. Están dispuestos en cuatro capas (Figs. 8.46, 8.47, 8.48 y 8.49).

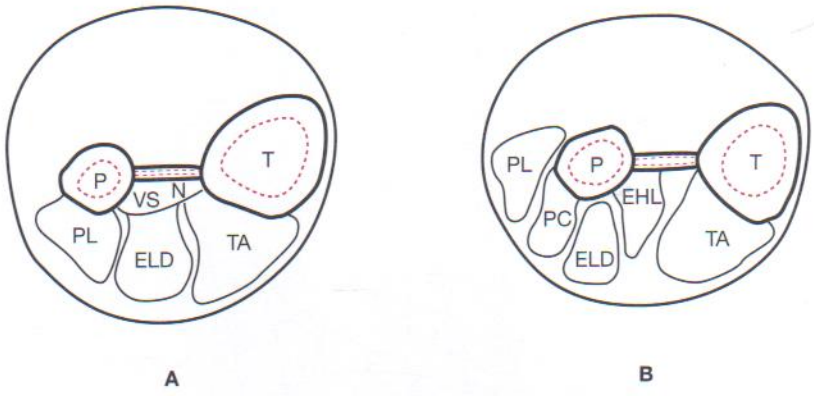


Figura 8.43. Secciones de la pierna inferior. Las secciones de la parte inferior de la pierna hasta el tercio superior muestran la posición de los músculos anteriores de la pierna: tibial anterior (TA), extensor largo de los dedos (ELD) y peroneo largo (PL). Las del tercio inferior muestran el tibial anterior (TA), extensor largo del dedo gordo (EHL), extensor largo de los dedos (ELD), peroneo corto (PC) y peroneo largo (PL). T, tibia; P, peroné; VS, vaso sanguíneo; N, nervio.

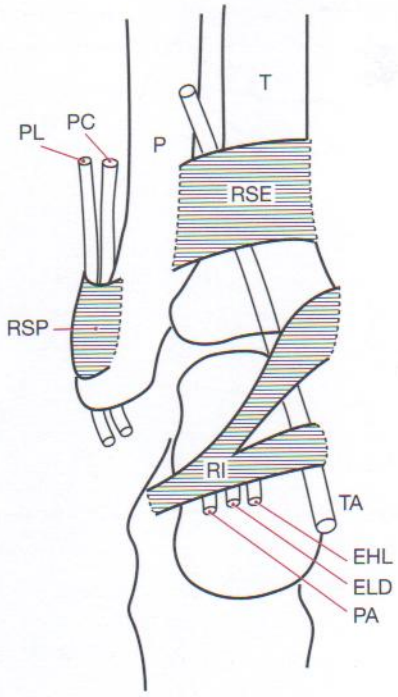


Figura 8.44. Retináculo extensor y peroneo. Los retináculos localizados en el dorso del pie y el tobillo se dividen en: retináculo superior de los músculos extensores (RSE); retináculo inferior (RI), que se bifurca en forma de Y; y retináculo superior de los músculos peroneos (RSP). Contienen tendones que atraviesan la parte delantera del pie y el tobillo que evitan el arqueamiento: tibial anterior (TA), peroneo largo (PL), peroneo corto (PC), peroneo anterior (PA), extensor largo de los dedos (ELD) y extensor largo del dedo gordo (EHL). T, tibia; P, peroné.

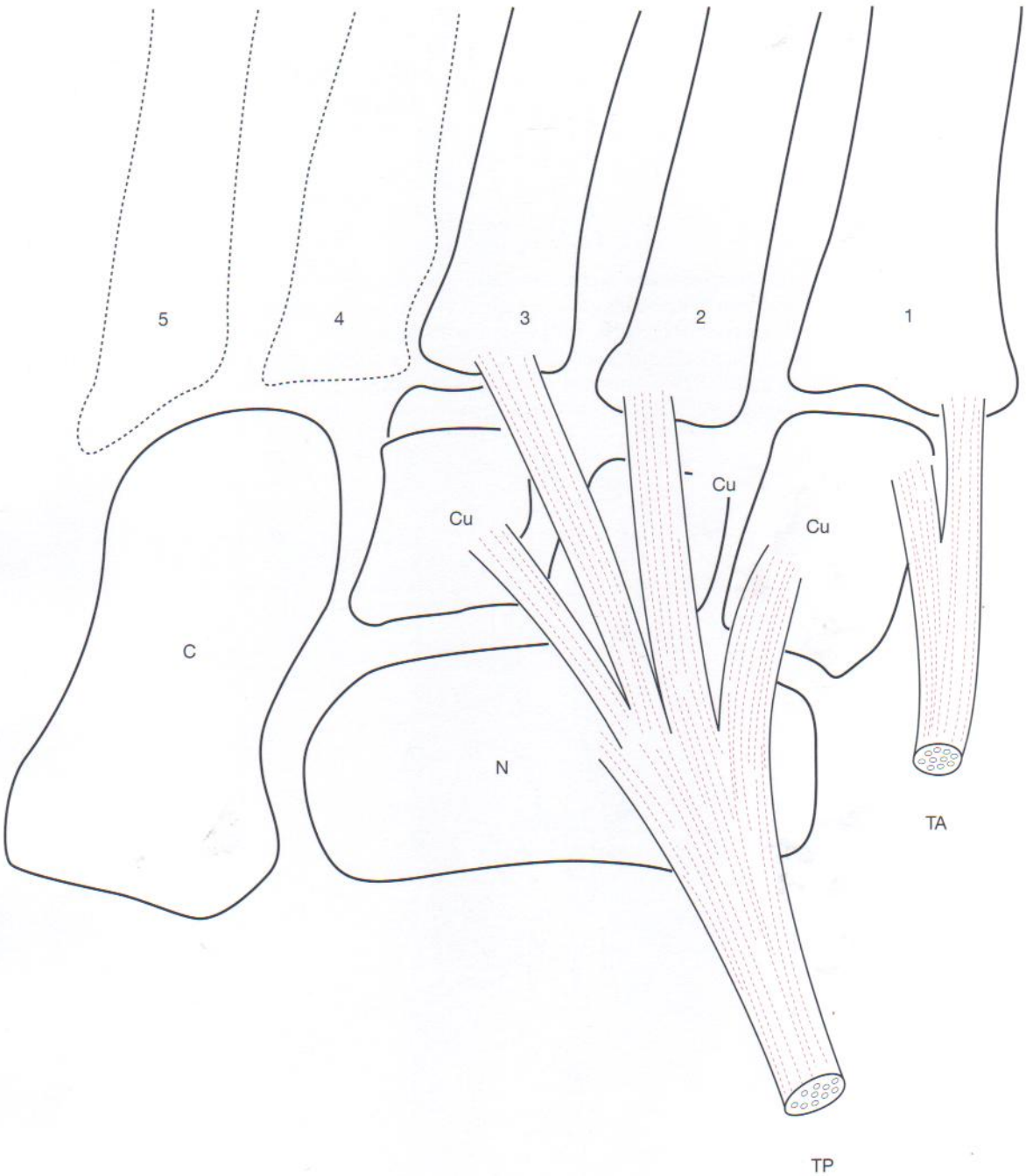


Figura 8.45. Inserciones tendinosas del músculo tibial posterior. El tendón tibial posterior (TP) tiene dos tercios unidos a los huesos naviculares (N), que llegan al primer hueso cuneiforme (Cu) y al segundo y tercer metatarsianos. El tendón tibial anterior (TA) se inserta en el cuneiforme medial y en la base del primer metatarsiano. C, calcáneo.

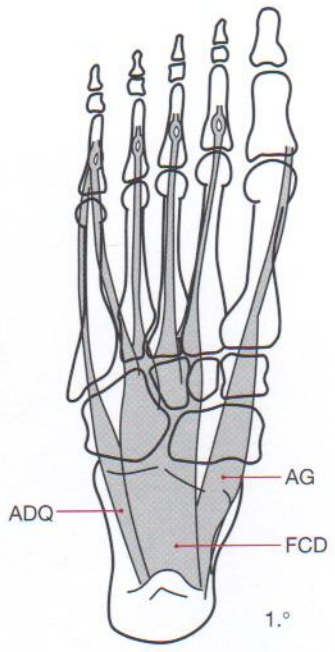


Figura 8.46. Primera capa de los músculos intrínsecos del pie. La primera capa de los músculos intrínsecos del pie consta del abductor del quinto dedo (ADQ), el abductor del dedo gordo (AG) y el flexor corto de los dedos (FCD).

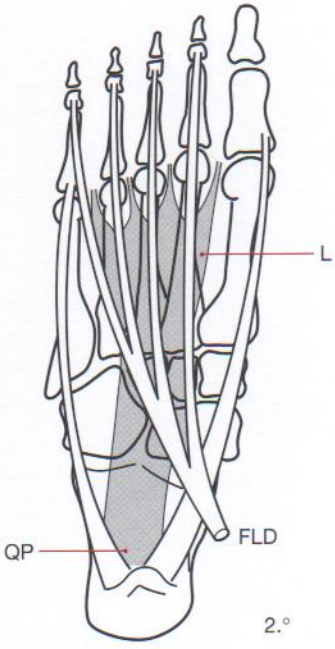


Figura 8.47. Segunda capa de los músculos intrínsecos. La segunda capa de los músculos intrínsecos consta del cuadrado plantar (QP), los lumbricales (L) y el flexor largo de los dedos (FLD).

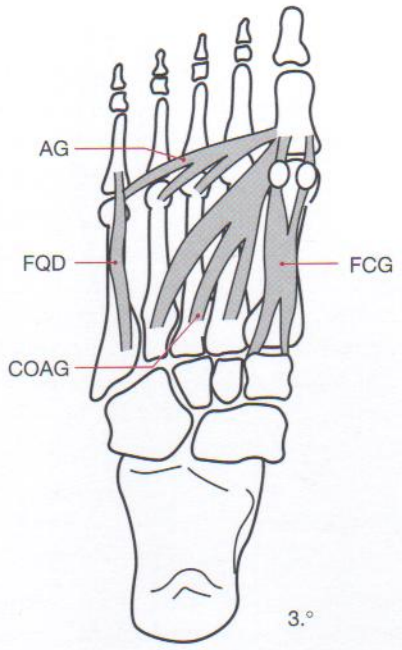


Figura 8.48. Tercera capa de los músculos intrínsecos del pie. La tercera capa de los músculos intrínsecos del pie está compuesta por la cabeza transversa del aductor del dedo gordo (AG), la cabeza oblicua del aductor del dedo gordo (COAG), el flexor corto del dedo gordo (FCG) y el flexor corto del quinto dedo (FQD).

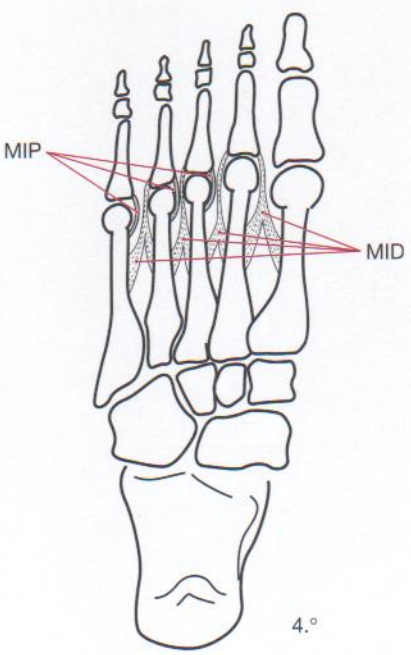


Figura 8.49. Cuarta capa de los músculos intrínsecos del pie. La cuarta capa, profunda, de los músculos intrínsecos del pie consta de los músculos interóseos plantares (MIP) y los músculos interóseos dorsales (MID).

Inervación del pie

Los nervios que inervan la parte inferior de la pierna, el pie y los dedos aportan la función motriz y la inervación sensitiva responsable de la sensación, la propiocepción y la nocicepción. Los principales nervios de la extremidad inferior son ramas del nervio ciático (raíces L4, L5, S1, S2 y S3), que se convierten en nervios comunes del peroné y la tibia a la altura de la región poplítea de la pierna (Fig. 8.50).

Las ramas tibiales y peroneas comunes del nervio ciático también se dividen en las regiones más distales. El nervio tibial es esencialmente una continuación del nervio ciático, que penetra en la parte inferior de la pierna a la altura de la región poplítea entre las dos cabezas del gastrocnemio. A continuación, gana profundidad al pasar al sóleo, para acabar entrando en el compartimento posterior de la pierna. En su recorrido, el nervio tibial inerva ambas cabezas del gastrocnemio, el sóleo, el plantar y el tibial posterior (Fig. 8.51). Aporta una rama al nervio safeno externo, el cual atraviesa la fascia profunda por el tercio medio de la parte inferior de la pierna. Luego continúa descendiendo para acabar formando el nervio calcáneo lateral, que dota de sensibilidad al talón (Fig. 8.52).

El nervio tibial posterior es una continuación del nervio tibial. Arranca a la altura del arco fibroso del sóleo y desciende por la tibia para terminar en las divisiones mediales y laterales del nervio plantar, que inerva los músculos intrínsecos del pie (Figs. 8.53 y 8.54).

El nervio peroneo común es un nervio corto que contiene segmentos de las raíces nerviosas L4, L5, S1 y S2. Desciende por el borde lateral de la fosa poplítea para alcanzar la cabeza del peroné posterior. Se enrosca al cuello del peroné, y allí se divide en nervios peroneos profundos y superficiales.

El nervio peroneo superficial desciende por la pierna delante del peroné, donde atraviesa dos tercios de la fascia y propicia la sensibilidad de la parte lateral de la pierna y el dorso del pie (Fig. 8.55).

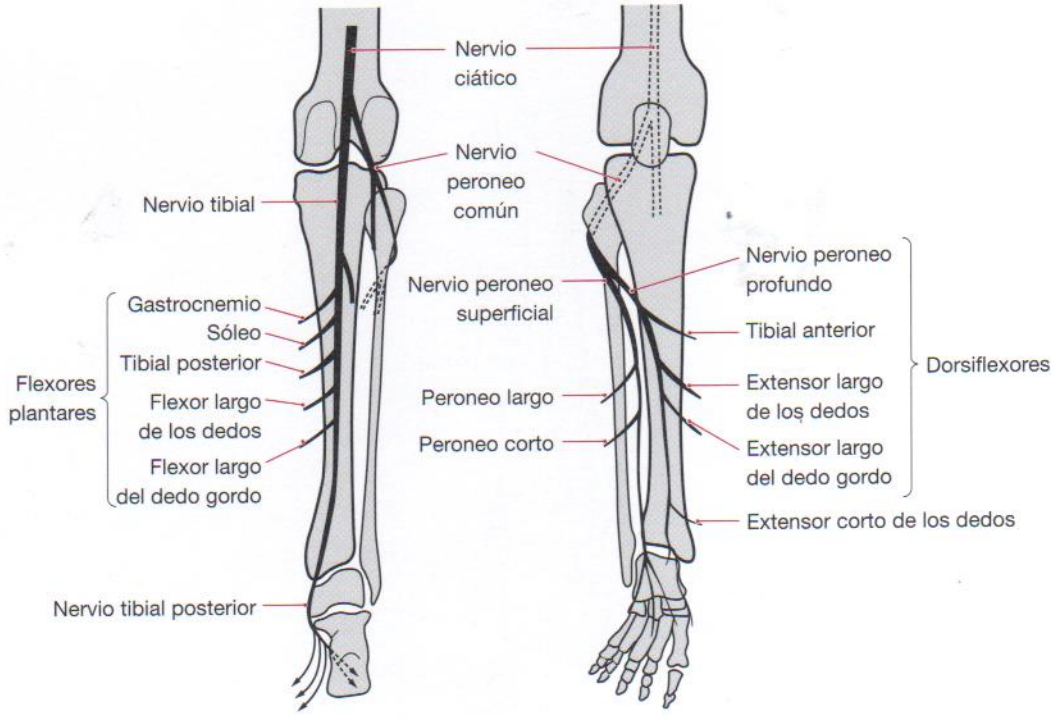


Figura 8.50. Inervación de la pierna inferior y el pie.

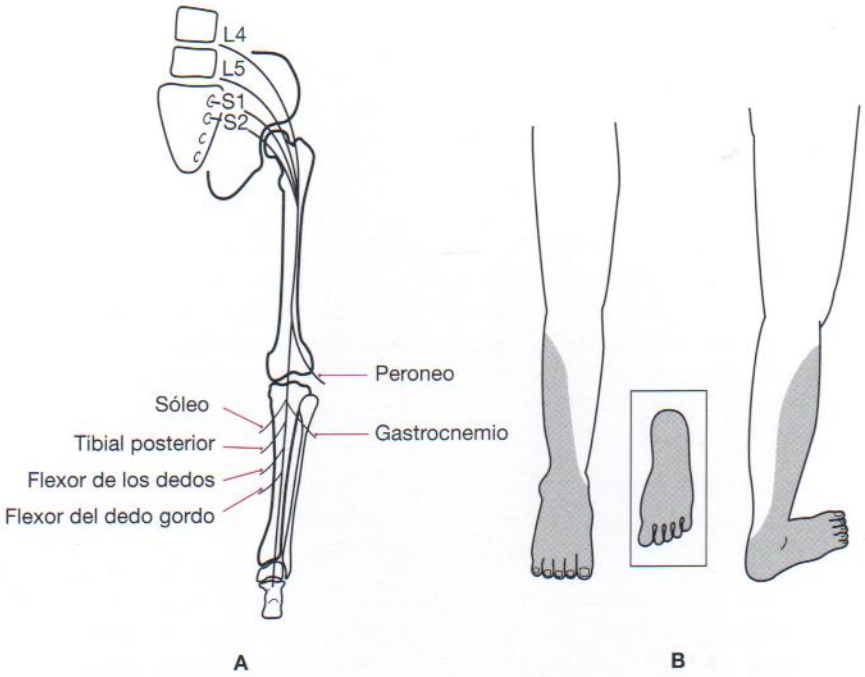


Figura 8.51. División sensorial y motriz del nervio ciático-tibial. A, El nervio ciático derivado de las raíces L4, L5, S1 y S2 se divide debajo de la rodilla para inervar los músculos: sóleo, tibial posterior, flexor de los dedos y flexor del dedo gordo. **B,** Áreas dermatómicas inervadas por el nervio tibial.

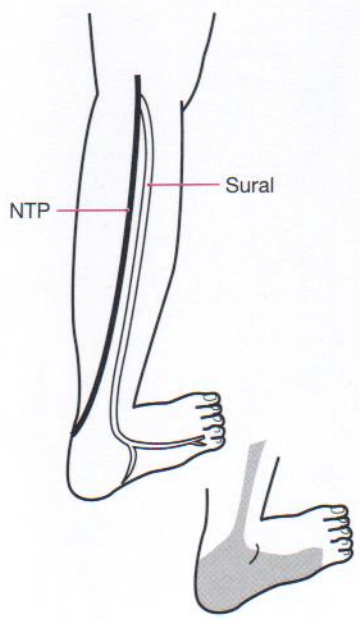


Figura 8.52 Nervio safeno externo. El nervio safeno externo conduce las sensaciones desde la cara lateral del pie. Arranca del nervio tibial posterior (NTP).

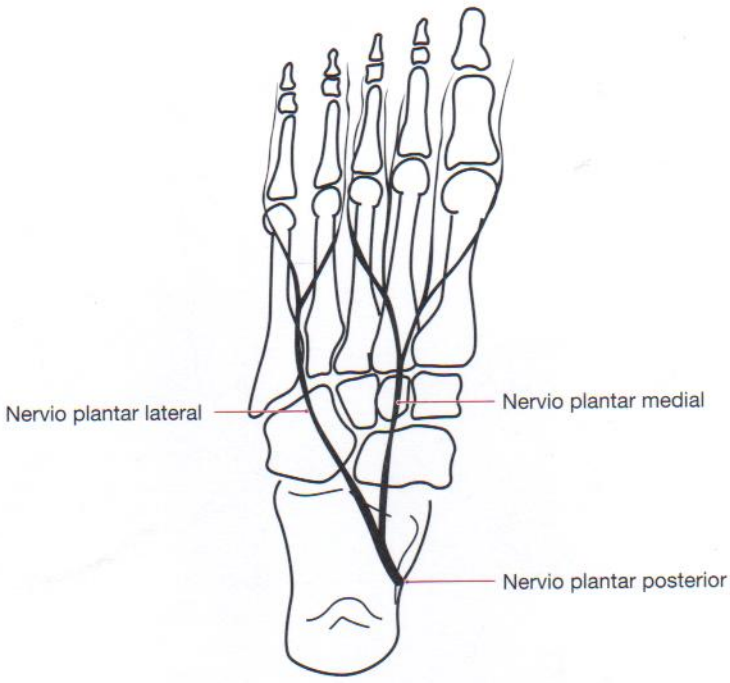


Figura 8.53. Nervios plantares. El nervio tibial posterior se bifurca en los nervios plantares lateral y medial.

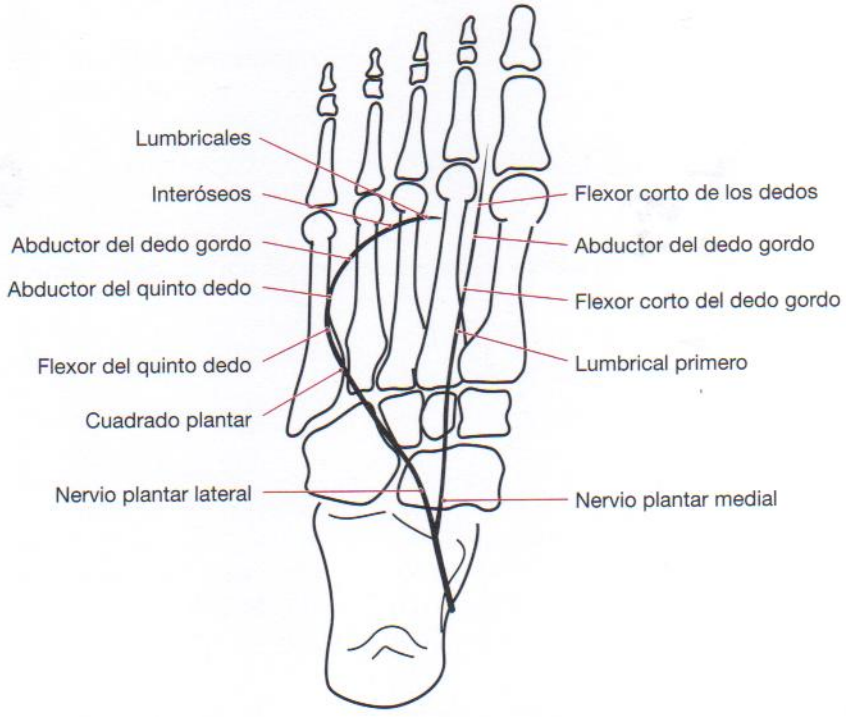


Figura 8.54 Músculos inervados por los nervios plantares.

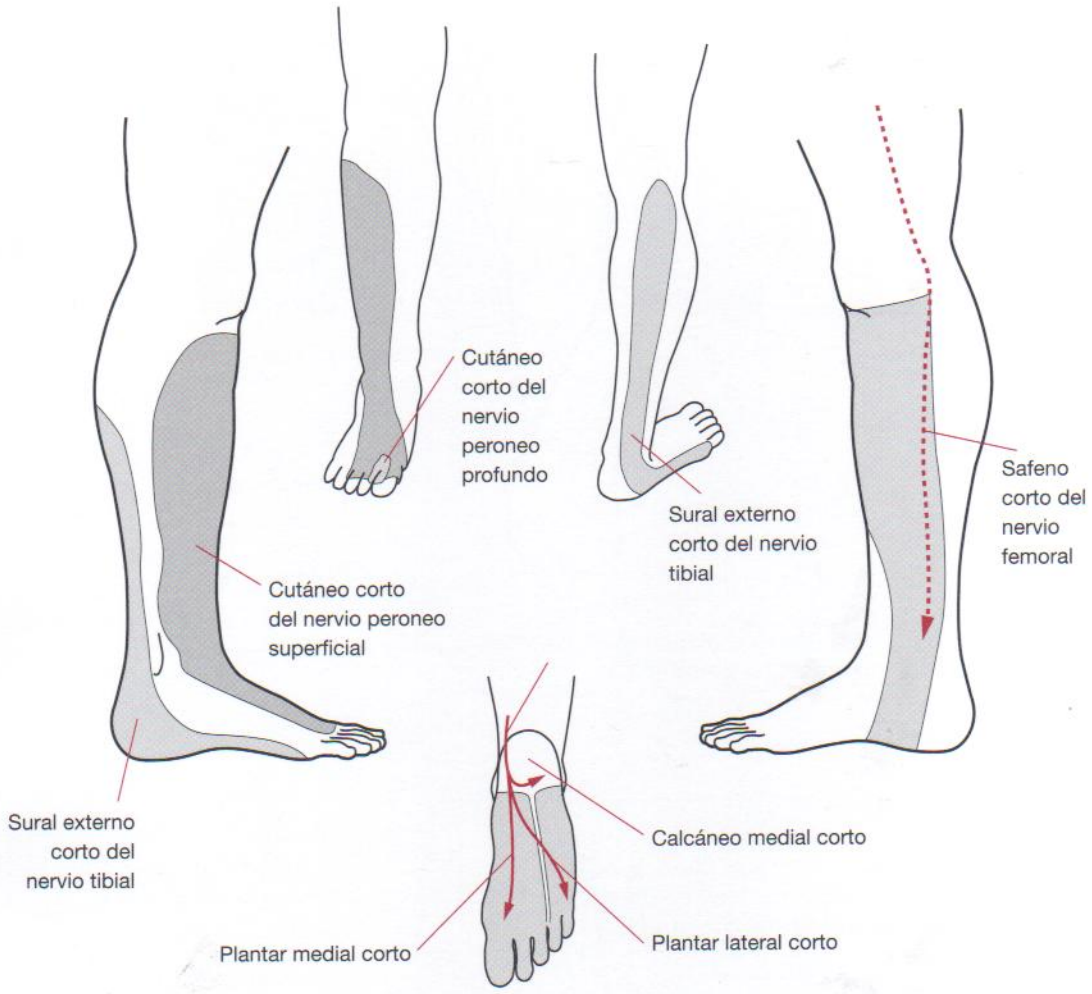


Figura 8.55. Áreas dermatómicas inervadas por los nervios de la pierna, el pie y los dedos.

El nervio peroneo profundo nace justo debajo de la cabeza del peroné. Se enrosca al cuello del peroné y luego desciende por la pierna por delante de la membrana interósea. Cuando llega al tobillo, pasa por debajo del retináculo extensor superior. Allí se bifurca en dos ramas, medial y lateral, inervando la superficie cutánea de la cara lateral de los dedos gordo y segundo. Su función motora actúa sobre el extensor corto de los dedos, tibial anterior, extensor largo del dedo gordo, peroneo anterior y primer interóseo dorsal.

El nervio safeno es la terminación del nervio femoral (raíces L2, L3 y L4). Tras nacer en el triángulo femoral, penetra en el canal de Hunter (conducto de los aductores), donde se divide en dos ramas, una de las cuales acompaña a la vena safena larga en su descenso por la pierna (Fig. 8.56).

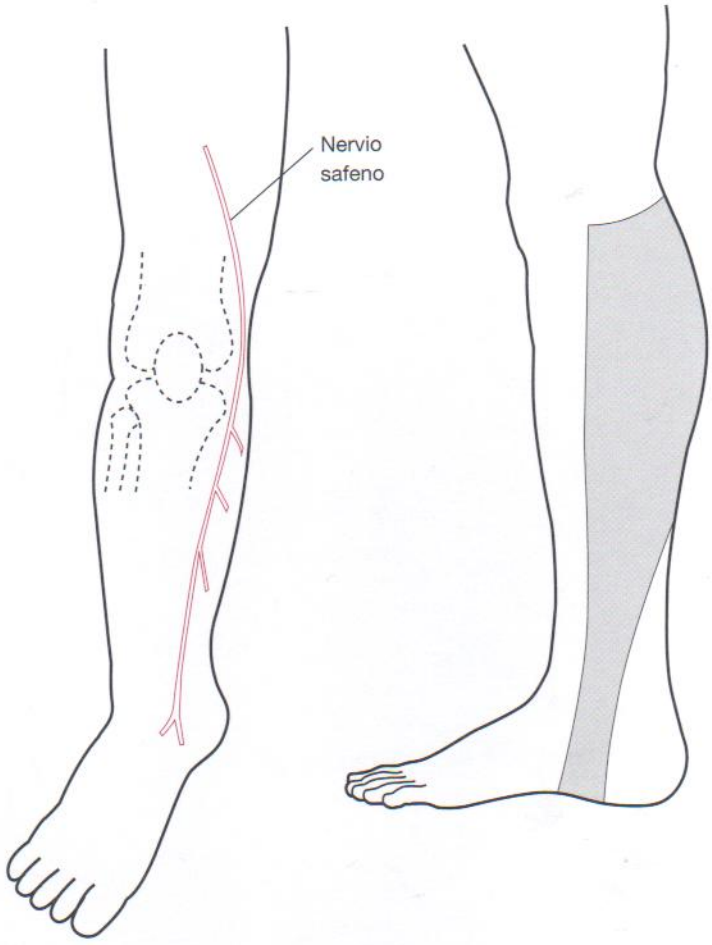


Figura 8.56. Nervio safeno. El nervio safeno es una continuación del nervio femoral. Atraviesa medialmente la rodilla y, fundamentalmente, transporta las sensaciones a la pierna medial y el tobillo.

Riego sanguíneo del pie

La arteria poplítea es una continuación directa de la arteria femoral, que se adentra en el cuadrante poplíteo posterior y se bifurca en las arterias tibiales anterior y posterior por debajo de la rodilla. La arteria tibial posterior sigue el trayecto del nervio tibial, regando los músculos posteriores de la pierna. Al alcanzar el maléolo medial, pasa a la superficie plantar del pie, bifurcándose en las arterias plantares medial y lateral. Por debajo de la bifurcación, la arteria poplítea se ramifica con la rama lateral, atravesando la membrana interósea y descendiendo después por la cara lateral de la pierna, regando así los músculos laterales. Termina en la arteria calcánea lateral.

La otra bifurcación de la arteria poplítea es la arteria tibial anterior, que pasa anteriormente entre la tibia y el peroné atravesando el margen superior de la membrana interósea, para descender luego por la cara anterior de la membrana. Riega los músculos de la cámara anterior. Al llegar al dorso del pie, se convierte en la arteria dorsal del pie, cuyas ramas terminales son las arterias digitales metatarsianas dorsales. Estas arterias distales comunican con las ramas distales de las arterias plantares (Figs. 8.57, 8.58 y 8.59).

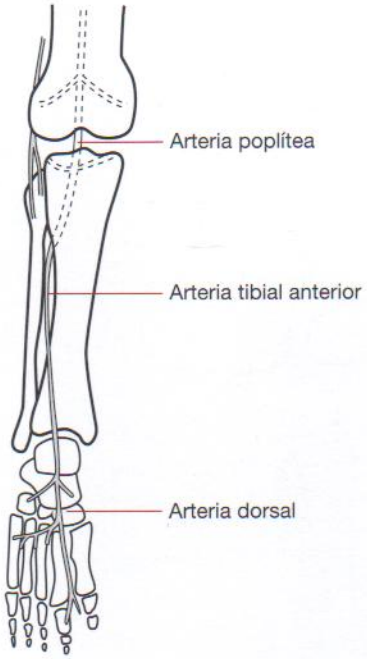


Figura 8.57. Riego arterial de la pierna y el pie.

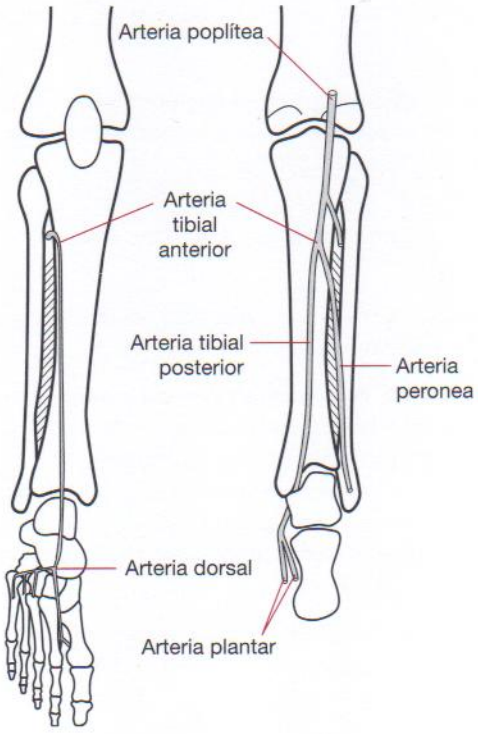


Figura 8.58. Arterias tibiales anteriores y posteriores.

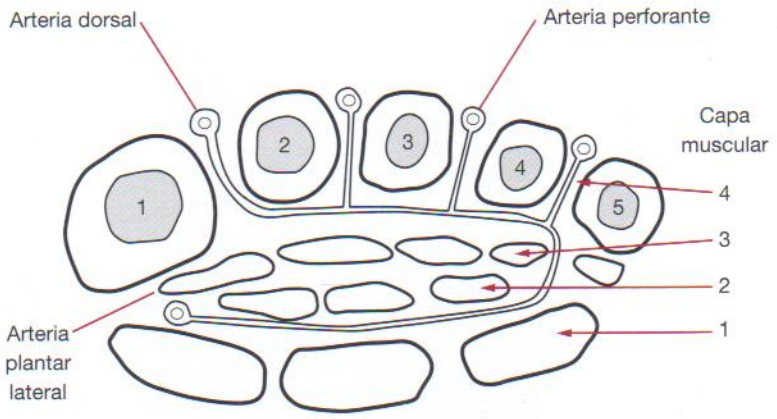


Figura 8.59. Riego sanguíneo del pie. La arteria plantar lateral pasa medialmente entre la primera (1) y segunda (2) capa de músculos intrínsecos de la planta del pie. A continuación, avanza dorsal y lateralmente bajo el metatarsiano y entre la cuarta capa (4) de músculos. El riego arterial termina en la arteria dorsal del pie con arterias intermedias perforantes.

El pie en la marcha normal

En la mecánica del movimiento se emplean muchos términos que necesitan aclararse antes de abordar cabalmente la marcha y el pie en la marcha[1,2].

- **Cinemática.** Mediciones de resultados, incluyendo el desplazamiento, la velocidad y la aceleración.
- **Cinética.** Mediciones de resultados, incluyendo las fuerzas y movimientos que producen la motilidad.
- **Fuerzas de reacción en la superficie.** Fuerza de reacción que el suelo impone a todos los segmentos durante la fase estática. Esta aceleración de la masa se compone de tres vectores: uno vertical y dos de desplazamiento horizontal. La fuerza vertical puede ser igual a entre 1,5 y 2 veces el peso corporal.
- **Centro de presión.** Es el centro de fuerza del vector vertical que actúa sobre el pie cuando está estático. *No* es el centro de gravedad.
- **Momento de articulación.** El par de torsión (momento) de fuerzas –activa y pasiva– sobre las articulaciones durante la rotación en torno a su eje.
- **Fuerza de reacción articular.** Fuerza de reacción entre los dos segmentos de una articulación en movimiento.
- **Tensión mecánica.** Medición de fuerza por unidad área.
- **Momento de inercia.** Resistencia del eje en torno al cual se produce la rotación.

La locomoción humana se ha comparado a una rueda en movimiento en la que dos de sus radios serían las piernas. El radio en contacto con el suelo constituye la fase *apoyo*, y el radio que continúa moviéndose es la fase de *balanceo*. La fase estante representa aproximadamente el 60% de la marcha, y la fase de oscilación el 40%.

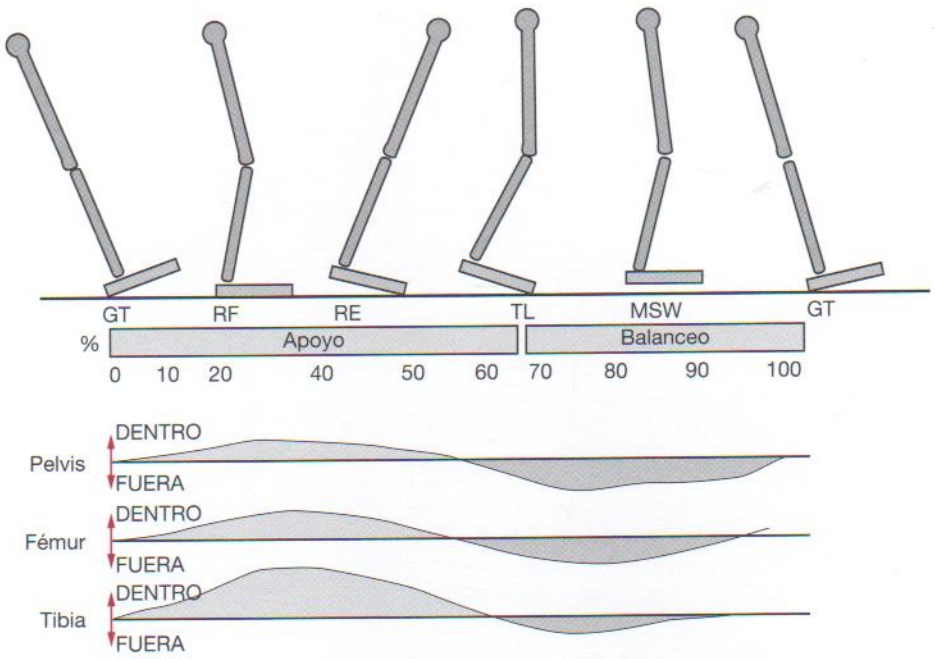


Figura 8.60. Ciclo de marcha. El porcentaje (%) indica los aumentos de un ciclo completo de marcha. Aquí se representa la pierna derecha. El 0% es el golpe de talón (GT). A un 15%-20%, la rodilla se flexiona (RF); se estira completamente al 30% (RE), cuando el pie está del todo en pronación. Al 40%, el talón se levanta del suelo (TL), y el pie se dorsiflexiona para separarse del suelo durante la fase de oscilación (70% al 100%).

Sólo se analizará el elemento del pie en la marcha; los otros elementos de la pierna se mencionarán sólo cuando sea pertinente. Sin los determinantes, la marcha sería vacilante e irregular y consumiría energía (Fig. 8.60).

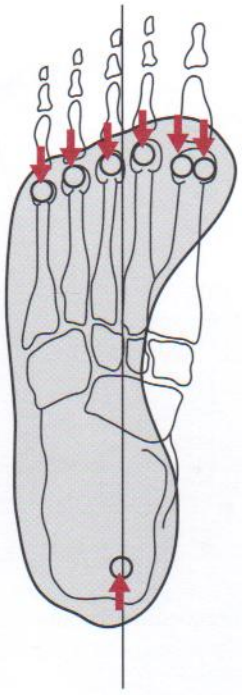
El pie estático, antes de la marcha, soporta la carga en el talón y todos los dedos, siendo predominante el dedo gordo (Figs. 8.61 y 8.62).

Relación pie-tobillo durante la marcha

Durante cada ciclo de marcha, el tobillo atraviesa cuatro arcos de movimiento. El tobillo flexiona alternativamente el dorso y la planta, produciéndose los tres primeros arcos durante la fase de apoyo y el cuarto durante la fase de balanceo. Cada arco oscila, de media, entre los 20° y los 40° (Fig. 8.63).

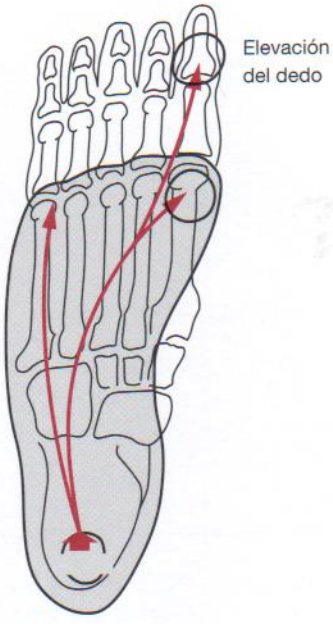
Determinantes de rotación de la marcha

La extremidad inferior experimenta una rotación durante la marcha, además de la flexión y la extensión, y todas ellas afectan al pie y al tobillo. Cuando el miembro entra en la fase de balanceo, el fémur rota internamente con lentitud, con la tibia rotando simultáneamente hacia dentro sobre el fémur. Esta rotación interna continúa tras el golpe de talón hasta la fase de apoyo, y concluye cuando el pie está completamente apoyado en el suelo en la fase de apoyo intermedia. En este punto de la marcha, la pierna comienza una rotación externa tanto de la tibia como del fémur, mientras que la pierna contraria inicia una rotación externa.



Pie estático

Figura 8.61. Puntos de carga del pie estático. Durante la marcha, tras el golpe de talón, la carga la soporta el pie, que realiza una anteroversión hasta que la carga recae en la cabeza metatarsiana del dedo gordo (primer dedo). Una vez que el dedo se eleva, la carga recae en la falange distal del dedo gordo.



Golpe de talón

Figura 8.62. Carga durante la marcha normal. En el golpe de talón, la carga la soporta el calcáneo, y, a medida que avanza la marcha, se desplaza hacia delante hasta la cabeza metatarsiana del dedo gordo, y después, cuando el dedo se eleva, a la falange distal del mismo dedo.

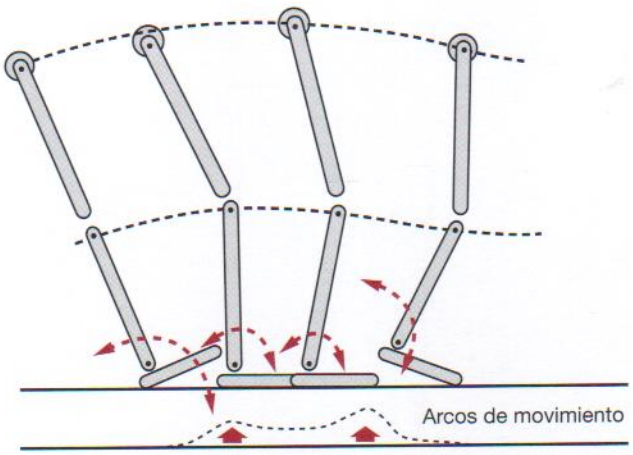


Figura 8.63. Arcos de movimiento del tobillo. Cadencia de los arcos de movimiento durante la marcha. Se muestra una secuencia de apoyo, y a continuación una fase de balanceo.

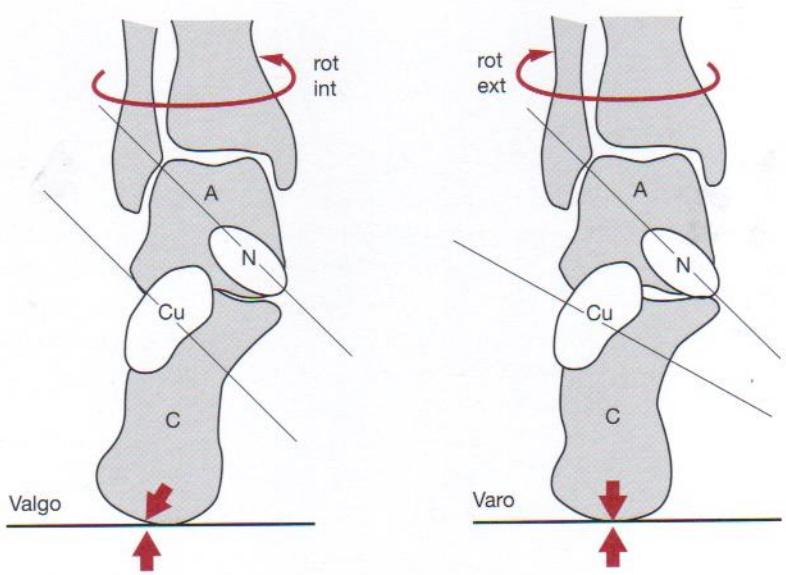


Figura 8.64. Movimiento subastragalino durante la fase medioestante de la marcha. Cuando la pierna rota hacia el interior (rot int) y el exterior (rot ext), el astrágalo (A) permanece fijo en la rotación de la mortaja, dando lugar al valgo y varo del talón en la articulación subastragalina entre los huesos cuboides (Cu), navicular (N) y calcáneo (C).

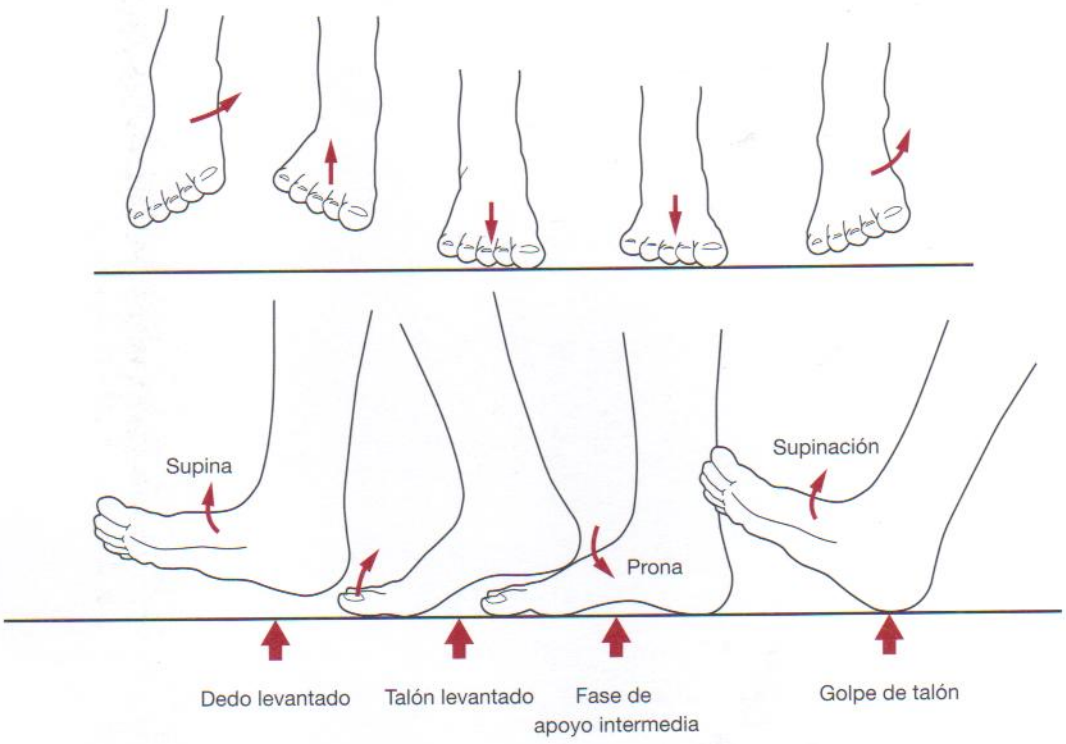


Figura 8.65. Supinación y pronación del pie y el tobillo durante la marcha. Cuando los dedos se elevan, el pie se dorsiflexiona y se supina debido a la acción muscular del músculo tibial anterior. La supinación ha comenzado con el golpe de talón, y el pie inicia la pronación cuando se alcanza la fase de apoyo intermedia.

Al alcanzarse la fase de apoyo intermedia con el pie apoyado, el pie queda fijado en el suelo; así, la rotación debe producirse en la articulación subastragalina, puesto que no es posible que el astrágalo rote en la mortaja. Cuando el pie entra ya en la fase de balanceo, se inician la supinación y la dorsiflexión del pie (Figs. 8.64 y 8.65).

La evaluación de la anatomía funcional del pie y el tobillo durante la práctica clínica permite determinar dónde, cuándo y por qué se ha dado una patología y se ha iniciado el trastorno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Saunders JB, Inman VT, Eberhart HD. The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Join Surg*. 1953;35A:543.
2. Perry J. *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. New York, NY: McGraw-Hill; 1992.

ÍNDICE

A

Abductor del meñique, 187
  dedo meñique abducido contra la palma por el, 184
Accidentes con traumatismo en latigazo como causa de la radiculopatía cervical, 107
Acción combinada de la fascia y los tendones en el rafe, 64
Acetábulo, cabeza del fémur encajada en el, 37
Ácido araquidónico
  degradación del glucofosfolípido discal en, 74
  degradación en fosfolípido A2 del, 74
Acoplamiento, vertebral, 36, 40
Acromion
  abducción del húmero limitada por el, 136-139
  abducción-anteroflexión del brazo para evitar la impronta en el, 134
  en el contenido de la articulación glenohumeral, 122-23
  en el ritmo escapulohumeral, 139-40
  músculo deltoideo con origen en el, 135
  tuberosidad mayor de protrusión en el, 127, 129
Actividad de alimentación anterógrada
  previa a la acción de la extremidad superior, 58
  previa a una actividad principal con desplazamiento de masa corporal, 66-67, 69
Actividad motora, planificación y ejecución de la, 1
Actividades de flexión y elevación, coordinación de las fuerzas musculares del tronco en las, 49
Actividades neuromusculares, patrones de las, 1-2
Anatomía funcional
  conceptos de, 1-25
  de la articulación coxofemoral, 237-50
  de la columna vertebral cervical, 85-111
  de la columna vertebral lumbosacra, 27-84
  de la enfermedad discogénica, 71-74
  de la mano y los dedos, 165-72
  de la muñeca, 152-65
  de la rodilla, 193-236
  de los síndromes dolorosos frecuentes de la mano, 191-92
  de síndromes dolorosos del hombro, 143-44
  del codo, 145-52
  del hombro, 113-44
  del pie, 256-95
  del tobillo, 251-56
Ángulo de anteroversión de la cabeza y cuello femorales, 238-39
Ángulo de Cobb, determinación del, 32, 35
Ángulo de inclinación de la cabeza y cuello del fémur, 238
Ángulo glenoideo en la acción del hombro, 140
Ángulo lumbosacro, 27, 29
Ángulo Q del alineamiento del músculo cuádriceps, 216-18
  efecto sobre la tracción rotuliana del, 224
Ángulo tibioastragalino, 263
Ángulo tibiocalcáneo, 263
Anillo pélvico, componentes del, 238
Aparato de Golgi
  aspectos neuromusculares de la trayectoria de la extremidad superior determinados por el, 115
  en la contracción muscular, 54
  funciones musculares moderadas por el, 4, 214
  medición del (aparato de Golgi) por el sistema fusiforme, 8
  tono muscular determinado por el, 124
Apófisis cigoapofisiarias, superficies meniscoideas intersticiales entre las, 95
Apófisis estiloides radial, 152
Apófisis estiloides radiocubitales en la mano en reposo, 154
Apófisis odontoides del axis, 89
  ligamento transverso de soporte de la, 91-92
  rotación del atlas en torno a la, 90
Apófisis odontoides
  rotación limitada por los ligamentos de las, 93
  sostenida por el ligamento transverso, 91-92
Apófisis unciformes
  fisura o ranura en las, 102
  función de las, 102-6
Arco carpiano transversal de la mano, 158
Arco doloroso de abducción-elevación en el movimiento del brazo, 132, 134, 143
Arco longitudinal de la mano, 158
Arco metacarpiano transverso de la mano, 158
Arcos de la mano, huesos contenidos en los, 158
Arcos del pie. *Véanse también* tipos específicos
  fascia plantar en el soporte de los, 269-72
  longitudinal, 267, 268-70, 272
  transversos, 267-68
Arcos longitudinales del pie, 267
  lateral, 269
  mantenimiento de los, 268
  medial, 269
  reforzados por la fascia plantar, 268
Arcos transversos del pie
  metatarsiano anterior, 267
  metatarsiano posterior, 267, 268
  tarsiano, 267-68
Áreas dermatómicas, expresión del dolor de la radiculopatía cervical en las, 106-108
Arteria femoral
  en el triángulo femoral, 249
  ramas de la, 199-200
Arterias metatarsianas dorsales de los dedos, 289
Arterias plantares, medial y lateral, 289-91
Arterias tibiales, anterior y posterior, 289-90
Articulación acromioclavicular
  articulación de la escápula en la, 116, 137, 139
  en la cintura escapular, 115
  evolución de la, 114-119
Articulación astragalocalcánea
  aspecto lateral de la, 261
  carillas de la, 262
  como (articulación) incongruente, 259
  ligamentos de la, 263-64
  planos articulares en la, 259
  seno del tarso formado por la, 262
Articulación astragalocalcaneoescafoidea, formación de la, 263-64
Articulación atlanto-occipital, 85, 88, 89
Articulación calcaneocuboidea
  inversión y eversión permitidas por la, 265
  ligamento plantar corto que une la, 267
Articulación costoescapular, 113-21
  en la cintura escapular, 115
  rotación del escápula alrededor de, 136
Articulación costovertebral en la cintura escapular, 115
Articulación coxofemoral
  amplitud de movimientos de la, 240-41
  anatomía funcional de la, 237-50
  cápsula de la, 241
  en la marcha normal, 249-50
  estabilización de la, 219
  musculatura de la pelvis y la, 57, 242-48
Articulación de la cabeza del radio en el codo, 145
Articulación de Luschka. *Véase* articulación uncovertebral
Articulación del hombro. *Véase* articulación glenohumeral
Articulación del tobillo, 251-56
  arcos de movimiento de la, 294
  durante la marcha, 292
  eje de rotación de los ligamentos colaterales de la, 256
  ligamentos de la, 252-56
  músculos de la, 277
  relación con el centro de gravedad del pie de la, 261
  supinación y pronación durante la marcha de la, 295
Articulación esternoclavicular
  en la cintura escapular, 115
  formación de la, 114-118
  ligamentos de la, 118
  rotación en el ritmo escapulohumeral de la, 139
Articulación esternocostal en la cintura escapular, 115
Articulación femororrotuliana, componentes de la, 207-8

Articulación glenohumeral, 122-23
acción cinética de los músculos de la, 127-32
contenido de la, 123
ejercicio de Codman para mejorar la amplitud de movimientos de la, 143-44
en la cintura escapular, 115
incongruencia de la, 132
movimiento cinético de la, 132, 134-36
restricción unilateral de la, 139, 141
rotación de la, 136
soporte de las escápulas de la, 113
soporte estructural de la, 127
Articulación humerocubital, 145
Articulación metacarpofalángica proximal
flexión de la, 168
incongruencia de la, 169
ligamentos colaterales de la, 169-79
movimiento articular de la, 169
Articulación metacarpofalángica, 168-70
amplitud de movimientos de la, 159, 172
cartílagos palmares de la, 170
como (articulación) incongruente, 168
estabilizada por el extensor, 186
flexión del dedo en la, 166
flexión del pulgar en la, 186
ligamentos de la, 169
mecanismo extensor de la, 180-81
sistema de polea de la, 185
Articulación metacarpo-pulgar, 186
Articulación metacarpo-trapezoide del pulgar, movimientos que permite la, 191
Articulación pie-tobillo en la subida y bajada de escaleras, 234
Articulación radiocarpiana, 156
Articulación radiocubital, 145
Articulación subastragalina
carillas de la, 259, 262
como espacio de la articulación astragalocalcánea posterior, 263
soporte de la carga de la, 260
valgo y varo del talón en la, 294
Articulación suprahumeral en el contenido de la articulación glenohumeral, 123
Articulación tarsiana transversa
articulaciones que componen la, 266
como articulación tarsiana "del cirujano", 265
movimientos alrededor de la, 265
Articulación tibiofemoral
aporte vascular a la, 199-201
articulación de la, 193-206
bolsas alrededor de la, 208
cabeza y cuello del fémur, 238
cápsula de la, 202
congruencia de la, 195, 197-98
contracción muscular de la, 215
estabilidad de la (articulación tibiofemoral) estática, 197-99
flexión-extensión sagital de la, 208-9
ligamentos colaterales estabilizadores de la, 198, 199
ligamentos de la, capsulares y colaterales, 198, 199, 202-3, 211-12
ligamentos de la, colaterales, 203-6, 207
ligamentos de la, cruzados, 205-6, 209-10, 212-5
lubricación hidrodinámica de la, 193, 196
Articulación uncovertebral, 94-97
como eje de rotación en el segmento cervical inferior de las vértebras, 102-3
creada por la ranura a lo largo de las apófisis unciformes, 102
en la vértebra cervical y ausente en la columna vertebral lumbar, 94
hernia discal supuestamente prevenida por la, 86
vistas frontal y lateral de la, 97
Articulaciones acetabulares, peso corporal desplazado a las, 237-38
Articulaciones atlantoaxoideas, ligamentos estabilizadores de las, 91, 92
Articulaciones carpometacarpianas, 166
Articulaciones cigoapofisiarias, 47
estiramiento de las, 50
soporte de carga de las, 99
Articulaciones costotransversas, 19
Articulaciones en silla de montar, 19
pulgar una de las, 186
Articulaciones interfalángicas
amplitud de movimientos de las, 172
tendones musculares intrínsecos de penetración en las, 186
trocleares, 170
Articulaciones metatarsofalángicas del pie
eje de rotación de las, 273
flexión de las, 273
rotación de las, 274
Articulaciones sacroilíacas, peso corporal desplazado a través de las, 237-38
Articulaciones, fijas, levemente móviles y completamente móviles, 16, 19
Articulaciones. *Véanse también* tipos específicos
como órgano final en la secuencia neuromusculoesquelética, 16
lubricación de las, 18
protección contra las lesiones provocadas por fuerzas extremas de los agonistas de las, 49
Artrodias, 19
Asimetría articular, 18, 19
Astrágalo
ángulo de rotación en la mortaja del, 256
apófisis óseas en el, inversión y eversión por el, 264-65
apoyo y articulación con el hueso calcáneo, 259, 261, 262
carillas del, 259, 262
divisiones de la cabeza, cuello y cuerpo del, 261
eje de rotación del, 257-58
en el segmento posterior del pie, 256-57
en la dorsiflexión y la flexión plantar, 256
soporte de la carga en el
vista superior del, 257
Atlas del complejo vertebral cervical superior, 85
en su rotación sobre el axis, 90, 92-93, 101
vistas superior e inferior del, 88
Atrofia, reducción de masa muscular en la, 13
Axis del complejo vertebral cervical superior, 85
apófisis odontoidea del, 89
articulación del, 90
como sinartrosis, 90
deslizamiento de los cóndilos sobre las articulaciones cóncavas del, 88
movimiento del occipucio sobre el, 101
rotación del atlas sobre el, 90, 92-93, 101
rotación en torno a la tercera vértebra cervical del, 90-91

B

Base sacra de la columna vertebral, 27
Bolsas cubitales, conexiones de las vainas del tendón con las, 175
Bolsas lubricantes y de prevención de la fricción de las articulaciones de la rodilla, 208

C

Cabeza corta del bíceps
contracción durante la marcha normal de la, 233
en la escápula, 119
origen e inserción de la, 244
Cabeza femoral
ángulo de anteroversión del cuello y la, 238
cartílagos que recubren, 237
en el ritmo lumbar-pélvico, 55
en el soporte ligamentoso muscular de la columna flexionada, 57
Cabeza humeral, centro de rotación de la, 237
en el contenido de la articulación glenohumeral, 123
estabilidad de, 123, 126, 127
manguito de los rotadores unido a la, 122, 124
movimiento de la, 121, 123, 125, 127, 132
músculos del manguito de los rotadores que intervienen en la, 135-36
músculos que soportan la, 132-34
Cabeza larga del tríceps sobre la escápula, 119
Cabeza radial de la articulación del codo, rotación de la, 147
Cabeza
flexión de la, 95
musculatura de la, 109-10
soporte de la columna vertebral cervical de la, 85, 88
Cabezas del bíceps
largas y cortas, 228
que actúan sobre el hombro, 145
Cabezas transversa y oblicua del aductor del dedo gordo (músculos intrínsecos del pie), 284
Canal carpiano, contenido del, 160, 162
Canal de Guyon, contenido del, 163
Cápsula glenohumeral
contenido de la, 125
flexibilidad y fuerza limitadas de la, 123, 126
Cara radiocubital, relación de la línea carpiana con la, 154
Caras articulares, ovoides y selares, 16, 17
Carillas articulares
alineamiento vertical de las, 44
comparación de las lumbares y las cervicales, 94, 96-97
de la articulación subastragalina, 259, 262
de la rótula, 219, 221
del atlas, 89
del axis, 90
del disco intervertebral, plano de las, 32
del radio, 155
estiramiento de las cápsulas de las, 50
fuerza de desplazamiento sobre el sacro soportada por las, 39
inestabilidad de la columna vertebral provocada por trastornos en la función capsular de las, 58
inferiores, 43
limitación rotatoria de las, 47
meniscos y cápsulas de las, 43, 47
movimiento asimétrico de las, 42, 43
movimiento en la flexión y la extensión de las, 45
niveles en los segmentos vertebrales de las, 101
par de torsión en la flexión lateral de las, 46
planos de las, 43

reflejo miotático iniciado por las cápsulas de las, 62, 63
soporte de carga de las, 99
superiores, 43
Carillas sagitales lumbares comparadas con las carillas sagitales cervicales, 94
Cartílago
cambios degenerativos para el, 20-21, 23
como superficie de contacto en las diartrosis, 19
degradación del, causas de la, 19
desgarro del, 21, 23
efectos de las fuerzas de desplazamiento sobre el, 19, 21, 22
fibras de colágeno en el, 19, 21, 22
nutrición del, 19, 22
respuesta a los traumatismos del, 23
Células del asta anterior
fibras del músculo extrafusal activadas por las, 6, 8
potencial de acción nervioso originado en las, 8
Centro de gravedad
de la articulación coxofemoral, 237, 250
de los pies en carga, 259-61
desplazamiento durante la actividad muscular del tronco del, 70
en la marcha normal, torácico, 231
relación del cuerpo erecto con el, 69
soporte cervical relacionado con el, 85, 88
Centros espinales y supraespinales, determinación de la activación de la fibra muscular extrafusal por los, 4-5
Cerebelo, capacidades motoras complejas afinadas por el, 3
Ciclo de la marcha, 232
Cifosis dorsal, 139-40
Cifosis sacra, 27, 28
Cifosis torácica, 27, 28
de la columna vertebral cervical, 85
Cifosis. *Véase* cifosis dorsal, cifosis sacra *y* cifosis torácica
Cinética de la columna vertebral cervical, 100-102
Cintura escapular
articulaciones de la, 113, 115
efecto de la postura sobre la acción de la, 139-40
en el encogimiento, 143
movimiento de la, 138, 39
Clavícula
en el ritmo escapulohumeral, 136-37
formación en manivela de la, 113
rotación de la, 114, 117, 136-37
Co-contracción
con antagonistas, protección articular en la, 49
pérdida de coordinación a mayor, 50
Codo
anatomía funcional del, 145-152
ligamentos colaterales estabilizadores del, 145
ligamentos del, colaterales, 147
músculos que actúan sobre el, 145
paso del nervio mediano por el, 150
trayecto del nervio radial en el, 150
Cola de caballo
formación de la, 76
raíces nerviosas de la, 75, 85
vista vertical de las raíces de la, 77
Colagenasa, acciones de la, 19
Colágeno, 15-16
Columna vertebral activada, función de los músculos en la, 47-54
Columna vertebral cervical
anatomía funcional de la, 85-111
cinética, 100-102
flexión de la, 100
ligamentos del segmento atlantoaxoideo-occipital de la, 91-94
limitación mecánica de la (columna cervical) inferior, 102
movimiento conjunto de la, 101
movimientos de la, 94-95
musculatura de la, 109-10
rotación de acoplamiento y flexión lateral de la, 102-103
rotación de la, 109
soporte de la cabeza por la, 85
unidades funcionales de la, 85, 96, 100, 109
Columna vertebral erecta. *Véase* columna vertebral estática (postura)
Columna vertebral estable. *Véase también* inestabilidad de la columna vertebral
estática e inestabilidad cinética de la, 40
músculos de la, proximales, 51
Columna vertebral estática (postura)
angulación de las fibrillas en la, 48
curvas fisiológicas de la, 27-28
desplazamiento de las vértebras superiores derivadas de la lordosis en la, 35
estabilidad de la, 64-70
estabilización de la, 58
flexión-rotación y desplazamiento en la, 36, 41
unidades funcionales de la, 27, 29
Columna vertebral lumbar
estabilidad de la, 32, 35
sistema neurológico de la, 74-82
Columna vertebral lumbosacra. *Véase también* columna vertebral estática (postura)
acoplamiento de la, 36, 40
anatomía funcional de la, 27-84
ángulos de rotación relativos de la, 37
cinética, 36, 40-43
elementos vertebrales posteriores de la, 43-47
estabilidad de la, 49
movimiento del tronco definido por los planos asimétricos de la, 43
recuperación de estabilidad de la, 35
resistencia de la fuerza de desplazamiento sobre la, 39
restricción de la flexión de la, 53
unidades funcionales de la, 27, 30, 42-44, 46
Compartimiento de "air bag", abdominal, 58, 61, 65-66
Complejo cervical inferior, 94-99
Complejo cervical
inferior, 94-99
superior, 85-94
Componente elástico serial de la contracción muscular, 13
Comportamiento del desplazamiento de la carga en los mecanismos de lesión cervical, 58
Cóndilos femorales
caras articulares de los, 212
convexidad de los, 193-94
curvatura de los, 193, 195
distribución de la carga a lo largo de los, 195
eje transcondilar a través de los, 239
longitud de los, 194
movimiento de la rótula dentro y sobre los, 220, 221
rotación alrededor del eje sagital de los, 208
rotación de la tibia sobre los, 211-12, 229
Cóndilos occipitales, articulación atlanto-occipital, 85, 88
Conducto vertebral cervical, *véase* conducto vertebral
Conducto vertebral
contenido dural del, 85-86
elementos óseos del, 43
variación durante la flexión y la extensión de la longitud del, 103
Congruencia e incongruencia articulares, 16, 18
comparación de la, 122-24
en el complejo cervical superior, 85, 88
Congruencia ejemplificada por la fosa glenoidea, 122, 124
Contracción de los músculos troncales, isométricos, 58
Contracción muscular, 8-15
aumento de fibras musculares durante la, 13
características de la, 12-15
características musculares fasciales de la, 14
componente elástico serial de las, 13
deslizamiento de la miosina y la actina durante la, 9, 12
efecto de la tensión sobre la, 11
estabilización de la columna durante las, 58
fascia toracolumbar en la, 56
isométrica, 12
isotónica o isocinética, 12
mecanismo de la, 13
para iniciar la flexión, 54-55
secuencia de activación del sistema neuromuscular durante la, 48
secuencia de activación neurológica de la, 15
suministro energético para la contracción muscular mediante diferencia del ATP al ADP, 11
Control nervioso de la mano, 188-90
Cresta ilíaca, anterior
músculos abdominales oblicuos internos con origen en la, 60
músculos abdominales transversos con origen en la, 61
Cuadrados lumbares
compartimiento de los, 66
en la estabilización de la columna vertebral, 49, 52, 64, 65
Cuádriceps femoral
contracción durante la marcha normal del, 233
función vital en la subida y bajada de escaleras, 234-35
mecanismo extensor en las cabezas del, 216
Cúbito en la muñeca, 153
Cuello femoral, eje a través del, 239
Cuello, musculatura del, 110
Curvatura lumbar, modelo elíptico de la, 36
Curvatura sagital lumbar, 32, 35

D

Dedo pulgar
abducción del, 168, 198
bolsas del, 175
extensión del, 166
movimiento de pinza digital del, 187
movimiento oponente del, 188
movimientos permitidos por la articulación metacarpo-trapezoide del, 191
oposición del, 186, 192
rotación y flexión del, 167
Dedos del pie
longitudes relativas de los, 273-74
tendones de inserción a los, 275-76

Dedos
abducción-aducción de los, 168
anatomía funcional de los, 164-72
flexión hacia el hueso navicular de los, 165
ligamentos vaginales de los, 170-71
mecanismo extensor de los, 180-81
músculos activadores de los, 145-152
músculos flexores de los, 152
tendones dorsales de los, 181-82
vainas de los tendones de los, 175
Deformidades, rodilla, 235-36
Degeneración discal
estrechamiento del espacio discal entre vértebras en la, 71-72
relación entre la inestabilidad lumbar y la, 41
Descarga eléctrica de la cabeza de miosina, 11
Desplazamiento
en el acoplamiento, 36, 41, 42
longitud del colágeno derivada del, 38
Disco intervertebral
adelgazamiento del, inestabilidad causada por el, 59
cambios de las fibras anulares derivados de fuerzas ejercidas sobre el, 39
composición del, 27, 31
deformación durante la flexión del, 100
desecación por envejecimiento o lesiones del, 95
desgarro del, 98
en el soporte ligamentoso muscular de la columna vertebral flexionada, 57
en la unidad funcional cervical, 96
fuerzas compresivas y par de torsión sobre el, 71
hernia del núcleo externo del, 71, 73
hernia del núcleo interno del, 71, 72
lesiones en el, causas de las, 50
núcleo del, 31, 34, 71-74
relación de la raíz nerviosa con el, 75, 79
ruptura del, 71
separación de vértebras en la columna vertebral, 27, 29
Discrepancia en el apalancamiento vertebral, 53-54
Divisiones de la arteria poplítea en las arterias tibiales, 289-90
Dolor lumbosacro
inestabilidad primaria de las vértebras lumbares como causa común del, 40
pérdida de la relajación de la flexión en pacientes con (dolor lumbosacro) crónico, 53
Dorsiflexión
efecto sobre la membrana interósea de la, 253
tensión de las fibras durante la, 252
Dorsiflexores atenuantes de la fuerza de traslación sobre el pie, 264
Duramadre
conversión en epineurio y perineurio, 77
desplazada por la raíz nerviosa, 78, 103
penetración en los forámenes, 86

E

Eje transcondilar a través de los cóndilos femorales, 239
Ejercicio de Codman para mejorar la amplitud de movimientos glenohumeral, 143-44
Elastasa de neutrófilo, acciones de la, 19
Elementos vertebrales posteriores, 43-47
Elevador de las escápulas, 119
como rotador escapular, 120
extensión, flexión y rotación de la columna vertebral cervical por el, 109
Eminencia intercondílea, unión del menisco lateral a la, 197
Enartrosis (articulación esferoidea), 19
Enfermedad discogénica, anatomía funcional de la, 71-74
Escápula
brazo sujeto a la pared torácica por la, 113
elevada durante la rotación clavicular, 117
en la elevación del brazo por encima de la cabeza, 138-39
ligamentos claviculoescapulares que soportan la, 113, 116
músculos que actúan en la, 114, 116, 119-21
rotación de la, 136-37, 139
Esplenio cervical como rotador de la cabeza, 109-10
Esplenio de la cabeza como rotador de la cabeza, 109-10
Espondilolistesis, inestabilidad secundaria en casos de, 41
Estabilidad troncal
músculos proveedores de la, 58, 62
tubular, 58, 62
Estabilizadores segmentarios de la columna vertebral lumbar, 65
Estiloides, radial y cubital, apófisis, 154
Estromalisina, acciones de la, 19
Extrusión discal, hernia externa del núcleo en la, 71, 73

F

Falanges
acción de la vaina sobre las, 180
en el pulgar, 170
en el segmento anterior del pie, 256-57
extensión de las, 186
ligamentos retinaculares de control del movimiento de las, 182
movilización mediante los músculos intrínsecos de las, 282
proyecciones de las, 273-74
uso (de las falanges) en la pinza digital y la formación del puño, 167
Fascia lata, músculo tensor de la, 216
Fascia palmar
capa triangular de la, 177
trayecto de la, 176
Fascia plantar
arcos longitudinales reforzados por la, 268, 272
división de las bandas plantares en el margen anterior de la, 271
efecto de la extensión del dedo del pie sobre la, 271-72
función de la, 271
origen y uniones de la, 269-71
Fascia toracolumbar
en la contracción muscular, 56
en la rotación del tronco, 58
estabilizadora de la columna vertebral erecta, 58
Fémur
ángulo de inclinación en la cabeza y el cuello del, 238
flexión y rotación de la tibia sobre el, 209-10, 211-13, 237
lubricación del, 237
rotación del, 249, 292
unión de la banda fibrosa a la fosa intercondilar del, 197
Fibra de colágeno
composición de la, 16
elongación de la, 17
en el cartílago, 19, 21, 22
en las fibras anulares del disco intervertebral, 27-28, 31, 38
en los ligamentos, 16, 199
en los meniscos, 196, 197
Fibras anulares de la vértebra
desensibilización mecanorreceptora causada por laxitud en las, 62
desplazamiento evitado o minimizado por la rigidez de las, 35
en el soporte ligamentoso muscular de la columna vertebral flexionada, 57
Fibras anulares del disco intervertebral, 27-28, 31
cambios en las, relacionados con los movimientos vertebrales en las, 39
desgarros causantes de ruptura de las, 71
efectos de las posturas de flexión prolongada en la tensión de las, 59
entrelazamiento de las, 32
limitación de movimientos de la columna vertebral cervical impuesta por las, 100
protrusión del núcleo causante de la protrusión de las, 71-73
reflejo miotático iniciado por las, 62
Fibras del tendón en reposo y durante la contracción muscular, 8
Fibras intrafusales del sistema fusiforme, 6
Fibras musculares extrafusales
activación de las, 4-5
controladas por el sistema muscular intrafusal, 47-48
elongación activa en la contracción muscular de las, 14
elongación excéntrica en la contracción muscular de las, 56
en reposo, estirándose y contrayéndose, 7
fibras intrafusales (fusiformes) paralelas a las, 6
fisiología de las, 8-11
Fibras nocirreceptoras, inervación por las, 43
Fila carpiana
movimiento opuesto radialmente a la mano de la, 156
relación de la cara radiocubital con la, 154
Filamento de actina en la contracción muscular, 9, 13
Filamentos de miosina
deslizamiento causado por la cabeza de los, 9, 11, 14
estructura de los, 13
Flexión del cuello, 95
Flexión del tronco
alineamiento asociado con el grado de angulación en la, 48
desplazamiento durante la, 54
estructuras vitales para la, 57
fuerzas de deceleración en la, 50
músculos exteriores en la, 51
posturas prolongadas para la, dolor sacrolumbar causado por la, 58
Flexión lumbar en el ritmo lumbopélvico, 55
Flexión plantar
ligamento astragaloperoneo anterior en la, 258
tendón tibial posterior causante de la, 270
Flexión vertebral, resistencia a la, 50
Flexor del dedo meñique, 187
falange proximal del dedo meñique flexionada por el, 184-85
Flexor largo del pulgar en el canal carpiano, 162
Flexor radial del carpo en el canal carpiano, 162

Flexores abdominales contraídos para iniciar la flexión, 47
Flexores plantares
como principales músculos extrínsecos del pie, 275
en la reducción de la fuerza de desplazamiento sobre el pie, 264
principales, 277
tendones, 277
Foramen
abierto por prueba de tracción, 108
cierre en el lado cóncavo del, 106
contenido normal del, 80
emergencia de la raíz nerviosa por el, 74-76
movimiento en la flexión y extensión del, 104
penetración de la duramadre en el, 86
Forámenes, apertura durante la flexión de los, 100, 101
Formación del puño, falanges en la, 167
Fosa antecubital del codo, estructuras de la, 146-151
Fosa glenoidea
anteroversión y retroversión de la cabeza humeral sobre la, 132
deslizamiento descendente de la cabeza humeral sobre la, 123, 125, 127, 132
en el contenido de la articulación glenohumeral, 122-23
ligamentos unidos a la, 126
localización de la, 116, 121
orientación y angulación de la, 116, 122
soporte estructural de la cabeza humeral por medio de la, 123, 126, 127, 133
Fosa intercondilar, cóndilos femorales separados por la, 193-94
Función musculoesquelética, transmisión de impulsos de la médula espinal para la inervación, 4

G

Ganglio de la raíz dorsal
en el foramen intervertebral, 80, 86
en el sistema fusiforme, 6
en el sistema nervioso simpático, 81
Gínglimos, 19, 170
Glúteo mayor, origen e inserción del, 242
Glúteo mediano, origen e inserción del, 243
Glúteo menor, origen e inserción del, 243
Gravedad
curvatura de la columna vertebral forzada por la, 35
fuerza de desplazamiento debida a la, 38
Grupo crural posterior de músculos, 280
Grupo de músculos plantares superficiales, origen del, 152

H

Hernia discal
externa, 71, 73
inestabilidad secundaria en casos de, 41
interna, 71
verdadera, 71, 73
Hernia interna del núcleo, 71-73
Hialuronidasa, lubricante articular, 18, 20
condroitina dañada debido a la entrada a los cráteres de la, 21
Hiperextensión de las falanges, 172
Hipertrofia, aumento de la masa muscular en la, 13
Hombro, anatomía funcional del, 113-44
Hueso calcáneo
apoyo y articulación del astrágalo con el, 259-61
conectado mediante el ligamento calcaneoescafoideo plantar al hueso navicular (escafoides), 266
efecto de la extensión del dedo sobre el, 272
en el segmento posterior del pie, 256-57
movimiento en valgo y varo pronunciados del pie del, 259
origen de la fascia plantar en el, 269
Hueso cuboides en el segmento medio del pie, 257
Hueso cuneiforme en el segmento medio del pie, 257
Hueso escafoides de la mano, 153
flexión del dedo hacia, 165
superposición de la tabaquera anatómica al, 147, 164-65
Hueso ganchoso de la mano, 153
en la formación de los arcos de la mano, 158
Hueso grande del carpo, 153
en la formación de los arcos de la mano, 158
metacarpianosos fijos en el, 166
Hueso navicular, 153
calcáneo conectado mediante el ligamento calcaneoescafoideo plantar al, 266
en el segmento medio del pie, 257
flexión del dedo hacia el, 165
ligamentos colaterales de la articulación del pie unidos al, 254
suprayacente a la tabaquera anatómica, 147, 164-65
Hueso piramidal de la mano, 153
Hueso pisiforme de la mano, 153
como hueso sesamoide dentro del tendón flexor cubital, 160
ligamentos del, 157
Hueso semilunar de la mano, 153
Hueso subcondral
fibroblastos enviados a la fisura desde los vasos sanguíneos en el, 23
microfracturas derivadas del impacto en el, 21
nutrientes cartilaginosos del líquido vascular en el, 19, 22
Hueso trapecio de la mano, 153
en la formación de los arcos de la mano, 158
Hueso trapezoide en la mano, 153
en la formación de los arcos de la mano, 158
huesos metacarpianos fijos sobre el, 166
Huesos carpianos en la muñeca, 153
arco pontino de los, 161
articulación de los huesos metacarpianos con los, 166
canal formado por los, 162
caras simétricas de los, 160
fila distal de los, 159, 161, 166
fila proximal de los, 159, 161
movimiento de la muñeca de los, 155
Huesos metacarpianos
aleteo fascial sobre las cabezas de los, 177
en la formación de los arcos de la mano, 158
movimientos de los, 165-66
Huesos metatarsianos
arco transverso formado por la base de los, 268
curva de los extremos distales de los, 273
en el segmento anterior del pie, 256-57
inserción de la fascia plantar a los, 269-71
inserciones del tendón tibial a los, 279
Huesos sesamoides dentro de los tendones flexores cortos de los dedos, 275-76
Huesos tarsianos en el segmento medio del pie
Húmero
en el ritmo escapulohumeral, 139-40
inserción del músculo dorsal ancho en el, 133
movimiento del, 116, 121, 127, 130-131
relación del movimiento de la escápula y el, 138-39
Huso muscular
componentes del, 5
inervación del, 6

I

Inestabilidad vertebral. *Véase también* columna estable
causas de la, 58
daños en la unidad funcional que provocan, 56
Interespinosos intersegmentarios en la estabilización de la columna, 65
Intertransversos intersegmentarios en la estabilización de la columna, 65
Iones de calcio, contracciones musculares causadas por los, 9

L

Láminas. Carillas contenidas en las, 43
Ligamento amarillo alineado con el conducto raquídeo, 93, 96
Ligamento astragalocalcáneo del pie, interóseo, 263-64
Ligamento astragalocalcáneo del tobillo, 255
en el seno del tarso, 261, 264
Ligamento calcaneoescafoideo plantar
calcáneo conectado al hueso navicular por el, 266
lateral, 270-71
localización del, 262, 264
paso del tendón tibial posterior por debajo del, 269
Ligamento capsular en la articulación esternoclavicular, 118
Ligamento cervical del pie, 263
rotación del astrágalo sobre el calcáneo gracias al, 264
Ligamento cervical. *Véase* ligamento cervical del pie
Ligamento claviculocostal en la articulación esternoclavicular, 118
Ligamento colateral radial, origen y unión del, 157
Ligamento coracoacromial
abducción y anteroflexión del brazo para evitar la protrusión en el, 134
en el contenido de la articulación glenohumeral, 122-123
en el movimiento de la articulación glenohumeral, 127-129
Ligamento cruciforme de la columna cervical, restringido por, 92
Ligamento de Henle, 159
Ligamento de Landsmeer, 185
laxitud del, 186
Ligamento dorsal en el arco tarsiano, 268
Ligamento interno en el arco tarsiano, 268
Ligamento interóseo
conexión de la tibia y el peroné por el, 252, 254
unión del, 251
Ligamento intrameniscal unido al asta anterior del menisco lateral, 197
Ligamento longitudinal
en el soporte ligamentoso-muscular de la columna vertebral flexionada, 57
en la protección de la médula espinal, anterior y posterior, 92-93
en la unidad funcional cervical, 96
inervación del (ligamento longitudinal) superior por el nervio meníngeo, 78

Ligamento metacarpiano transverso
en la conexión de la lámina plantar con la articulación metacarpofalángica, 170
cápsula articular reforzada por el, 171
Ligamento nucal reforzando la columna cervical, 94
Ligamento peroneocalcáneo de la articulación del tobillo, 254-55
Ligamento supraespinoso en el soporte ligamentoso-muscular de la columna vertebral flexionada, 57
Ligamento tectorial protector de la médula espinal, 92
Ligamento tibioperoneo en el soporte del tobillo, 254
Ligamento transverso de sujeción de la apófisis odontoides del atlas, 91-92
Ligamentos carpianos transversales, 161
extensión del canal carpiano, 162
mantenimiento del arco carpiano, 160
Ligamentos claviculoescapulares, escápulas sujetas por los, 113, 116
Ligamentos conoides, efecto de la rotación clavicular en los, 117
Ligamentos coracoclaviculares en la rotación clavicular, 117
Ligamentos costoclaviculares estabilizadores de la articulación esternoclavicular, 118
Ligamentos cruzados
banda de los, anteromediales, 214
bandas de los, posterolaterales y anteromediales, 205-6, 212, 214
control de la flexión-extensión por los, 209-10
deslizamiento anteroposterior de la tibia y el peroné limitado por los, 213-14
eje de rotación en los (ligamentos cruzados) posteriores, 209-10
estabilización de la articulación tibiofemoral por los, 198
fuerza de los, 206
inervación de los, 214
prevención de extensión excesiva y desplazamiento por los (ligamentos cruzados) anteriores, 209-10
riego sanguíneo de los, 206
unión del menisco a los (ligamentos cruzados) anteriores, 197
uniones de los, 205
Ligamentos deltoideos en la articulación del tobillo, 254
colaterales mediales, 255
Ligamentos esternoclaviculares estabilizadores de la articulación esternoclavicular, 118
Ligamentos intercarpianos, 161
Ligamentos interclaviculares estabilizadores de la articulación esternoclavicular, 118
Ligamentos metacarpofalángicos, 170-71
Ligamentos peroneoastragalinos del tobillo
anterior y posterior, 255
en la flexión plantar, 258
Ligamentos plantares
en el arco tarsiano, 268
largo y corto, 266-67
Ligamentos retinaculares, 182-84
migración dorsal de las bandas de los, 183
oblicuos, 183
Ligamentos trapezoides, efecto de la rotación clavicular sobre los, 117
Ligamentos vaginales de los dedos, tendones flexores recubiertos por los, 170-71
Ligamentos
como movilizadores durante la flexión, 55
de la articulación esternoclavicular, 118
de la articulación metacarpofalángica, 169
de la cápsula glenohumeral, 126
de la columna vertebral cervical, 91-94
de la muñeca, 157-59
de los cuerpos vertebrales, 32
de los dedos, 170
del hueso pisiforme, 157
del tobillo, 251-56
efectos de las posturas de flexión prolongadas sobre la tensión de los, 59
en la función de la columna vertebral, 56, 58-71
fibras de colágeno en los, 16, 199
inestabilidad de la columna vertebral provocada por daños en los (ligamentos) vertebrales largos, 58, 62
interespinosos, rigidez de los, 35
recuperación de los, 199
zonas de los, 199
Limitación de la flexión en el segmento inferior de las vértebras cervicales, 102
Líquido sinovial
bolsas alrededor de las articulaciones de la rodilla que contienen el, 208
en el espacio articular abierto, 19
en la cápsula sinovial de la articulación glenohumeral, 122
Listesis
de las vértebras anguladas, 35, 38-39
definición, 35
inestabilidad primaria como, 40
prevención (de la listesis) por las carillas, 43
Locomoción humana, fases de la, 291
Lordosis cervical, 27, 28
ángulo de rotación de la, 98
evolución de la, 85, 87
niveles individuales de la, 99
transformación en cifosis de la, 100
Lordosis lumbar, 27, 28
dependiente del ángulo lumbosacro, 85, 87
en el ritmo lumbopélvico, 55
Lordosis. *Véase* lordosis cervical y lordosis lumbar.
Lubricación hidrodinámica de la articulación tibiofemoral, 193, 196

M

Manguito de los rotadores
abducción y anteroflexión del, 128, 132
eje de rotación del, 130
en la prevención de la luxación inferior del húmero, 123, 125
músculos del, acción sobre la cabeza humeral del, 135-36
síndromes dolorosos del, 143-44
tendón conjunto en la composición del, 122, 124, 129-31
Mano
anatomía funcional de la, 165-72
arcos de la, 162-72
en reposo, y con desviación cubital y palmar, 154
huesos de la, 153
ligamentos de la, 157
músculos activadores de la, 152
músculos extrínsecos de la, 172-77
músculos intrínsecos de la, 174, 176-79
síndromes dolorosos de la, 191-92
Mapas neuronales de los patrones neuromusculares, 1
Marcha normal
acción del músculo de la corva en la, 233-34
articulación de la rodilla en la, 231-34
ciclo de la, 232, 292
del tobillo, arcos de movimiento en la, 294
determinantes de la rotación en la, 292, 294-95
fases de la, 232-33
flexión de la rodilla y contracción del cuádriceps durante la, 233
flexión-extensión de la rodilla durante la, 232
la cadera en la, 249-50
relación pie-tobillo en la, 292
supinación y pronación del pie y el tobillo durante la, 295
Marcha. *Véase* Marcha normal
Masa corporal
actividad principal de desplazamiento de la, 66-67, 69
respuesta al alejamiento del centro de gravedad de la, 67
Mecanismo extensor, formación por las cabezas del cuádriceps femoral, 216
Mecanismo flexor digital, 174
Médula espinal
alargamiento de la, en la flexión cervical, 104
cono medular en la terminación de la 12ª vértebra dorsal, 74, 76
contenida en el canal cervical, 85
divisiones primarias anterior y posterior de la, 81
impulsos transmitidos al sistema muscular por la, 2, 4, 15
impulsos transmitidos desde el cerebro a la, 1
ligamentos longitudinales protectores de la, 92-93
sistema fusiforme indicador de la, 6-7
Membrana interósea
efecto de la dorsiflexión del pie sobre la, 253
fibras de la, 251
Meniscos
conexiones a los ligamentos y a la cápsula articular de los, 193, 197
distribución de la carga a lo largo de las mesetas tibiales y los cóndilos femorales realizada por los, 195
haz medio perforante en los, 196, 197
movimiento en el movimiento de la rodilla de los, 215
riego sanguíneo de los meniscos por la arteria genicular, 201
Microfracturas causadas por impacto en el hueso subcondral, 21
Miofibrillas, escisión en la hipertrofia de las, 13
Movimiento articular, tipos de, 19, 20
Movimiento cefálico, por los músculos cervicales superiores, 109-110
Movimiento cervical, unidades funcionales de la columna vertebral cervical inferior, 109-110
Movimiento de deslizamiento en arco de la articulación, 20
Movimiento de pinza digital, 167
Movimiento del brazo
acción cinética de los músculos de la articulación glenohumeral en el, 127-29, 132, 135
arco doloroso de abducción-elevación en el, 132, 134, 143
mecanismo bicipital de elevación, 138-41
planos del, 121

Movimiento musculoesquelético, interacciones necesarias para el, 3
Muñeca
amplitud de movimientos de la, 159
anatomía funcional de la, 152-165
desviación cubital de la, 155, 160
desviación radial de la, 160
huesos que forman la, 153
ligamentos de la, 157-59
marcas superficiales en la superficie palmar de la, 162
músculos activadores de la, 145
músculos flexores de la, 152
sección transversal de la, 163
Músculo bíceps femoral
como músculo lateral que interviene en la flexión y rotación de la rodilla, 225
en la flexión de la rodilla, 229
origen del, 226, 244
Músculo braquial, origen e inserción del, 145
Músculo cuadrado plantar intrínseco del pie, 283
Músculo deltoides
acción sobre el húmero del, 135, 136
en la abducción-elevación del brazo, 132
en las escápulas, 119
origen e inserción, 135
Músculo extensor corto de los dedos, origen e inserción del, 280
Músculo extensor largo de los dedos
origen e inserción del, 279-80
posición del, 281
Músculo extensor largo del dedo gordo
origen e inserción del, 279-80
posición del, 281
Músculo extensor radial largo del carpo, origen del, 149
Músculo extrínseco tibial posterior
inervación del, 285-86
origen, dirección e inserción del, 278
Músculo flexor largo del pulgar, origen del, 152
Músculo gastrocnemio
como flexor plantar, 275
función del, 277
inervación del, 285-86
origen e inserción del, 277
Músculo glúteo mayor en el soporte ligamentoso-muscular de la columna vertebral flexionada, 57
Músculo ilíaco, origen e inserción del, 243-44
Músculo infraespinoso
en la abducción y rotación de la cabeza humeral, 136
en la estabilización de la cabeza humeral durante la acción, 133
sobre la escápula, 119
tendón conjunto en el manguito de los rotadores emergente del, 130
Músculo intrínseco del pie abductor del dedo gordo, 283
Músculo intrínseco del pie abductor del quinto dedo, 283
Músculo intrínseco del pie flexor corto del dedo gordo, 284
Músculo intrínseco del pie flexor corto del dedo pequeño, 284
Músculo intrínseco del pie flexor largo de los dedos, 283
Músculo pectíneo, origen e inserción del, 245
Músculo pectoral mayor
acción de rotación del húmero, 129, 132
en la estabilización de la cabeza humeral durante la acción, 133
sobre las escápulas, 119
Músculo piriforme, origen e inserción del, 242
Músculo plantar
inervación del, 285-86
origen e inserción del, 280
Músculo psoas, origen e inserción del, 243-44
Músculo recto femoral
en el mecanismo extensor, 216
origen del, 216-17
Músculo recto interno
conjunto con el tendón del pie anserino, 226-27
contracción durante la marcha normal del, 233
Músculo sartorio
como músculo de la cadera, 216
contracción durante la marcha normal del, 233
en conjunción con el tendón del pie anserino, 226-27
flexión leve de la rodilla y la cadera por el, 207, 219
origen e inserción del, 207, 216, 219, 247-48
Músculo semimembranoso, origen e inserción del, 226-27
Músculo semitendinoso
en conjunción con el tendón del pie anserino, 226-27
origen e inserción del, 226
Músculo sóleo
como flexor plantar, 275
inervación del, 285-86
origen e inserción del, 277
Músculo subescapular
en la estabilización de la cabeza humeral durante la acción, 133
en la rotación y depresión de la cabeza humeral, 136
músculos del, tendón en el rotador de los manguitos con origen en el, 130
rotación interna del brazo por el, 131
sobre las escápulas, 119
Músculo supraspinoso
en la abducción y rotación de la cabeza humeral, 136
estabilizador de la cabeza humeral durante la acción, 133
función en la postura estática del brazo del, 128
origen e inserción del, 131
sobre la escápula, 119
tendón conjunto recibiendo el riego sanguíneo de las arterias descendentes del, 131
Músculo tensor de la fascia lata, 244-47
acción del, 244-45
aducción y estabilización de la articulación de la cadera por el, 219, 246
en la estabilización de la rodilla completamente extendida, 219
origen e inserción del, 207, 226, 244
Músculo tibial anterior, posición del, 281
Músculo tríceps, origen e inserción del, 145
Músculo vasto intermedio en el mecanismo de extensión, 216
Músculo vasto lateral en el mecanismo de extensión, 216
Músculo vasto medial
en el mecanismo extensor, 216
tirón de la rótula por el, 218
Músculos abdominales oblicuos externos como músculos "globales", 65-66
Músculos abdominales transversos
contracción de los, 58
función esencial en la estabilidad de la columna vertebral, 58
inserción de las fibras horizontales de los, 66
origen e inserción de los, 61
Músculos abdominales
(abdominales) superficiales, 66
cinética, 58
contracción durante la flexión de los, 54, 55
en el soporte ligamentoso muscular de la columna flexionada, oblicuos y flexores, 57
estabilización de la columna vertebral durante la contracción de los, 58
origen e inserción de los (abdominales) externos oblicuos, 59
origen e inserción de los (abdominales) internos oblicuos, 60
Músculos cuadrados femorales, superposición del glúteo mayor a los, 242
Músculos cuadrados lumbares
estabilización del tronco durante actividades de la extremidad superior por los, 58
origen e inserción, 62
Músculos de la corva
como deceleradores y propriorreceptores cinestésicos en la marcha, 233-34
componentes de los, 245
en el ritmo lumbopélvico, 55
limitación de la flexión de la articulación coxofemoral, 240
origen e inserción de los, 243-44
tensor de los aductores de la fascia lata y, 246
Músculos del antebrazo
extrínsecos, 150-52
función extensora de los, 148, 172
origen de los, 145-46, 151
Músculos del diafragma, compartimiento de "air bag" creado por la contracción de los músculos pélvicos y los, 61
Músculos del muslo
lateral, 225
medial, 225
posterior, 226, 230
Músculos dorsales mayores
como rotadores del húmero, 119
contracción de los, 58
en actividades de flexión y elevación, 49
en la abducción-elevación del brazo, 132
en la flexión, 56, 133
en la rotación interna, 133
origen e inserción, 129, 132
Músculos erectores de la columna vertebral
compartimiento contenedor de los, 66
en actividades de flexión y elevación, 49
en la flexión, 47-48, 51, 55-56
en la unidad funcional cervical, 96
estabilización, 62, 64
inserciones de los, 49
intracompartimiento de los, creación del, 58
Músculos escalenos
orificio torácico superior adyacente a los, 141-42
origen e inserción de los, 142
Músculos extensores
de los dedos, 179-182
del antebrazo, origen de los, 148, 151
en la actividad muscular del tronco, 70
en la contracción muscular, 15, 54

en la flexión de la columna vertebral, 57
en la flexión-reextensión del tronco, 51
Músculos extrínsecos del pie
definición, 275
función de los, 277
grupo anterior de, 279-80
grupo lateral de, 278-79
grupo posterior de, 280
origen, dirección e inserción de los, 278
posteriores profundos, 280, 282
Músculos flexores palmares, divisiones de los, 152
Músculos flexores
acción de agarre enérgica empleando (músculos flexores) extrínsecos, 184-85
actuación en el desplazamiento corporal, 67
de la muñeca y los dedos, origen de, 152
del muslo, inervación de, 230
durante la contracción muscular, 15
Músculos gastrocnemios. *Véase* músculo gastrocnemio
Músculos glúteos en el ritmo lumbopélvico, 55
Músculos hipotecares
componentes de los, 184, 186-87
dedos pulgar y meñique movidos por los, 174, 187
Músculos iliocostal y dorsal largo durante la flexión, 48
Músculos iliocostales en la musculatura del tronco, 50
Músculos iliocostales profundos en la musculatura troncal, 50
Músculos iliocostales superficiales en la musculatura del tronco, 50
Músculos iliopsoas
contracción durante la marcha normal de los, 233
origen e inserción de los, 243-44
Músculos interóseos dorsales
como núcleo de fuerza durante una flexión enérgica del dedo, 185
movimiento de los dedos mediante los, 178
Músculos interóseos palmares, aducción de los dedos por los, 177, 179
Músculos interóseos
de la mano, 174, 176, 179
plantares y dorsales, como músculos intrínsecos del pie, 284
Músculos intersegmentarios profundos, estabilización de la columna vertebral potenciada por los, 49, 52
Músculos intrínsecos del pie
cuatro capas de los, 282-84
inervación por el nervio plantar de los, 285, 287
origen e inserción de los, 275, 282
Músculos lumbricales de la mano, aducción y abducción por los, 174, 177, 179
Músculos lumbricales intrínsecos del pie, 283
Músculos multífidos
actividad refleja de los, 62-63
conexión entre vértebras mediante los, 68
durante la flexión, 48, 51
en la musculatura troncal, 50
inserciones de los, 49
Músculos muslo-rodilla, posteriores, 225-34
Músculos oblicuos internos del abdomen como músculos "globales", 66
Músculos oblicuos
en actividades de flexión y elevación, 49
en el soporte ligamentoso-muscular de la columna vertebral flexionada, 57
estabilización de la columna vertebral durante la contracción de los (músculos oblicuos) abdominales, 58
origen e inserción de los (músculos oblicuos) abdominales externos, 59
origen e inserción de los (músculos oblicuos) abdominales internos, 60
Músculos pectorales, mayor y menor
inserción de los, 132
rotadores del húmero, 129, 132
Músculos pélvicos
como movilizadores durante la flexión, 55
compartimento de air bag creado por contracción de los músculos del diafragma y los, 61
Músculos peroneos breve y largo, posición de los, 281
Músculos rectos del abdomen, músculos de inserción en la fascia de los, 60, 61-62
Músculos redondos menor y mayor sobre la escápula, 119
Músculos redondos menores
estabilizadores de la cabeza humeral durante la acción, 133
tendón en el manguito de los rotadores de los, 130
Músculos romboides como rotadores y soporte de la escápula, 114, 119, 120
Músculos tenares
intrínsecos, 185
pulgar movido por los, 174, 184-85
Músculos vertebrales profundos, estabilidad vertebral por la contracción de los, 65
Músculos y tendones flexores cortos de los dedos como (músculos y tendones) intrínsecos, 283
como flexores plantares, 277
huesos sesamoideos dentro de los, 275-76
origen, dirección e inserción de los, 278
Músculos. *Véanse también* los músculos específicos.
intervención en la columna vertebral activada de los, 47-54
que actúan sobre el codo, 145
que actúan sobre la articulación coxofemoral, 242-48
que actúan sobre la articulación de la rodilla, 216-34
que actúan sobre las escápulas, 114, 116-19

N

Nervio calcáneo, lateral, transmisión sensitiva al talón por el, 285
Nervio ciático
inervación de la extremidad superior por el, ramas de la, 285
inervación de los músculos flexores del, 230
Nervio cubital
en el túnel cubital (Canal de Guyon), 149, 163-64
músculos e inervación sensitiva del, 189
trayecto del, 146
Nervio escapular inervando en dirección descendente los músculos rotadores escapulares, dorsales, 120
Nervio femoral, inervación del músculo sartorio por el, 247
Nervio glúteo, inervación
del glúteo mayor, inferior, 242
músculo tensor de la fascia lata inervado por el (glúteo) superior, 245
Nervio isquiaticotibial, división motora sensorial del, 285-86
Nervio mayor superior, emergencia del, 106-107
Nervio mediano
componente sensitivo del, 188
en el canal carpiano, 162
músculos inervados por el, 188
origen del, 188
paso distal a la articulación del codo del, 150
trayecto del, 149
Nervio meníngeo recurrente
duramadre y ligamento longitudinal posterior inervados por el, 78
inervaciones del, 82
Nervio musculocutáneo que inerva los músculos braquiales y el bíceps, 145
Nervio peroneo común, bifurcación en nervio peroneo superficial y profundo del, 288
Nervio peroneo profundo, trayecto del, 288
Nervio peroneo superficial, trayecto del, 288
Nervio radial
inervación del tríceps por el, 145
músculos inervados por el, 190
rama profunda del, 149
trayecto del, en el codo, 146, 150
Nervio recurrente de Lushka, 75, 80, 82
Nervio safeno externo en la fascia profunda de la pierna inferior, 285-86
Nervio safeno, trayecto del, 288-89
Nervio sinovertebral con origen en el ganglio raquídeo, 81
Nervio tibial
división del nervio ciático en el nervio peroneo y el, 230
posterior, divisiones del, 285, 287
Nervios occipitales
áreas dermatómicas de los, 107
inervación sensitiva del cráneo posterior, 106
Nervios peroneos, bifurcación del ciático en los nervios tibiales y los, 230
Nervios plantares
inervación de los músculos intrínsecos del pie por los, 285, 87
lateral y medial, 287
Neurotransmisores, secreción de (neurotransmisores) químicos, 11
Núcleo pulposo
direcciones de las hernias del, 72
ruptura del anillo alrededor del, 71

O

Occipucio
como sinartrosis, 90
movimiento sobre el atlas del, 101
nervio mayor superior emergente del, 106
Orificio torácico superior
estructuras anatómicas del, 141
haz neurovascular a través del, 141-42

P

Paleta escapular. *Véase* escápula
Paquete neurovascular a través del orificio torácico superior, 141-42
Patrones de actividades neuromusculoesqueléticas
codificados en el sistema nervioso central, 1-2
componentes evaluados para establecer los, 3
Pedículos en el complejo cervical inferior, 94
Pelvis
en el ritmo lumbosacro, 54-55
en el soporte ligamentoso-muscular de la columna vertebral flexionada, 57

estructura ósea de la, 238
movimiento de respuesta al movimiento de alimentación anterógrada de la, 69
musculatura de la, 57
rotación del tronco sobre la, 60
soporte de la carga de la, 238
Peroneo anterior, inserción del, 279
Pie estático, puntos de carga del peso corporal en el, 293
Pie
anatomía funcional del, 256-95
arcos del, 267-72
articulaciones metatarsofalángicas del, 273-74
centro de gravedad del, 259-61
efecto de la membrana interósea sobre el, 253
huesos y articulaciones del, 256-67
inervación del, 285-89
inversión y eversión de las plantas del, 264-65, 270
ligamentos del pie, colaterales mediales, 259
ligamentos del, colaterales laterales, 259
ligamentos del, colaterales, 256-57, 276
ligamentos del, interóseos, 263-64
marcha normal del, 291-95
músculos del, 275-84
riego sanguíneo del, 289-91
segmentos del, posterior, medio y anterior, 256-57
supinación y pronación durante la marcha del, 295
Placa motora, activación de la fibra muscular en la, 10
Placa neuromuscular, fibra muscular activada en la, 10
Plano sagital, flexión-extensión en el, 85, 88
Plexo braquial en el orificio torácico inferior, 141-142
Plexo venoso en el conducto vertebral cervical, 86
Porción lumbar del músculo dorsal largo del tórax en la estabilización de la columna vertebral, 65
Postura del ordenador como causa de radiculopatía cervical, 107, 109
Postura redondeada del hombro, 139
Postura. *Véase* columna vertebral estática (postura)
Posturas de flexión prolongada, arrastre provocado por las, 59, 62
Protrusión severa, inestabilidad secundaria en casos de, 41
Pseudolistesis, inestabilidad primaria como, 40

R

Radiculitis, causa de la, 74
Radiculopatía cervical
causas de la, 107, 109
expresión del dolor en áreas dermatónicas en la, 106, 108
Radio en la muñeca, 153
cara articular del, 152-53
carillas de la superficie dorsal del, 155
margen radial del, 154
Rafe, músculos emergentes del, 64
Raíces nerviosas
angulación de las, en el movimiento cervical, 104-105
cambios en la longitud del canal raquídeo que influyen en la angulación de las, 103-104
componentes de las, 75, 106
de la cola equina, 75, 85
de los forámenes intervertebrales, 80
del complejo cervical inferior, 94
duramadre desplazada junto con las, 78
emergencia en los forámenes de las, 74, 76
en la unidad funcional cervical, 96
estructura de, 105
hernia del núcleo discal desencadenante de compresión de las, 71-74
inclusión en la vaina dural de las, 74
inervación de la duramadre de las, 81
relación con los discos intervertebrales de las, 75, 79
vainas durales y aracnoideas de las, 74, 77-78, 104-105
Rama anterior primaria descendente a las extremidades inferiores, 75
Rama primaria posterior, músculos erectores inervados por, 75
Recto abdominal en actividades de flexión y elevación, 49
Reflejo miotático
flexión prolongada estimulante del, 63
inicio y pérdida del, 62
Relación de "espacio cerrado", flexión articular en la, 16
Relajación de la flexión
disminución de los antagonistas en la, 50
pacientes con dolores crónicos en la región lumbosacra con pérdida de la, 53
Restricción de la flexión en la columna vertebral lumbar, 53
asistida por la restricción miofascial, 54
Restricción miofascial como factor contribuyente a la restricción de la flexión completa, 54
Retináculo del flexor
canal carpiano dentro del, 163
ligamentos carpianos transversos como, 161
Retináculo
determinante del movimiento de la rótula, 220
extensor y peroneo, 281
inervación del, 224
Retroalimentación para una acción finalizada
conformación del sistema nervioso central mediante la, 67
de la extremidad superior, 58
Riego sanguíneo por las arterias geniculares de la rodilla, 200-201
los meniscos, 201
Ritmo escapulohumeral, 136-37, 138-39
Ritmo lumbosacro, 54-56
Rodete articular como anillo fibrocartilaginoso, 237
Rodilla en valgo
definición, 235
posición de la rodilla en el, 236
Rodilla en varo
definición, 235
posición de la rodilla en el, 236
Rodilla estática, ligamentos estabilizadores de la, 197-99
Rodilla recurvada
definición, 235
posición de la rodilla en la, 236
Rodilla. *Véase también* articulación tibiofemoral
anatomía funcional de la, 193-236
aporte vascular a la, 199-201
componentes de la, 198
contacto rotuliano en la flexión de la, 220-23
deformaciones de la, 235-36
en la subida y bajada de escaleras, 234-35
estabilidad de la, 207
extensión de la, 207-9
flexión-extensión de la, 208-15
ligamentos de la, 197-98
marcha normal de la, 231-34
movimiento en varo-valgo de la, 211
músculos posteriores del muslo y la pierna que intervienen en la flexión y rotación de la, 225-34
músculos que intervienen en el movimiento articular de la, 216-25
Rotadores escapulares
músculos en función de, 114, 120
ritmo escapulohumeral de los, 136
Rótula
ángulo en Q del cuádriceps al cruzar y traccionar la, 217-21, 224
carillas de la, 219, 221
contenida en el cuádriceps, 207, 219
efectos del valgo y el varo en la, 236
en la subida y bajada de escaleras, 234-35
inclinación de la, prueba de, 225
inserción del cuádriceps a la, 227
movimiento durante el movimiento de rodilla de, 219-25
movimiento pasivo lateral-medial de la, 225
movimientos pasivos de la, 224
retináculo determinante del movimiento de la, 220
tracción del vasto medial sobre la, 218
Ruptura, disco intervertebral, 71

S

Sacro
fuerza de desplazamiento ejercida sobre el, 39
peso corporal desplazado hacia el, 237-38
relación angular del L5 en el, 35, 38
Sarcómera, estructura, 9
Secreción de acetilcolina, 9-10
Segmento atlantoaxoideo-occipital de la columna vertebral cervical, 91-94
Segmento cervical superior, inervación del, 106-9
Seno del tarso, formación del, 259
Serrato
como rotador escapular, 114, 120
soporte escapular por el (serrato) anterior, 114, 119, 120
Sinartrosis, membrana separadora de las, 16
Síndromes dolorosos
de la mano, 191-92
del hombro, 143-44
Sistema fusiforme
aspectos neuromusculares del trayecto de la extremidad superior determinados por el, 115
contracción muscular moderada por el, 214
fibras del músculo extrafusal inervadas por el, 6
fibras gamma en el reajuste del, 7
flexores y extensores moderados por el, 15
mecanismo musculotendinoso del, 8
tono muscular determinado por el, 124, 128
Sistema motor de la mano, 113, 114
Sistema muscular intrafusal, fibras musculares extrafusales controladas por el, 47-48
Sistema musculoesquelético
actividad motora ejecutada en el (sistema musculoesquelético) distal, 1-2
conducta conducente al trastorno del, 1

Sistema nervioso central
actividad refleja anterógrada del, 66
patrones codificados en el, 1-2
retroalimentación para una actividad completa del, 67
Sistema nervioso simpático, formación del, 81
Sistema neurológico de la columna vertebral lumbar, 74-82
Sistema neuromuscular, secuencia durante la contracción muscular del, 48
Sobrecarga cervical. *Véase* radiculopatía cervical
Soporte de carga
centro de gravedad del pie en el, 259-61
de la pelvis, 238
de las carillas, 99
del pie en la marcha normal, 291, 293
del pie estático, puntos de, 293
sobre el astrágalo, 259
Subida y bajada de escaleras
movimientos articulares y musculares en la, 234-35
presión rotuliana en la, 235
Subluxación palmar en enfermedades del colágeno, 185
Subsistema pasivo de la columna vertebral desprovista de musculatura, 58
Subsistemas de retroalimentación neural, estabilidad de la columna vertebral regulada por, 50
Superficial y profundo de los dedos, origen de, 152
Superficies meniscoideas intersticiales entre las apófisis cigoapofisarias, 95

T

Tabaquera anatómica de la mano, 147
dolor con la palpación y cierre de la, 191
suprayacente al hueso navicular, 164-65
Tejidos del núcleo de fuerza en la articulación metacarpiana, 185
Tendón corto del dedo gordo
acción prensil del, 275-76
inserciones del, 275
Tendón cuádriceps
inervación del, 207
láminas del, 207
rótula contenida en el, 207, 219
Tendón del bíceps
capas del (tendón del bíceps) común superficial, 228-29
fuerzas vectoriales del, 139
invaginación de la cápsula glenohumeral sinovial por el, 125
mecanismo en la acción glenohumeral del, 138-41
origen e inserción del, 121, 125, 138
paso superior por, y estabilización de la cabeza humeral, 122-23, 133
Tendón del pie anserino, 226-27
Tendón extensor largo de los dedos, arqueamiento evitado por el, 281
Tendón extensor largo del dedo gordo, arqueamiento evitado por el, 281
Tendón flexor corto del dedo gordo, 275-76
Tendón flexor largo
como flexor plantar, 277
del dedo gordo, 275-76
Tendón largo del dedo gordo
acción prensil del, 275-76
como flexor plantar, 277
inserciones del, 275
Tendón profundo en el mecanismo flexor digital, 174, 178
Tendón superficial
bandas faciales conectadas con el, 177
en el mecanismo flexor de los dedos, 174
Tendón tibial anterior
origen e inserción del, 279-80, 282
prevención del arqueamiento por el, 281
Tendón tibial posterior
como flexor plantar, 277-78
origen y unión del, 282
Tendón tibial
inserción en el primer hueso metatarsiano, anterior, 279
inserción en los huesos metatarsianos por las bases, posterior, 269-70
Tendones chasqueantes, 191
Tendones del flexor radial del carpo, 162
Tendones extensores
acción combinada en la extensión de los dedos de los músculos intrínsecos y de los, 181
componentes de los, 181
en la posición de hiperextensión, 180
vaina de los, 182-83
Tendones flexores largos del pulgar, 162
Tendones flexores
a través de la porción distal de las bandas de la fascia plantar, 269
en el tabique intermuscular intrínseco, 176
en polea, 185
inserción de los, 172-173
inserciones del (tendón flexor) largo del dedo gordo, 275
músculos lumbricales con origen en los, 178
presión y agarre de los dedos de los pies, 275-76
prevención de la subluxación de los, 184
recubiertos por los ligamentos vaginales de los dedos, 170-71
Tendones interóseos de la mano, 176-77
Tendones peroneos breve, largo y anterior, arqueamiento evitado por los, 281
Tendones
aporte vascular a los, 199-201
chasqueantes, 191
en conjunción con la fascia en el rafe, 64
en la composición del manguito de los rotadores, 122, 124, 129-31
en la prevención del arqueamiento del pie, 281
flexores plantares, 277
que atraviesan la articulación del tobillo y se insertan en el pie, 263
sustancialmente avasculares, 129
unidos a los dedos del pie, 275-76
Tensión de los músculos, 11
Terminaciones nerviosas propiorreceptoras
inervación por las, 43
posiciones de flexión prolongadas irritantes de las, 63
Tibia
articulación tibiofemoral formada por el fémur y las superficies proximales de la, 193
deslizamiento sobre los cóndilos femorales hacia el eje de rotación, 208
distribución de la carga a lo largo de las mesetas de la, 195
flexionada sobre el fémur, 209, 211
movimiento del menisco con la, 215
rotación de la, 211-13, 229, 247, 249, 292
superficie articular de la, 194
Tono muscular, intervención en la estabilidad articular del, 4
Trapecio
columna vertebral cervical extendida, flexionada y rotada por el, 109
como músculo de soporte de la escápula, 114, 115, 119, 120
origen del nervio mayor superior en el, 106-7
Traumatismo, degeneración discal causada por el, 41
Trayectoria neuromuscular de la extremidad superior, 113, 115
Triángulo de Scarpa, 248-49
Triángulo femoral, 248-49
Trocoides, 19
Tronco encefálico
anatomía macroscópica del, 3
función del, 3
patrones de las actividades neuromusculoesqueléticas del, 1
Tuberosidad isquiática, cabeza larga del músculo bíceps femoral con origen en la, 244
Tuberosidad mayor
impronta en el acromion durante el movimiento del brazo, 127, 129
músculos del tendón del manguito de los rotadores unidos a la, 129, 130
riego sanguíneo del tendón conjunto por la, 131
Túnel cubital (canal de Guyon)
contenido del, 161
nervio cubital en el, 149, 163-64

U

Unidades funcionales
de la columna lumbosacra, 27, 30, 42-44, 46, 54, 56, 85
de la columna vertebral cervical, 85, 96, 100, 109
de la columna vertebral estática (postura), 27, 29
Unión neuromuscular, 9-10

V

Vaina de mielina del axón, 10
Vaina fascial del haz muscular, elongación pasiva de la, 14
Vainas sinoviales del tendón extensor, 179-80
Vainas tendinosas de los dedos, 175
Vértebras de la columna vertebral
disco intervertebral separador de las, 27, 29
estabilidad de las, 64-66
Vértebras
arrastre de las, 31, 56, 58-59, 62-63
cervicales inferiores, 86
cervicales, 85-86, 94-95, 99, 102
conectadas mediante músculos multífidos, 68
en el soporte ligamentoso-muscular de la columna vertebral flexionada, 57
inferiores, 43
peso corporal sobre las, 237
superiores, 43

Z

Zona crítica del tendón conjunto que forma el manguito de los rotadores, 129, 131
Zonas de ligamentos en su unión a los huesos, paralelismo de las, fibrocartilaginosas, y mineralizadas, 199