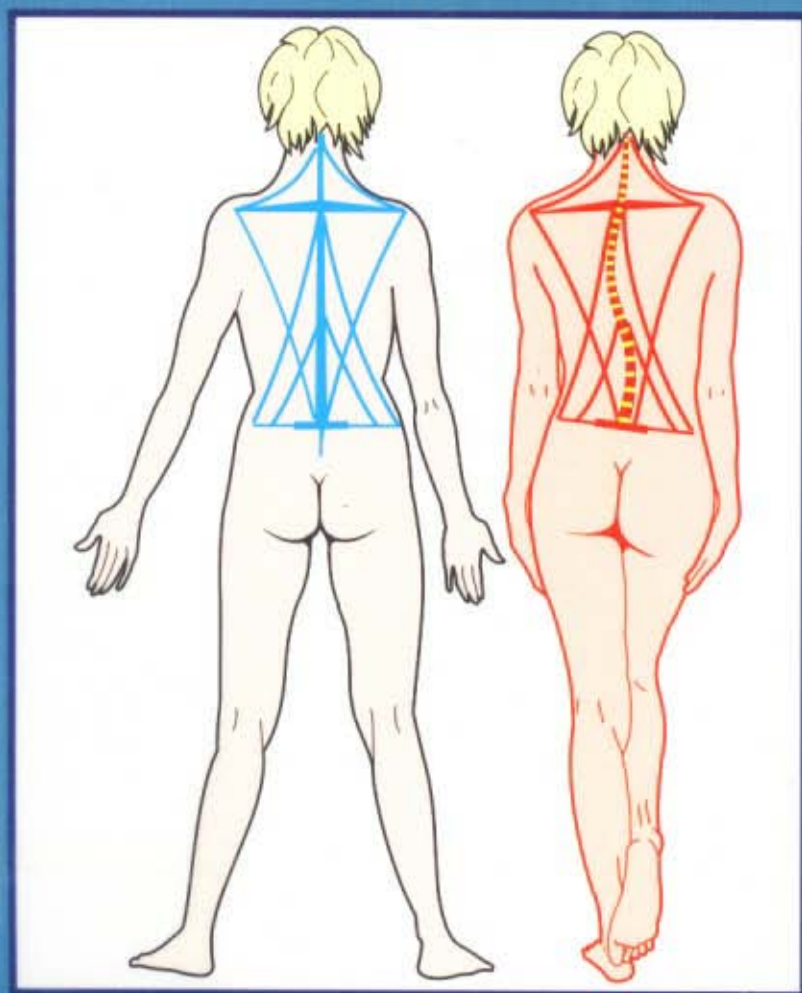


A. I. KAPANDJI

Fisiología Articular

5ª edición



3

Tronco y
Raquis

EDITORIAL MEDICA
panamericana


MALOINE

ÍNDICE

EL RAQUIS EN CONJUNTO

El raquis, eje mantenido	12
El raquis, eje del cuerpo y protector del eje nervioso	14
Las curvas del raquis en conjunto	16
La aparición de las curvas raquídeas	18
Constitución de la vértebra tipo	20
Las curvas raquídeas	22
Estructura del cuerpo vertebral	24
Las divisiones funcionales del raquis	26
Los elementos de unión intervertebral	28
Estructura del disco intervertebral	30
El núcleo comparado a una rótula	32
El estado de precompresión del disco y la autoestabilidad de la articulación discovertebral	34
La migración de agua en el núcleo	36
Las fuerzas de compresión sobre el disco	38
Variaciones del disco según el nivel	40
Comportamiento del disco intervertebral en los movimientos elementales	42
Rotación automática del raquis durante la inflexión lateral	44
Amplitudes globales de la flexoextensión del raquis	46
Amplitudes globales de la inflexión lateral del raquis en conjunto	48
Amplitudes globales de la rotación del raquis en conjunto	50
Apreciación clínica de las amplitudes globales del raquis	52

LA CINTURA PÉLVICA Y LAS ARTICULACIONES SACROILIACAS

La cintura pélvica en el hombre y en la mujer	56
Arquitectura de la cintura pélvica	58
Las superficies articulares de la articulación sacroilíaca	60
La carilla auricular del sacro	62
Los ligamentos de la sacroilíaca	64
La nutación y la contranutación	66
Las diferentes teorías de la nutación	68
La sínfisis púbica y la articulación sacrococcígea	70
Influencia de la posición sobre las articulaciones de la cintura pélvica	72

EL RAQUIS LUMBAR

El raquis lumbar en conjunto	76
Constitución de las vértebras lumbares	78
El sistema ligamentoso en el raquis lumbar	80

Flexoextensión e inflexión del raquis lumbar	82
Rotación en el raquis lumbar	84
La charnela lumbosacra y la espondilolistesis	86
Los ligamentos iliolumbares y los movimientos en la charnela lumbosacra	88
Los músculos del tronco en un corte horizontal	90
Los músculos posteriores del tronco	92
Papel de la tercera vértebra lumbar y de la duodécima vértebra dorsal	94
Los músculos laterales del tronco	96
Los músculos de la pared abdominal: el recto abdominal y el transversos	98
Músculos de la pared abdominal: el oblicuo menor y el oblicuo mayor	100
Músculos de la pared abdominal: el contorno del talle	102
Músculos de la pared abdominal: la rotación del tronco	104
Músculos de la pared abdominal: la flexión del tronco	106
Músculos de la pared abdominal: el enderezamiento de la lordosis lumbar	108
El tronco como estructura hinchable	110
Estática del raquis lumbar en bipedestación	112
Sedestación y decúbito	114
Amplitud de flexoextensión del raquis lumbar	116
Amplitud de inclinación del raquis lumbar	118
Amplitud de rotación del raquis dorsolumbar	120
El agujero de conjunción y el cuello radicular	122
Diferentes tipos de hernia discal	124
Hernia discal y mecanismo de compresión radicular	126
El signo de Lasègue	128

EL RAQUIS DORSAL Y LA RESPIRACIÓN

La vértebra dorsal tipo y la duodécima dorsal	132
Flexoextensión e inflexión lateral del raquis dorsal	134
Rotación axial del raquis dorsal	136
Las articulaciones costovertebrales	138
Movimientos de las costillas en torno a las articulaciones costovertebrales	140
Movimientos de los cartílagos costales y del esternón	142
Las deformaciones del tórax en el plano sagital durante la inspiración	144
Mecanismo de los músculos intercostales y del músculo triangular del esternón	146
El diafragma y su mecanismo	148
Los músculos de la respiración	150
Relación de antagonismo-sinergia entre el diafragma y los músculos abdominales	152
La circulación aérea en las vías respiratorias	154
Los volúmenes respiratorios	156
Fisiopatología respiratoria-Los tipos respiratorios	158
El espacio muerto	160
La complianza torácica	162
Movilidad elástica de los cartílagos costales	164

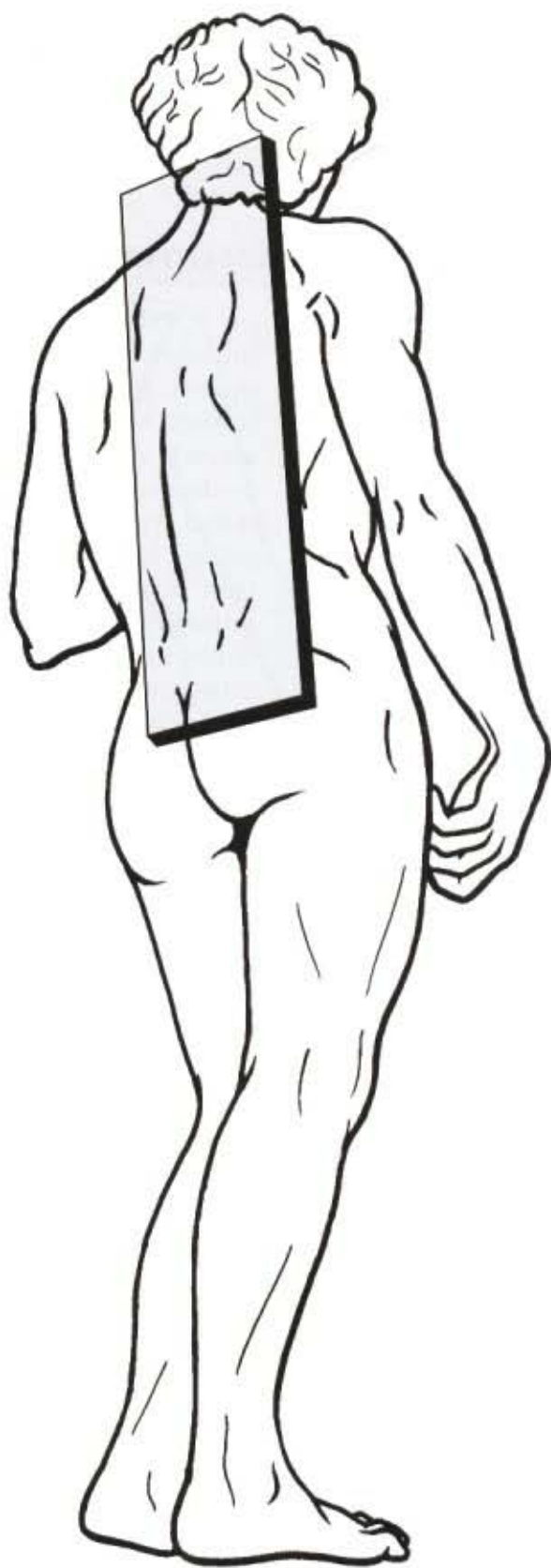
Mecanismo de la tos-Cierre de la glotis	166
Los músculos de la laringe y la protección de las vías aéreas durante la deglución	168

EL RAQUIS CERVICAL

El raquis cervical en conjunto	172
Constitución esquemática de las tres primeras vértebras cervicales	174
Las articulaciones atlóidoaxoideas	176
La flexoextensión en las articulaciones atlóidoaxoideas y atlóidoodontoideas	178
Rotación en las articulaciones atlóidoaxoideas y atlóidoodontoideas	180
Las superficies de la articulación occipitoatlóidea	182
La rotación en las articulaciones occipitoatlóideas	184
La inclinación lateral y la flexoextensión en la articulación occipitoatlóidea	186
Los ligamentos del raquis suboccipital	188
Los ligamentos suboccipitales	190
Constitución de una vértebra cervical	194
Los ligamentos del raquis cervical inferior	196
Flexoextensión en el raquis cervical inferior	198
Los movimientos en las articulaciones uncovertebrales	200
La orientación de las carillas articulares-El eje mixto de rotación-inclinación	202
Los movimientos combinados de inclinación-rotación en el raquis cervical inferior	204
Determinaciones geométricas de los componentes de inclinación y de rotación	206
Modelo mecánico del raquis cervical	208
Los movimientos de inclinación-rotación en el modelo del raquis cervical	210
Comparaciones entre el modelo y el raquis cervical durante los movimientos de inclinación-rotación	212
Las compensaciones en el raquis suboccipital	212
Amplitud articular en el raquis cervical	216
Equilibrio de la cabeza sobre el raquis cervical	218
Constitución y acción del músculo esternocleidomastoideo	220
Los músculos prevertebrales: el largo del cuello	222
Los músculos prevertebrales: los rectos anteriores mayor y menor de la cabeza y el recto lateral	224
Los músculos prevertebrales: los escalenos	226
Los músculos prevertebrales en conjunto	228
La flexión de la cabeza y el cuello	230
Los músculos de la nuca	232
Los músculos suboccipitales	234
Acción de los músculos suboccipitales: inclinación y extensión	236
Acción rotadora de los músculos suboccipitales	238
Los músculos de la nuca: el primer y el cuarto planos	240
Los músculos de la nuca: el segundo y el tercer planos	242
La extensión del raquis cervical por los músculos de la nuca	244
Sinergia-antagonismo de los músculos prevertebrales y del esternocleidomastoideo	246
Las amplitudes globales del raquis cervical	248
Nexos entre el eje nervioso y el raquis cervical	250
Nexos entre las raíces cervicales y el raquis	252

CAPÍTULO I

EL RAQUIS EN CONJUNTO



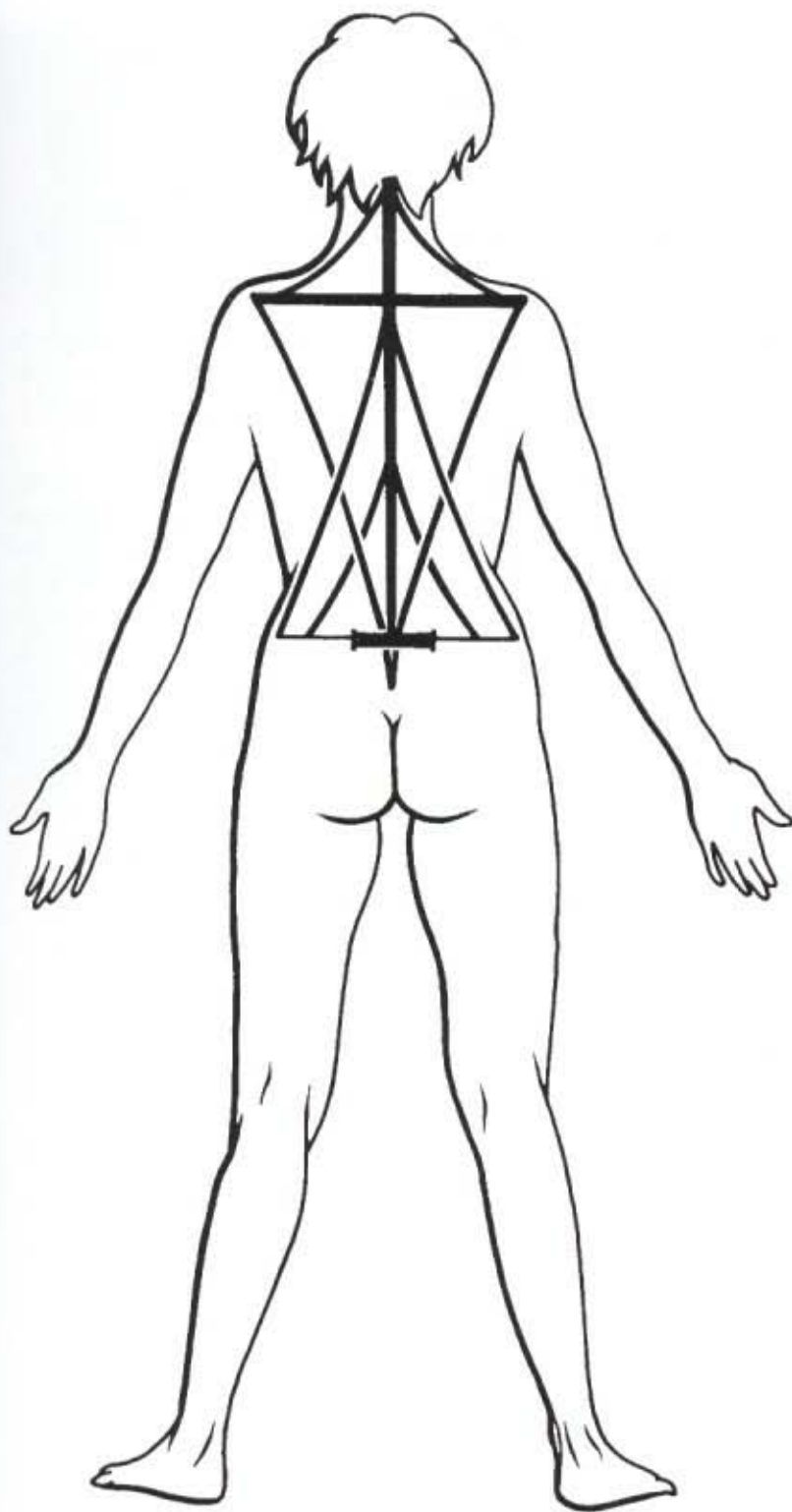
EL RAQUIS, EJE MANTENIDO

El raquis, eje del cuerpo, debe conciliar dos imperativos mecánicos contradictorios: la *rigidez* y la *flexibilidad*. Esto lo consigue gracias a su **estructura mantenida**. De hecho (Fig. 1), se puede considerar el raquis en conjunto como el mástil de un navío. Dicho mástil, apoyado sobre la pelvis, continua hacia la cabeza y a la altura de los hombros soporta una gran verga transversal: la cintura escapular. Existen en cada nivel, *tensores ligamentosos y musculares* dispuestos a modo de maromas, es decir, uniendo el mástil mismo a su base de implantación, la pelvis. En la cintura escapular se haya un segundo sistema de maromas que constituye un rombo de eje mayor vertical y de eje menor transversal. En la *posición simétrica*, las tensiones están equilibradas en ambos lados y el mástil es vertical y rectilíneo.

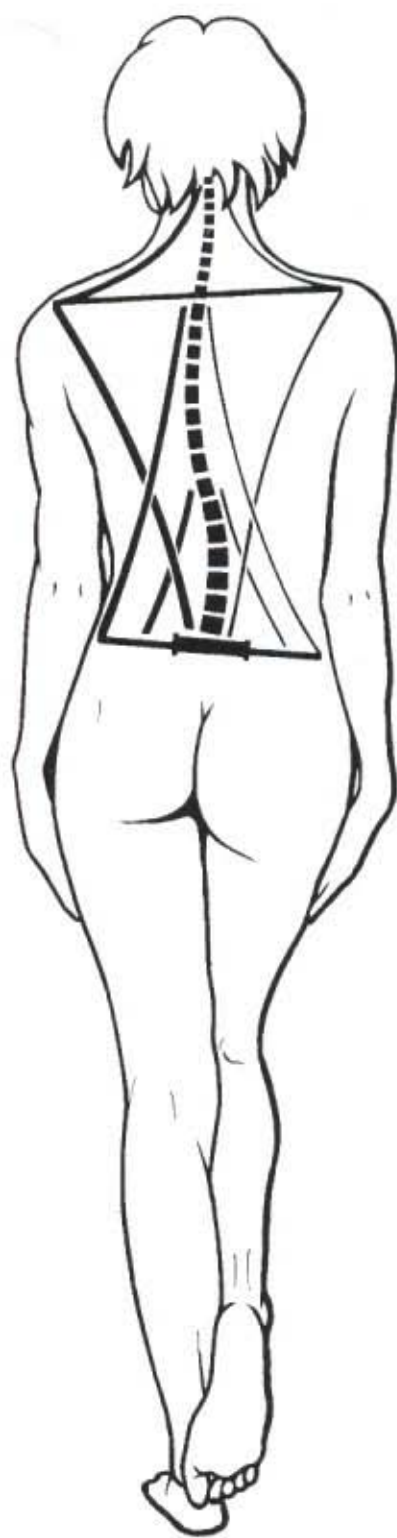
En la *posición de carga unilateral* (Fig. 2), cuando el peso del cuerpo recae sobre un solo

miembro inferior, la pelvis bascula hacia el lado opuesto y el raquis se ve obligado a seguir un trayecto sinuoso: en un primer momento, convexo en la zona lumbar hacia el lado del miembro en descarga, a continuación, cóncavo en la zona dorsal y por último, convexo. Los tensores musculares regulan de forma automática su tensión para restablecer el equilibrio; y esto bajo la influencia del sistema nervioso central. Por lo tanto, en este caso, se trata de una adaptación activa merced al ajuste permanente del tono de los distintos músculos de la postura por el sistema extrapiramidal.

La *flexibilidad* del eje raquídeo se debe a su configuración por *múltiples piezas superpuestas*, unidas entre sí mediante elementos ligamentosos y musculares. De este modo, esta estructura puede deformarse aún permaneciendo rígida bajo la influencia de tensores musculares.



1



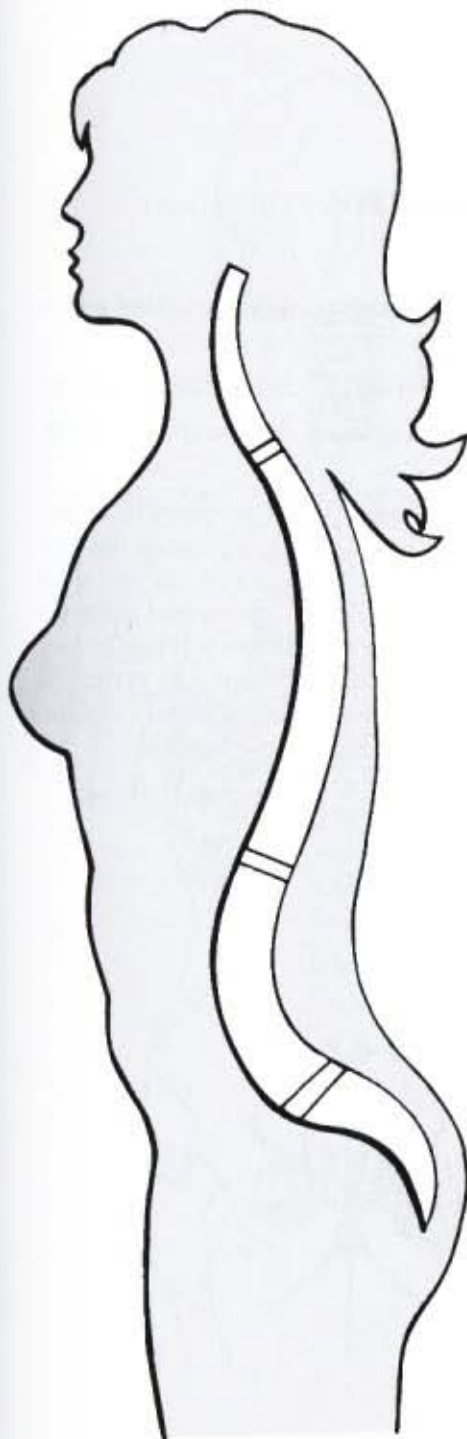
2

EL RAQUIS, EJE DEL CUERPO Y PROTECTOR DEL EJE NERVIOSO

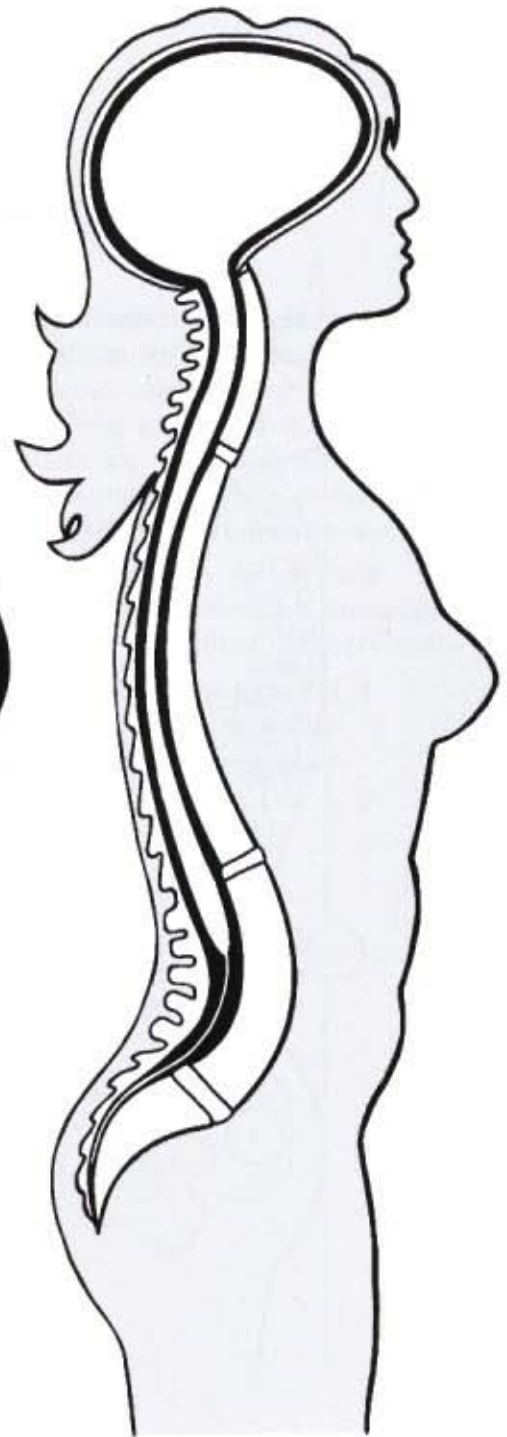
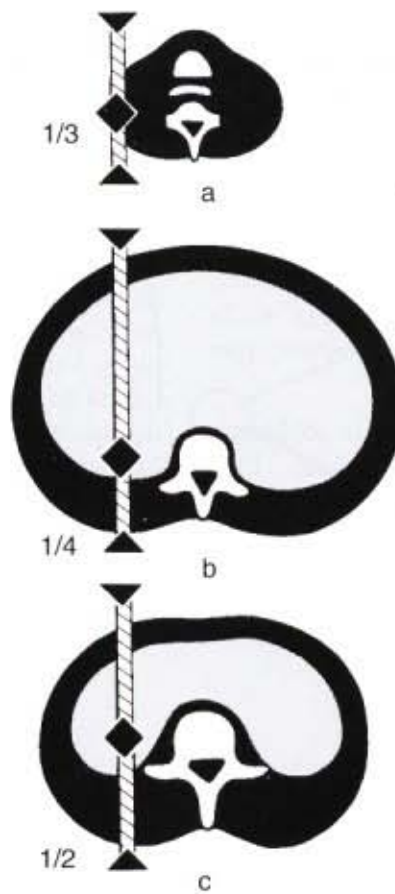
La columna vertebral constituye realmente el **pilar central del tronco** (Fig. 3). De hecho, si en su porción *dorsal* (corte b) el raquis se aproxima al plano posterior que se localiza a un cuarto del espesor del tórax, en su porción *cervical* (corte a), el raquis ya se sitúa más central, en el tercio del espesor del cuello. En su porción *lumbar* (corte c), el raquis es totalmente central, ya que se localiza a la mitad del espesor del tronco. Esta diferencia de localización, se debe a distintas razones que varían según el nivel. En su porción cervical, el raquis soporta el cráneo y debe situarse lo más próximo posible a su centro de gravedad. En cuanto a su porción torácica, los órganos del mediastino, especialmente el corazón, desplazan el raquis hacia atrás. Sin embargo en su por-

ción lumbar, el raquis, que soporta entonces el peso de toda la parte superior del tronco, recupera una posición central, constituyendo una prominencia en la cavidad abdominal.

Además de la citada función de soporte del tronco, el raquis desempeña un papel **protector del eje nervioso** (Fig. 4): el canal raquídeo que comienza a la altura del agujero occipital, alberga el bulbo y la médula, de modo que constituye un protector flexible y eficaz del citado eje nervioso. Esta protección no deja de tener su contrapartida, ya que, en ciertas condiciones y en determinados puntos, tanto el eje nervioso como los ejes raquídeos que emanan del mismo pueden entrar en conflicto, tal como se podrá ver más adelante, con su capa protectora raquídea.



3



4

LAS CURVAS DEL RAQUIS EN CONJUNTO

Considerada en conjunto, la columna vertebral es rectilínea vista *de frente o de espaldas* (Fig. 5). No obstante, en algunos individuos puede darse una curva transversal sin que, por ello, se pueda afirmar que se trate de una curva patológica, evidentemente siempre y cuando permanezca dentro de estrechos límites.

En cambio, *en el plano sagital* (Fig. 6) la columna vertebral presenta *cuatro curvas*, que son, de abajo arriba:

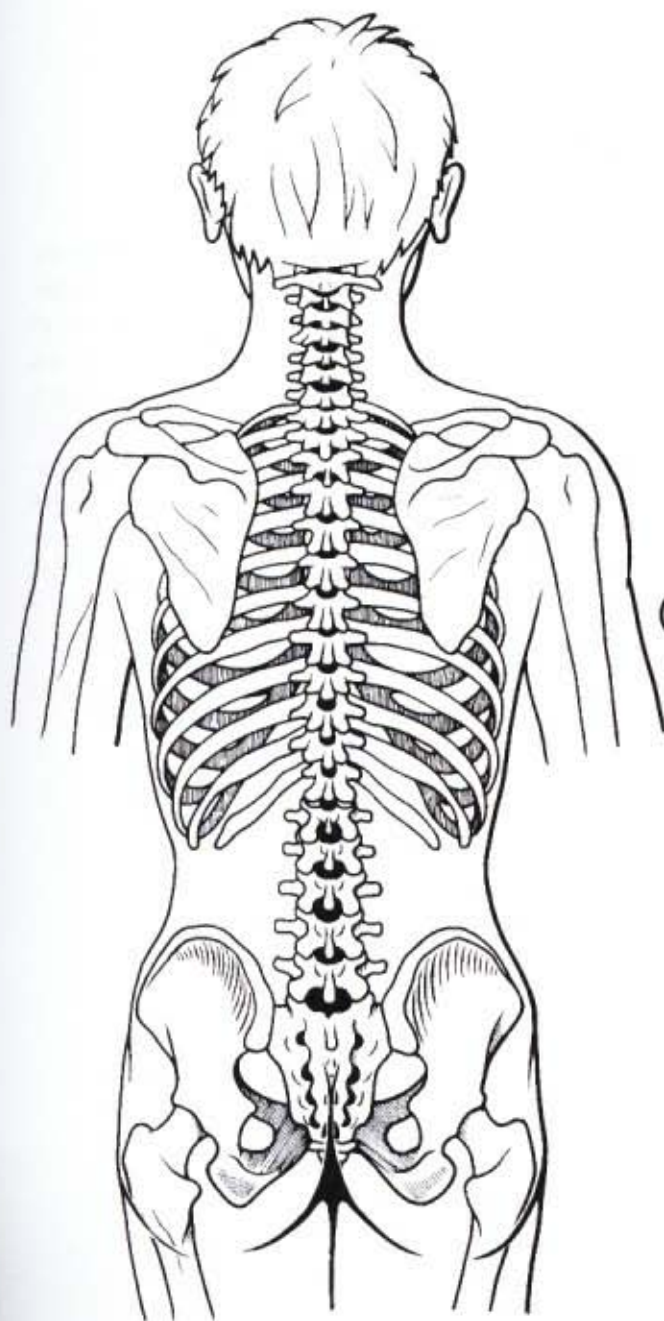
1. la **curva sacra**, fija debido a la soldadura definitiva de las vértebras sacras. Esta curva es de concavidad anterior;

2. la **lordosis lumbar**, de concavidad posterior;

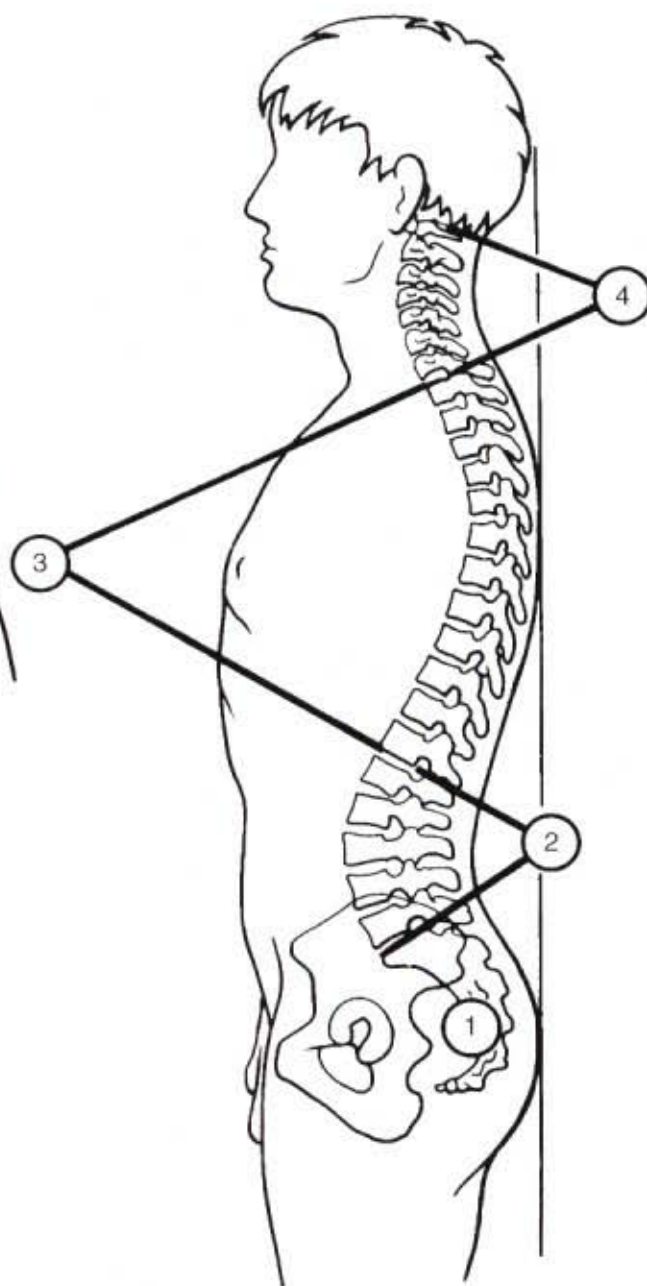
3. la **cifosis dorsal**, de convexidad posterior;

4. la **lordosis cervical**, de concavidad posterior.

Cuando el individuo está en equilibrio normal, en bipedestación, la parte posterior del cráneo, la espalda y los glúteos son tangentes a un plano vertical; una pared, por ejemplo. La importancia de las curvas queda patente por las *flechas*, distancias entre este plano vertical y el vértice de las curvas. Estas flechas se definirán más adelante en relación a cada segmento raquídeo.



5



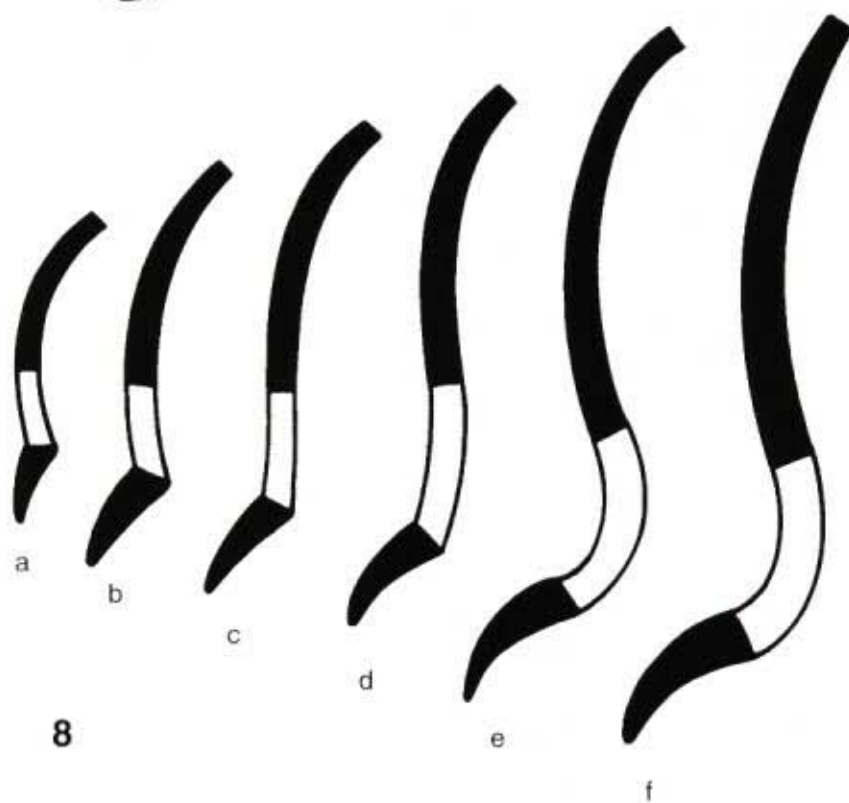
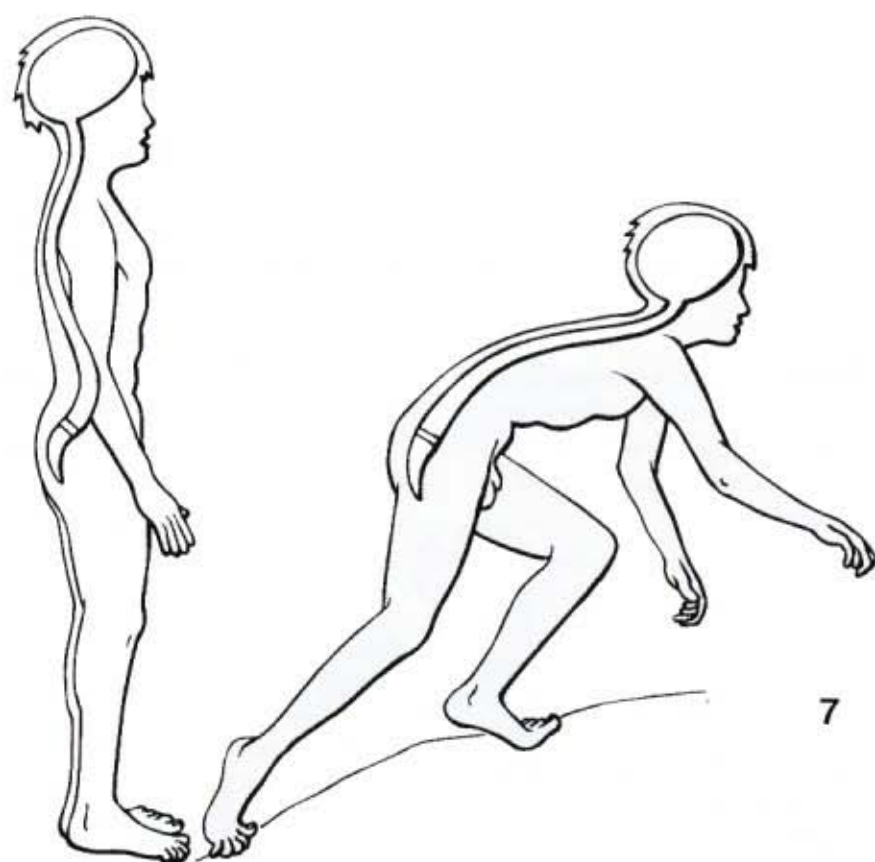
6

LA APARICIÓN DE LAS CURVAS RAQUÍDEAS

Durante la **filogénesis**, es decir en el transcurso de la *evolución de la especie* humana a partir de los prehomínidos, el paso de la cuadrupedia a la bipedestación (Fig. 7) indujo al enderezamiento y después a la inversión de la curva lumbar, inicialmente cóncava hacia delante; de este modo apareció la *lordosis lumbar* cóncava hacia atrás. De hecho, la retroversión pélvica no "absorbió" en su totalidad el ángulo de enderezamiento del tronco; persiste cierto ángulo que la curva del raquis lumbar debe anular. Así se explica esta lordosis lumbar que, por otra parte, varía según los individuos, dependiendo del grado de anteversión o de retroversión de la pelvis.

Durante la **ontogénesis**, es decir en el *transcurso del desarrollo del individuo* (Fig. 8, según T.A. Willis), se puede comprobar como, en el caso del raquis lumbar, se lleva a cabo la misma evolución. El primer día de vida (a), el raquis lumbar es cóncavo hacia delante. Con cinco meses (b), la curva sigue siendo ligeramente cóncava hacia delante; no es hasta los trece meses que el raquis lumbar se hace rectilíneo. A partir de los tres años (d) se puede apreciar una ligera lordosis lumbar que se consolidará a los 8 años (e) y adoptará su curva definitiva a los 10 años (f).

De este modo, la evolución del individuo es paralela a la evolución de la especie.



CONSTITUCIÓN DE LA VÉRTEBRA TIPO

Cuando se descompone una **vértebra tipo** en sus diferentes partes constitutivas (Fig. 9); se puede constatar que está compuesta por dos partes principales: el *cuerpo vertebral* por delante y el *arco posterior* por detrás.

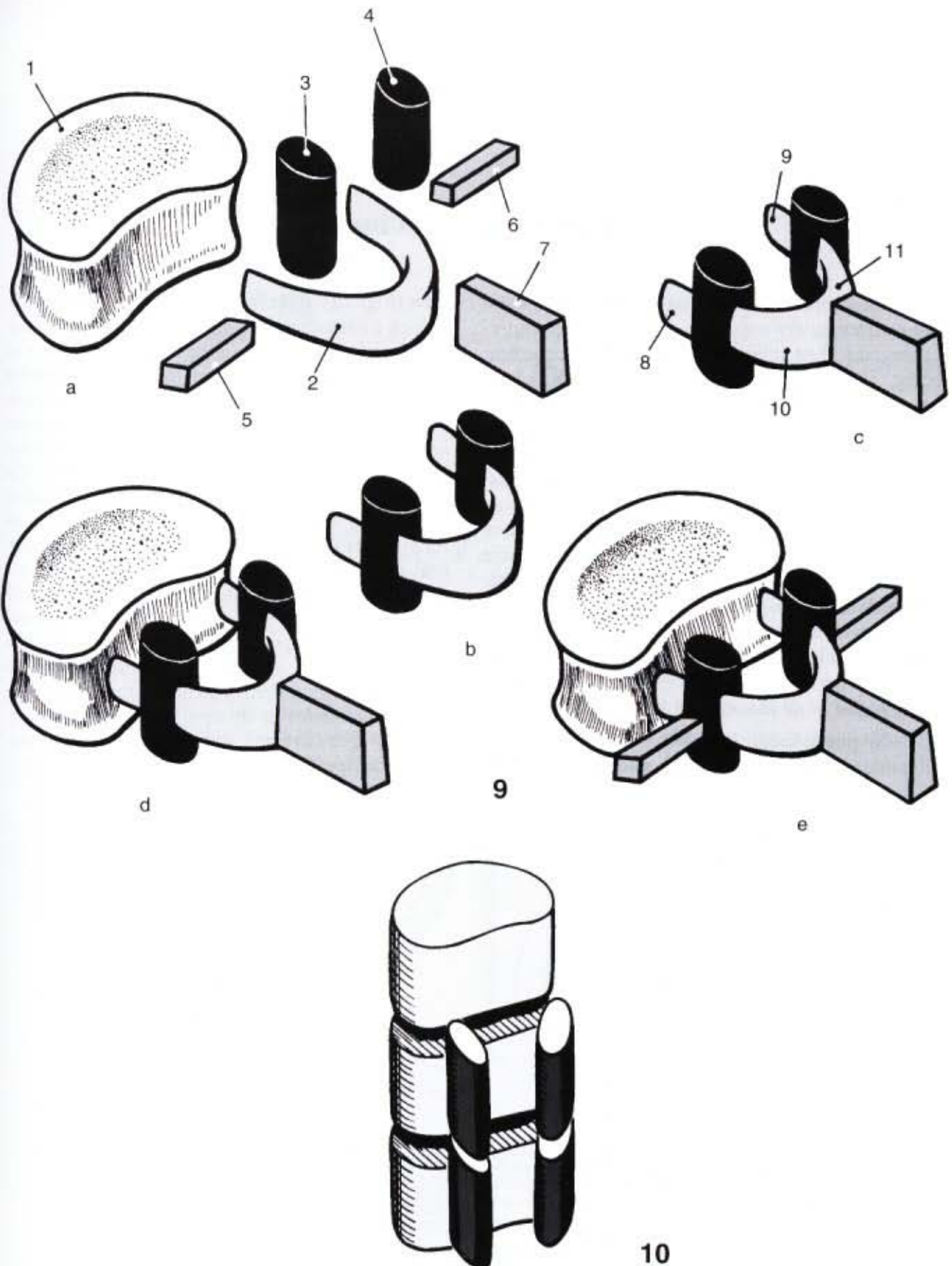
En una vista "desarmada" (a), el *cuerpo vertebral* (1) es la parte más gruesa de la vértebra: por lo general tiene una forma cilíndrica menos alta que ancha, con una cara posterior cortada. El arco posterior (2) tiene forma de herradura. A ambos lados de este arco posterior (b) se fija el macizo de las *apófisis articulares* (3 y 4); de modo que se delimitan dos partes en el mismo (c): por un lado, se localizan los *pedículos* (8 y 9) por delante del macizo de las articulares; y por otro, se sitúan las *láminas* (10 y 11) por detrás del macizo de las articulares; por detrás, en la línea media, se fija la *apófisis espinosa* (7). Este arco posterior así constituido, se une (d) a la cara posterior del cuerpo vertebral mediante los pedículos. Además, la vértebra completa incluye las *apófisis transversas* (5 y 6) que se unen al arco posterior casi a la altura del macizo de las articulares.

Esta vértebra tipo se localiza en todos los niveles del raquis con, claro está, importantes modificaciones que pueden darse tanto en el cuer-

po vertebral como en el arco posterior, y generalmente en ambas partes a la vez.

Sin embargo, es importante señalar que estas distintas partes constitutivas se corresponden en sentido vertical. De este modo, a lo largo de todo el raquis, se establecen **tres columnas** (Fig. 10):

- por delante, una *columna principal* formada por el apilamiento de los cuerpos vertebrales;
- por detrás del cuerpo vertebral, dos *columnas secundarias* constituidas por el apilamiento de las apófisis articulares. Los cuerpos vertebrales están unidos entre sí por el disco intervertebral; mientras que las apófisis articulares lo están por articulaciones del tipo de las artrodias. En cada nivel existe un agujero vertebral delimitado por delante por el cuerpo vertebral y por detrás por el arco posterior. La sucesión de todos estos agujeros vertebrales conforma, a lo largo de todo el eje raquídeo, el *canal raquídeo*, formado alternativamente por partes óseas, en cada vértebra, y por partes ligamentosas, entre las vértebras a la altura del disco intervertebral y de los ligamentos del arco posterior.



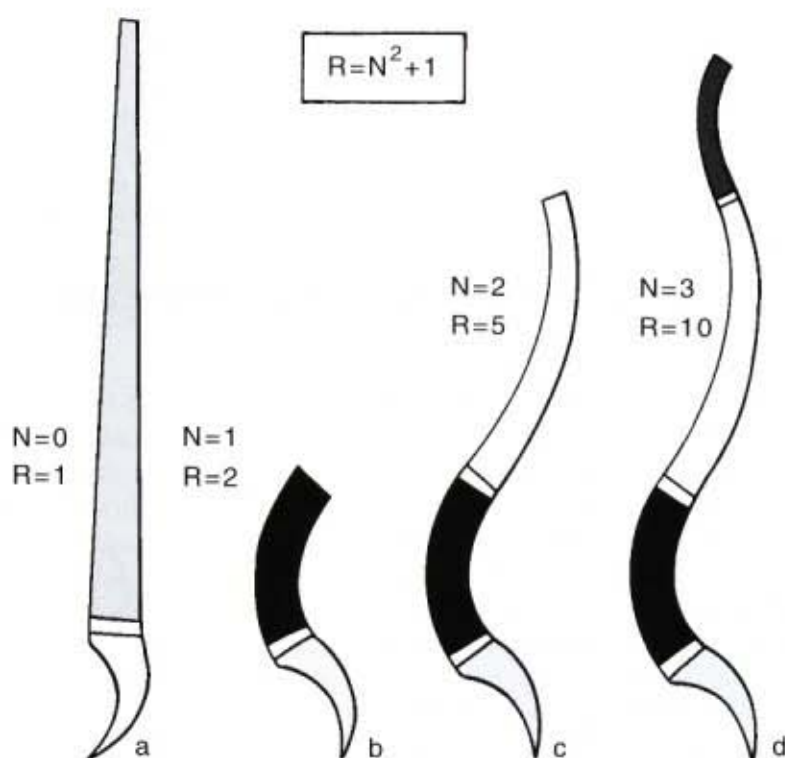
LAS CURVAS RAQUÍDEAS

La existencia de curvas raquídeas aumenta la resistencia del raquis a las fuerzas de compresión axial. Los ingenieros han podido demostrar (Fig. 11) que la resistencia de una columna con curvas es *proporcional al cuadrado del número de curvas más uno*. Por lo tanto, si se toma como referencia una columna rectilínea (a), cuyo número de curvas es igual a 0, y se considera su resistencia como unidad; en una columna con una sola curva (b), su resistencia es el doble de la primera. En una columna con dos curvas (c) su resistencia es cinco veces mayor que la de la columna rectilínea. Por último, en el caso de una columna con tres curvas móviles (d) como la columna vertebral con su lordosis lumbar, su cifosis dorsal y su lordosis cervical, *su resistencia es diez veces mayor que la de la columna rectilínea*.

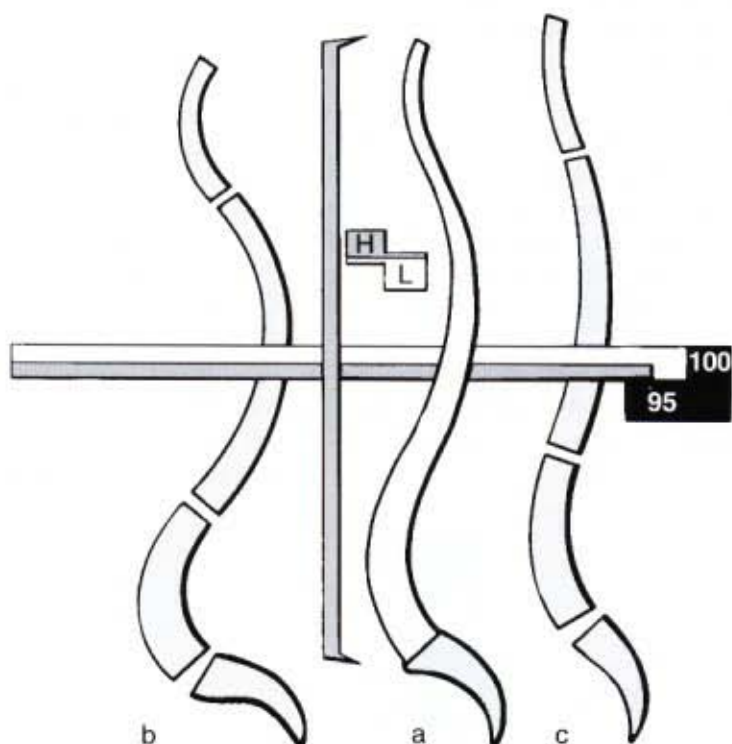
Se puede medir la importancia de las curvas raquídeas mediante el **índice raquídeo de Del-**

mas (Fig. 12). Este índice no puede medirse más que en un modelo anatómico: consiste en la relación existente entre la *longitud alcanzada por el raquis* desde la meseta de la primera vértebra sacra hasta el atlas y la *altura* entre la meseta superior de S₁ y el atlas. Un raquis con *curvas normales* (a) tiene un índice de 95%; los límites máximos del raquis normal son 95 y 96%. Un raquis con *curvas acentuadas* (b) posee un índice de Delmas inferior a 94%. Esto significa que su longitud es claramente mayor que su altura. Sin embargo, un raquis *con curvas poco pronunciadas* (c), es decir casi rectilíneo, posee un índice de Delmas superior a 96%. Esta clasificación anatómica es muy importante puesto que existe una relación entre la misma y el tipo funcional. De hecho, A. Delmas demostró que el raquis con *curvas pronunciadas* es de *tipo funcional dinámico*, mientras que el raquis con *curvas poco acentuadas* es de *tipo funcional estático*.

11



12



ÍNDICE CURVAS TIPO	bajo	94	medio	96	alto
	pronunciadas		intermedias		atenuadas
	dinámico		intermedio		estático
Índice raquídeo de DELMAS		H (altura) X 100			
		L (Longitud alcanzada)			

ESTRUCTURA DEL CUERPO VERTEBRAL

El cuerpo vertebral tiene la estructura de un hueso corto (Fig. 14); es decir, una **estructura en cascarón** con una *cortical* de hueso denso rodeando al *tejido esponjoso*. La cortical de la cara superior y de la cara inferior del cuerpo vertebral se denomina *meseta vertebral* (m). Este es más espeso en su parte central donde se halla una porción cartilaginosa. La periferia forma un reborde (Fig. 13), el *rodete marginal* (r). Este rodete procede del punto de osificación epifisaria que tiene la forma de un anillo y se une al resto del cuerpo vertebral hacia los 14 ó 15 años de edad. Las alteraciones de osificación de este núcleo epifisario constituyen la epifisitis vertebral o la enfermedad de Schauermann.

En un corte verticofrontal del cuerpo vertebral (Fig. 14), se puede constatar con claridad, a cada lado, corticales espesas, arriba y abajo, la meseta tibial cubierta por una capa cartilaginosa y en el centro del cuerpo vertebral trabéculas de hueso esponjoso que se distribuyen siguiendo *líneas de fuerza*. Estas líneas son *verticales* y unen la meseta superior y la inferior, u *horizontales* que unen las dos corticales laterales, o también *oblicuas*, uniendo entonces la meseta inferior con las corticales laterales.

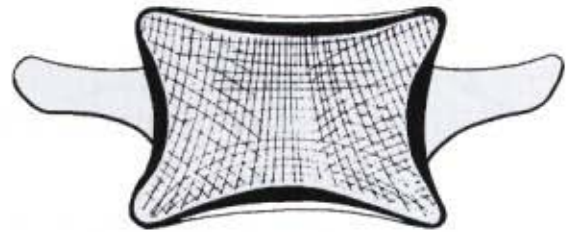
En un corte sagital (Fig. 15), aparecen nuevamente las citadas trabéculas verticales pero, además, existen dos sistemas de fibras oblicuas denominadas *fibras en abanico*. Por una parte (Fig. 16), un abanico que se origina en la *meseta superior* para expandirse, a través de los dos pedículos, hacia la apófisis articular superior de cada lado y la apófisis espinosa. Por otra parte (Fig. 17), un abanico que se origina en la *meseta inferior* para expandirse, a través de los dos pedículos, hacia las dos apófisis articulares inferiores y la apófisis espinosa.

El cruce de estos tres sistemas trabeculares establece puntos de gran resistencia, pero también *un punto de menor resistencia*, y en particular un triángulo de base anterior donde no existen más que trabéculas verticales (Fig. 18).

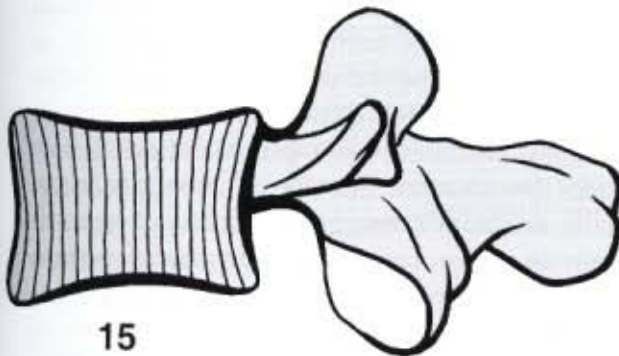
Esto explica la fractura cuneiforme del cuerpo vertebral (Fig. 19): de hecho, ante una fuerza de compresión axial de 600 kg la parte anterior del cuerpo vertebral se aplasta: se trata de una *fractura por aplastamiento*. Para aplastar enteramente el cuerpo vertebral además de hacer que "el muro posterior" ceda (Fig. 20), se precisa una fuerza de compresión axial de 800 kg.



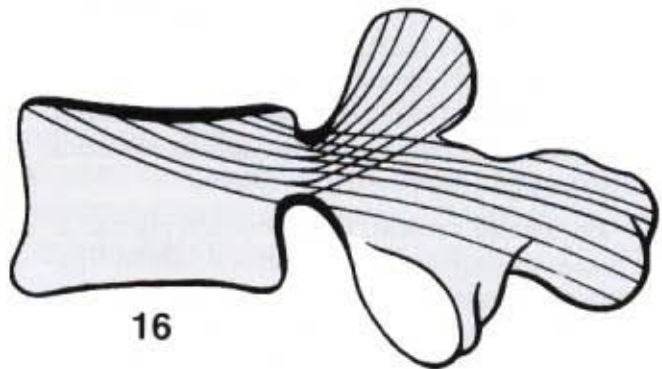
13



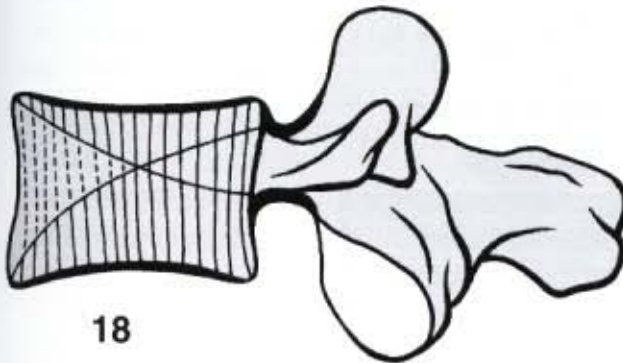
14



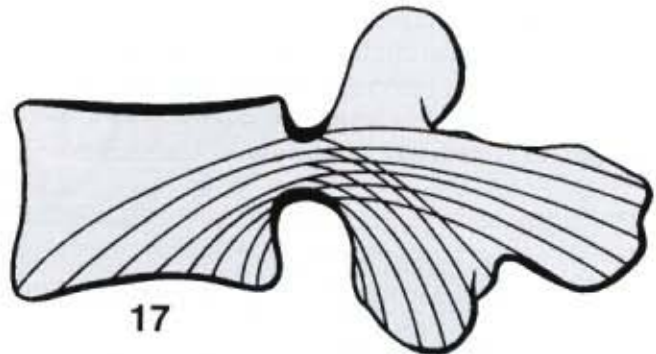
15



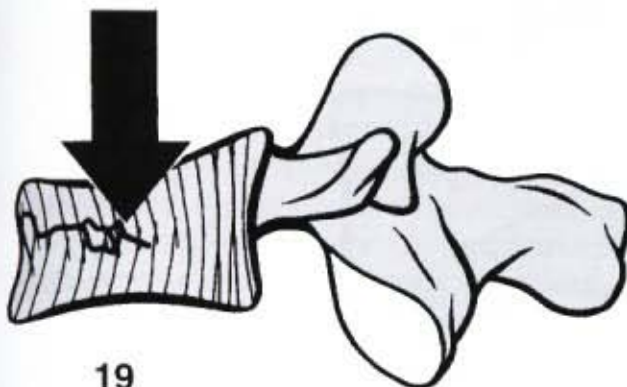
16



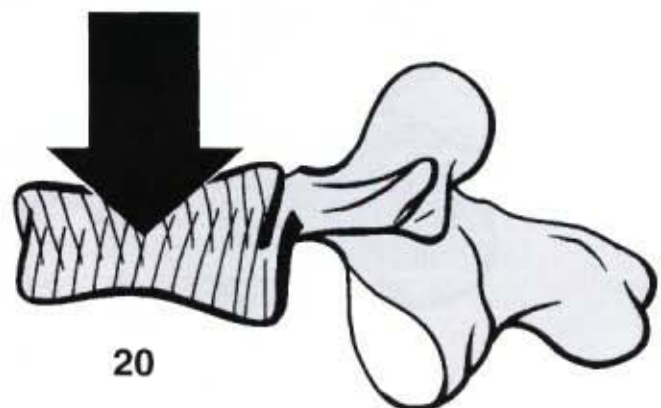
18



17



19



20

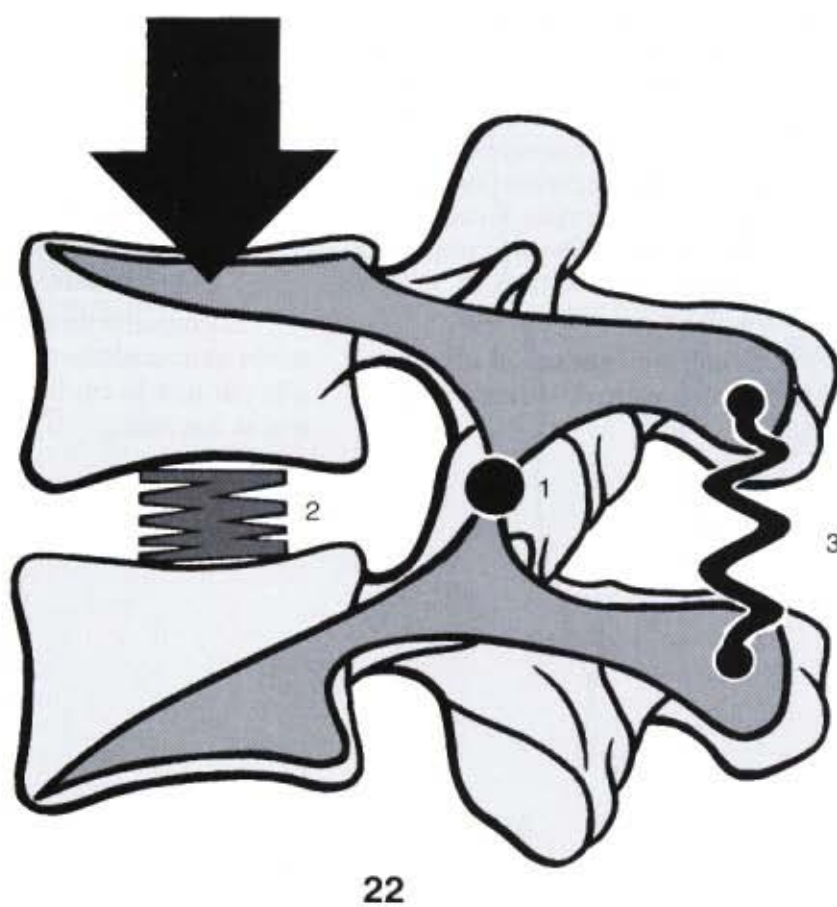
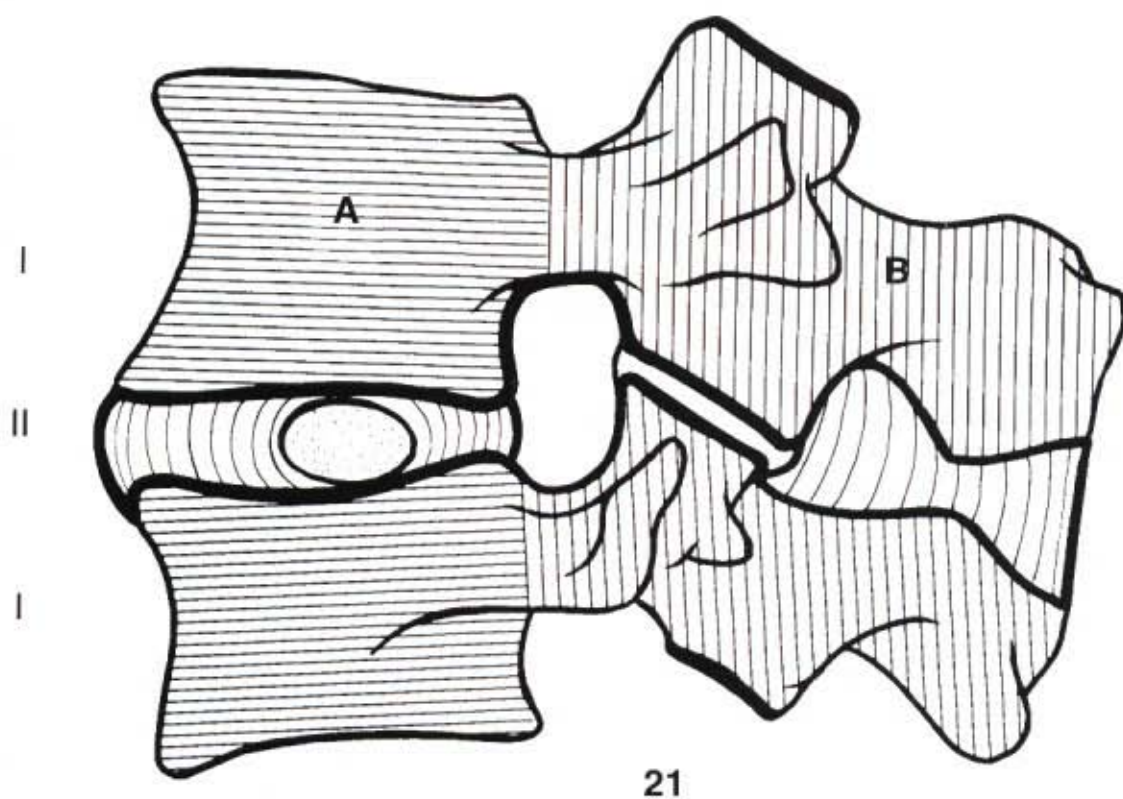
LAS DIVISIONES FUNCIONALES DEL RAQUIS

En una vista lateral del raquis (Fig. 21, según Bruguer) se pueden distinguir con facilidad las distintas divisiones funcionales. Por delante (A) se localiza el **pilar anterior**, cuya función es principalmente de *soporte*. Por detrás, el **pilar posterior** (B), donde se hallan, como se pudo ver con anterioridad, las columnas *articulares*, sujetas por el arco posterior. Mientras que el pilar anterior desempeña una *función estática*, el pilar posterior (B) desempeña una *función dinámica*.

En sentido vertical, la disposición alterna de las piezas óseas y de los elementos de unión ligamentosa permite distinguir según Schmorl, un **segmento pasivo** (I) constituido por la vértebra misma, y un **segmento motor** (II) cuyo contorno, en la figura, está representado por un grueso trazo negro. Este segmento motor comprende de delante atrás: el disco intervertebral, el agujero de conjunción, las articulaciones interapofisarias y, por último, el ligamento amarillo y el interespinoso.

La movilidad de este segmento motor es responsable de los movimientos de la columna vertebral.

Existe una *relación funcional entre el pilar anterior y el pilar posterior* (Fig. 22) que queda asegurada por los pedículos vertebrales. Si se considera la estructura trabecular de los cuerpos vertebrales y de los arcos posteriores, se puede comparar cada vértebra a una palanca de primer grado, denominada "interapoyo", donde la articulación interapofisaria (1) desempeña el papel de punto de apoyo. Este sistema de palanca permite amortiguar las fuerzas de compresión axial sobre la columna: *amortiguación indirecta y pasiva* en el disco intervertebral (2), *amortiguación indirecta y activa* en los músculos de las correderas vertebrales (3), todo esto mediante las palancas que forma cada arco posterior. Por lo tanto, la amortiguación de las fuerzas de compresión es *a la vez pasiva y activa*.



LOS ELEMENTOS DE UNIÓN INTERVERTEBRAL

Entre el sacro y la base del cráneo, la columna vertebral intercala *veinticuatro piezas móviles*; numerosos elementos ligamentosos aseguran la unión entre estas diferentes piezas.

En un corte horizontal (Fig. 23) y en una vista lateral (Fig. 24), se pueden distinguir estos elementos fibrosos y ligamentosos:

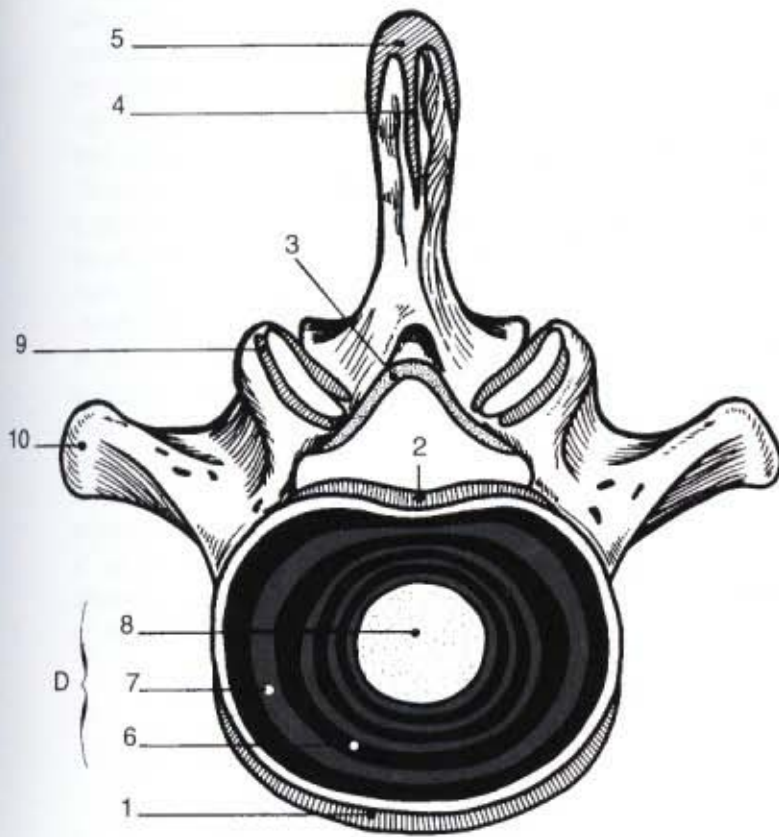
En primer lugar, los **anexos al pilar anterior**:

1. el *ligamento vertebral común anterior* (1), que se extiende de la base del cráneo hasta el sacro en la cara anterior de los cuerpos vertebrales;
2. el *ligamento vertebral común posterior* (2), que, en la cara posterior de los cuerpos vertebrales, se extiende de la apófisis basilar del occipital hasta el canal sacro. Entre estos dos ligamentos de gran extensión, en cada nivel, la unión queda asegurada por el *disco intervertebral* (D), que consta de dos partes, una, periférica, el *anillo fibroso*, constituido por capas fibrosas concéntricas (6 y 7), y otra, central, el *núcleo pulposo* (8).

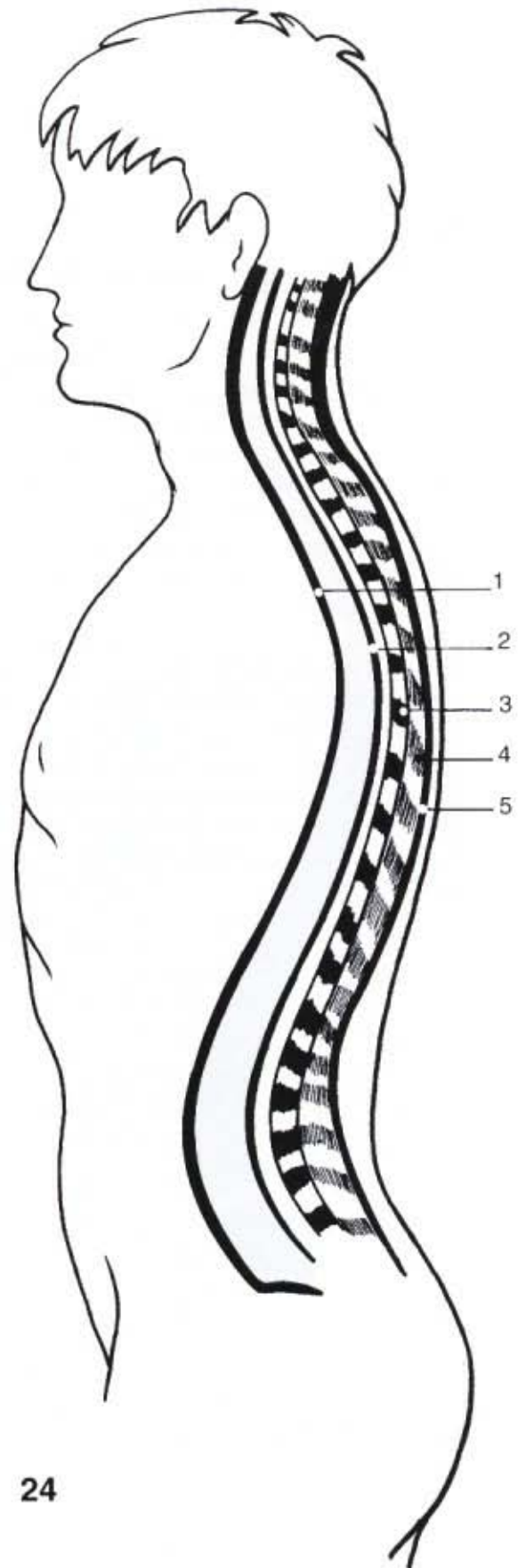
Numerosos ligamentos **anexos al arco posterior** aseguran la unión entre dos arcos vertebrales adyacentes:

1. el *ligamento amarillo* (3), muy denso y resistente, que se une a su homólogo en la línea media y se inserta, por arriba en la cara profunda de la lámina vertebral de la vértebra suprayacente y, por abajo en el borde superior de la lámina vertebral de la vértebra subyacente;
2. el *ligamento interespinoso* (4), que se prolonga por detrás mediante el *ligamento supraespinoso* (5). Este ligamento supraespinoso está poco individualizado en la porción lumbar; en cambio, es muy nítido en el tramo cervical;
3. en el extremo de cada apófisis transversa se inserta, a cada lado, el *ligamento intertransverso* (10);
4. por último, en las articulaciones interapofisarias, existen potentes *ligamentos interapofisarios* (9) que refuerzan la *cápsula* de estas articulaciones: ligamento anterior y ligamento posterior.

El conjunto de estos ligamentos asegura una unión extremadamente sólida entre las vértebras, a la par que le confiere al raquis una gran resistencia mecánica.



23



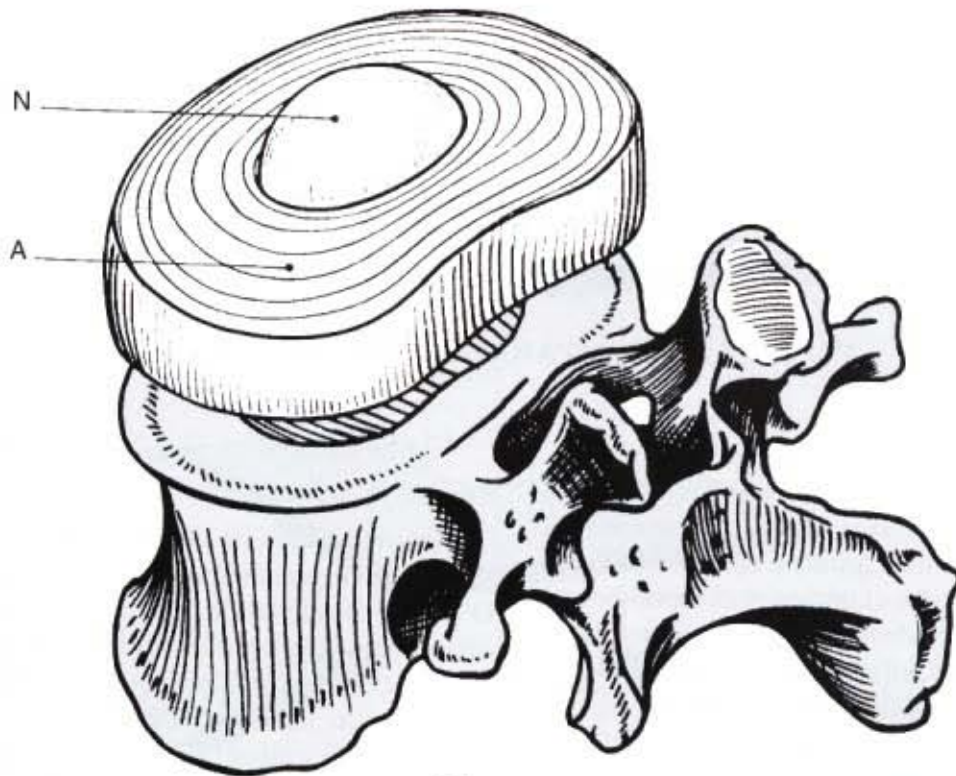
24

ESTRUCTURA DEL DISCO INTERVERTEBRAL

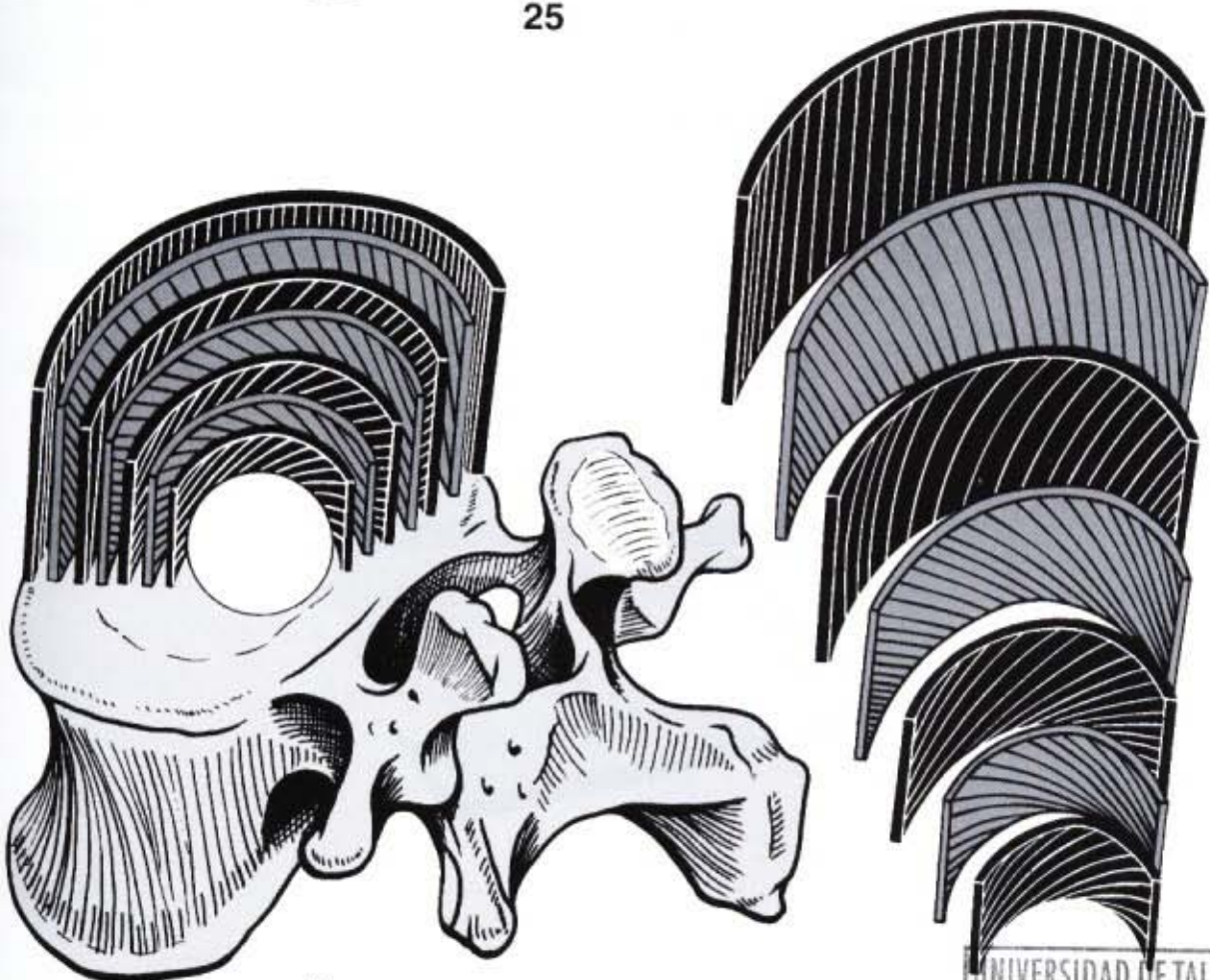
La articulación entre dos cuerpos vertebrales adyacentes es una **anfiartrosis**. Esta constituida por las *dos mesetas* de las vértebras adyacentes unidas entre sí por el *disco intervertebral*. La estructura de este disco es muy característica. De hecho, consta (Fig. 25) de dos partes.

Una parte central, el *núcleo pulposo* (N), sustancia gelatinosa que deriva embriológicamente de la cuerda dorsal del embrión. Se trata de una gelatina transparente, compuesta por un 88% de agua y por tanto muy hidrófila, y está químicamente formada por una sustancia fundamental a base de mucopolisacáridos. Se ha identificado en ella sulfato de condroitina mezclado con proteínas, cierto tipo de ácido hialurónico y keratosulfato. Desde el punto de vista histológico, el núcleo contiene fibras colágenas y células de aspecto condrocitario, células conjuntivas y raras aglomeraciones de células cartilaginosas. *No hay vasos ni nervios en el interior del núcleo*. Sin embargo, el núcleo está tabicado por tractos fibrosos que parten de la periferia.

Una parte periférica, el *annulus fibrosus* (A) o anillo fibroso, conformado por una sucesión de capas fibrosas concéntricas, cuya oblicuidad está cruzada cuando se pasa de una capa a la contigua, tal como se ha representado en la parte izquierda (a) del esquema; en su parte derecha (b), también se puede constatar que las fibras son verticales en la periferia y que, cuanto más se aproximan al centro, más oblicuas son. En el centro, en contacto con el núcleo, las fibras son casi horizontales y describen un largo trayecto helicoidal de una meseta a otra. De este modo, el núcleo se halla encerrado en un *compartimento inextensible* entre las mesetas vertebrales por arriba y por abajo, y el anillo fibroso. Este anillo constituye un verdadero tejido de fibras, que en el individuo joven impide cualquier exteriorización de la sustancia del núcleo. Éste está *comprimido* en su pequeño compartimento, de tal modo que cuando se secciona el disco horizontalmente se puede apreciar como brota la sustancia gelatinosa del núcleo por encima del plano de la sección. Este mismo fenómeno también se puede constatar cuando se realiza un corte sagital de la columna vertebral.



25



a

26

EL NÚCLEO COMPARADO A UNA RÓTULA

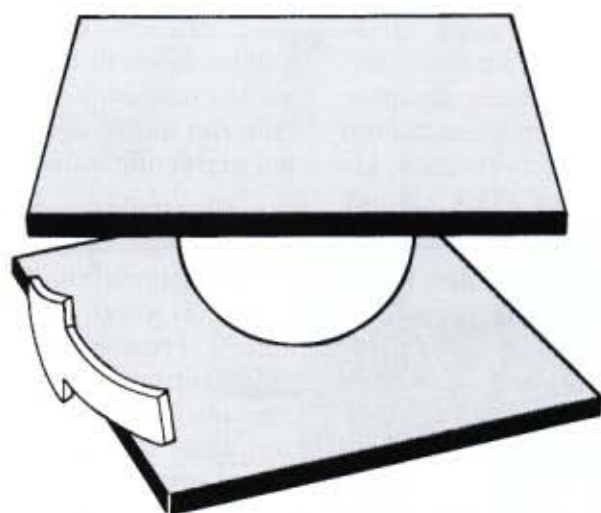
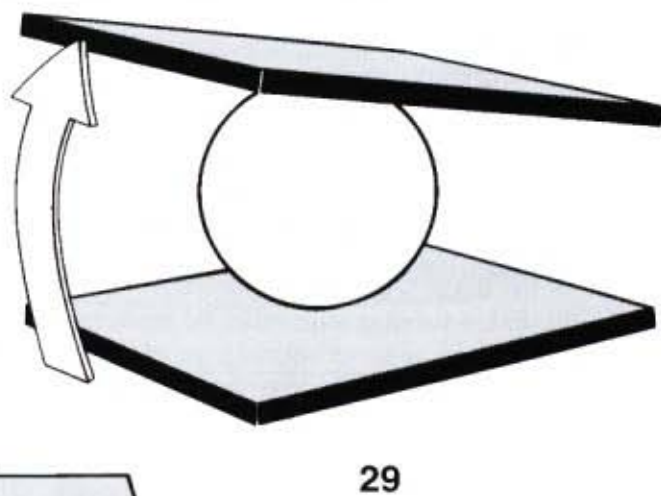
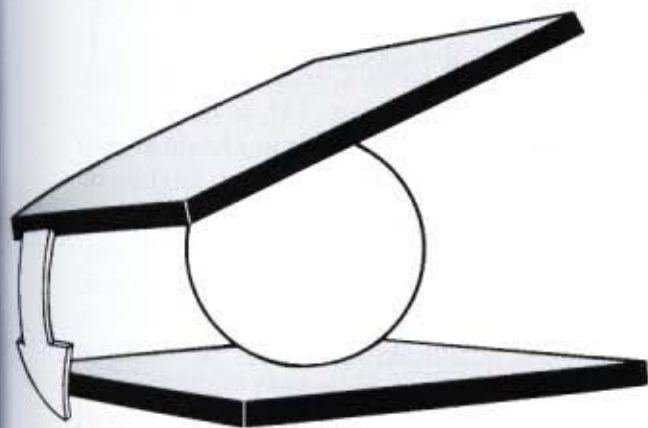
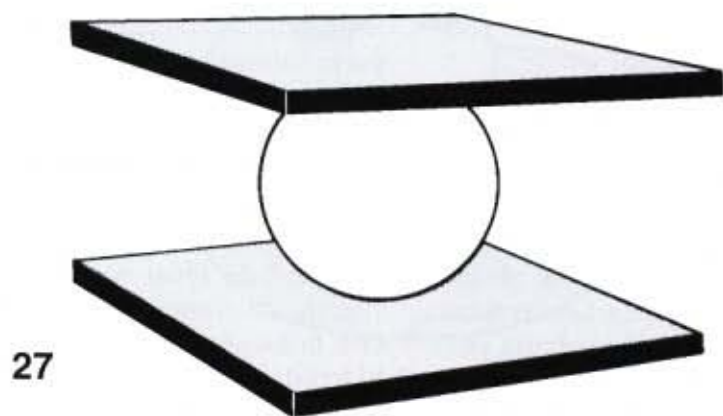
Aprisionado bajo presión en su compartimento, entre dos mesetas vertebrales, el núcleo pulposo tiene una forma parecida a una esfera. Por lo tanto, en una primera aproximación, se puede considerar que el núcleo se comporta *como una canica intercalada entre dos planos* (Fig. 27). Este tipo de articulación denominada “de rótula” permite tres clases de movimiento.

Movimientos de **inclinación**:

- bien *inclinación en el plano sagital*: en este caso se observará una flexión (Fig. 28) o una extensión (Fig. 29);
- bien *inclinación en el plano frontal*: inflexión lateral.

Movimientos de **rotación** de una de las mesetas en relación a la otra (Fig. 30).

Movimientos de **deslizamiento** o de **cizallamiento** de una meseta sobre la otra a través de la esfera. Resumiendo, este tipo de articulación ofrece pues una gran posibilidad de movimientos, exactamente seis grados **de libertad**: flexo-extensión, inclinación a cada lado, deslizamiento sagital, deslizamiento transversal, rotación derecha y rotación izquierda; aunque cada movimiento es de escasa amplitud. Los movimientos de gran amplitud sólo se pueden obtener gracias a la suma de numerosas articulaciones de este tipo.



EL ESTADO DE PRECOMPRESIÓN DEL DISCO Y LA AUTOESTABILIDAD DE LA ARTICULACIÓN DISCOVERTEBRAL

Las presiones ejercidas sobre el disco intervertebral son importantes, sobre todo cuanto más se aproxima al sacro.

Si se consideran en principio únicamente las fuerzas de compresión axial, se puede determinar que cuando la meseta vertebral ejerce una fuerza sobre el disco intervertebral, la presión que recibe el núcleo equivale a la mitad de la carga aumentada en un 50% y la presión ejercida sobre el anillo equivale a la otra mitad disminuida en un 50%. El núcleo soporta pues el 75% de la carga y el anillo el 25%. De modo que, en el caso de una presión de 20 kg, ésta se distribuye en 15 kg sobre el núcleo y 5 kg sobre el anillo.

Sin embargo, el núcleo actúa como *distribuidor de la presión* en sentido horizontal sobre el anillo (Fig. 31). En *simple bipedestación*, en el disco L₅-S₁, la compresión vertical que se ejerce sobre el núcleo se transmite por la periferia del anillo a razón de 28 kg por centímetro lineal y de 16 kg por centímetro cuadrado. Estas fuerzas aumentan de manera considerable en cuanto se sobrecarga el raquis. En la *flexión anterior del tronco*, la presión por centímetro cuadrado asciende a 58 kg mientras que la fuerza por centímetro lineal alcanza los 87 kg. Durante *el enderezamiento* estas cifras aumentan hasta 107 kg/cm² y 174 kg por centímetro lineal. Las presiones pueden alcanzar valores todavía más altos si el enderezamiento se lleva a cabo con una carga. En este caso, las citadas presiones se aproximan a los valores del punto de ruptura.

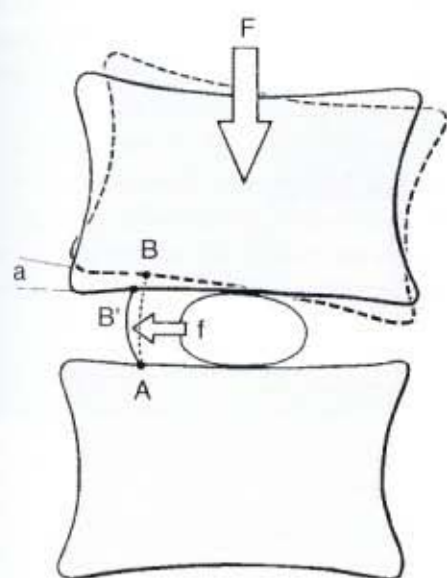
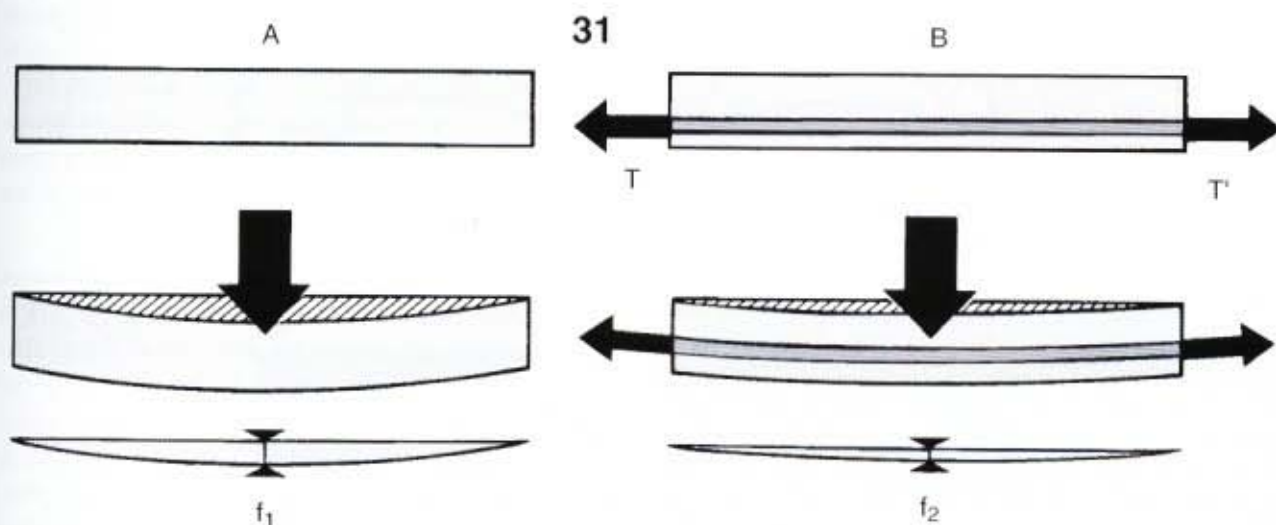
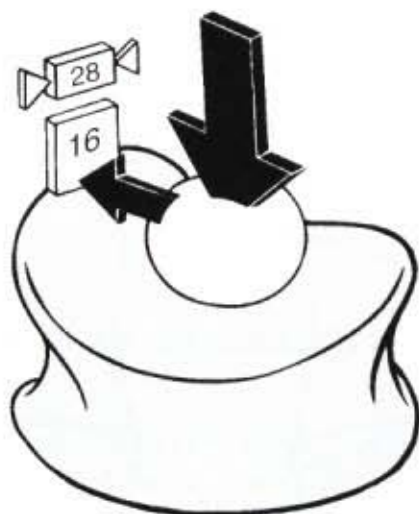
La presión en el centro del núcleo no es nula, incluso cuando el disco no soporta carga alguna. Esta presión se debe al estado de hidrofília, que hace que se hinche dentro de su compartimento inextensible. De este modo se crea un estado de "**pretensión**". En la tecnología de las estructuras de hormigón armado, se denomina pretensión (Fig. 32) un estado de tensión previa creado en una viga que debe soportar una carga. Si se carga una *viga homogénea* (A) con un peso, se puede observar como adopta

una incurvación de valor f_1 denominada flecha. Si ahora se considera una viga (B), en cuya parte inferior se ha introducido un cable metálico tensado fuertemente entre los dos extremos de la misma, se habrá constituido una *viga pretensada* que con el mismo peso se deformará una flecha f_2 claramente inferior a la flecha f_1 .

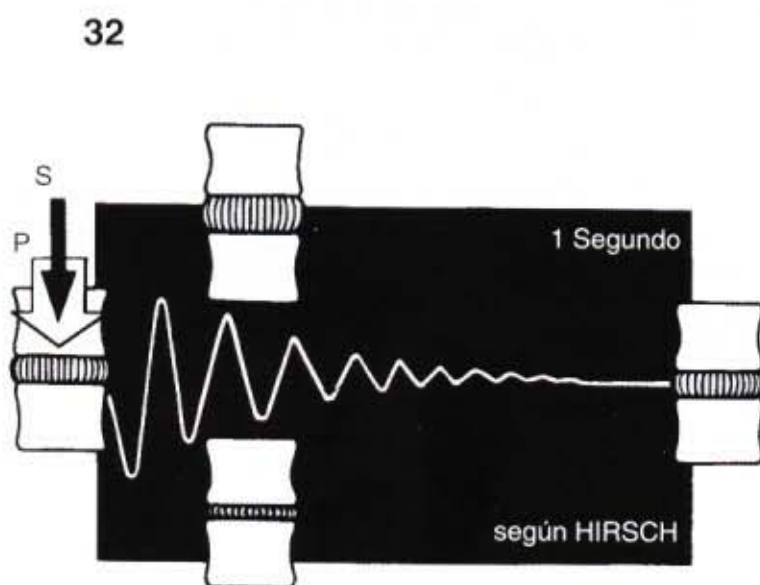
La pretensión del disco intervertebral le permite, de igual modo, resistir mejor a las fuerzas de compresión y de inflexión. Cuando, con la edad, el núcleo pierde sus propiedades hidrófilas, su presión interna disminuye y el estado de pretensión tiende a desaparecer, lo que explica la pérdida de flexibilidad del raquis senil.

Cuando un disco está expuesto a una **presión axial asimétrica** (Fig. 33), la meseta vertebral superior sufre una inflexión hacia el lado con más carga, desplazándose un ángulo de oscilación α . Así, la fibra AB' estará tensa en la posición AB, aunque, simultáneamente, la presión máxima del núcleo del lado de la flecha va a ejercerse sobre esta fibra AB de modo que la devuelva a su posición inicial. Este **mecanismo de autoestabilidad** está ligado al estado de pretensión. Obsérvese pues, que el anillo y el núcleo forman juntos una *pareja funcional* cuya eficacia depende de la integridad de ambos elementos. Si la presión interna del núcleo disminuye o si la capacidad de contención del anillo desaparece, esta pareja funcional pierde inmediatamente su eficacia.

El estado de pretensión explica también las **reacciones elásticas** del disco, demostradas por el *experimento de Hirsch* (Fig. 34): cuando, sobre un disco previamente cargado (P) se agrega bruscamente una sobrecarga (S), se puede observar cómo el espesor del disco pasa por un mínimo y luego por un máximo, siguiendo una curva oscilante, que se amortigua al instante. Si la sobrecarga es excesiva, la intensidad de esta reacción oscilante puede llegar a destruir las fibras del anillo. Así se explica el deterioro del disco tras sufrir repetidas fuerzas violentas.



33



34

LA MIGRACIÓN DE AGUA EN EL NÚCLEO

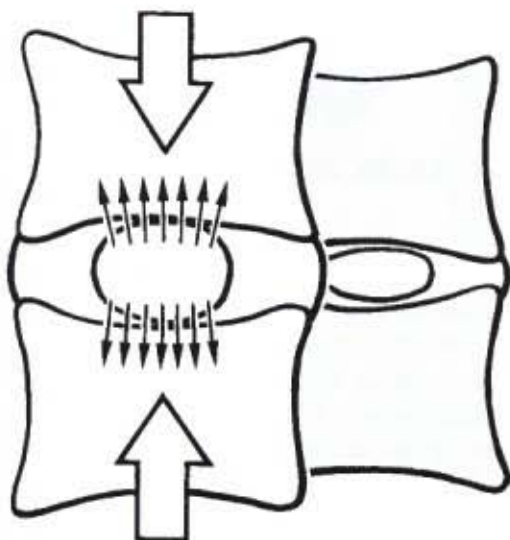
El núcleo reposa en la parte central de la meseta vertebral, parte cartilaginosa, pero con numerosos poros microscópicos que comunican el compartimento del núcleo con el tejido esponjoso situado bajo la meseta vertebral. Cuando se ejerce una presión importante sobre el eje del raquis, como es el caso de la influencia del peso del cuerpo en *bipedestación* (Fig. 35), el agua que contiene la sustancia cartilaginosa del núcleo pasa a través de los orificios de la meseta vertebral hacia el centro de los cuerpos vertebrales. Si se mantiene esta presión estática durante todo el día, a últimas horas de la noche, el núcleo está claramente menos hidratado que al inicio de la mañana: se puede entonces deducir que *el espesor del disco ha disminuido sensiblemente*. Para un individuo normal, esta pérdida de espesor acumulado sobre la altura total del raquis puede alcanzar los 2 cm.

Por el contrario, en el transcurso de la noche, en *decúbito supino* (Fig. 36) los cuerpos vertebrales ya no sufren la presión axial ejercida por la acción de la gravedad, sino únicamente la del tono muscular, muy relajado asimismo por el sueño. En este momento, la hidrofilia del núcleo atrae el agua que retorna de los cuerpos vertebrales a el citado núcleo. El disco recupera entonces su grosor inicial. De modo que somos más altos por la mañana que por la noche. Al ser el estado de precompresión más acentuado por la mañana

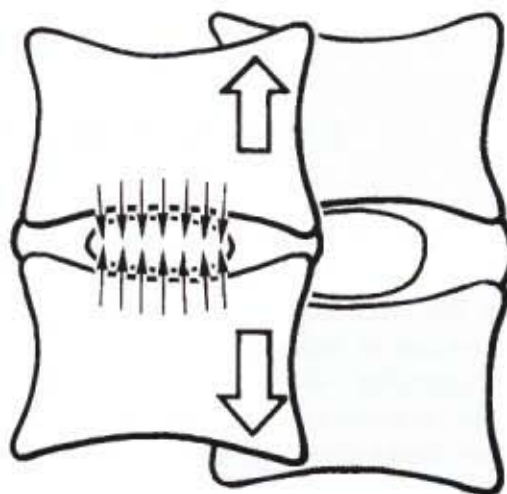
que por la noche, la flexibilidad raquídea también es mayor al comienzo de la jornada.

La **presión de imbibición del núcleo** es considerable, ya que, según Charnley, puede alcanzar los 250 mmHg. Con la edad, este estado de imbibición disminuye al tiempo que la hidrofilia, provocando una disminución del estado de precompresión. Esto explica la disminución tanto de estatura como de flexibilidad raquídea en los ancianos.

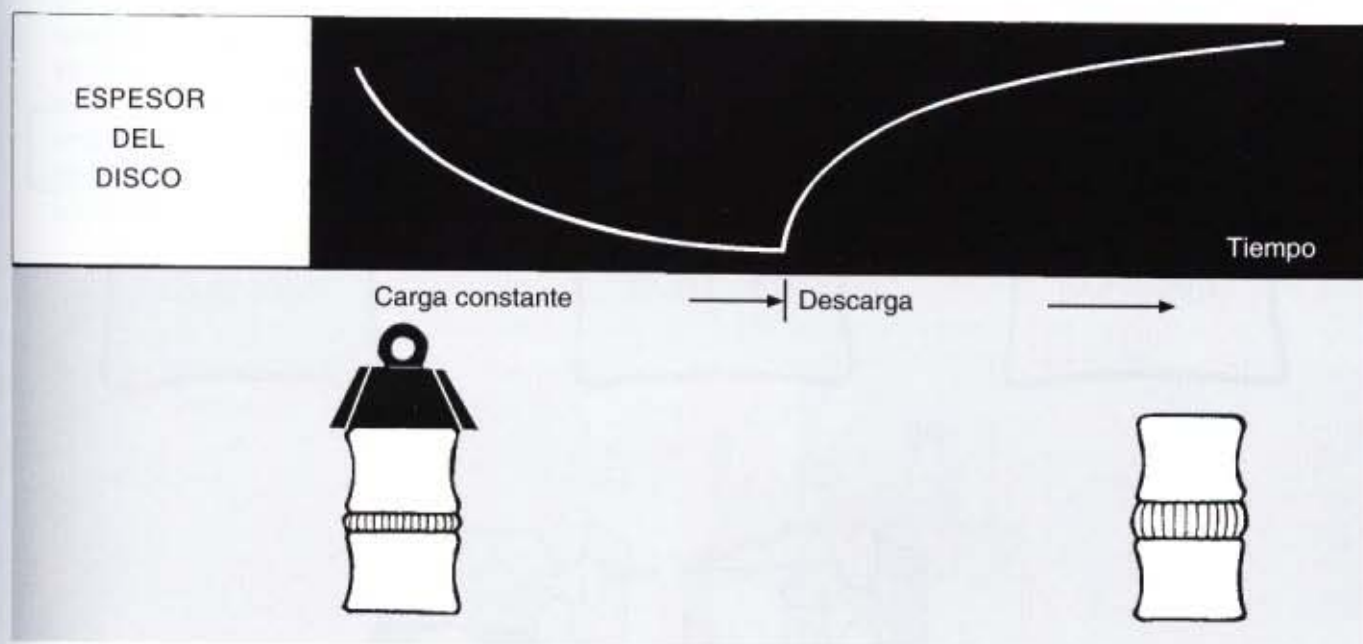
Hirsch demostró que aplicando una **carga constante** sobre un disco vertebral (Fig. 37) la disminución del grosor del disco no es lineal sino *exponencial* (primera parte de la curva), lo que sugiere un proceso de deshidratación proporcional al volumen del núcleo. Cuando se retira la carga, el disco recupera su grosor inicial, pero, también en este caso, la curva no es lineal sino exponencial inversa (segunda parte de la curva), y la restauración total del grosor inicial del disco requiere cierto tiempo. Si estas cargas y descargas del disco se repiten con *demasiada asiduidad*, el disco no tiene tiempo de recobrar su grosor inicial. Igualmente, si las cargas y descargas se repiten de manera *demasiado prolongada*, aunque se espere el tiempo necesario de recuperación, el disco no recupera su grosor inicial. En este caso se constata un *fenómeno de envejecimiento*.



35



36

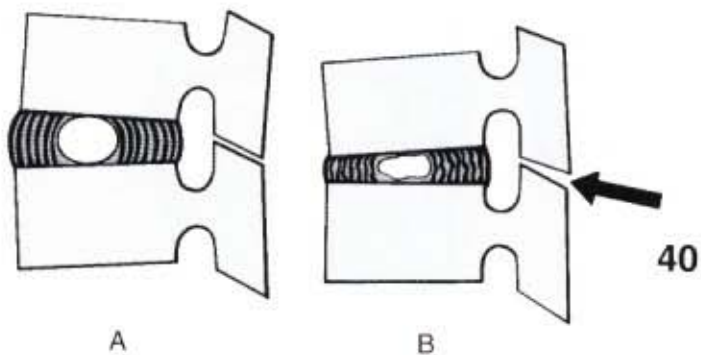
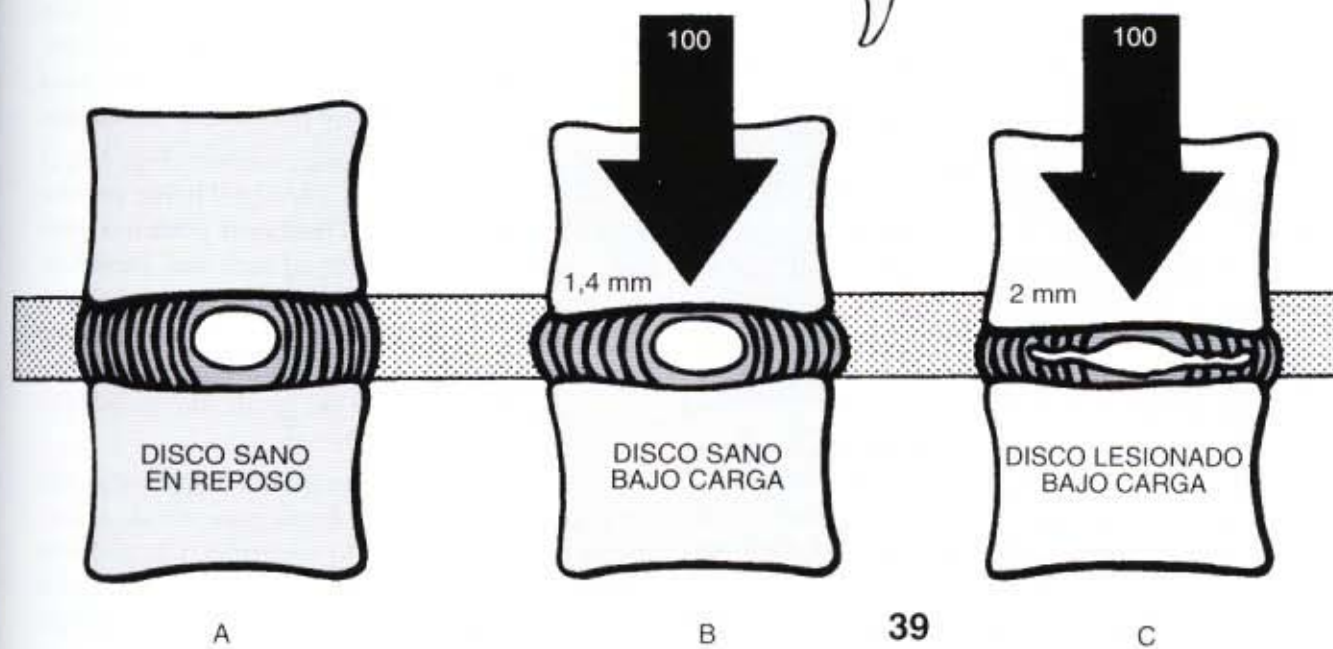
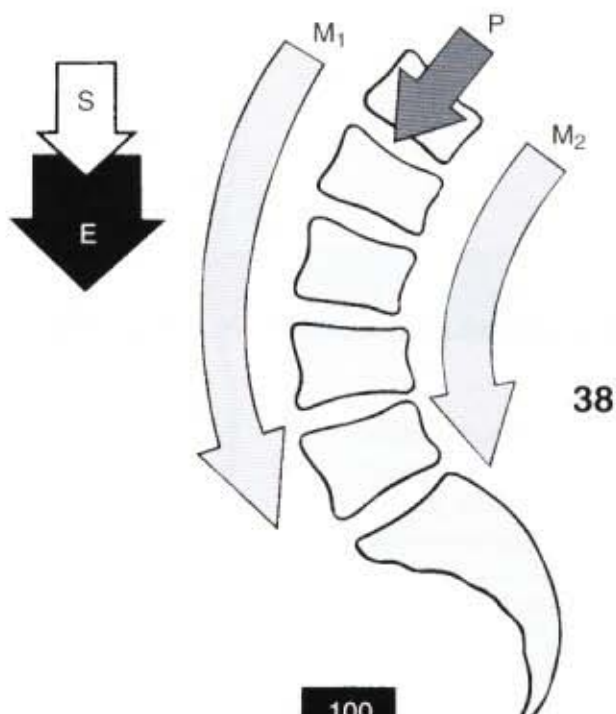


LAS FUERZAS DE COMPRESIÓN SOBRE EL DISCO

Las fuerzas de compresión sobre el disco son tanto más importantes a medida que se aproximan al sacro. Esto es comprensible dado que el peso del cuerpo que se soporta aumenta con la altura suprayacente (Fig. 38). En el caso de un hombre de 80 kilos se calcula que la cabeza pesa 3 kg, los miembros superiores 14 kg y el tronco 30 kg. Si se estima que a la altura del disco L₅-S₁ el raquis soporta tan solo 2/3 del peso del tronco, aún así se alcanza una carga de 37 kg, o sea aproximadamente la *mitad del peso del cuerpo* (P). A esto se añade el *tono de los músculos paravertebrales* (M₁ y M₂) necesario para mantener la estática y la erección del tronco. Si además se añade, el soporte de carga (E) y la intervención de una sobrecarga brusca (S), se puede comprender perfectamente que los discos más inferiores del raquis lumbar estén sometidos a fuerzas que sobrepasan a veces su resistencia, sobre todo en las personas mayores.

La disminución de la altura del disco no es la misma según el disco esté sano o lesionado (Fig. 39). Considerando un disco sano en reposo (A), con una carga de 100 kg, se puede observar como se aplasta 1,4 mm, al tiempo que se ensancha (B). Si ahora se aplica a un disco ya lesionado la misma carga de 100 kg, la altura disminuye 2 mm (C), así como se comprueba que tras haber retirado la carga *la recuperación de su grosor inicial es incompleta*.

Este aplastamiento progresivo del disco lesionado no deja de repercutir en las articulaciones interapofisarias (Fig. 40): cuando el espesor del disco es normal (A), las relaciones de las superficies cartilaginosas a nivel de las articulaciones interapofisarias son normales: la interlínea es paralela y regular. Cuando la altura del disco disminuye (B), las relaciones articulares interapofisarias se alteran y la interlínea se entreabre hacia atrás. *Esta distorsión articular es en sí misma y a la larga un factor de artrosis*.



VARIACIONES DEL DISCO SEGÚN EL NIVEL

El espesor del disco no es el mismo en todos los niveles raquídeos (Fig. 41). Es en el **raquis lumbar** (b) donde el disco es *más grueso* puesto que mide 9 mm de altura. En el **raquis dorsal** (a), mide 5 mm de espesor y en el **raquis cervical** (c), su grosor es de 3 mm. Pero mucho más importante que su altura absoluta es la noción de proporción del disco en relación a la altura del cuerpo vertebral. De hecho, esta proporción da perfecta idea de la *movilidad del segmento raquídeo*, ya que se constata que *cuanto más grande sea más importante será su movilidad*: en orden decreciente se puede constatar que el raquis cervical (c) es el más móvil puesto que posee una relación disco-corpórea de 2/5, a continuación está el raquis lumbar (b) un poco menos móvil que el cervical y que posee una relación disco-corpórea de 1/3. Por último, el menos móvil de los tres segmentos del raquis es el dorsal (a); su relación disco-corpórea es de 1/5.

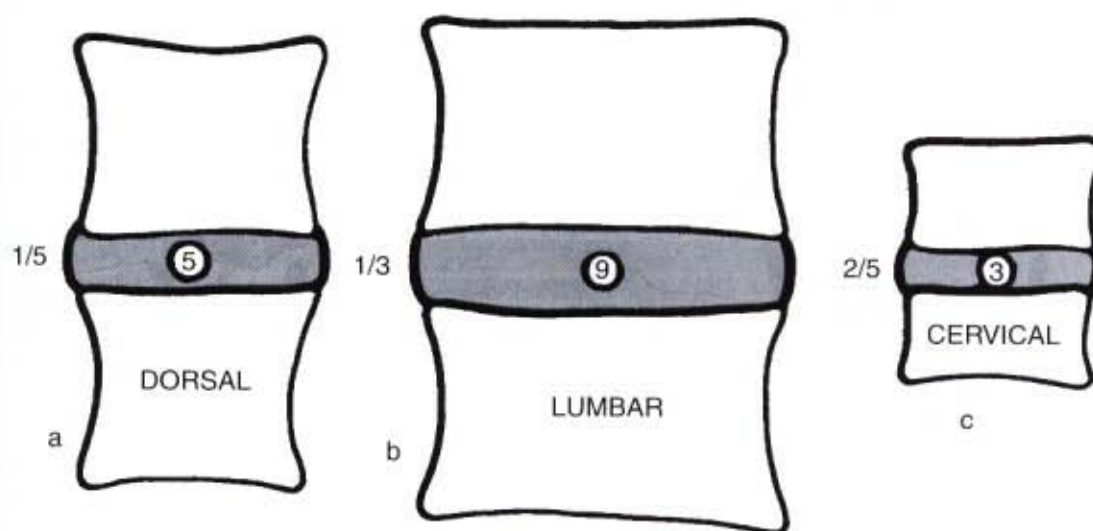
En cortes sagitales de los diferentes segmentos del raquis, se puede observar que *el núcleo no se localiza exactamente en el centro del disco*; si se divide el espesor anteroposterior del disco en diez partes iguales el núcleo se sitúa:

- *en el caso del raquis cervical* (Fig. 42) a 4/10 del borde anterior y a 3/10 del borde

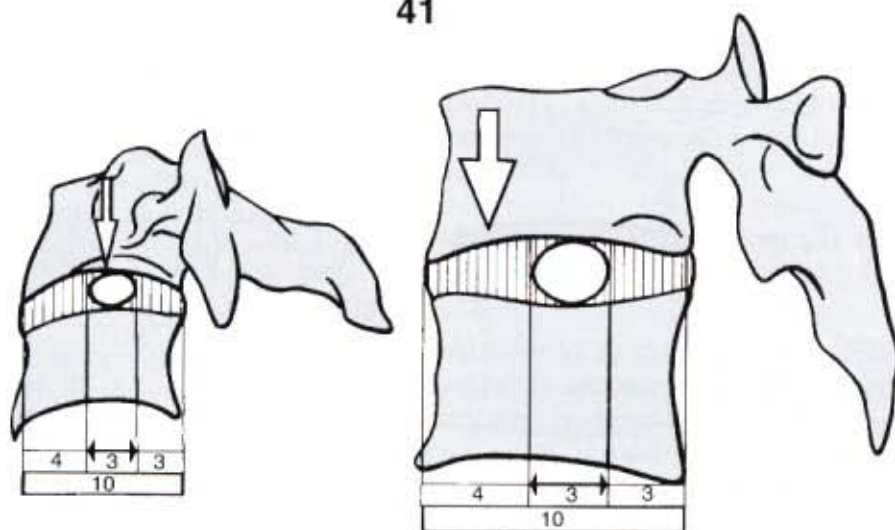
posterior, ocupando él mismo el 3/10. Su situación corresponde exactamente al eje de movilidad (flecha blanca);

- *en el caso del raquis dorsal* (Fig. 43), la localización del núcleo es la misma en relación tanto al borde anterior como al borde posterior del disco. El núcleo en sí ocupa 3/10, pero su situación en relación al eje de movilidad se desplaza hacia atrás: la flecha blanca que representa el citado eje pasa claramente por delante del núcleo;
- *en el caso del raquis lumbar* (Fig. 44), el núcleo se localiza a 4/10 del borde anterior del disco y a 2/10 del borde posterior, pero él sólo ocupa 4/10; es decir *una superficie mayor* que corresponde a fuerzas axiales más importantes. Como en el caso del raquis cervical, su situación corresponde exactamente a la del eje de movilidad (flecha blanca).

Para Leonardi, el centro del núcleo se localiza a igual *distancia del borde anterior de la vértebra que del ligamento amarillo*. Corresponde manifiestamente a un punto de equilibrio, como si la potencia de los ligamentos posteriores "atrajesen" al núcleo hacia atrás.

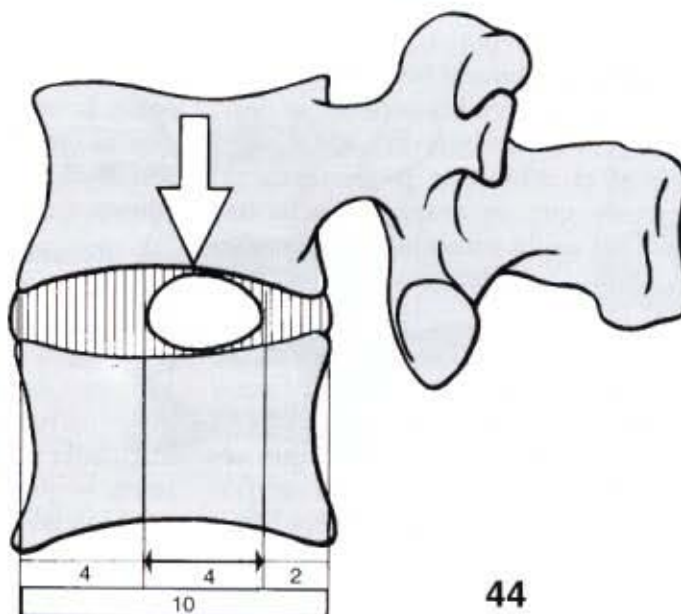


41



42

43



44

COMPORTAMIENTO DEL DISCO INTERVERTEBRAL EN LOS MOVIMIENTOS ELEMENTALES

Se van a considerar en primer lugar los **movimientos en el eje del raquis** (Fig. 45). Antes de cualquier esfuerzo (A) se ha podido comprobar con anterioridad que existe una tensión previa en las fibras del anillo, bajo presión del núcleo, definiendo *el estado de pretensión*.

Cuando se ejerce sobre el disco una fuerza de *elongación axial* (B), las mesetas vertebrales tienden a separarse, lo que aumenta el grosor del disco; al tiempo, su anchura disminuye y la tensión de las fibras del anillo aumenta. El núcleo que en estado de reposo está ligeramente aplastado, adquiere una forma más esférica. La elongación disminuye la presión en el interior del núcleo, lo que constituye la base del tratamiento de las hernias discales por elongación vertebral: tirando del eje del raquis, la sustancia gelatinosa de la hernia discal reintegra su compartimento original en el núcleo. No obstante, no siempre se obtiene este resultado y se puede imaginar que, bajo el efecto de la contracción de las fibras centrales del anillo, la presión interna del núcleo aumenta.

Cuando se ejerce una fuerza de *compresión axial* (C), el disco se aplasta y ensancha, el núcleo se aplana, su presión interna aumenta de manera notable y se transmite lateralmente hacia las fibras más internas del núcleo; de este modo, la presión vertical se transforma en fuerzas laterales y la tensión de las fibras del anillo aumenta.

Se van a abordar a continuación las **compresiones asimétricas**. Durante los movimientos de *extensión* (Fig. 46) la vértebra superior se desliza hacia atrás, el espacio intervertebral disminuye por atrás y el núcleo se proyecta hacia adelante, de modo que se desliza hacia las fibras anteriores del anillo aumentando la tensión de estas tirando de la vértebra superior hacia su posición inicial.

Durante la *flexión* (Fig. 47) la vértebra superior se desliza hacia delante y el espacio intervertebral disminuye en el borde anterior; el núcleo se desliza hacia atrás de modo que se sitúa sobre las fibras posteriores del anillo aumentando la tensión del mismo. Aparece nue-

vamente el mecanismo de autoestabilización debido a la acción conjugada de la pareja núcleo-anillo.

Durante las fuerzas de *inflexión lateral* (Fig. 48) la vértebra superior se inclina hacia el lado de la inflexión, el núcleo se ve entonces desplazado hacia el lado de la convexidad de la curva, de ahí la autoestabilización.

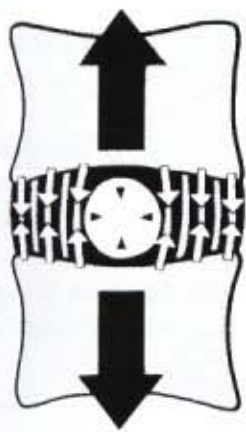
Durante los movimientos de *rotación axial* (Fig. 49) las fibras del anillo, cuya oblicuidad se opone al sentido del movimiento de la rotación, se tensan. Por el contrario, las fibras de las capas intermedias, cuya oblicuidad es inversa, se distienden. La tensión es máxima en las capas centrales cuyas fibras son las más oblicuas; en este caso, el núcleo está fuertemente comprimido y su tensión interna aumenta proporcionalmente con el grado de rotación. Se entiende entonces que el movimiento que asocia la flexión y la rotación axial tiende a desgarrar el anillo fibroso al tiempo que, aumentando su presión, expulsa el núcleo hacia atrás a través de las fisuras del anillo.

Durante las *fuerzas estáticas sobre una vértebra ligeramente oblicua* (Fig. 50) la fuerza vertical (F) se descompone en:

- una fuerza N perpendicular a la meseta vertebral inferior;
- y una fuerza T paralela a esta meseta vertebral.

La fuerza N encaja la vértebra superior sobre la inferior, mientras que la fuerza T hace que se deslice hacia delante, tensando así las fibras oblicuas alternativamente en cada capa fibrosa.

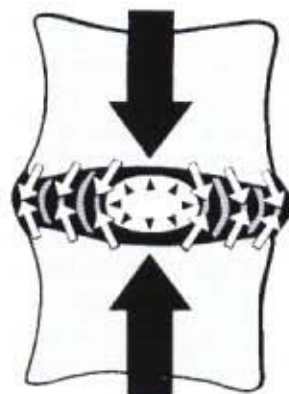
Resumiendo, se puede constatar que, sea cual sea la compresión ejercida sobre el disco intervertebral, ésta se traduce siempre por un *incremento de la presión interna del núcleo y un aumento de la tensión de las fibras del anillo*; pero merced al desplazamiento relativo del núcleo, la puesta en tensión de las fibras es diferente, lo que tiende a situar el sistema en su posición inicial.



B



A



C

45



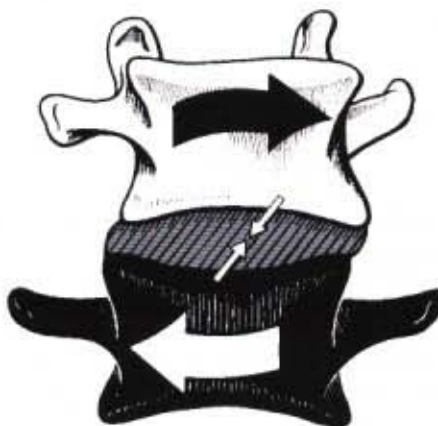
46



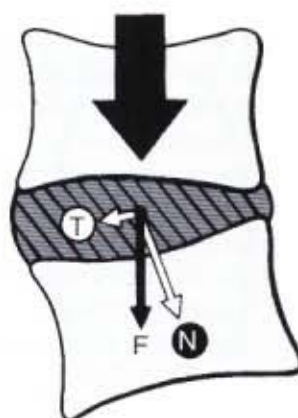
47



48



49



50

ROTACIÓN AUTOMÁTICA DEL RAQUIS DURANTE LA INFLEXIÓN LATERAL

Cuando el raquis se flexiona lateralmente, se puede constatar como los cuerpos vertebrales giran *sobre sí mismos* de modo que su línea media anterior se desvía hacia la *convexidad de la curva*. Esto se puede observar con claridad en una radiografía de frente tomada en inflexión lateral (Fig. 51): las imágenes de los cuerpos vertebrales pierden su simetría y la línea de las espinosas (a trazos gruesos) se desplaza hacia la concavidad. En el esquema, se ha dibujado una vértebra de acuerdo con su aspecto osteológico para que se pueda entender su orientación y permitir la interpretación de los aspectos radiológicos. En una vista superior (Fig. 52 A), se puede constatar como, en esta posición de rotación, la apófisis transversa de la concavidad se proyecta en todo su tamaño, mientras que la apófisis transversa de la convexidad se proyecta en tamaño reducido. Además, las interlíneas apofisarias de la convexidad están tomadas en hilera por el haz radiológico mientras que las apófisis articulares de la concavidad se proyectan de frente, al igual que el pedículo vertebral.

¿Cómo explicar esta **rotación automática** de los cuerpos vertebrales? Principalmente *por dos mecanismos*: la compresión de los discos y la puesta en tensión de los ligamentos.

El efecto de la *compresión de los discos* se evidencia gracias a un modelo mecánico fácil de realizar (Fig. 53): se cogen unos cuantos tapones de corcho para cortar en forma de cuña y caucho de espuma que también se cortará en cuña para construir los discos intervertebrales; se pegan unidos y, sobre su cara anterior, se traza una línea media; basta entonces con inclinar el modelo hacia un lado para apreciar la rotación de los cuerpos vertebrales del lado opuesto, perfectamente constatable merced a la separación de los distintos segmentos de la línea media de una vértebra a otra. La inflexión lateral incrementa la presión en

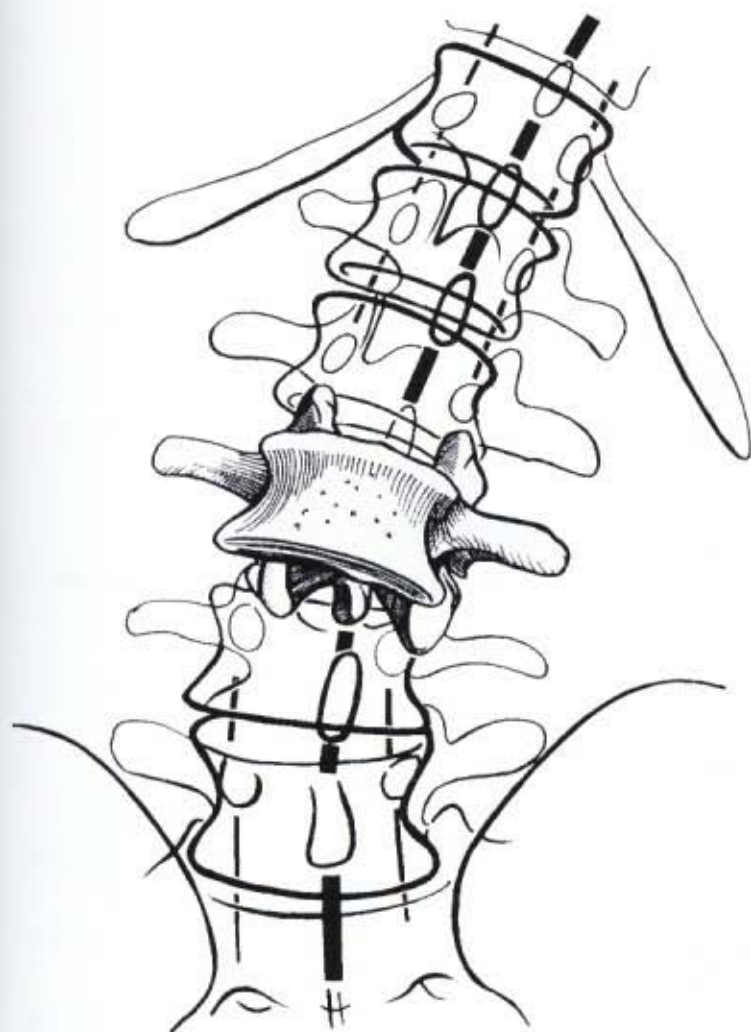
el disco del lado de la concavidad; como el disco en sí mismo es cuneiforme, su sustancia comprimida tiende a escaparse por el lado más abierto; es decir hacia la convexidad, de ahí la rotación.

Esta sobrepresión se materializa en la figura 52 A con el signo + y la flecha indica el sentido de la rotación.

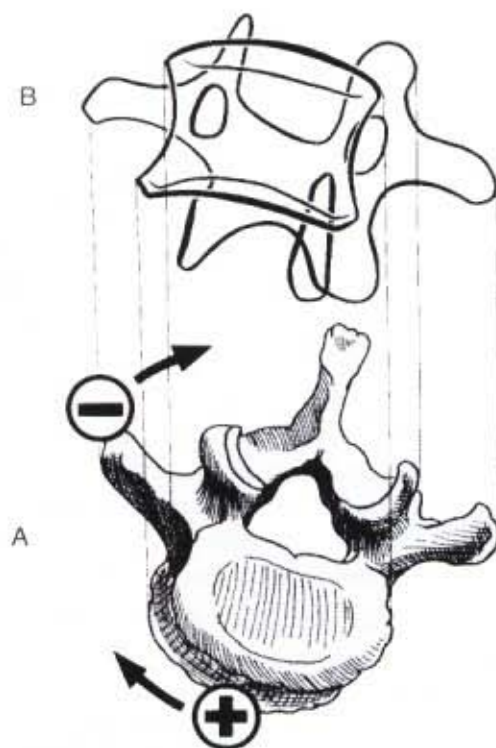
Por un mecanismo inverso, los ligamentos de la convexidad *que se hayan en tensión* debido a la inflexión lateral tienden a desplazarse hacia la línea media buscando el camino más corto. Esto queda patente en la figura 52 A por el signo - a nivel de un ligamento intertransverso y la flecha indica la dirección del movimiento.

Hay que recalcar que estos dos mecanismos son *sinérgicos* y contribuyen, cada uno a su manera, a la rotación en el mismo sentido de los cuerpos vertebrales.

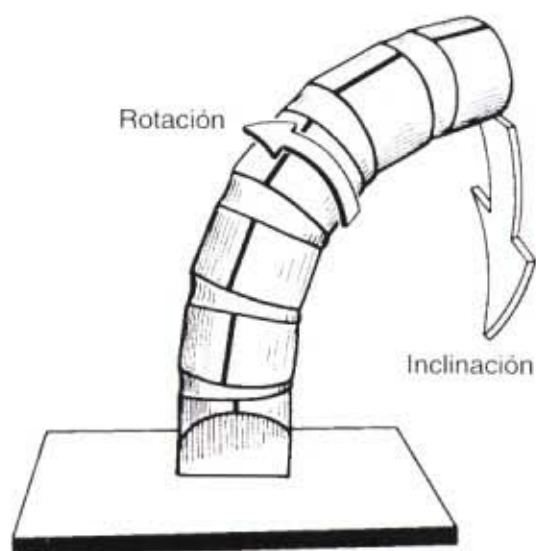
Esta rotación es fisiológica, pero, en ciertos casos, determinadas alteraciones de la estática vertebral causadas tanto por una mala distribución de las tensiones ligamentosas como por desigualdades del desarrollo determinan una rotación permanente de los cuerpos vertebrales. En este caso, existe una *escoliosis* que asocia una *incurvación* o una inflexión permanente del raquis a una *rotación* de los cuerpos vertebrales. El examen clínico puede revelar esta rotación (Fig. 54). De hecho, en un individuo normal (A), la flexión anterior del tronco determina un perfil simétrico en relación a la columna vertebral. En un individuo escoliótico (B) la flexión anterior del tronco determina un perfil asimétrico con una joroba torácica prominente *del lado de la convexidad* de la incurvación raquídea. Esto no representa más que la *rotación permanente de los cuerpos vertebrales*. De este modo, el fenómeno fisiológico transitorio de la rotación automática de los cuerpos vertebrales ha pasado a ser patológico al asociarse permanentemente a la incurvación del raquis.



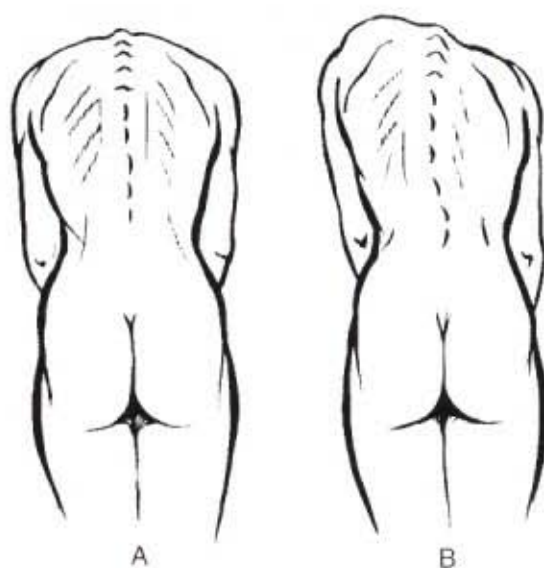
51



52



53



54

AMPLITUDES GLOBALES DE LA FLEXOEXTENSIÓN DEL RAQUIS

Considerado en conjunto entre el sacro y el cráneo, el raquis constituye *el equivalente de una articulación de tres grados de libertad*: permite movimientos de flexoextensión, inclinación lateral a izquierda y derecha y rotación axial. Las amplitudes de estos distintos movimientos elementales, aunque muy escasa en cada nivel del raquis, son globalmente muy importantes en razón del número de articulaciones vertebrales.

Los movimientos de **flexoextensión** se efectúan *en el plano sagital* (Fig. 55). La referencia, a nivel del cráneo, es el *plano masticatorio*: se le puede imaginar con facilidad como una hoja de cartón fuertemente apretada entre las mandíbulas. El ángulo formado por el plano masticador entre las dos posiciones extremas (A_T) es de 250° . Esta amplitud debe considerarse si se toma en cuenta que el resto de las articulaciones del cuerpo no tienen más que 180° de amplitud máxima. Naturalmente, estos 250° representan una amplitud extrema en los individuos especialmente flexibles.

Las *amplitudes segmentarias* pueden medirse en *radiografías de perfil*.

En el **raquis lumbar**:

- la flexión (F_L) es de 60° ;
- la extensión (E_L) es de 35° ;

Para el conjunto del **raquis dorsolumbar**:

- la flexión (F_{DL}) es de 105° ;
- la extensión (E_{DL}) es de 60° ;

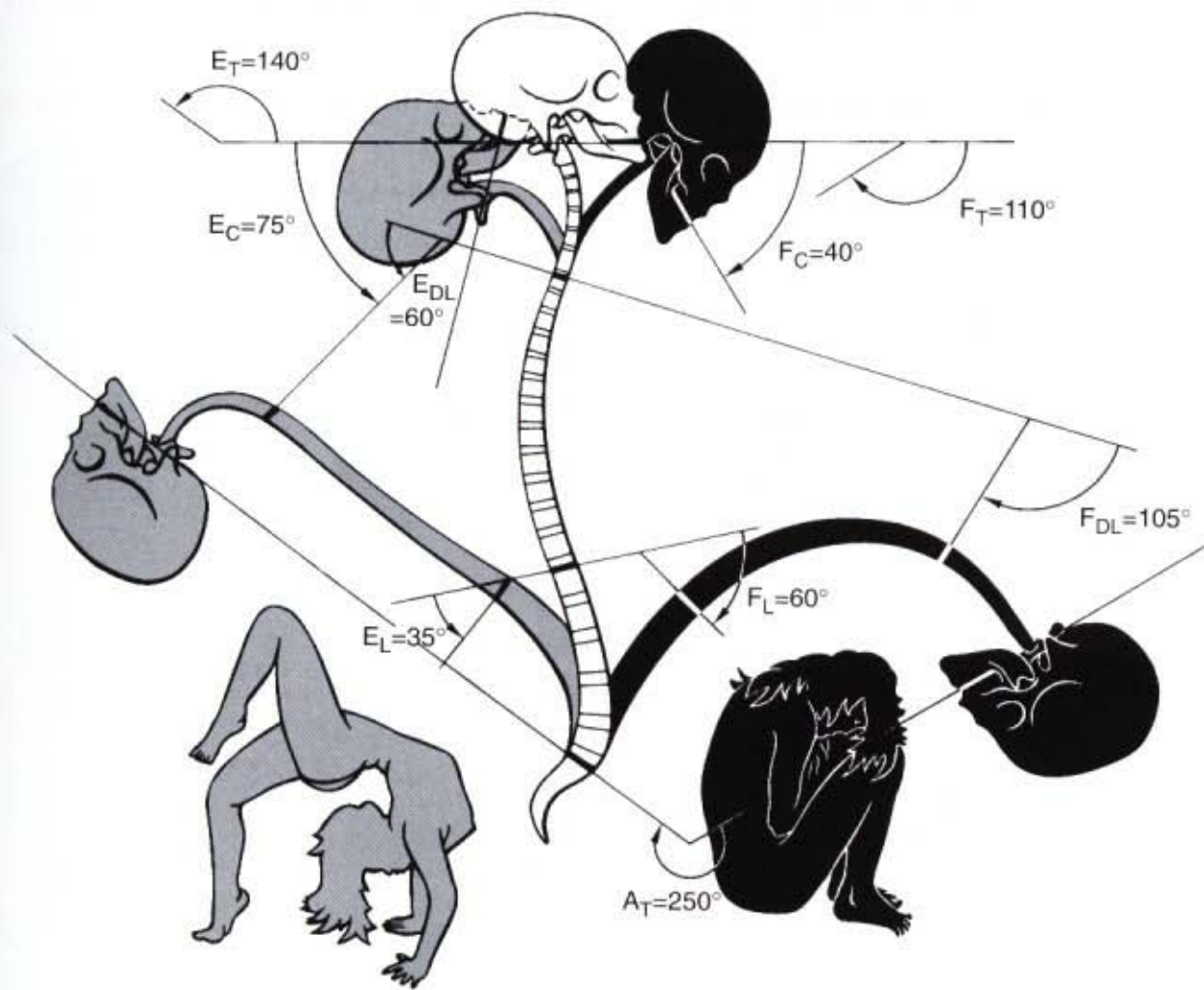
En el **raquis cervical**:

- la flexión (F_C) es de 40° ;
- la extensión (E_C) es de 75° ;

Por lo tanto, la *flexión total del raquis* (F_T) es de 110° .

Mientras que la *extensión total del raquis* (E_T) es de 140° .

Estas cifras son a título orientativo; los autores todavía no se han puesto de acuerdo sobre la amplitud de los distintos segmentos del raquis. Por otra parte, estas amplitudes varían considerablemente según los individuos y la edad. De modo que aquí se han expuesto las amplitudes máximas.



AMPLITUDES GLOBALES DE LA INFLEXIÓN LATERAL DEL RAQUIS EN CONJUNTO

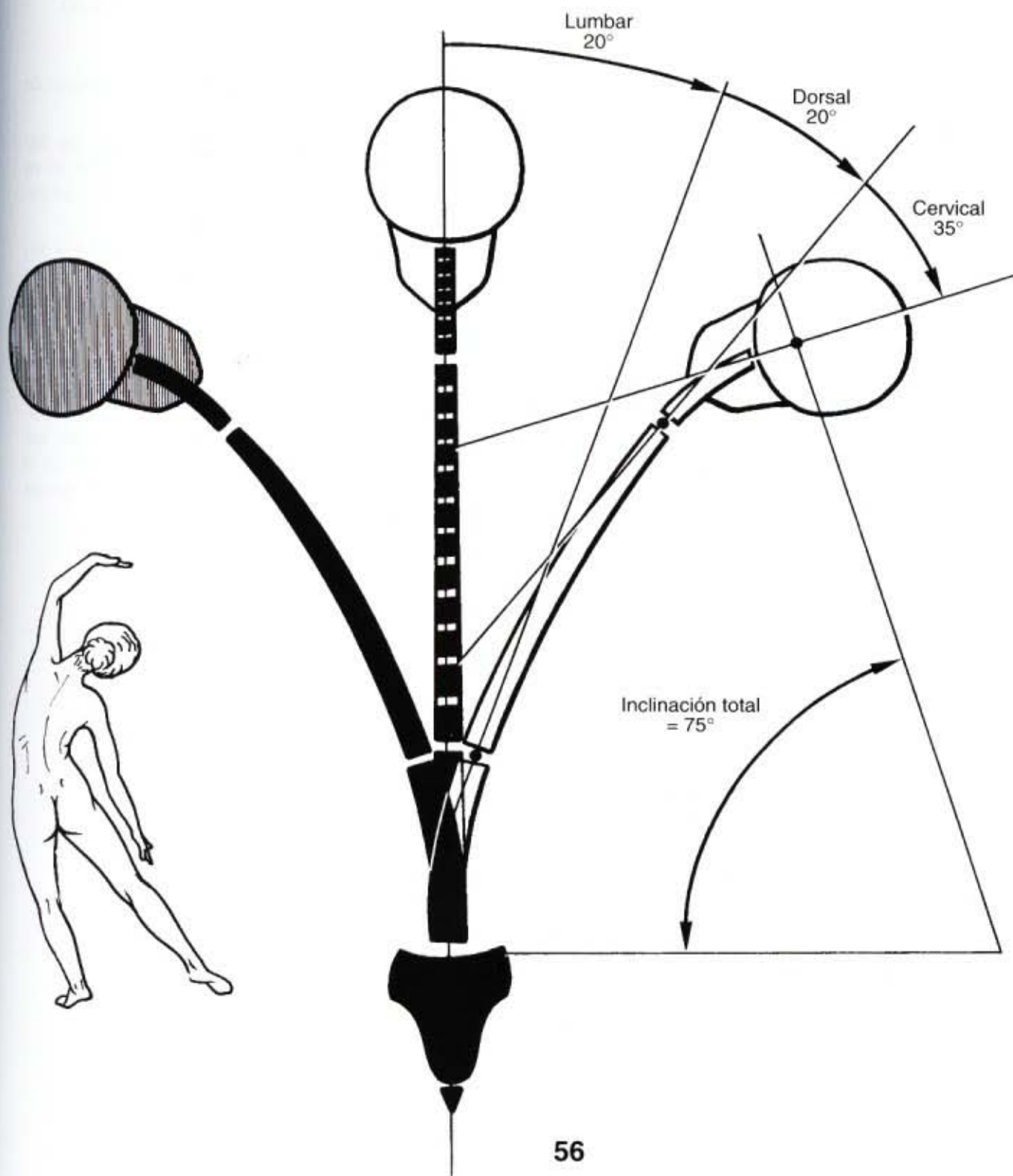
El movimiento de **inflexión lateral** también denominado inclinación del raquis se realiza *en el plano frontal* (Fig. 56). Dicho movimiento es fácil de medir con precisión en las *radiografías de frente*; basándose bien en el eje de las vértebras, bien en la dirección de la meseta superior de la vértebra implicada. En el cráneo se puede tomar como punto de referencia la línea bimastoidea, que pasa por el vértice de ambos mastoides.

La inflexión lateral del *raquis lumbar* es de 20°.

La inflexión lateral del *raquis dorsal* es de 20°.

La inflexión lateral del *raquis cervical* es de 35° a 45°.

La inflexión o inclinación total del raquis entre el sacro y el cráneo es entonces de 75 a 85°.



AMPLITUDES GLOBALES DE LA ROTACIÓN DEL RAQUIS EN CONJUNTO

Las amplitudes de rotación son difíciles de apreciar, ya que resulta imposible hacer radiografías en el plano transversal y las tomografías axiales realizadas para el estudio de los órganos no son lo bastante precisas para apreciar la rotación de las vértebras. Se puede medir la rotación total del raquis fijando la pelvis y contando el grado de rotación del cráneo.

Recientemente, los autores americanos, Greggensen y Lucas, han podido medir de manera muy precisa las rotaciones elementales tomando como puntos de referencia agujas metálicas insertadas mediante anestesia local en las apófisis espinosas. Se volverá a tratar este tema a propósito del raquis dorsolumbar.

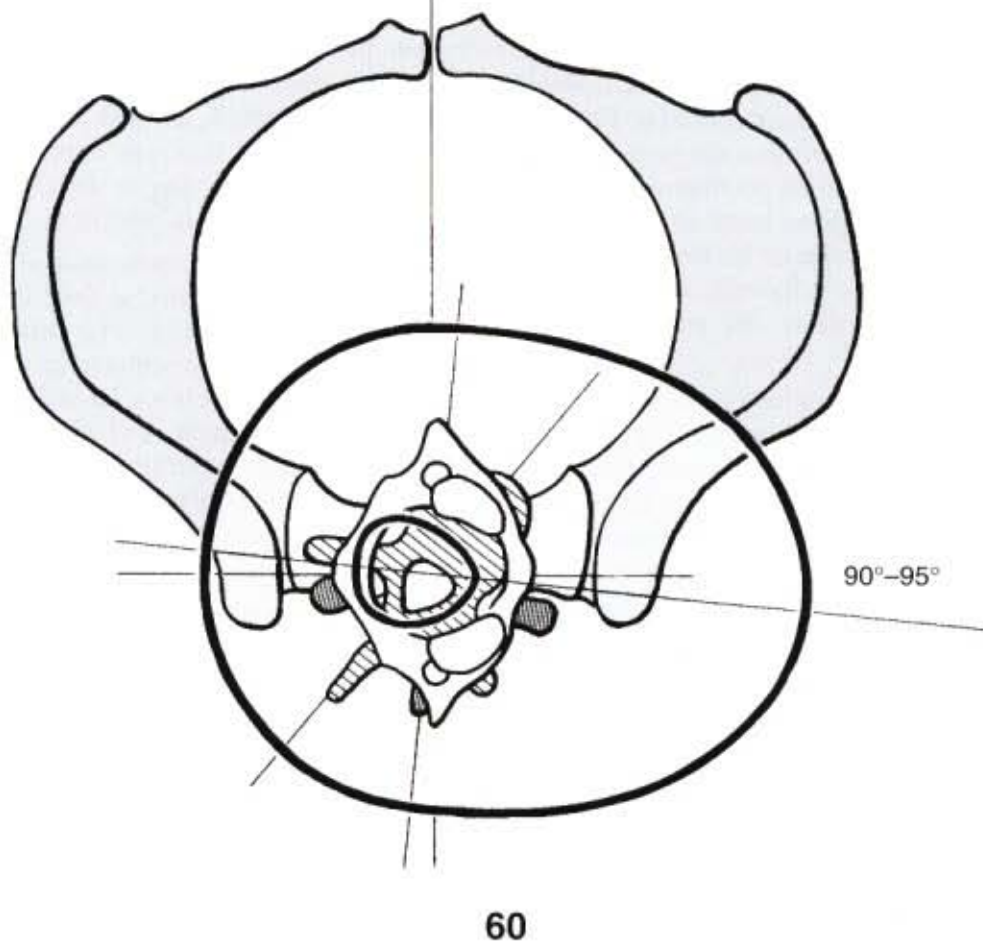
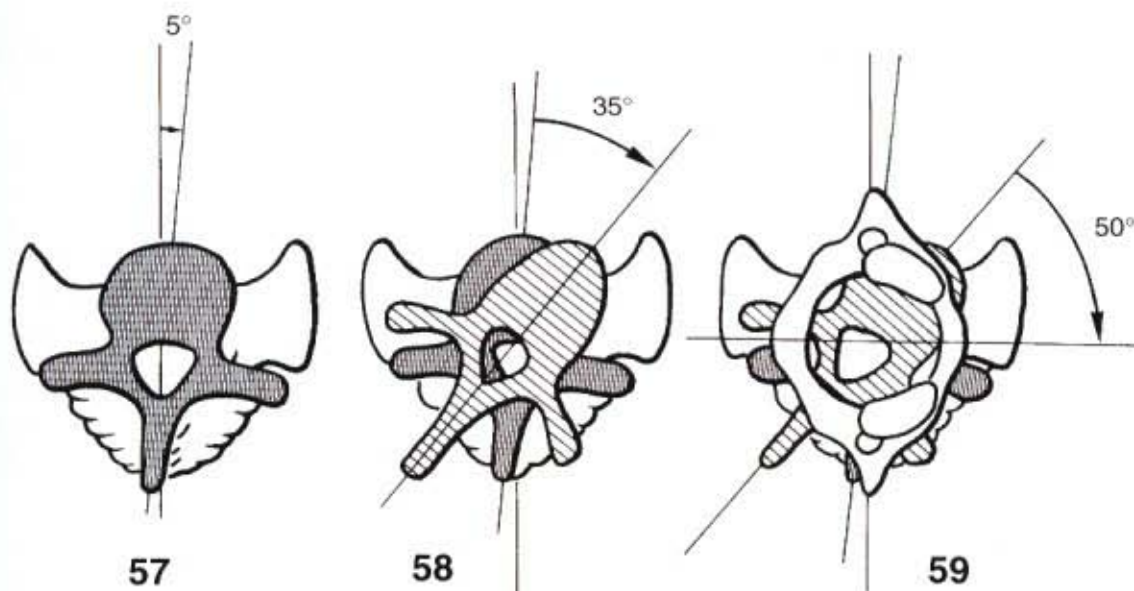
La rotación axial en el *raquis lumbar* (Fig. 57) es muy poca: 5°. Más adelante, se expondrán

las causas de esta limitación del movimiento de rotación axial.

La rotación axial en el *raquis dorsal* (Fig. 58) es mucho más acentuada: 35°, puesto que se ve favorecida por la disposición de las apófisis articulares.

La rotación axial en el *raquis cervical* (Fig. 59) es muy amplia, ya que alcanza de 45 a 50°. Se puede constatar como el atlas efectúa una rotación aproximada de 90° en relación al sacro.

La rotación axial *entre la pelvis y el cráneo* (Fig. 60) alcanza o sobrepasa ligeramente los 90°. De hecho, existen unos cuantos grados de rotación axial en la occipitoatloidea, pero, dado que con frecuencia la rotación axial es menor en el raquis dorsolumbar, la rotación total apenas alcanza los 90°.



APRECIACIÓN CLÍNICA DE LAS AMPLITUDES GLOBALES DEL RAQUIS

En el caso de la flexoextensión y de la inflexión lateral, las medidas exactas de la amplitud global del raquis sólo se pueden tomar sobre radiografías del conjunto del mismo.

No obstante, la amplitud global de los movimientos del raquis se puede apreciar clínicamente mediante movimientos "tests".

Para apreciar la *flexión del raquis dorsolumbar* (Fig. 61), se puede:

- bien medir el **ángulo a** entre la vertical y la línea que une el borde anterosuperior del trocánter mayor (1) y el ángulo del acromion (2); este ángulo incluye también una amplitud de flexión de la cadera;
- bien localizar el nivel alcanzado por el borde de los dedos (d) al realizar una flexión de tronco en bipedestación con las rodillas extendidas; en este caso, la flexión también incluye una amplitud de flexión de la cadera. Esta localización se puede llevar a cabo midiendo en centímetros la **distancia d** de los dedos hasta el suelo, o bien situando el **nivel n** de los dedos en relación a los miembros inferiores: rótula, mitad de la pierna, garganta del pie o dedos del mismo;
- bien midiendo con una cinta métrica flexible la distancia que separa la espina de C₇ de la primera espina sacra, primero en extensión y luego en flexión. En el esquema, este alargamiento de la distancia C₇-S₁ es de 5 cm.

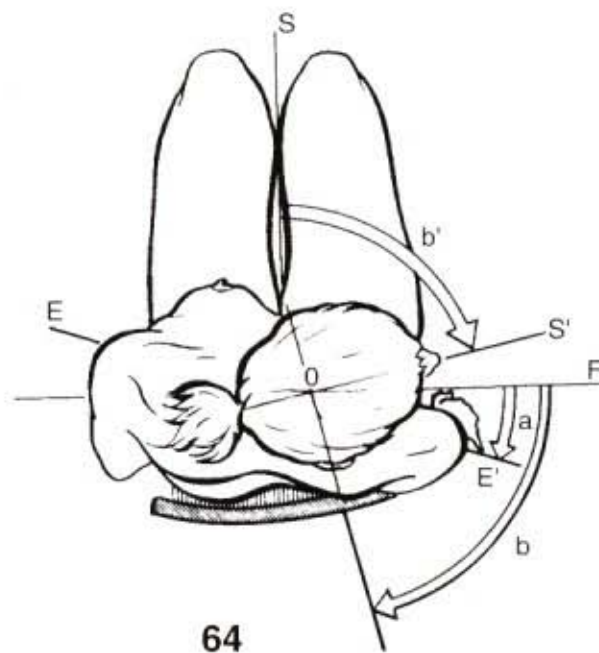
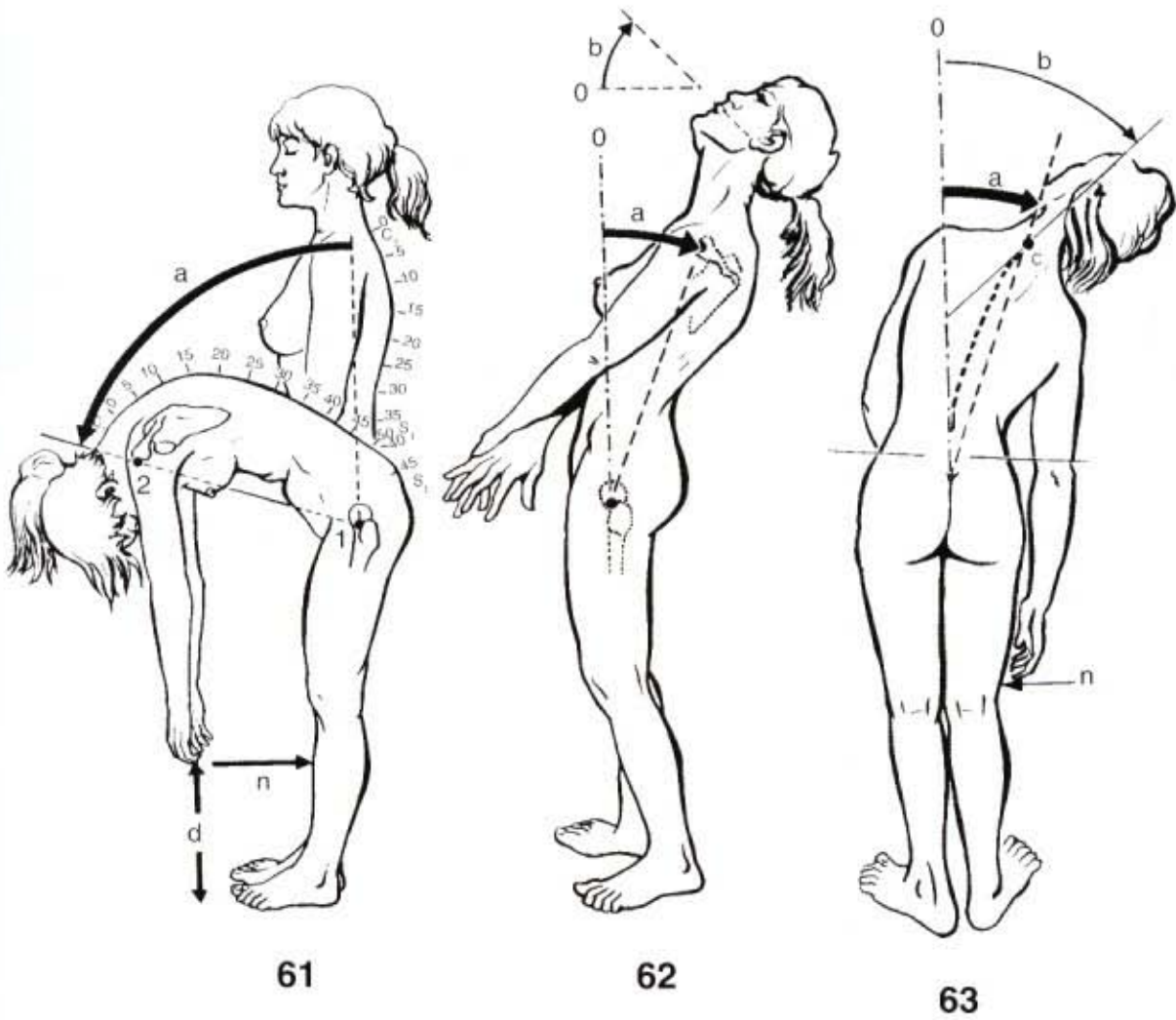
Para medir la *extensión del raquis dorsolumbar* (Fig. 62) se puede evaluar el **ángulo a** entre la vertical y la línea que une el borde anterosuperior del trocánter mayor y el ángulo del acromion en máxima extensión. Pero esta medida, integrada de

nuevo cierto grado de extensión en las caderas. Un método un tanto más preciso consiste en medir el **ángulo b** de extensión total del raquis y a continuación restarle el ángulo de extensión del raquis cervical aislado (esta última amplitud se mide con el tronco vertical y la cabeza echada hacia atrás); en el individuo un buen test de extensión y de flexibilidad raquídea es el movimiento denominado "del puente"; pero éste, evidentemente, no es un movimiento test que se pueda utilizar en cualquier caso.

Para apreciar la *inclinación lateral del raquis dorsolumbar* (Fig. 63); se mide en el individuo visto de espaldas, el **ángulo a** constituido por la vertical y la línea que une el extremo superior del surco interglúteo y la apófisis espinosa de C₇. Sin embargo, sería más exacto medir el **ángulo b** formado por la vertical y la tangente a la curva raquídea a la altura de C₇. Un medio práctico más sencillo, más inmediato, consiste en localizar el **nivel n** alcanzado por los dedos de la mano del lado de la inclinación: por encima de la rodilla, al nivel de ésta o por debajo de la misma.

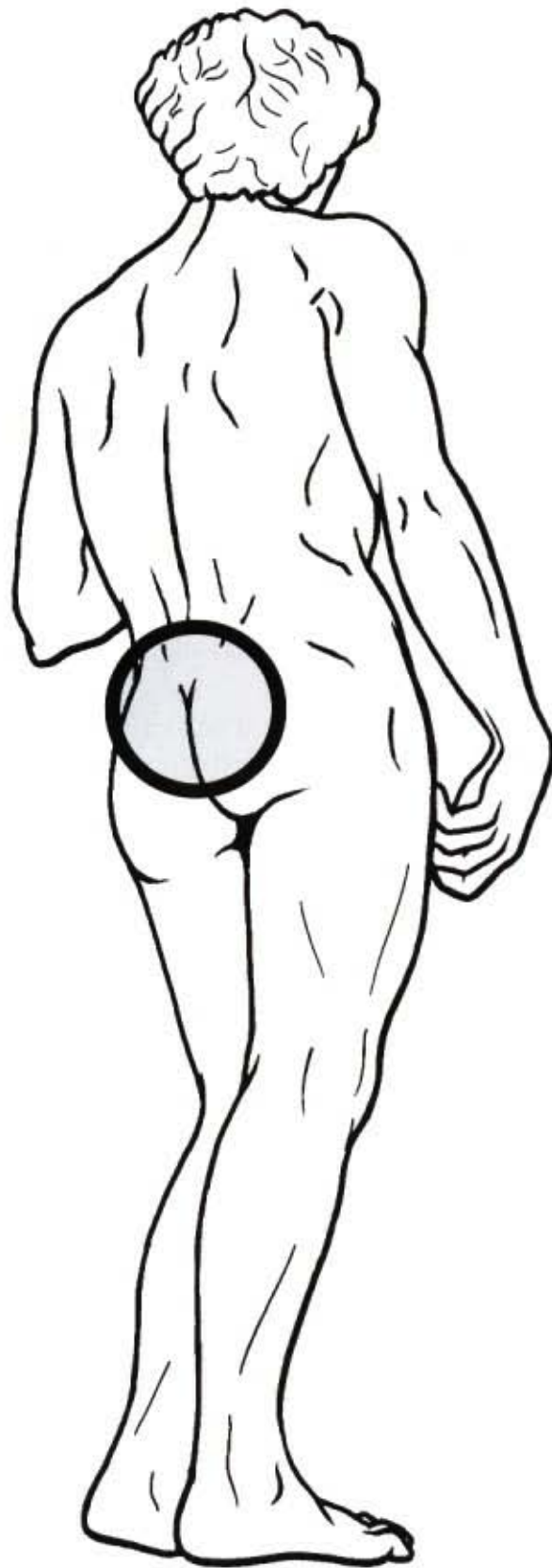
Para apreciar correctamente el movimiento de rotación axial del raquis, se debe observar al individuo desde arriba (Fig. 64); para inmovilizar la pelvis, el sujeto debe sentarse en una silla de respaldo bajo, con la pelvis y las rodillas bien sujetas, el plano de referencia es el plano frontal (F), que pasa por la parte superior (O) del cráneo. La rotación del raquis dorsolumbar se aprecia por el **ángulo a** formado por la línea de los hombros EE' y el plano frontal.

La amplitud total de rotación del raquis se mide por el ángulo de rotación (*b*) del plano biauricular y del plano frontal. También se puede medir el ángulo de rotación (*b'*) constituido por el plano de simetría de la cabeza (S') y el plano sagital (S).



CAPÍTULO II

**LA CINTURA PÉLVICA
Y LAS ARTICULACIONES SACROILIACAS**



LA CINTURA PÉLVICA EN EL HOMBRE Y EN LA MUJER

La cintura pélvica forma la base del tronco. Asimismo, constituye el sostén del abdomen y lleva a cabo la unión entre los miembros inferiores y el tronco. Se trata de **un anillo osteoarticular cerrado** compuesto por *tres piezas óseas* y *tres articulaciones*.

Las **tres piezas óseas** son:

- los *dos huesos iliacos*, pares y simétricos;
- el *sacro*, impar y simétrico, bloque vertebral constituido por la unión de cinco vértebras sacras.

Las **tres articulaciones**, de escasa movilidad, son:

- las *dos articulaciones sacroiliacas* que unen el sacro a cada uno de los huesos iliacos;
- la *sínfisis púbica*, que une ambos huesos iliacos por delante.

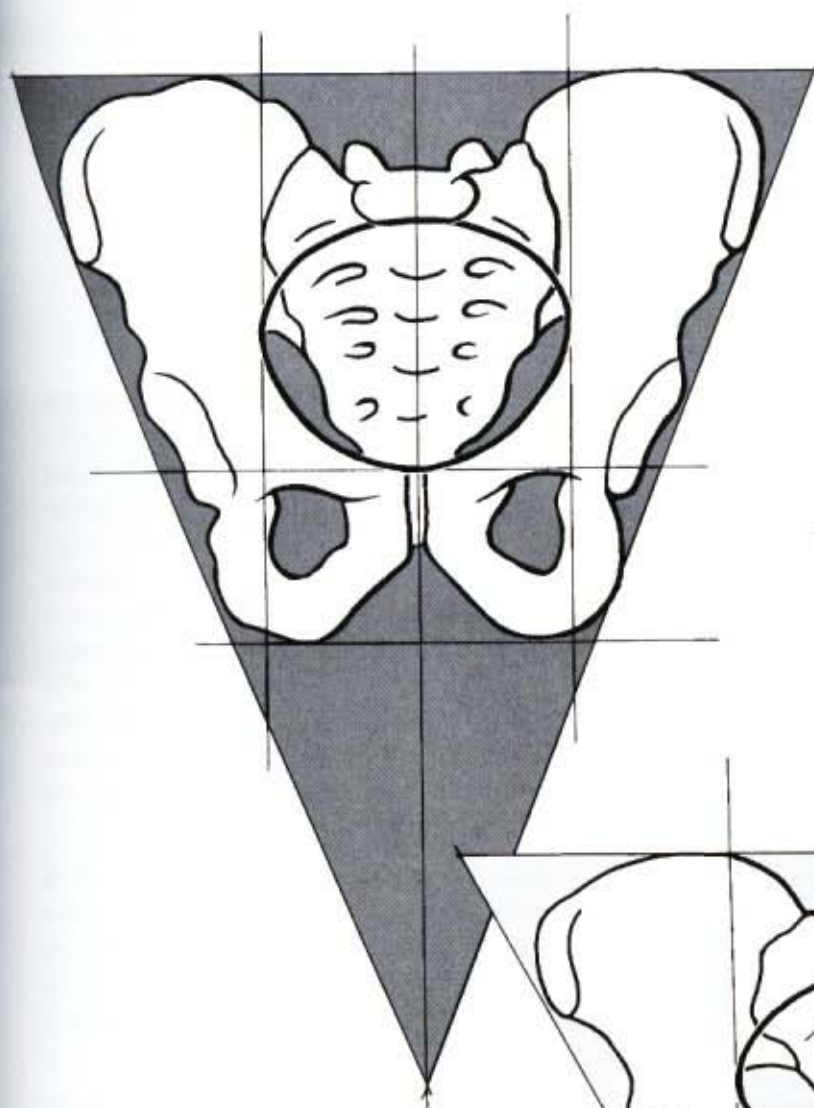
La cintura pélvica tiene, en conjunto, la forma de un embudo con una gran base superior que conecta la cavidad abdominal y la pelvis a través del estrecho superior. En el caso de la cintura pélvica, el dimorfismo sexual se aprecia con claridad; de hecho, cuando se compara la pelvis masculina (Fig. 1) con la femenina (Fig. 2), se puede constatar como esta última es *mucho más*

ancha y mucho más extensa: el triángulo en cuyo interior se inscribe posee una base más amplia que el de la pelvis masculina.

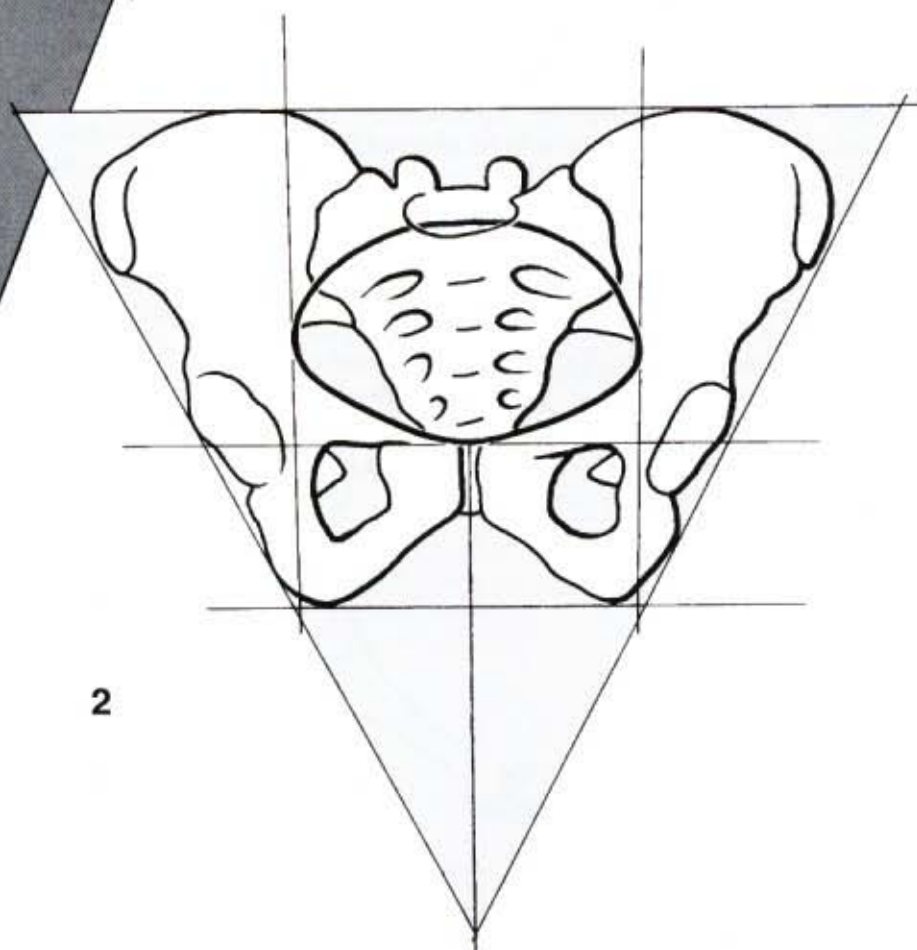
Por otra parte, también es *menos alta* que la pelvis masculina: la altura del trapecio inscrito es menor.

Por último, proporcionalmente, el *estrecho superior* (línea gruesa continua) es *más ancho* y más abierto en la mujer que en el hombre.

Esta diferencia en la morfología de la cintura pélvica está relacionada con la función de la gestación y, sobre todo, con la del parto, puesto que el feto y, en particular su cabeza, que constituye la parte más voluminosa del mismo, en un primer momento está situada por encima del estrecho superior a través del cual debe pasar en el momento oportuno para encajarse en una excavación y a continuación abrirse camino por el estrecho inferior. Por lo tanto, las articulaciones de la cintura pélvica desempeñan no sólo una *función en la estática del tronco en bipedestación*, sino también un papel importante en el *mecanismo del parto*, como se podrá ver más adelante a propósito de la fisiología de la articulación sacroiliaca.



1



2

ARQUITECTURA DE LA CINTURA PÉLVICA

La cintura pélvica, considerada en conjunto, transmite fuerzas entre el raquis y los miembros inferiores (Fig. 3): el peso (P) que soporta la quinta vértebra lumbar se reparte en dos partes iguales hacia los alerones del sacro, para, a continuación, a través de las espinas ciáticas, dirigirse hacia la cavidad cotiloidea. En este punto se recibe la resistencia del suelo al peso del cuerpo (R) que transmite el cuello del fémur y la cabeza femoral; una parte de esta resistencia queda anulada por la resistencia opuesta a la altura de la sínfisis púbica tras haber atravesado la rama horizontal del pubis.

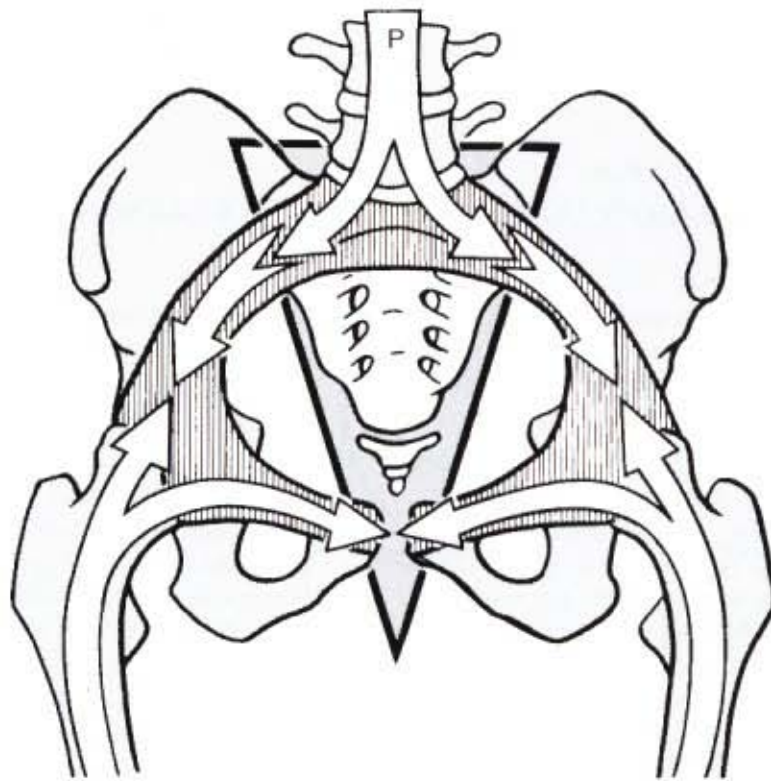
El conjunto de estas líneas de fuerza constituye un **anillo completo** representado por el estrecho superior. Existe todo un *sistema trabecular para dirigir estas fuerzas a través del anillo pélvico* (véase tomo II, pág. 30).

En virtud de su anchura, más amplia arriba que abajo en su parte articular, se puede considerar el sacro como una *cuña* (triángulo rayado en oscuro) que se incrusta verticalmente entre las dos alas ilíacas. Unido a ellas por ligamentos, el sacro está tanto más sujeto entre las citadas alas cuanto mayor es el peso ejercido sobre él: se trata de un *sistema de autobloqueo*.

Además, el sacro está encajado entre las dos alas ilíacas en *el plano transversal* (Figs. 4 y 5). De hecho, se puede considerar cada ala ilíaca como un brazo de palanca (Fig. 4) cuyo punto de apoyo (O_1 y O_2) se localizaría en las articulaciones sacroilíacas y cuya resistencia y potencia estarían situadas en los extremos superiores e inferiores. Por detrás, los potentes *ligamentos sacroilíacos* (L_1 y L_2) representarían la resistencia y, por delante, la potencia de cada uno de los brazos de palanca estaría representada por la *sínfisis púbica* desarrollando una fuerza de aproximación S_1 y S_2 .

Cuando se produce una **dislocación de la sínfisis púbica** (Fig. 5), la diastasis de los dos pubis (S) permite la separación de las superficies ilíacas de las articulaciones sacroilíacas, y como el sacro ya no está sujeto puede desplazarse hacia delante (d_1 y d_2).

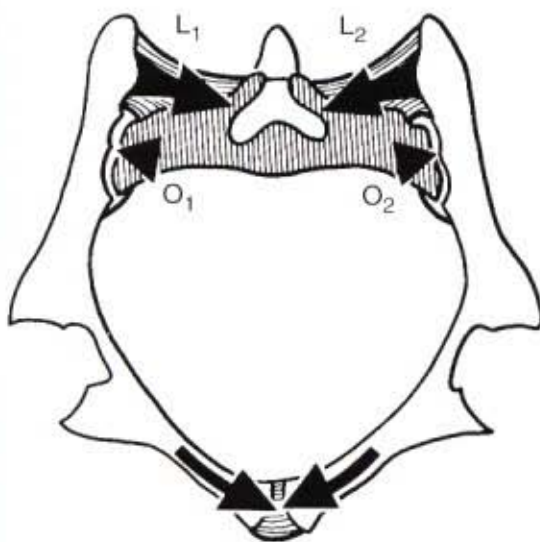
De este modo, se entiende la *total interdependencia de los distintos elementos del anillo pélvico*, cualquier ruptura de continuidad en un punto repercute en la totalidad del anillo comprometiendo su resistencia mecánica.



R

3

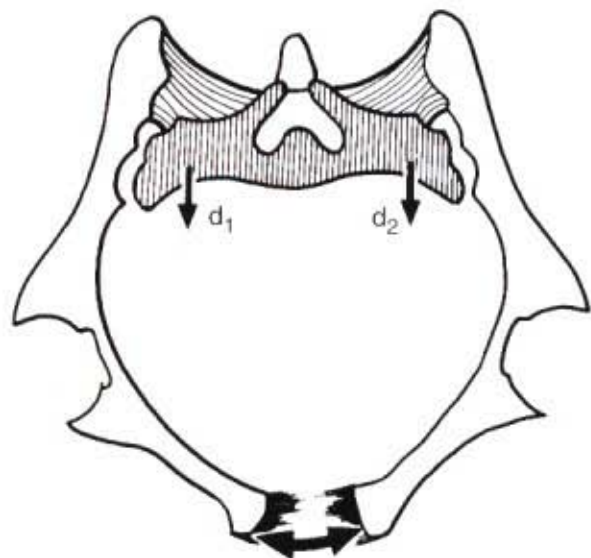
R



S₁

S₂

4



S

5

LAS SUPERFICIES ARTICULARES DE LA ARTICULACIÓN SACROILIACA

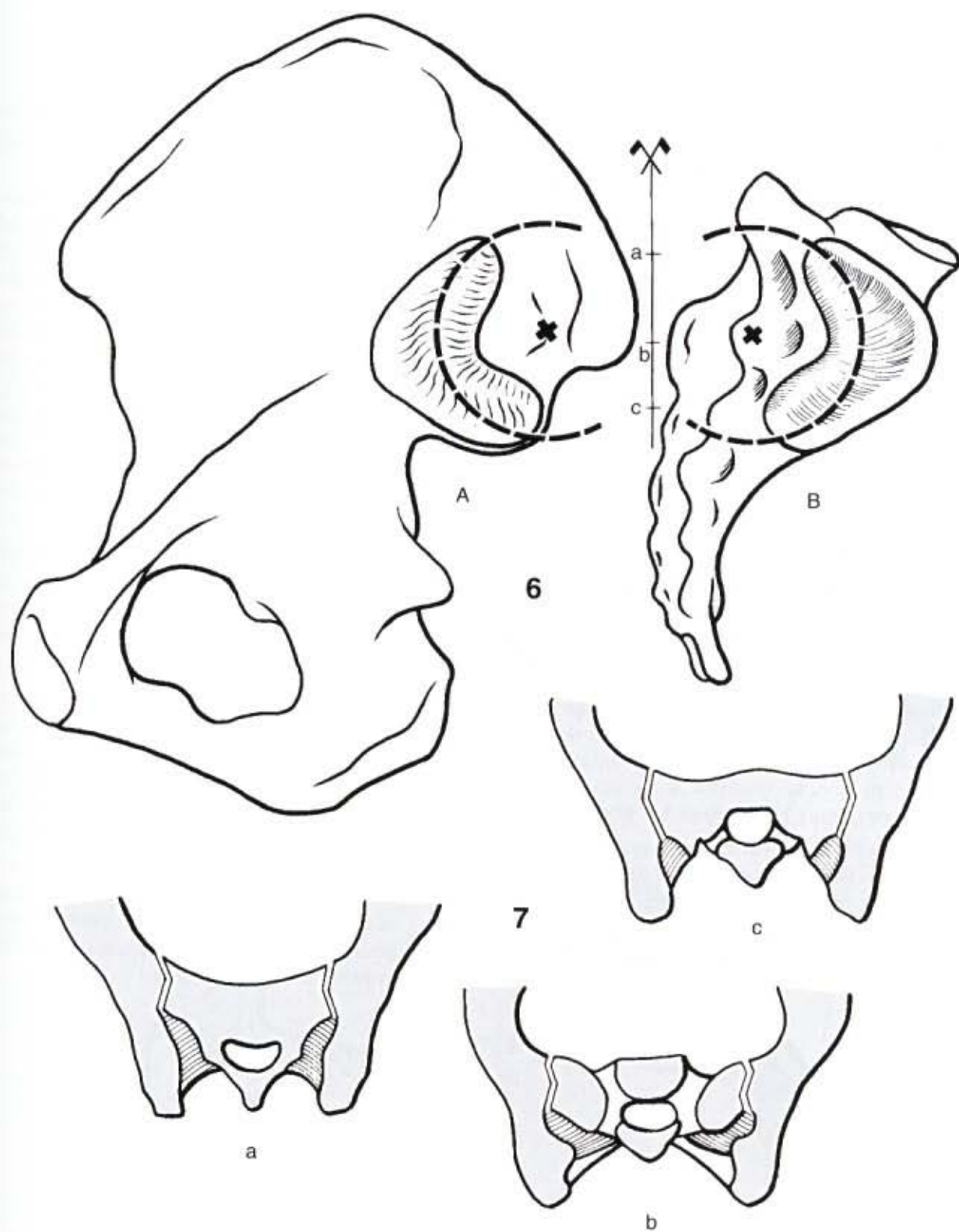
Si se abre una articulación sacroiliaca (Fig. 6) como si de un libro se tratara, de modo que las dos piezas óseas pivoten en torno a un eje vertical (*a, b, c*) se puede comprobar con claridad la *correspondencia de las dos superficies articulares*:

- **la carilla auricular del hueso coxal (A)**, situada en la parte posterosuperior de la cara interna del hueso iliaco, justo por detrás de la línea innominada, que constituye una parte del estrecho superior. Esta superficie tiene forma de media luna de concavidad posterosuperior; está recubierta de cartilago y, en conjunto, bastante irregular, pero Farabeuf afirmó que parecía un *riel ocupado*: de hecho, en el eje mayor de esta superficie discurre una cresta alargada que separa dos depresiones; esta cresta está incurvada sobre sí misma siguiendo un arco de círculo, cuyo centro está situado aproximadamente en la *tuberosidad iliaca* o pirámide (marcada con una cruz) que, como se podrá comprobar más adelante, constituye la inserción de potentes ligamentos de la articulación sacroiliaca;
- **la superficie auricular del alerón sacro (B)**, cuyos bordes se superponen a los de

la carilla auricular del hueso coxal y cuya superficie tiene una conformación inversa:

En la línea axial de esta superficie existe una depresión bordeada por dos crestas alargadas, el conjunto está incurvado siguiendo un arco de círculo cuyo centro se localiza a la altura del *primer tubérculo sacro* (marcado con una cruz) en el que se insertan potentes ligamentos de la articulación. Farabeuf afirmó que la superficie auricular del sacro estaba conformada como un riel hueco, que corresponde exactamente a la superficie del *riel ocupado* del hueso iliaco.

Sin embargo, estas dos superficies están lejos de tener la regularidad descrita y si se realizan *tres cortes horizontales* (Fig. 7) correspondientes a los niveles *a, b* y *c* de la figura 6, se puede constatar que, sólo en la parte media (*b*) y en la parte superior (*a*) de la carilla auricular del sacro existe una depresión central. En cambio, en su parte inferior (*c*), la carilla auricular del sacro es más bien convexa en su parte central. De todo esto se puede deducir la dificultad que existe para realizar una proyección radiológica de la interlínea sacroiliaca, dependiendo de la parte que se desee explorar, la proyección deberá ser oblicua de fuera adentro, o de dentro afuera.



LA CARILLA AURICULAR DEL SACRO

La carilla auricular del sacro puede presentar **grandes variaciones** morfológicas según individuos. A. Delmas ha demostrado la existencia de una *correspondencia entre el tipo de raquis y la morfología del sacro y de su carilla auricular* (Fig. 8).

Cuando las curvas raquídeas están *muy acentuadas* (A), lo que corresponde a un *tipo dinámico*, el sacro es *muy horizontal* y la carilla auricular, *muy incurvada* sobre sí misma y a la par *muy cóncava*. La articulación sacroiliaca está pues dotada de una gran movilidad que recuerda a la de una diartrosis, se trata de un tipo especialmente evolucionado, "sobreadaptado", que corresponde a un grado extremo de adaptación a la marcha bípeda.

Cuando las curvas raquídeas están *poco acentuadas* (B), lo que corresponde a un *tipo estático*, el sacro está entonces casi vertical y la carilla auricular *muy alargada verticalmente* y *muy poco acodada* sobre sí misma; por otra parte su superficie es *casi plana*. Esta morfología de la carilla auricular, muy distinta de la descrita por Farabeuf, corresponde a una articulación de poca movilidad que recuerda a la de una anfiartrosis; este aspecto que se observa a menudo en los niños se aproxima al hallado en los primates.

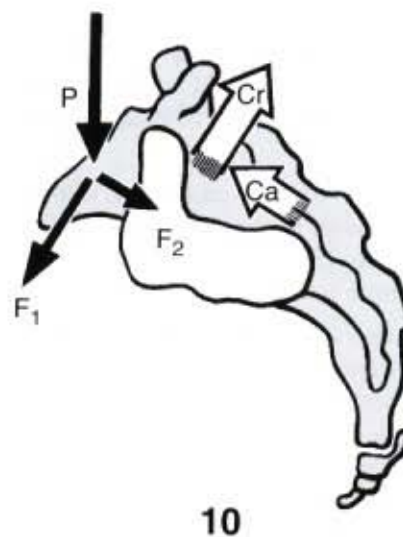
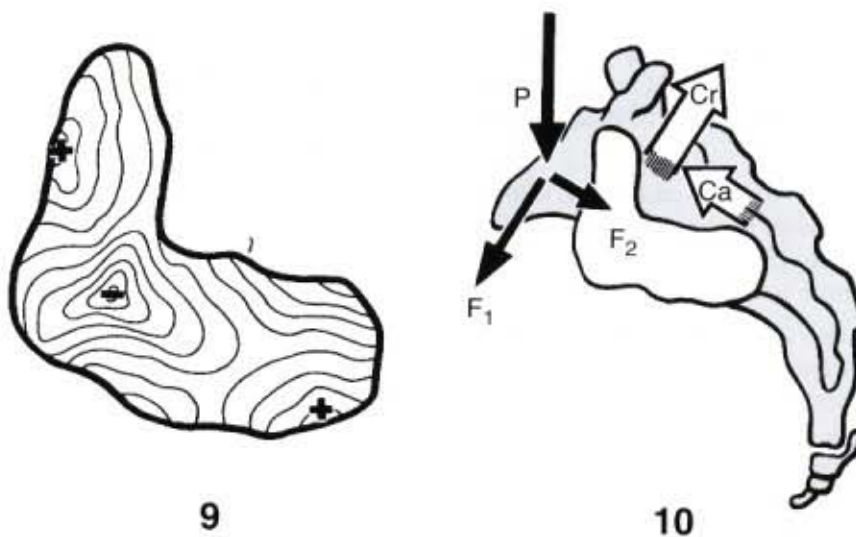
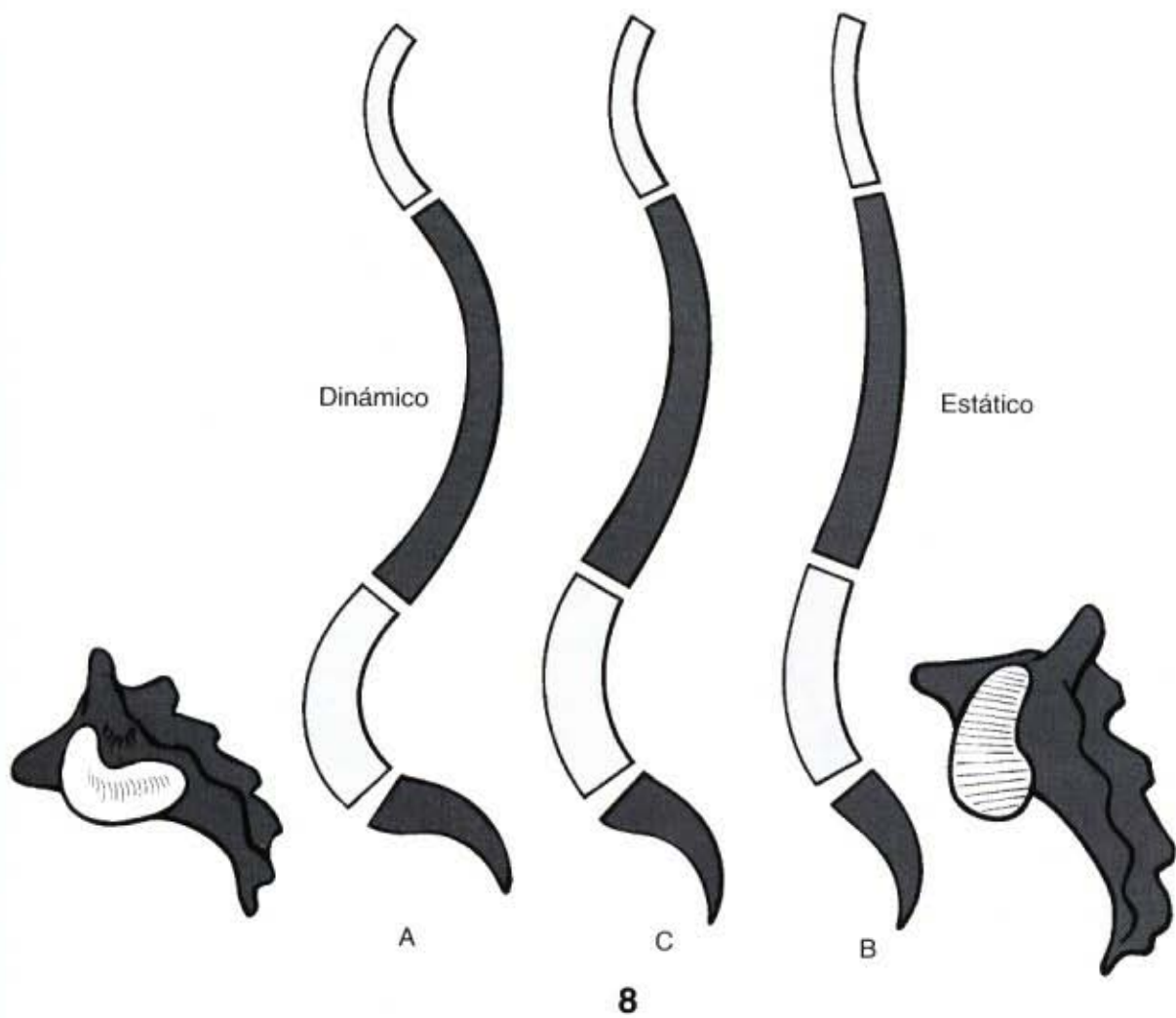
Sea como fuere, A. Delmas ha demostrado que la evolución de los primates hasta el hombre se acompaña de un alargamiento y un ensanchamiento del segmento caudal de la carilla auricular cuya importancia rebasa, en el hombre, la del segmento craneal, la angulación de ambos segmen-

tos puede alcanzar en el hombre el ángulo recto, mientras que en los primates esta carilla está muy poco incurvada sobre sí misma.

Weisel ha analizado a través de **alzados cartográficos** el relieve de la carilla auricular del sacro, demostrando (Fig. 9) que la aurícula es generalmente más larga y estrecha en el sacro que en el hueso iliaco y que se observa constantemente una *depresión central* en la unión de los dos segmentos (marcados con el signo -) y *dos elevaciones* cerca de los extremos de cada segmento (marcadas con el signo +). En el hueso iliaco, la disposición es recíproca pero no exactamente simétrica. De este modo, existe una elevación en la unión de los dos segmentos que corresponde al tubérculo de Bonnaire.

Weisel también ha desarrollado una teoría personal sobre la *disposición de los ligamentos* de esta articulación sacroiliaca en relación a las fuerzas que recibe. Clasifica estos ligamentos en dos grupos (Fig. 10):

- un *grupo craneal* (Cr), de dirección lateral y dorsal, que se opondría al componente F_1 del peso del cuerpo (P) ejercido sobre la cara superior de la primera vértebra sacra. Estos ligamentos actuarían durante el desplazamiento del promontorio hacia delante;
- un *grupo caudal* (Ca), de dirección craneal, que se opondría al componente F_2 perpendicular al plano de la cara superior de la primera vértebra sacra.



LOS LIGAMENTOS DE LA SACROILIACA

Los números de leyenda son comunes a las tres figuras.

En una vista posterior de la pelvis (Fig. 11), se pueden observar, por una parte, los ligamentos **iliolumbares**:

- *el haz superior del ligamento iliolumbar* (1);
- *el haz inferior del ligamento iliolumbar* (2).

En el lado derecho de la figura se distingue el **plano medio de los ligamentos iliosacros**. De arriba abajo:

- *el ligamento iliotransverso sacro* (3);
- *los ligamentos iliotransversos conjugados* (4) descritos por Farabeuf, divergen del extremo posterior de la cresta iliaca y terminan en los tubérculos conjugados.

El *primer ligamento iliotransverso conjugado* se extiende desde la tuberosidad iliaca, situada por detrás del vértice de la pirámide, al primer tubérculo conjugado.

El *segundo ligamento iliotransverso conjugado*, de Zaglas, se fija en el segundo tubérculo conjugado.

Los *ligamentos iliotransversos conjugados tercero y cuarto* se extienden desde la espina iliaca posterosuperior a los tubérculos conjugados tercero y cuarto.

En el lado izquierdo está representado el **plano ligamentoso superficial** (5), abanico fibroso que se extiende desde el borde superior del hueso iliaco hasta los tubérculos posterointernos.

Entre la parte inferior del borde externo del sacro y la gran escotadura ciática se extienden dos importantes ligamentos: **los ligamentos sacrociáticos mayor y menor**:

- *el ligamento sacrociático menor* (6) oblicuo hacia arriba, hacia adentro y hacia atrás, se extiende desde la espina ciática al borde lateral del sacro y del cóccix;
- *el ligamento sacrociático mayor* (7) atraviesa oblicuamente la cara posterior del precedente. Se inserta por arriba a lo largo de una línea que va desde el borde posterior del hueso iliaco a las dos primeras vértebras coccígeas. Sus fibras oblicuas hacia abajo, hacia delante y hacia fuera, están *retorcidas*

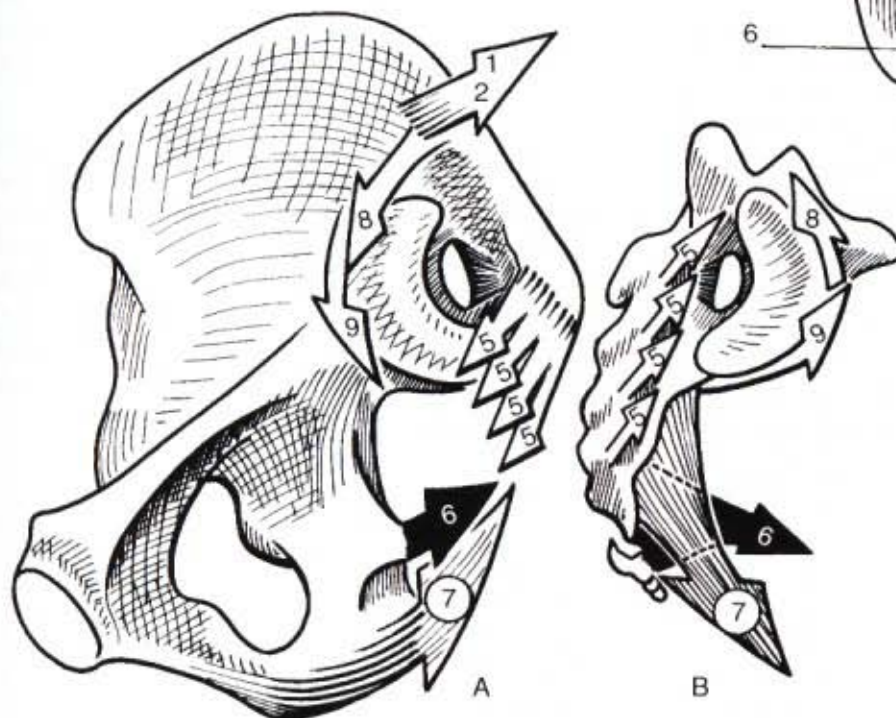
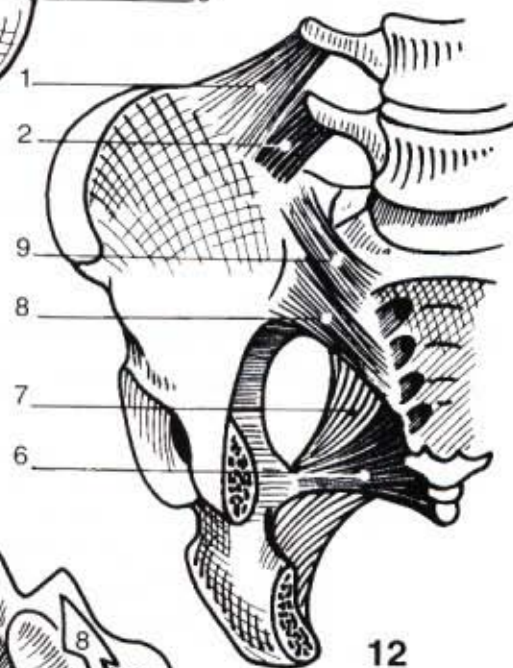
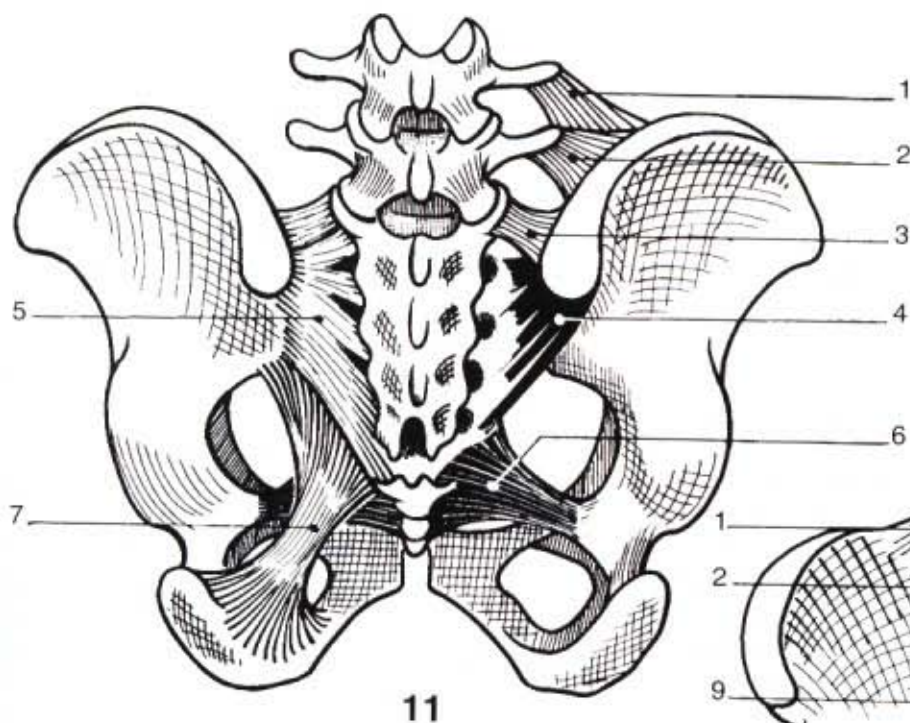
sobre sí mismas y se insertan por abajo en la tuberosidad isquiática, así como en el labio interno de la rama ascendente del isquión. La gran escotadura ciática se halla así dividida por estos dos ligamentos sacrociáticos en dos orificios: un *orificio superior*, por el que sale de la pelvis el *músculo piramidal*, y un *orificio inferior*, orificio de salida del *obturador interno*.

En una vista anterior (Fig. 12), se hallan de nuevo los ligamentos iliolumbares (1 y 2), los ligamentos sacrociáticos mayor (7) y menor (6), aunque también se encuentra el **ligamento sacroiliaco anterior**, constituido por dos haces todavía denominados *frenos de nutación superior e inferior*:

- *un haz anterosuperior* (8);
- *un haz anteroinferior* (9).

La figura 13 muestra la articulación sacroiliaca derecha, con sus ligamentos, abierta por la rotación en torno a un eje vertical; de este modo, se puede observar el hueso iliaco (A) por su cara interna y el sacro (B) por su cara externa. Así se puede entender:

- el *enrollamiento de los ligamentos* alrededor de la articulación sacroiliaca y las condiciones en las que se tensan durante la nutación y la contranutación;
- la *dirección oblicua hacia abajo, hacia delante y hacia dentro de los frenos de la nutación* (8 y 9) a partir del hueso iliaco (A). A partir del sacro (B) son oblicuos hacia arriba, hacia delante y hacia fuera;
- del mismo modo se hallan de nuevo *los ligamentos iliotransversos conjugados* (5);
- *los ligamentos sacrociáticos menor* (6) y *mayor* (7);
- el **ligamento axial** (representado por una zona blanca en las dos mitades del dibujo) constituye el *plano profundo* de los ligamentos sacroiliacos y se fija por afuera en la tuberosidad iliaca, sobre todo en la pirámide, y por dentro en las dos primeras fosas cribosas del sacro. También se le denomina *interóseo* o *ligamento vago*, y para los autores clásicos representa el eje en torno al cual se ejecutan los movimientos del sacro; de ahí su nombre.



LA NUTACIÓN Y LA CONTRANUTACIÓN

Antes de analizar los movimientos de la sacroiliaca conviene recordar que su *amplitud no es mucha* y, además, es *variable según circunstancias e individuos*, lo que explica las contradicciones existentes entre diferentes autores en cuanto a las teorías de funcionamiento de esta articulación y a la importancia que estos movimientos pueden tener en la fisiología del parto. Estos movimientos fueron descritos por primera vez por Zaglas en 1851 y por Duncan en 1854.

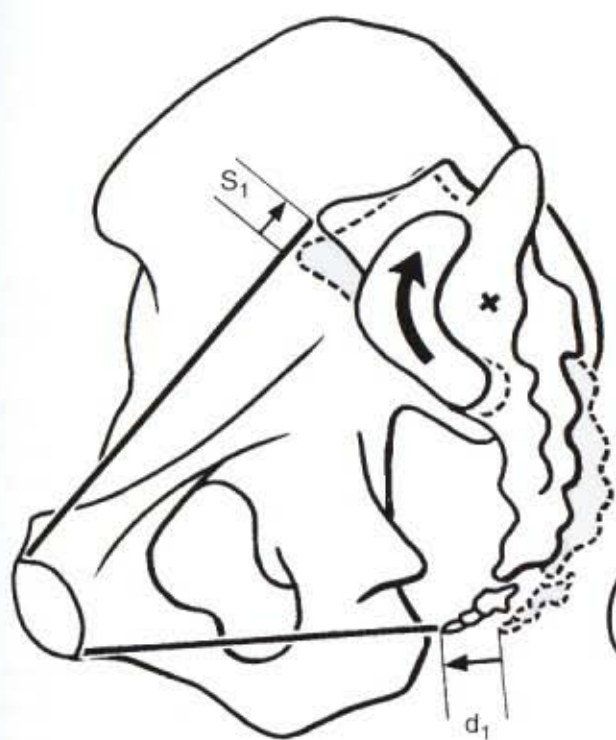
Definición y mecanismos según la teoría clásica

Durante el **movimiento de nutación** (Fig. 15), el sacro gira en torno al eje representado por la cruz negra y constituido por el ligamento axial, de tal modo que el promontorio se desplaza hacia abajo y hacia delante (S_2) y el vértice del sacro y el extremo del cóccix se desplazan hacia atrás (d_2). Así, el diámetro anteroposterior del estrecho superior disminuye una distancia S_2 , mientras que el diámetro anteroposterior del estrecho inferior aumenta una distancia d_2 . Simultáneamente (Fig. 16), las alas ilíacas se aproximan mientras que las tuberosidades isquiáticas se separan. El movimiento de nutación está limitado (Fig. 13) por la tensión de los ligamentos sacrociáticos mayor (7) y menor (6) y de los frenos de nutación, a saber:

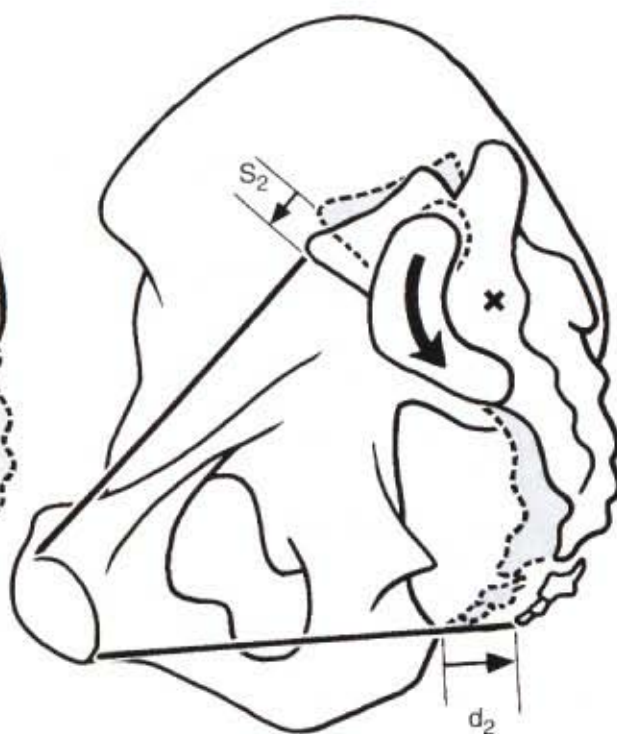
los haces anterosuperior (8) y anteroinferior (9) del ligamento sacroiliaco anterior.

El **movimiento de contranutación** (Fig. 14) lleva a cabo desplazamientos inversos: el sacro, al pivotar en torno al ligamento axial se endereza, de modo que el promontorio se desplaza hacia arriba y atrás (S_1) y el extremo inferior del sacro y el vértice inferior del cóccix se desplazan hacia abajo y hacia delante (d_1). El diámetro anteroposterior del estrecho superior aumenta entonces una distancia S_1 , mientras que el diámetro anteroposterior del estrecho inferior disminuye una distancia d_1 . Por otra parte, las alas ilíacas se separan y las tuberosidades isquiáticas se aproximan. El movimiento de contranutación está limitado (Fig. 13) por la tensión de los ligamentos sacroiliacos, distribuidos en el plano superficial (5) y el plano profundo (4).

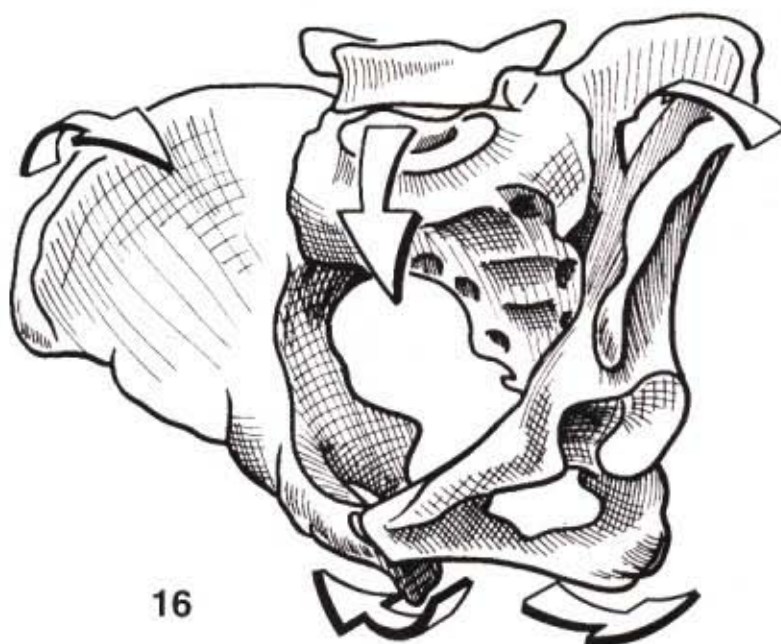
A título informativo, la variación del diámetro anteroposterior del estrecho superior puede variar de 3 mm para Bonnaire, Pinard y Pinzani, a 8 a 13 mm para Walcher. La amplitud de variación del diámetro anteroposterior del estrecho inferior puede variar de 15 mm para Borcel y Fernström a 17,5 mm para Thoms. Weisel confirmó recientemente el desplazamiento transversal de las alas ilíacas y de las tuberosidades isquiáticas.



14



15



16

LAS DIFERENTES TEORÍAS DE LA NUTACIÓN

En la **teoría clásica de Farabeuf** (Fig. 17) que se acaba de describir, el movimiento de báscula del sacro se efectúa en torno al eje constituido por el *ligamento axial* (O), el desplazamiento es *angular* y el promontorio se desplaza hacia abajo y hacia delante en torno a un arco de círculo de centro O retroauricular.

En la **teoría de Bonnaire** (Fig. 18), el movimiento de báscula del sacro se efectúa en torno a un eje O', que pasa por el *tubérculo de Bonnaire*, en la unión de los dos segmentos de la aurícula sacra. El centro de este movimiento *angular* basculante del sacro es pues auricular.

Sin embargo, los estudios de Weisel permiten proponer otras dos teorías:

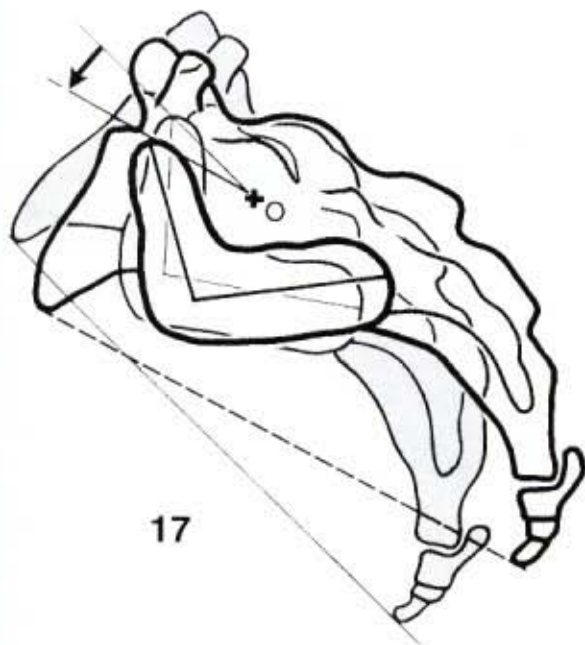
- una **teoría de traslación pura** (Fig. 19), según la cual el sacro se deslizaría a lo largo del eje de la porción inferior de la aurícula. Se trataría entonces de una *tras-*

lación siguiendo una distancia d que afectaría del mismo modo al promontorio sacro y a el vértice del sacro;

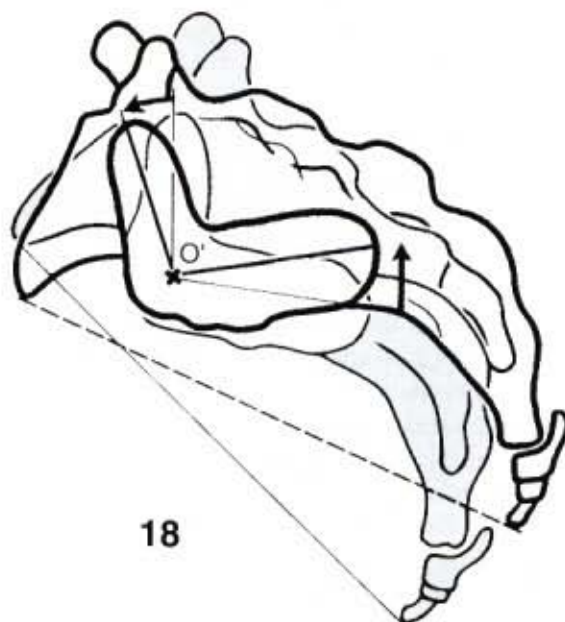
- otra hipótesis retomaría la idea de la **rotación** (Fig. 20), pero esta vez en torno a un *eje preauricular* O'' situado por debajo y por delante del sacro. La localización de este centro de rotación variaría de un individuo a otro, y, en el mismo individuo, según el tipo de movimiento realizado.

La variedad de estas teorías hace suponer la dificultad para analizar los movimientos de poca amplitud así como la posibilidad de diferentes tipos de movimientos según los individuos.

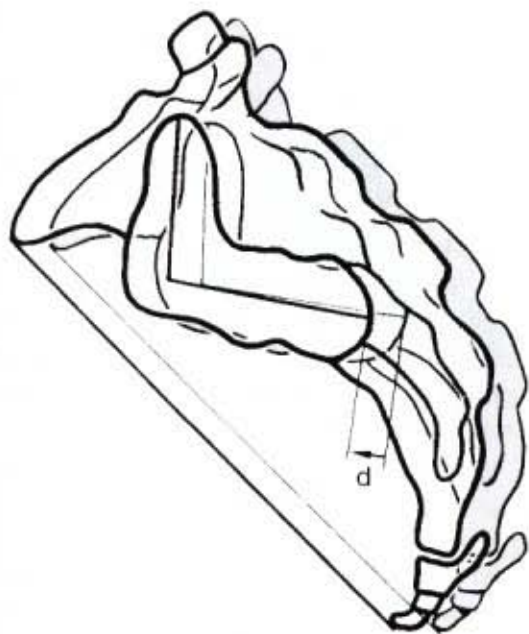
No obstante, estas nociones no tienen el carácter abstracto que podría atribuírseles, ya que estos movimientos intervienen en la fisiología del parto.



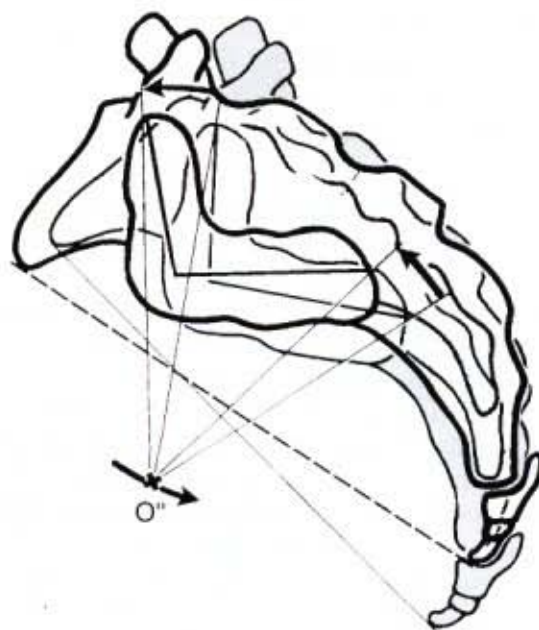
17



18



19



20

LA SÍNFISIS PÚBLICA Y LA ARTICULACIÓN SACROCOCCÍGEA

La **sínfisis púbica** es una *anfiartrosis*, de poca movilidad, *casi nula*. Sin embargo, al final del embarazo y durante el parto, la imbibición acuosa de las partes blandas permite pequeños movimientos de deslizamiento y la separación de un pubis respecto al otro. En los roedores, estos movimientos son de gran amplitud.

En un **corte horizontal** (Fig. 21), se distinguen los extremos óseos de los pubis a cada lado de la línea media, cuyas superficies axiales están tapizadas por un cartílago y unidas por un fibrocartilago denominado *ligamento interóseo*.

En una **vista interna** (Fig. 22), la superficie articular del pubis aparece ovalada con un eje mayor oblicuo hacia arriba y hacia delante, recubierta por el tendón de inserción del músculo recto abdominal (1); la articulación está bloqueada por delante por un *ligamento anterior* (3), muy grueso, formado por fibras transversales y reforzado por fibras oblicuas, perfectamente visibles en una **vista anterior** (Fig. 25): expansión de las aponeurosis de inserción del músculo oblicuo mayor (8), expansión de los músculos recto anterior (7) y piramidal (2), expansión de los tendones de inserción del recto interno y del aductor mediano (9); todas estas fibras entrecruzadas forman un tejido denso en la cara anterior de la sínfisis.

En la **cara posterior** (Fig. 24) se puede observar el **ligamento posterior de la sínfisis púbica** (5), membrana fibrosa que se continúa con el periostio. En un **corte verticofrontal** (Fig. 23) se puede apreciar la constitución de las superficies articulares con la *capa cartilaginosa* (10) de las superficies púbicas, el *fibrocartilago* (11) y la *finca hendidura* (12) excavada en el grosor del mismo. El borde superior de la sínfisis está reforzado por el *ligamento superior* (6), haz fibroso grueso y denso, y el borde inferior está reforzado por el *ligamento inferior* (4) o ligamento arqueado subpúbico en prolongación con el ligamento interóseo, formando un arco de borde cortante que redondea el vértice de la arcada púbica. El grosor y la solidez del ligamento arqueado subpúbico se puede observar con facilidad en un corte sagital (Fig. 22). La

fuerza de estos medios de unión hacen de la sínfisis púbica una articulación muy sólida, difícil de dislocar. En traumatología, esta alteración es poco frecuente, pero su tratamiento es generalmente difícil, lo que se trata de un hecho sorprendente tratándose de una articulación que, en condiciones normales, carece de movilidad.

La **articulación sacrococcígea** que une el sacro al cóccix es una *anfiartrosis*. Sus superficies articulares son elípticas de eje mayor transversal.

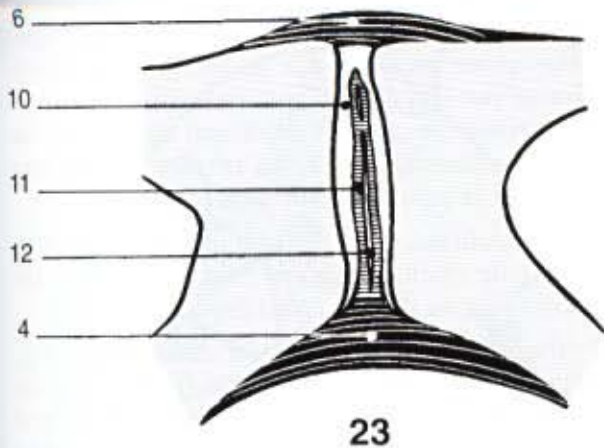
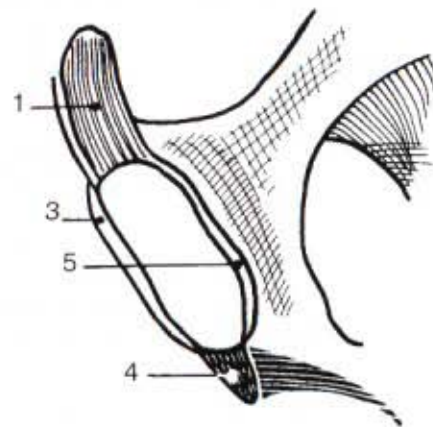
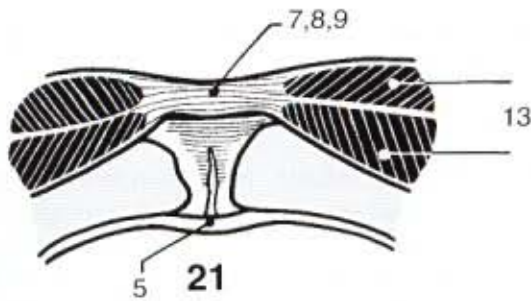
En una **vista lateral** (Fig. 28), se puede observar que la superficie sacra es convexa, mientras que la superficie coccígea es cóncava. Los medios de unión están constituidos por un *ligamento interóseo*, análogo a un disco intervertebral y por ligamentos periféricos que se clasifican en tres grupos: anteriores, posteriores y laterales.

En una **vista anterior** (Fig. 26), se puede observar el cóccix (1) formado por tres o cuatro piezas óseas soldadas entre sí, el sacro (2) y el *ligamento anterior*:

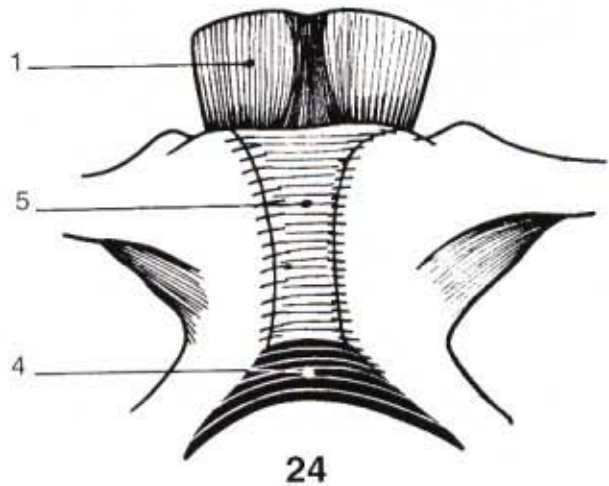
- en la cara anterior del sacro, los vestigios del ligamento vertebral común anterior (3) que se prolongan por el ligamento sacrococcígeo anterior (4);
- también se pueden apreciar *tres ligamentos sacrococcígeos laterales* (5, 6 y 7).

En una **vista posterior** (Fig. 27), se pueden observar vestigios ligamentosos sobre la cresta sacra (8) que se prolongan por los *ligamentos sacrococcígeos posteriores* (9).

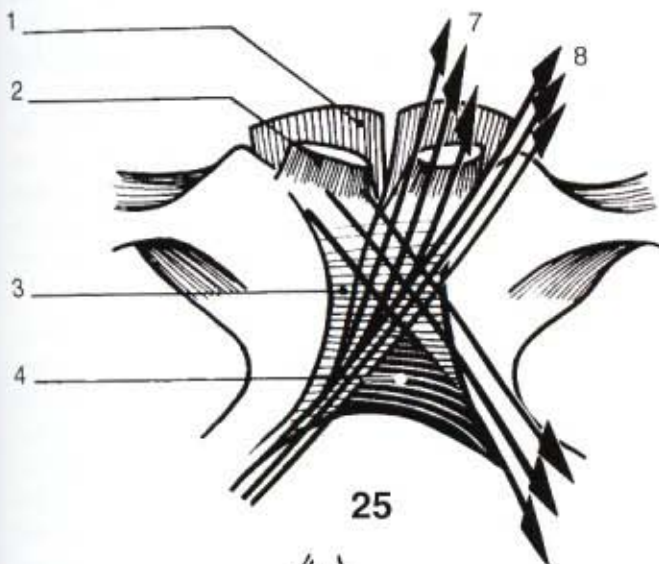
La sacrococcígea está dotada de *movimientos de flexoextensión* (Fig. 28), que son principalmente *pasivos* y que intervienen en la defecación y en el parto. De hecho, en el movimiento de nutación, la extensión del cóccix (desplazamiento hacia arriba y hacia atrás) que aumenta el diámetro anteroposterior del estrecho inferior en el momento de la salida de la cabeza fetal, puede amplificar y prolongar la báscula hacia atrás de la punta del sacro.



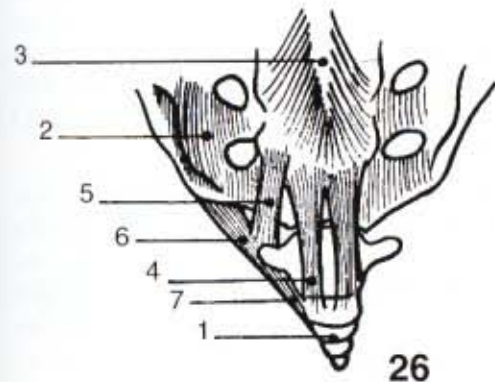
22



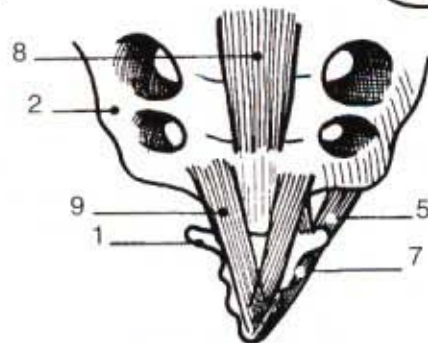
24



25



26



27



28

INFLUENCIA DE LA POSICIÓN SOBRE LAS ARTICULACIONES DE LA CINTURA PÉLVICA

En **bipedestación simétrica**, las articulaciones de la cintura pélvica están solicitadas por el peso del cuerpo. El mecanismo de estas presiones se puede analizar en una vista lateral (Fig. 29), en la que el hueso iliaco, supuestamente transparente, permite ver el fémur. El conjunto formado por el raquis, sacro, hueso iliaco y miembros inferiores constituye un *sistema articulado*: por una parte, en la articulación coxofemoral y, por otra, en la articulación sacroiliaca. El *peso del tronco* (flecha P), al recaer sobre la cara superior de la primera vértebra sacra, tiende a desplazar hacia abajo el promontorio. Por lo tanto, el sacro se ve solicitado en el sentido de la nutación (N₁). Este movimiento está rápidamente limitado por los ligamentos sacroilíacos anteriores, o freno de nutación, y sobre todo, *por los dos ligamentos sacrociáticos* que impiden la separación de el vértice del sacro respecto a la tuberosidad isquiática.

Simultáneamente, la *reacción del suelo* (flecha R), transmitida por los fémures y ejercida a nivel de las articulaciones coxofemorales, forma, con el peso del cuerpo sobre el sacro, una *pareja de rotación*, que tiende a bascular el hueso iliaco hacia atrás (flecha N₂). Esta retroversión de la pelvis acentúa más la nutación en las articulaciones sacroilíacas.

Aunque este análisis trata de los movimientos, en realidad, debería referirse a las fuerzas que los provocan, ya que los movimientos son casi nulos, se trata más bien de tendencia a movimientos que de movimientos propiamente dichos, puesto que los sistemas ligamentosos son extremadamente potentes e impiden inmediatamente cualquier desplazamiento.

En **apoyo monopodal** (Fig. 30), y en cada paso durante la marcha, la reacción del suelo (flecha R), transmitida por el miembro portador, eleva la articulación coxofemoral correspondiente, mientras que en el otro lado, el peso del miembro en suspensión tiende a descender la coxofemoral opuesta. Esto provoca una *compresión en cizallamiento* de la sínfisis púbica que tiende a elevar el pubis del lado portador (A) y a descender el pubis del lado en suspensión (B). Normalmente, la solidez de la sínfisis púbica impide cualquier desplazamiento en

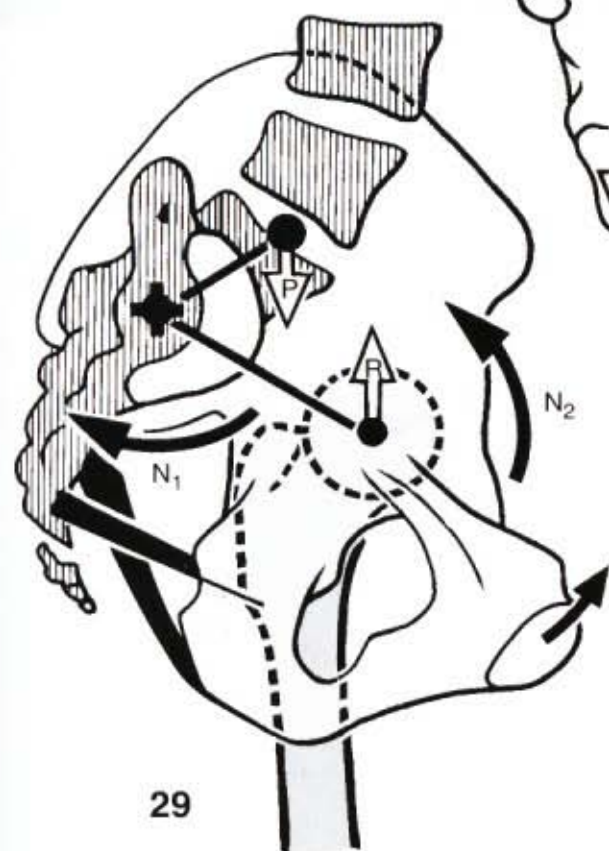
esta articulación, pero cuando ésta está dislocada, se puede ver cómo efectivamente aparece un desnivel (d) en el borde superior de cada uno de los pubis durante la marcha. De igual modo, se puede concebir que las articulaciones sacroilíacas se soliciten de forma opuesta en cada paso. Su resistencia a los movimientos se debe a la fortaleza de sus ligamentos, pero cuando una de las sacroilíacas resulta lesionada por una dislocación traumática, aparecen movimientos que causan dolor con cada paso. La solidez mecánica del anillo pélvico condiciona pues, tanto la bipedestación como la marcha.

En **decúbito**, las articulaciones sacroilíacas se solicitan de distinta manera (Fig. 33) según las caderas estén en flexión (A) o en extensión (B).

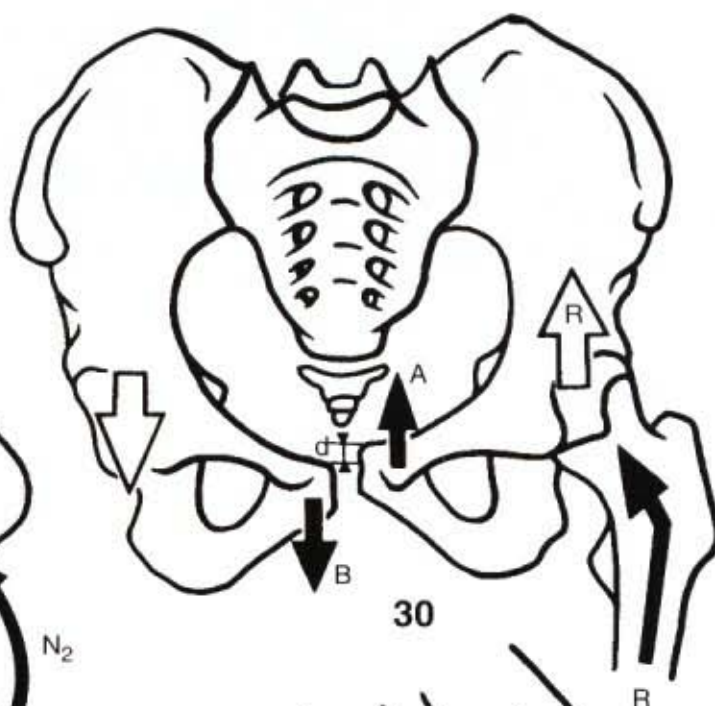
Cuando las **caderas están extendidas** (Fig. 32), la tracción sobre los músculos flexores (flecha blanca) bascula la pelvis en anteversión, al tiempo que el vértice del sacro se ve impulsada hacia delante. Así se produce una disminución de la distancia entre el vértice del sacro y la tuberosidad isquiática y, simultáneamente, una rotación en la sacroiliaca en el sentido de la *contranutación* (la flecha 2 indica el movimiento del hueso iliaco en torno al eje de nutación). Esta posición corresponde *al inicio del parto* y la contranutación, que ensancha el estrecho superior de la pelvis, favorece el *descenso de la cabeza fetal* hacia la excavación pélvica.

Cuando las **caderas están flexionadas** (Fig. 31), la tracción de los músculos isquiotibiales (flecha I) tiende a bascular la pelvis en retroversión respecto al sacro. Esto constituye pues un movimiento de *nutación* (la flecha 1 indica el movimiento del hueso iliaco en relación al sacro); dicho movimiento disminuye el diámetro anteroposterior del estrecho superior y aumenta los dos diámetros del estrecho inferior. Esta posición adoptada durante el *momento del expulsivo* del parto favorece así la *salida de la cabeza fetal* durante su paso por el estrecho inferior.

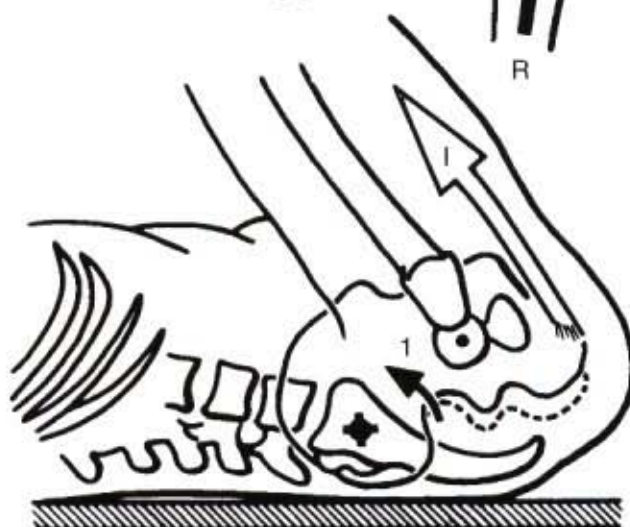
Durante el cambio de posición entre la extensión y la flexión de los muslos, la amplitud media del desplazamiento del promontorio es de 5,6 mm. Los cambios de posición de los muslos modifican notablemente las dimensiones de la excavación pélvica para facilitar el paso del feto durante el parto.



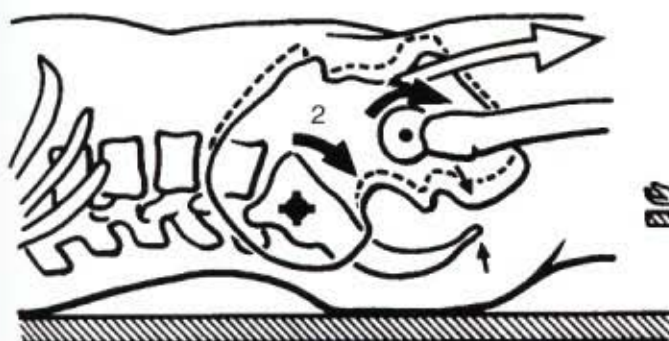
29



30



31



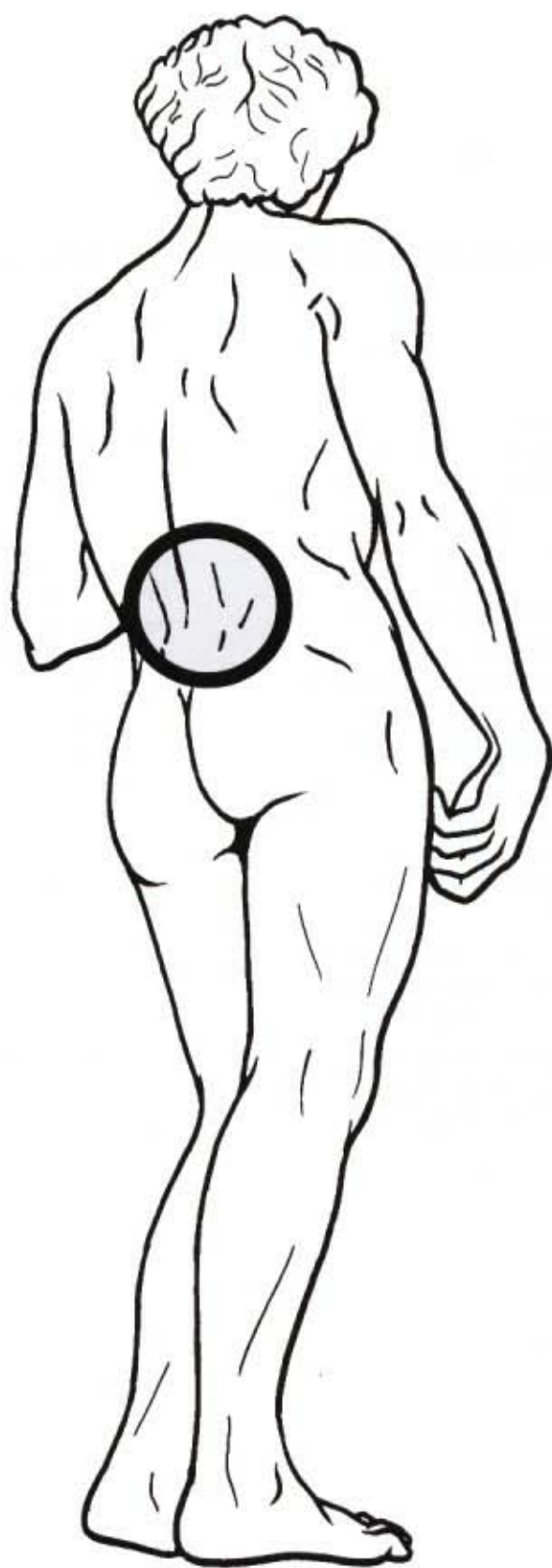
32



33

CAPÍTULO III

EL RAQUIS LUMBAR



EL RAQUIS LUMBAR EN CONJUNTO

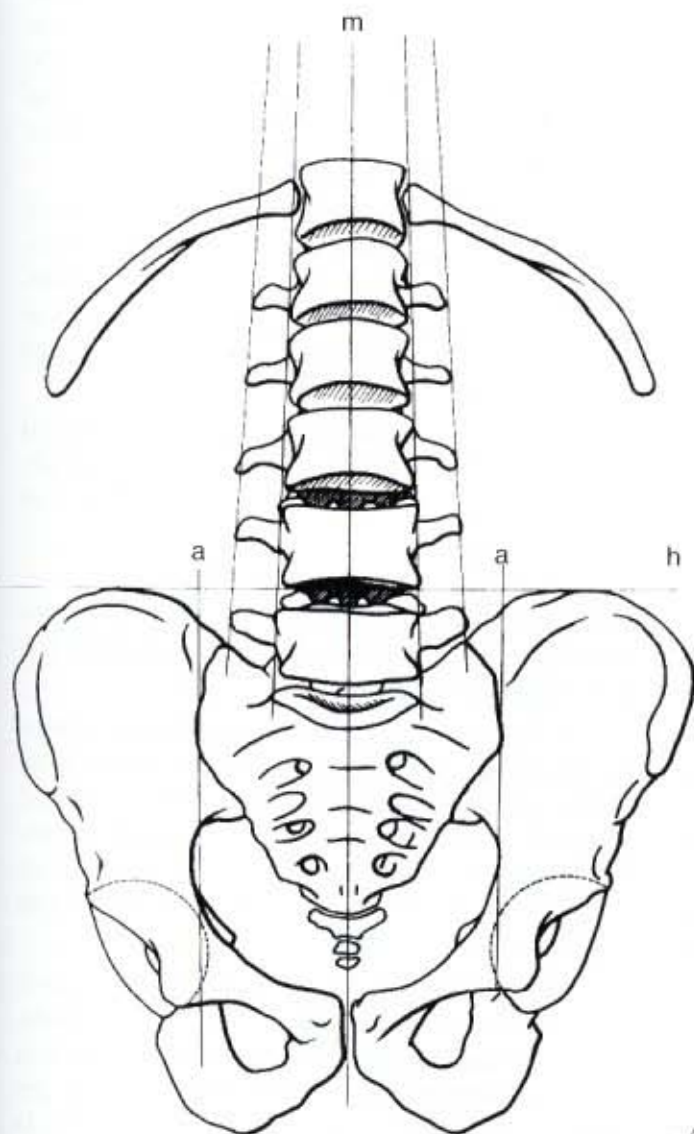
Visto de frente (Fig. 1) en una radiografía, el raquis lumbar es *rectilíneo y simétrico* en relación a la línea de las espinosas (*m*); la anchura de los cuerpos vertebrales al igual que la de las apófisis transversas decrece regularmente de abajo arriba. La línea horizontal (*h*) que discurre por la parte más elevada de las dos crestas iliacas, pasa entre L_4 y L_5 . Las verticales (*a* y *a'*) trazadas desde el borde lateral del alerón sacro van a caer aproximadamente en el fondo del cótilo.

Visto de perfil (Fig. 2) en una radiografía, se puede constatar la *característica de la lordosis lumbar y de la estática raquídea* descritas por De Seze:

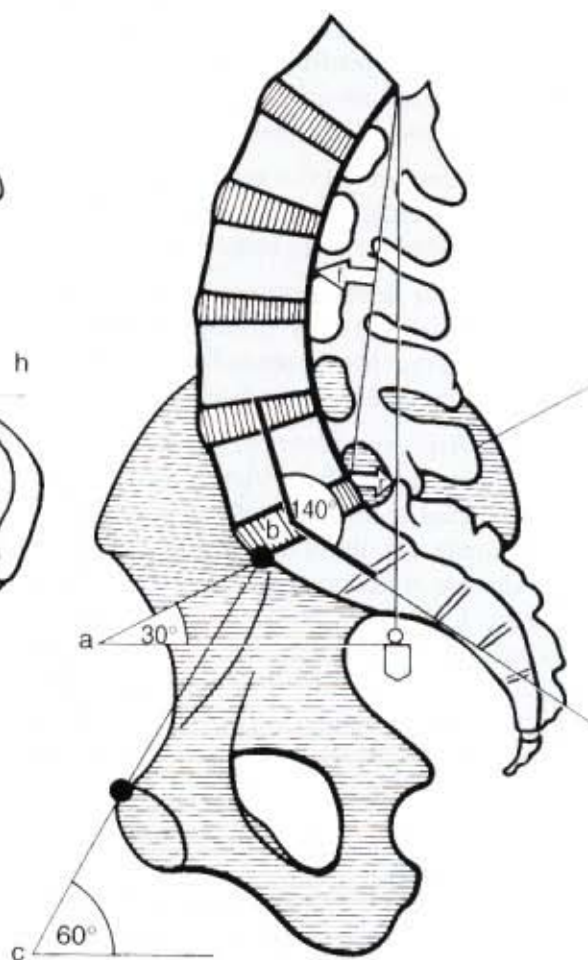
- el *ángulo sacro* (*a*) está constituido por la inclinación de la meseta superior de la primera vértebra sacra sobre la horizontal. Su valor medio es de 30° ;
- el *ángulo lumbosacro* (*b*), formado entre el eje de la quinta vértebra lumbar y el eje del sacro, tiene un valor medio de 140° ;
- el *ángulo de inclinación de la pelvis* (*c*) constituido por la inclinación sobre la horizontal de la línea que se extiende entre el

promontorio y el borde superior de la sínfisis púbica, tiene un valor medio de 60° ;

- la *flecha de lordosis lumbar* (*f*) puede trazarse a partir de la cuerda de la lordosis lumbar que une el borde posterosuperior de la primera vértebra lumbar al borde posteroinferior de la quinta vértebra lumbar. La flecha representa el punto máximo de la curva, generalmente a la altura de la tercera vértebra lumbar. Es tanto más pronunciada cuanto más acentuada sea la lordosis; puede ser nula cuando el raquis lumbar es rectilíneo; incluso puede invertirse en ciertos casos, aunque no es frecuente;
- la *reversión posterior* (*r*) representa la distancia entre el borde posteroinferior de la quinta vértebra lumbar y la vertical que descende del borde posterosuperior de la primera vértebra lumbar. Esta distancia puede ser *nula* si la vertical se confunde con la cuerda de la lordosis lumbar. Puede ser *positiva* si el raquis lumbar se desplaza hacia atrás; puede ser *negativa* si el raquis lumbar se desplaza hacia delante.



1



2

CONSTITUCIÓN DE LAS VÉRTEBRAS LUMBARES

En una vista posterior de 3/4 de una vértebra lumbar (Fig. 4) se pueden apreciar los elementos constitutivos de la misma; en la figura 3 están dispuestos en "piezas":

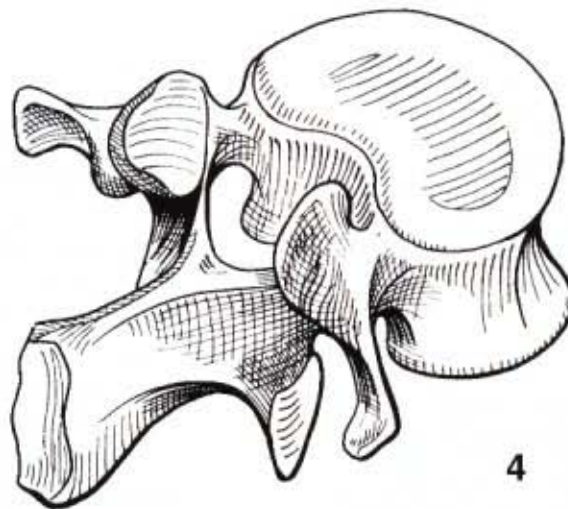
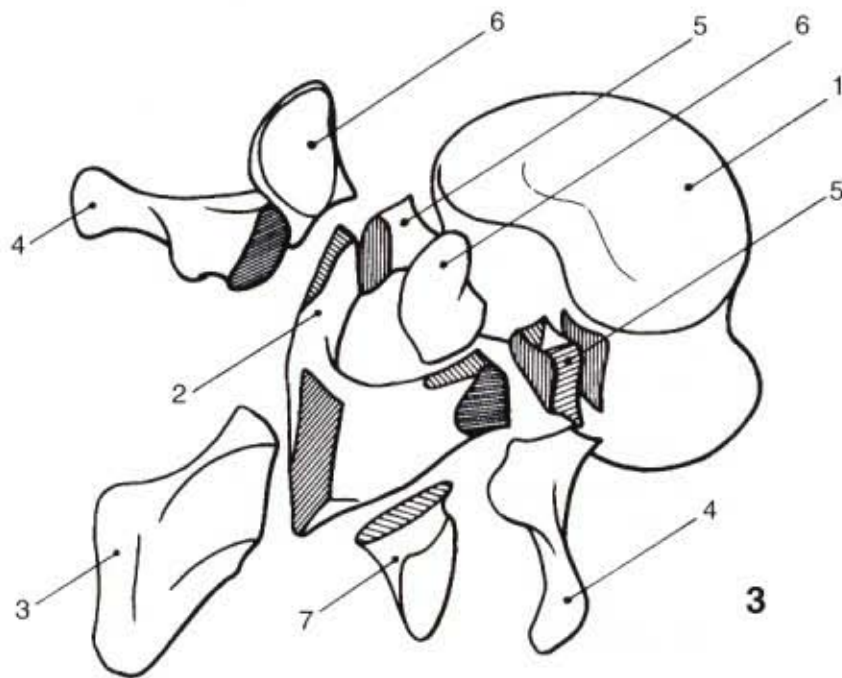
- el *cuerpo vertebral* (1), reniforme, es más extenso en anchura que en sentido antero-posterior; también es más ancho que alto y su contorno, profundamente excavado, tiene la forma de un diábolo, excepto por detrás, donde es casi plano;
- las *dos láminas* (2) son muy altas y se dirigen hacia atrás y hacia adentro, pero su plano es oblicuo hacia abajo y hacia afuera;
- se unen por detrás para constituir la *apófisis espinosa* (3) muy gruesa, rectangular, que se dirige directamente hacia atrás y se engrosa en su extremo posterior;
- las *apófisis costoides* (4) incorrectamente denominadas apófisis transversas, ya que en realidad se trata de restos de costillas, se implantan a la altura de las articulaciones y se dirigen oblicuamente hacia atrás y hacia fuera. En la cara posterior de la base de implantación de las apófisis costiformes, se localiza el tubérculo accesorio, que según determinados autores sería el homólogo de la apófisis transversa de las vértebras dorsales;
- el *pedículo* (5), porción ósea corta que une el arco posterior al cuerpo vertebral, se implanta en la cara posterior del cuerpo vertebral en su ángulo superoexterno. Forma el límite superior y el límite inferior de los agujeros de conjunción; por detrás constituye la inserción del macizo de las articulares;

- la *apófisis articular superior* (6) se origina en el borde superior de la lámina en su unión con el pedículo; su plano es oblicuo hacia atrás y hacia fuera y presenta una carilla articular recubierta de cartílago orientada hacia atrás y hacia adentro;
- la *apófisis articular inferior* (7) se desprende del borde inferior del arco posterior, próximo a la unión de la lámina con la espinosa. Se dirige hacia abajo y hacia fuera y posee una carilla articular recubierta de cartílago que mira hacia fuera y hacia delante;
- entre la cara posterior del cuerpo vertebral y el arco posterior está delimitado el *agujero vertebral*, que forma un triángulo casi equilátero.

Algunas vértebras lumbares presentan ciertas **especificidades**: la apófisis costiforme de la primera vértebra lumbar está menos desarrollada que la de las otras lumbares.

La *quinta vértebra lumbar* posee un cuerpo vertebral más alto por delante que por detrás, de tal modo que, visto de perfil, es *cuneiforme* o, mejor, forma un trapecio de base mayor anterior. En cuanto a las apófisis articulares inferiores de la quinta vértebra lumbar, están más separadas entre sí que las de las restantes lumbares.

Cuando se separan verticalmente dos vértebras lumbares entre sí (Fig. 5A), se puede entender cómo las apófisis articulares inferiores de la vértebra superior se encajan por dentro y por detrás de las apófisis articulares superiores de la vértebra inferior (Fig. 5B). Cada vértebra lumbar estabiliza pues lateralmente la vértebra contigua superior, merced a los topes que representan las apófisis articulares.



A

B

5

EL SISTEMA LIGAMENTOSO EN EL RAQUIS LUMBAR

El sistema de unión ligamentosa se puede analizar correctamente mediante un corte sagital (Fig. 6), en este caso, las láminas del lado izquierdo se han seccionado; bien mediante un corte frontal (Fig. 7) a la altura de los pedículos, con la mitad anterior incluyendo la cara posterior de los cuerpos vertebrales; en cuanto a la mitad posterior del corte, tras haberle hecho realizar una rotación de 180°, incluye la cara anterior de los arcos posteriores de las vértebras lumbares (Fig. 8). Se ha separado una vértebra hacia arriba. Obsérvese que en ambos lados (Figs. 7 y 8) se pueden ver los cortes correspondientes a los pedículos; los números de referencia son comunes a las tres figuras.

En el corte sagital (Fig. 6) se pueden distinguir claramente **dos sistemas ligamentosos**:

- por un lado, a lo largo de todo el raquis, los *ligamentos vertebrales comunes anterior* (1) y *posterior* (5);
- y por otro, un sistema de *ligamentos segmentarios* entre los arcos posteriores.

El **gran ligamento vertebral común anterior** (1), es una larga cinta espesa de color nacarado que se extiende desde la apófisis basilar del occipital al sacro, sobre la cara anterior del raquis. Está constituido por largas fibras que van de un extremo a otro del ligamento y de fibras cortas arciformes que van de una vértebra a otra. De hecho, se inserta en la cara anterior del disco intervertebral (3). A la altura de los bordes anterosuperior y anteroinferior de cada cuerpo vertebral, existe un espacio despegable (4) en el que se forman osteofitos cuando se instaura la espondilosis vertebral.

El **gran ligamento vertebral común posterior** (5) constituye una cinta que se extiende de la apófisis basilar hasta el canal sacro. Sus dos bordes están festoneados, ya que a la altura de la cara posterior de cada disco intervertebral, las fibras arciformes (6) se insertan muy lejos lateralmente. En cambio, el ligamento no tiene ninguna inserción en la cara posterior del cuerpo vertebral, del que permanece separado por un espacio recorrido por los plexos venosos perirraquídeos. La parte cóncava de cada festón corresponde a los pedículos (10).

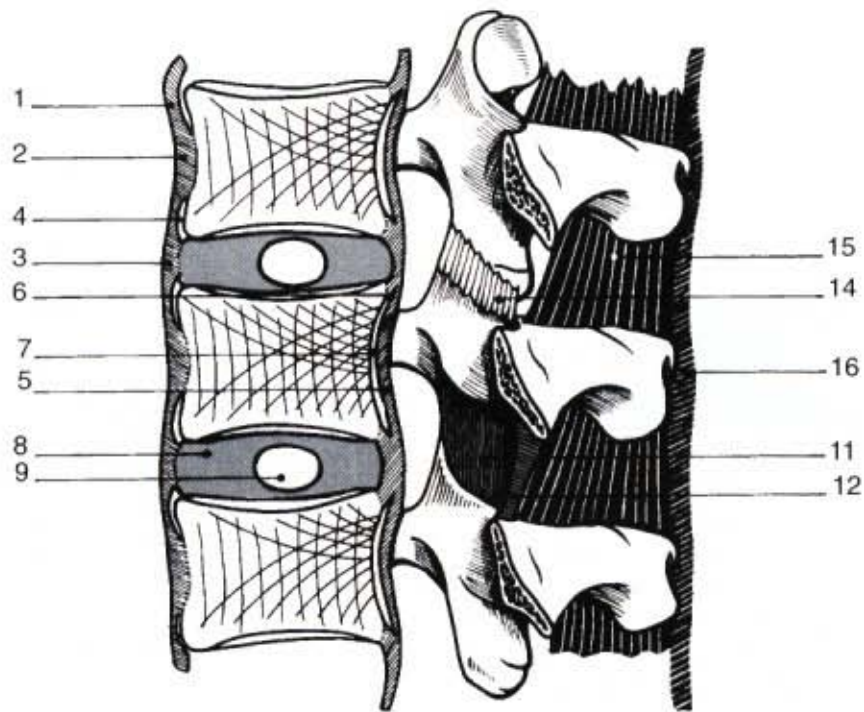
Entre estos cuerpos vertebrales, el corte sagital (Fig. 6) muestra el disco intervertebral con el anillo fibroso (8) y el núcleo pulpos (9).

En el arco posterior la unión está asegurada por los ligamentos segmentarios:

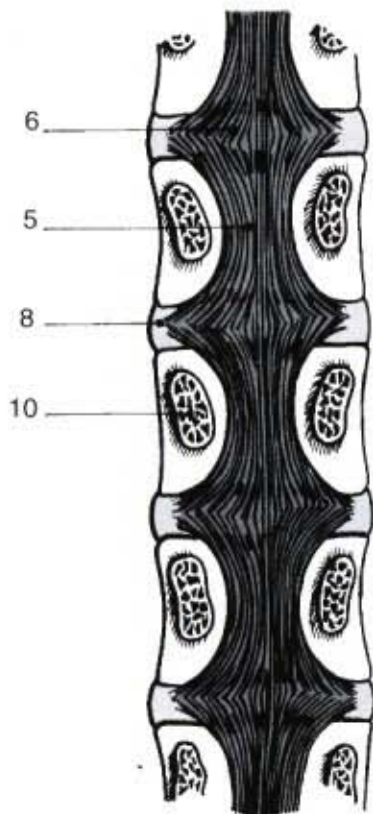
- cada lámina está unida a la siguiente por un ligamento espeso, muy resistente, de coloración amarilla, se trata del **ligamento amarillo** (11), cuya sección (12) puede observarse en la figura 6. Por abajo, se inserta en el borde superior de la lámina subyacente y por arriba en la cara interna de la lámina contigua superior. Su borde interno se une al de su homólogo contralateral en la línea media (Fig. 8) y cierra totalmente por detrás el canal raquídeo (11); por delante y por fuera, recubre **la cápsula y el ligamento anterointerno** (14) de las articulaciones interapofisarias. De este modo, el borde anteroexterno del ligamento amarillo roza el contorno posterior del agujero de conjunción;
- entre cada apófisis espinosa se extiende el potente **ligamento interespinoso** (15) que se prolonga hacia atrás mediante el **ligamento supraespinoso** (16), cordón fibroso que se inserta en el vértice de las apófisis espinosas; en la zona lumbar apenas se distingue del cruce de las fibras de inserción de los músculos dorsolumbares;
- entre los tubérculos accesorios de las apófisis transversas se extiende a cada lado un **ligamento intertransverso** (17), bastante desarrollado en la porción lumbar.

En una vista anterior del arco posterior (Fig. 8), se ha desprendido la vértebra superior gracias a la sección del ligamento amarillo (13), por el contrario, entre la segunda y la tercera vértebras, se ha resecado el ligamento por completo, dejando aparecer la cápsula y el ligamento anterointerno de la articulación interapofisaria (14) y de la apófisis espinosa.

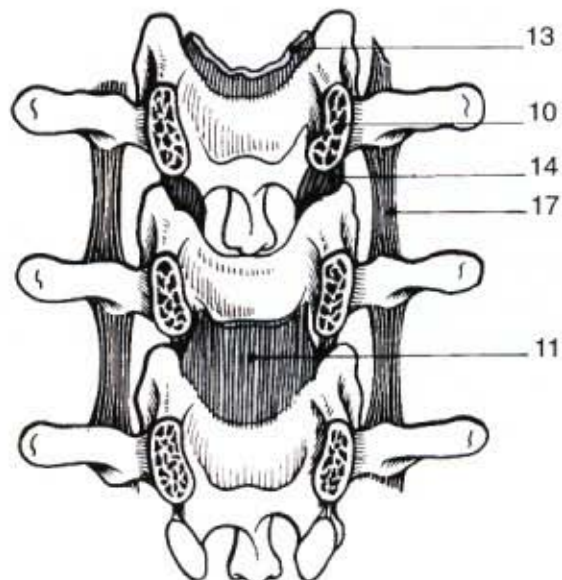
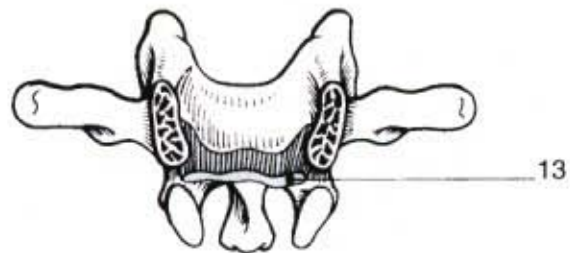
El conjunto de estos dos sistemas ligamentosos constituye una unión extremadamente sólida no sólo entre dos cuerpos vertebrales, sino también para el conjunto del raquis.



6



7



8

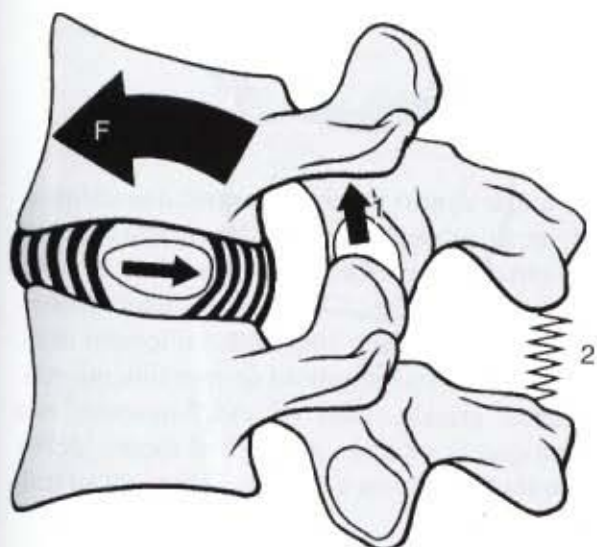
FLEXOEXTENSIÓN E INFLEXIÓN DEL RAQUIS LUMBAR

Durante el **movimiento de flexión** (Fig. 9) el cuerpo vertebral de la vértebra suprayacente se inclina y se desliza ligeramente *hacia delante* en el sentido de la flecha F, lo que disminuye el grosor del disco en su parte anterior y lo aumenta en su parte posterior. De este modo, el disco intervertebral toma forma de cuña de base posterior y el núcleo pulposo se ve *desplazado hacia atrás*. Así pues, su presión aumenta en las fibras posteriores del anillo fibroso; simultáneamente las apófisis articulares inferiores de la vértebra superior se deslizan hacia arriba y tienden a separarse de las apófisis articulares superiores de la vértebra inferior (flecha I); la cápsula y los ligamentos de esta articulación interapofisaria están pues tensos al máximo, al igual que todos los ligamentos del arco posterior: el ligamento amarillo, el ligamento interespinoso (2), el ligamento supraespinoso y el ligamento vertebral común posterior. Esta puesta en tensión limita, en definitiva, el movimiento de flexión.

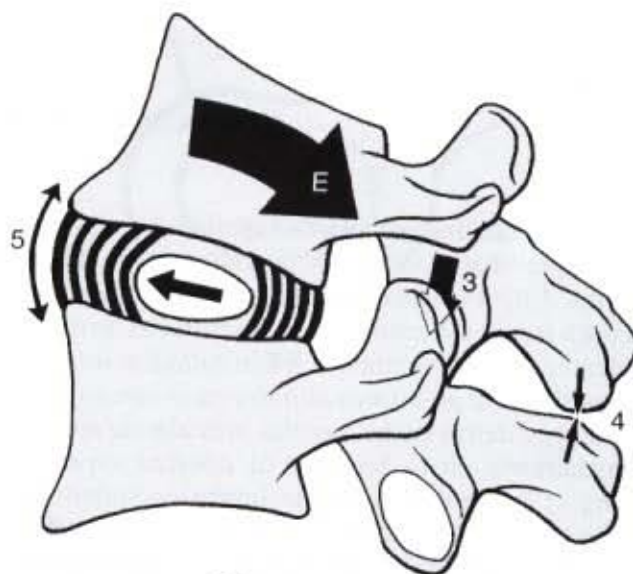
Durante el **movimiento de extensión** (Fig. 10), el cuerpo vertebral de la vértebra suprayacente se inclina hacia atrás y retrocede en el sentido de la flecha E. Al mismo tiempo, el disco intervertebral se hace más delgado en su parte posterior y se ensancha en su parte anterior, tornándose cuneiforme de base anterior. El núcleo pulposo se ve *desplazado hacia delante*, lo que tensa las fibras anteriores del anillo fibroso. A la

par, el ligamento vertebral común anterior se tensa (5). En cambio, el ligamento vertebral común posterior se distiende, constatándose simultáneamente que las apófisis articulares inferiores de la vértebra superior se encajan con más profundidad entre las apófisis articulares superiores de la vértebra inferior (3) mientras que las apófisis espinosas contactan entre sí. De esta forma, el movimiento de extensión queda limitado por los topes óseos del arco posterior y por la puesta en tensión del ligamento vertebral común anterior.

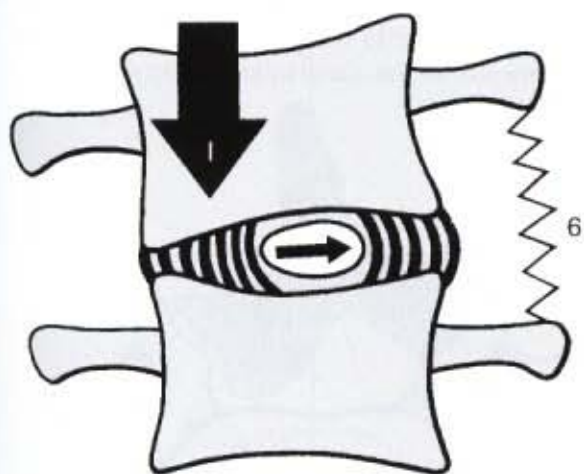
Durante el **movimiento de inflexión lateral** (Fig. 11), el cuerpo de la vértebra suprayacente se inclina hacia el lado de la concavidad de la inflexión y el disco se torna cuneiforme, más grueso en el lado de la convexidad. El núcleo pulposo se desplaza ligeramente hacia el lado de la convexidad. El ligamento intertransverso del lado de la convexidad (6) también se tensa y se distiende del lado de la concavidad (7). Una vista posterior (12) muestra un deslizamiento desigual de las apófisis articulares: del lado de la convexidad, la articular de la vértebra superior se eleva (8), mientras que del lado de la concavidad descende (9). Existe pues, simultáneamente, una distensión de los ligamentos amarillos y de la cápsula articular interapofisaria del lado de la concavidad y, por el contrario, una tensión de estos mismos elementos en el lado de la convexidad.



9



10



11



12

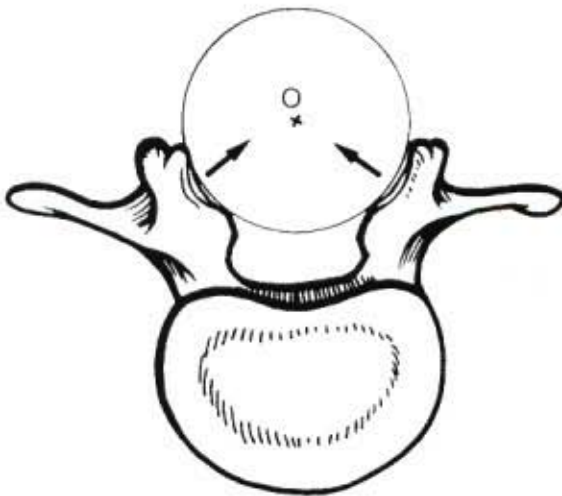
ROTACIÓN EN EL RAQUIS LUMBAR

Las carillas articulares superiores de las vértebras lumbares miran hacia atrás y hacia dentro (Figs. 13 y 14: vista superior); no son planas sino cóncavas transversalmente y rectilíneas verticalmente. Geométricamente, están *talladas sobre la superficie de un mismo cilindro cuyo centro O* se sitúa por detrás de las carillas articulares, aproximadamente en la *base de la apófisis espinosa* (Fig. 17). En las vértebras lumbares superiores (Fig. 13), el centro de este cilindro se localiza casi inmediatamente por detrás de la línea que une el borde posterior de las apófisis articulares, mientras que en las vértebras lumbares inferiores (Fig. 14), el cilindro tiene un diámetro mucho mayor, lo que retrocede en la misma medida su centro en relación al cuerpo vertebral.

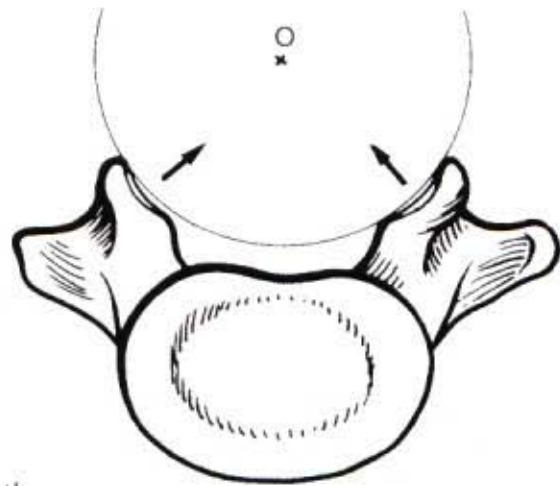
Es importante el hecho de que *el centro de este cilindro no se confunde con el centro de las mesetas vertebrales*, aunque cuando la vértebra superior gira sobre la vértebra inferior (Figs. 15 y 16), este movimiento de rotación se efectúa en

torno a este centro y debe acompañarse obligatoriamente de un deslizamiento del cuerpo vertebral de la vértebra superior en relación al de la vértebra subyacente (Fig. 17). El disco intervertebral (D) no está, por tanto, solicitado en torsión axial, lo que le daría una amplitud de movimiento relativamente grande, sino en *cizallamiento*; esto explica que la rotación axial en el raquis lumbar sea limitada, tanto en cada nivel como en su conjunto.

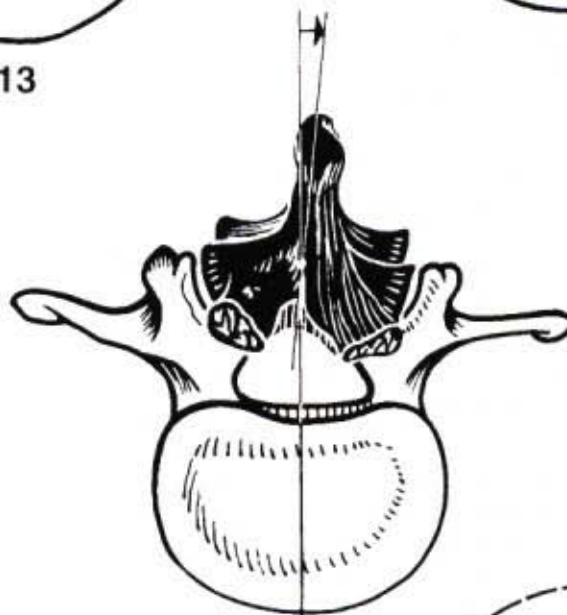
Según los trabajos de Grégersen y D.B. Lucas (véase pág. 121), la rotación total derecha-izquierda del raquis lumbar entre L₁ y S₁ sería de 10°, lo que, suponiendo que la rotación segmentaria estuviera equitativamente repartida, equivaldría a dos grados por tramo, es decir, un grado a cada lado en cada nivel. Se puede, por tanto, subrayar que el raquis lumbar no está conformado para realizar la rotación axial, limitada por la orientación de las carillas articulares.



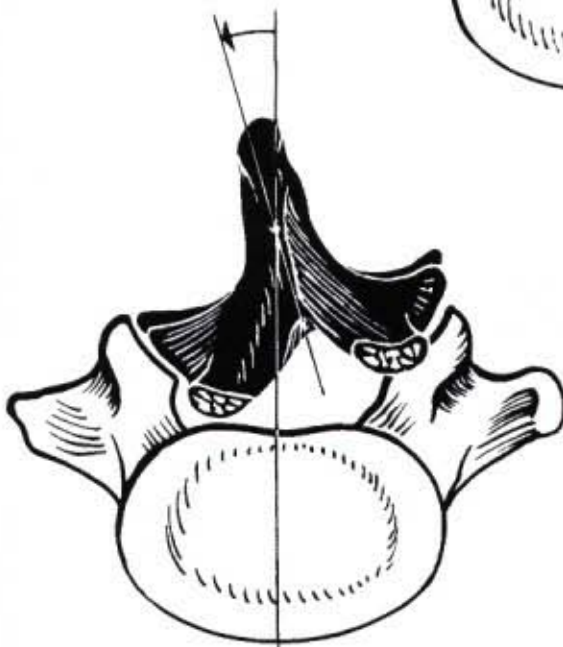
13



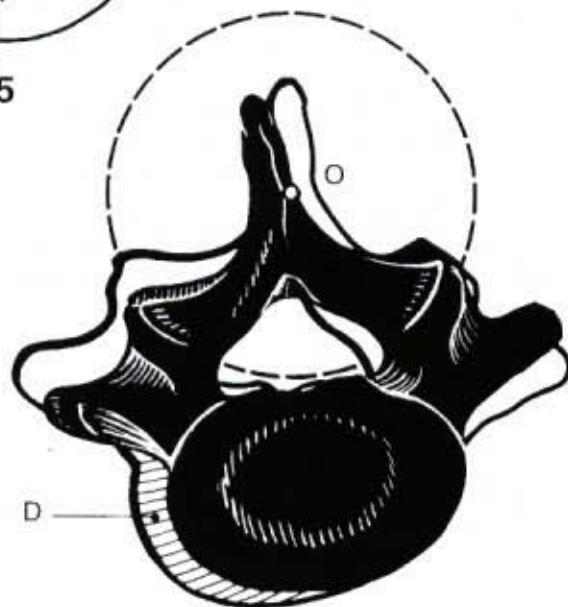
14



15



16



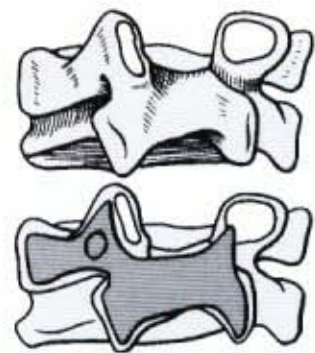
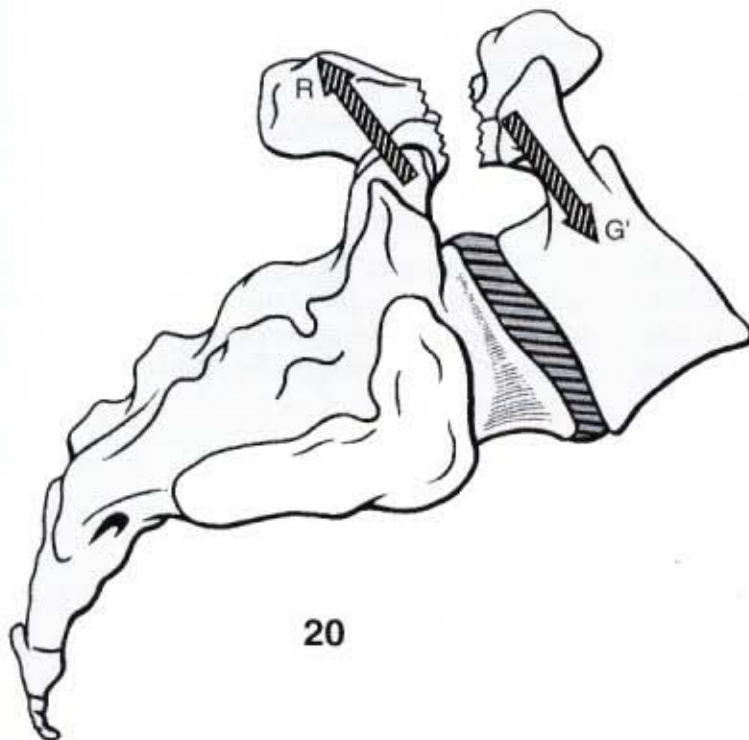
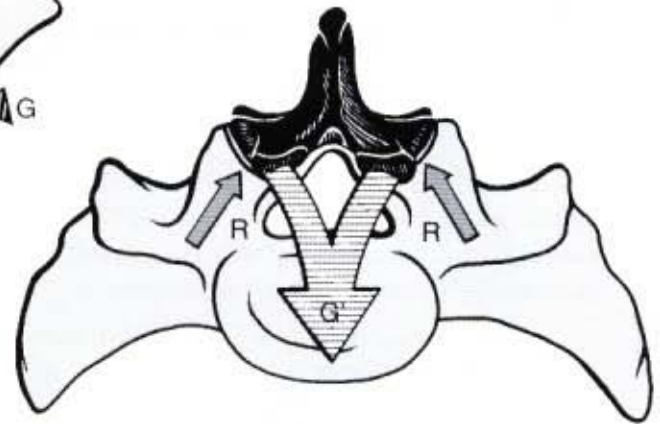
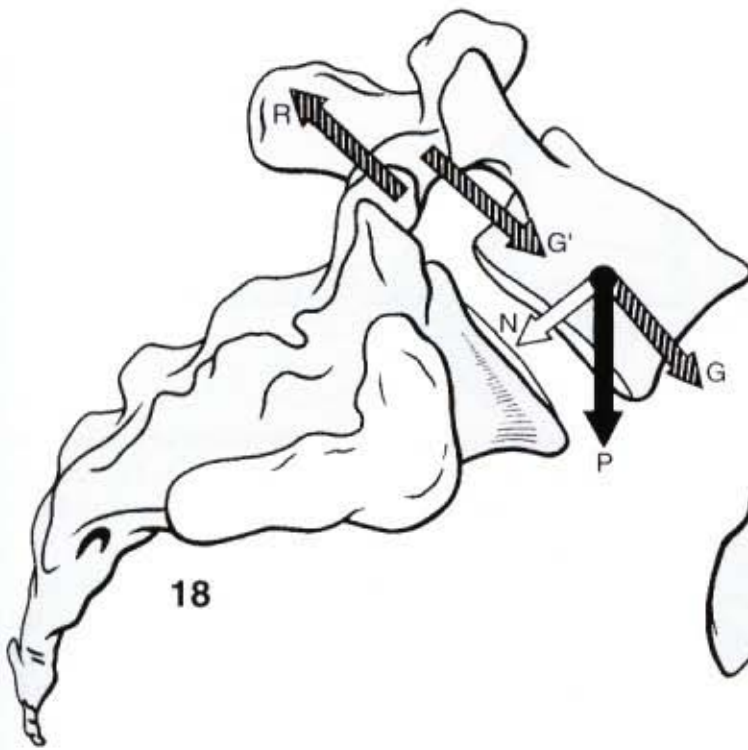
17

LA CHARNELA LUMBOSACRA Y LA ESPONDILOLISTESIS

La charnela lumbosacra constituye un *punto débil del edificio raquídeo*. De hecho (Fig. 18), en razón de la inclinación de la meseta superior de la primera sacra, el cuerpo de la quinta lumbar tiende a deslizarse hacia abajo y hacia delante: el peso P puede descomponerse en dos fuerzas elementales, una fuerza N perpendicular a la meseta superior del sacro y una fuerza G paralela a la meseta superior del sacro que desplaza el cuerpo vertebral de L₅ hacia delante. La sólida unión del arco posterior de L₅ impide este deslizamiento. En una vista superior (Fig. 19) las apófisis articulares inferiores de L₅ se *encastran* entre las apófisis articulares superiores de la primera sacra, la fuerza G' de deslizamiento encaja fuertemente las apófisis articulares de L₅ sobre las apófisis superiores del sacro que resisten a ambos lados de acuerdo a una fuerza R. La transmisión de estas fuerzas se lleva a cabo a través de un punto obligado de paso localizado en el **istmo vertebral** (Fig. 20): se denomina así la porción del arco posterior comprendida entre las apófisis articulares superiores y las inferiores. Cuando este istmo se rompe o se destruye, tal como se ha representado aquí, se dice que existe una *espondilolisis*. Como el arco posterior ya no queda retenido por detrás en las apófisis superiores del sacro, el cuerpo vertebral de L₅ se desliza hacia abajo y hacia delante

provocando una *espondilolistesis*. Los únicos elementos que retienen entonces la quinta lumbar sobre el sacro e impiden que esta se deslice todavía más son, por una parte, el *disco lumbosacro* cuyas fibras oblicuas están tensas y, por otra parte, los *músculos de las correderas vertebrales*, en cuya contractura permanente está el origen de los dolores de la espondilolistesis. Se puede medir la magnitud del deslizamiento hacia delante por el desborde de la cara inferior de L₅ en relación al borde anterior de la meseta superior de S₁.

En las radiografías de proyección oblicua (3/4) (Fig. 21) se distingue con claridad el **clásico "perrillo"**, cuyo hocico lo constituye la apófisis transversa; el ojo, el pedículo visto oblicuamente, la oreja, la apófisis articular superior, la pata delantera, la apófisis articular inferior; el rabo, la lámina y la apófisis articular superior del lado opuesto; la pata trasera, la apófisis articular inferior del lado opuesto; y el cuerpo, la lámina del lado de los 3/4. Un punto importante a considerar es que *el cuello representa de manera exacta el istmo vertebral*: cuando el istmo se rompe el cuello del perrillo está seccionado; esto permite diagnosticar la espondilolisis y buscar el deslizamiento de L₅ apreciable en una placa de perfil.



LOS LIGAMENTOS ILIOLUMBARES Y LOS MOVIMIENTOS EN LA CHARNELA LUMBOSACRA

Las dos últimas vértebras lumbares están unidas directamente al hueso iliaco por los **ligamentos iliolumbares** (Fig. 22: vista anterior). Se pueden distinguir *dos haces de los mismos*:

- **el haz superior** (1), también denominado haz iliotransverso lumbar superior; se origina en el vértice de la apófisis transversa de la cuarta vértebra lumbar, se dirige hacia abajo, hacia fuera y hacia atrás para insertarse en la cresta iliaca;
- **el haz inferior**, también denominado iliotransverso lumbar inferior, se origina en el vértice y borde inferior de la apófisis transversa de la quinta lumbar, se dirige hacia abajo y hacia fuera para insertarse en la cresta iliaca por delante y por dentro del haz precedente. A veces, se distinguen dos pequeños haces fibrosos más o menos individualizados:
 - un *haz estrictamente iliaco* (2);
 - un *haz sacro* (3), claramente vertical, que se dirige ligeramente hacia delante y finaliza en la parte anterior de la articulación sacroiliaca y en la parte más lateral del alerón sacro.

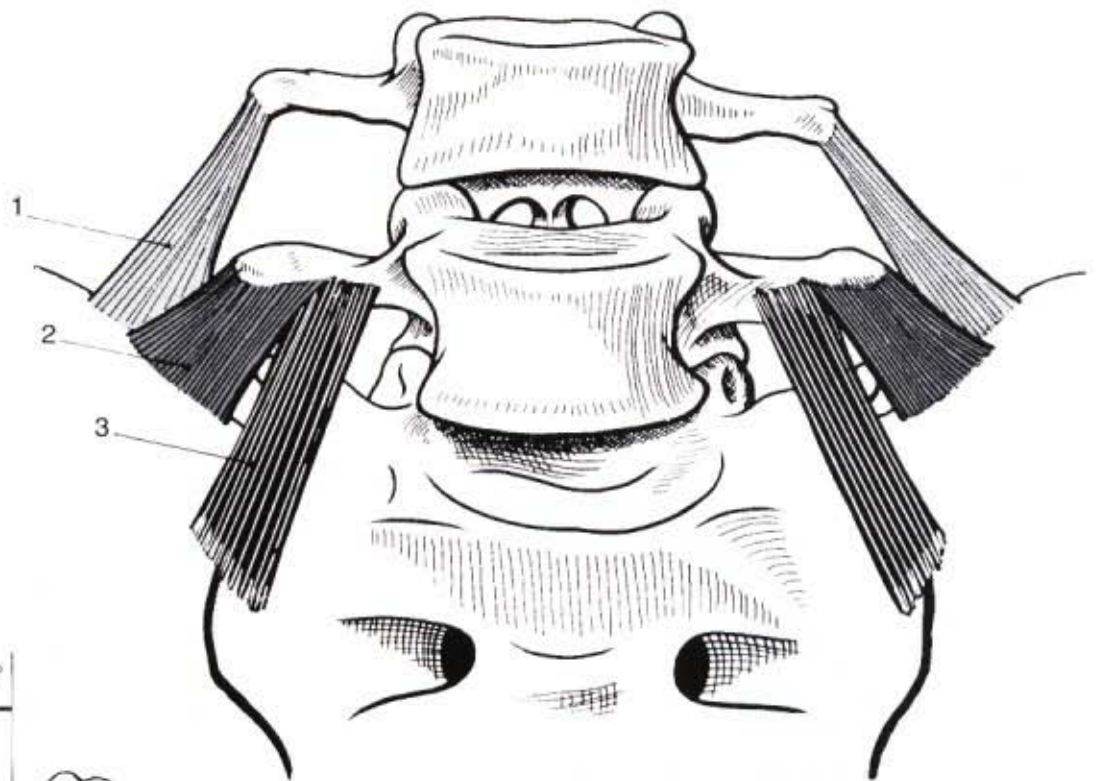
Estos ligamentos iliolumbares se tensan o se distienden según los movimientos de la charnela lumbosacra; de modo que intervienen para limitarlos.

Durante la **inclinación lateral** (Fig. 23: vista anterior) los ligamentos iliolumbares se tensan del lado de la convexidad y limitan a 8° la inclinación de la cuarta lumbar sobre el sacro. Por supuesto, en el lado de la concavidad estos ligamentos se distienden.

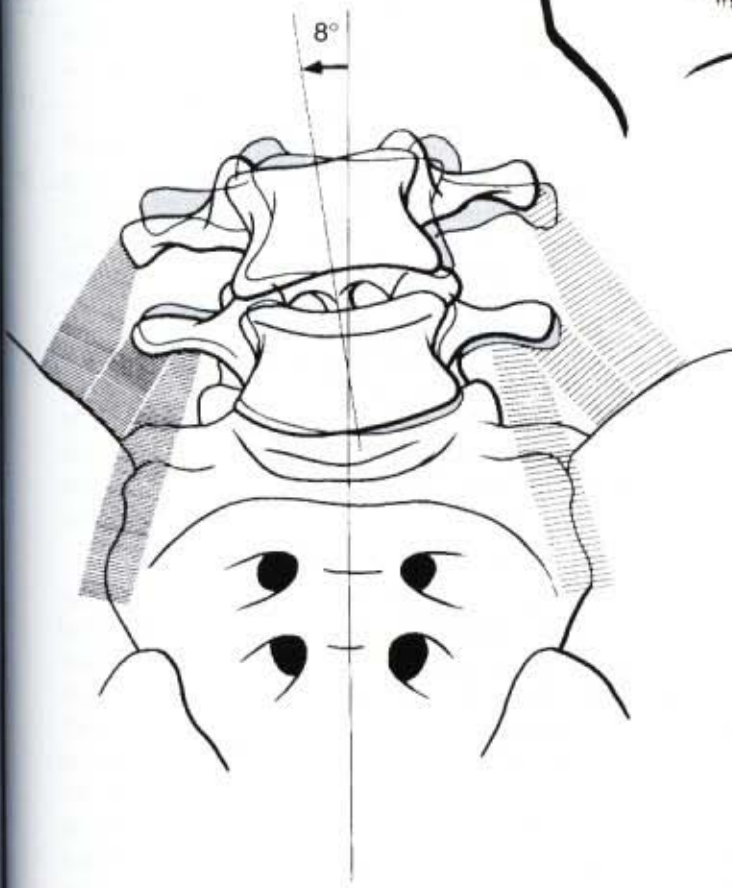
Durante la **flexoextensión** (Fig. 24: vista lateral, ala iliaca supuestamente transparente); a partir de la posición neutra (a rayas), la orientación de los ligamentos permite entender que en el *transcurso de la flexión* se tensa el haz superior del ligamento iliolumbar, ya que se dirige oblicuamente *hacia abajo, hacia fuera y hacia atrás*. En cambio, en el transcurso de la extensión se distiende.

Por el contrario, *durante la flexión* (F) el haz inferior del ligamento iliolumbar se distiende puesto que se dirige ligeramente hacia delante, sin embargo, se tensa durante la extensión (E).

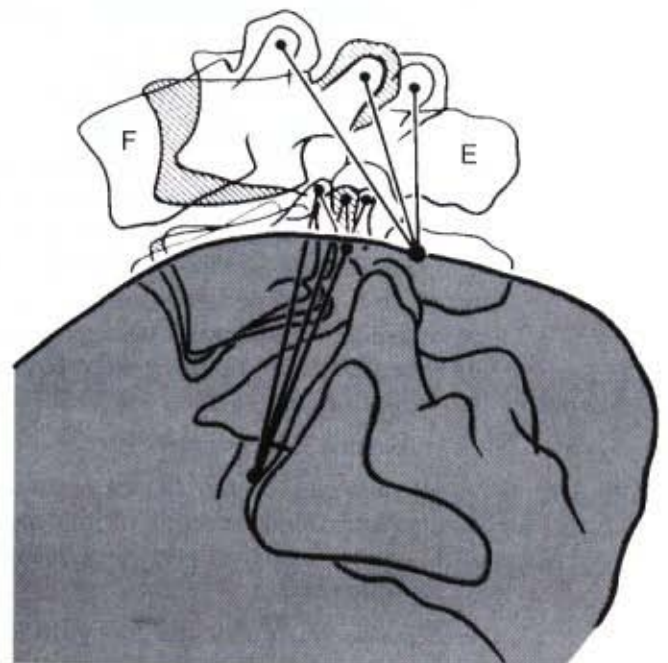
Resumiendo, la movilidad en la charnela lumbosacra está muy limitada *debido a la potencia de los citados ligamentos iliolumbares*. En conjunto, *limitan más la inclinación lateral que la flexoextensión*.



22



23



24

LOS MÚSCULOS DEL TRONCO EN UN CORTE HORIZONTAL

Un corte horizontal que pase por la *tercera vértebra lumbar* (Fig. 25, parte inferior del corte) permite clasificar los músculos del tronco en *tres grupos*.

Los **músculos del grupo posterior** se distribuyen en tres planos:

- un *plano profundo* que contiene:
 - los *músculos transversos espinosos* (1), que ocupan el ángulo diedro formado entre el plano sagital de las apófisis espinosas y el plano frontal de las apófisis transversas, y que se ajustan estrechamente a las láminas vertebrales;
 - el *músculo dorsal largo* (2), que recubre al precedente y lo sobrepasa por fuera;
 - el *músculo sacrolumbar* (3), masa carnosa voluminosa localizada por fuera del precedente;
 - y por último, el *músculo epiespinoso* (4), que se inserta en las apófisis espinosas y se sitúa por detrás del transversos espinoso y del dorsal largo.

Estos músculos constituyen una masa voluminosa que ocupa, a ambos lados de las espinosas, las correderas vertebrales; por este motivo se les denomina músculos paravertebrales o músculos de las correderas.

- un *plano medio* conformado por el *serrato menor posterior e inferior* (5);
- un *plano superficial* representado en la región lumbar por un solo músculo, el *dorsal ancho* (6); que se inserta en la gruesa *aponeurosis lumbar* (7) que se fija, entre otras, en la línea de las espinosas; el cuerpo muscular (6) forma una capa carnosa que recubre toda la parte posterolateral de la región lumbar.

Los **músculos laterovertebrales** son dos:

- el *cuadrado lumbar* (8), capa muscular que se extiende entre la última costilla, la cresta iliaca y el vértice de las apófisis transversas;
- el *psoas* (9), que ocupa el ángulo diedro formado por las caras laterales de los

cuerpos vertebrales y las apófisis transversas.

Los **músculos de la pared del abdomen** se distribuyen en *dos grupos*:

- los *músculos rectos del abdomen* (13), situados por delante, a ambos lados de la línea media;
- los *músculos anchos del abdomen* que son tres y constituyen la pared anterolateral del abdomen, de la profundidad a la superficie se localizan:
 - el *músculo transverso del abdomen* (10);
 - el *oblicuo menor del abdomen* (11);
 - el *oblicuo mayor del abdomen* (12).

Hacia delante estos tres músculos conforman una aponeurosis que constituyen la *vaina de los rectos* y la *línea alba* de la siguiente manera:

- la aponeurosis del oblicuo menor se divide en el borde lateral del músculo recto mayor en dos láminas: una superficial (14) y otra profunda (15) que envuelven el recto abdominal. En la línea media se cruzan formando un rafe muy sólido; la *línea alba abdominal* (16);
- las láminas anterior y posterior de la vaina de los rectos están reforzadas por detrás por la aponeurosis del transverso y por delante por la aponeurosis del oblicuo mayor. Esto no es válido más que en el caso de la parte superior, más adelante se podrá ver la disposición exacta en la parte inferior.

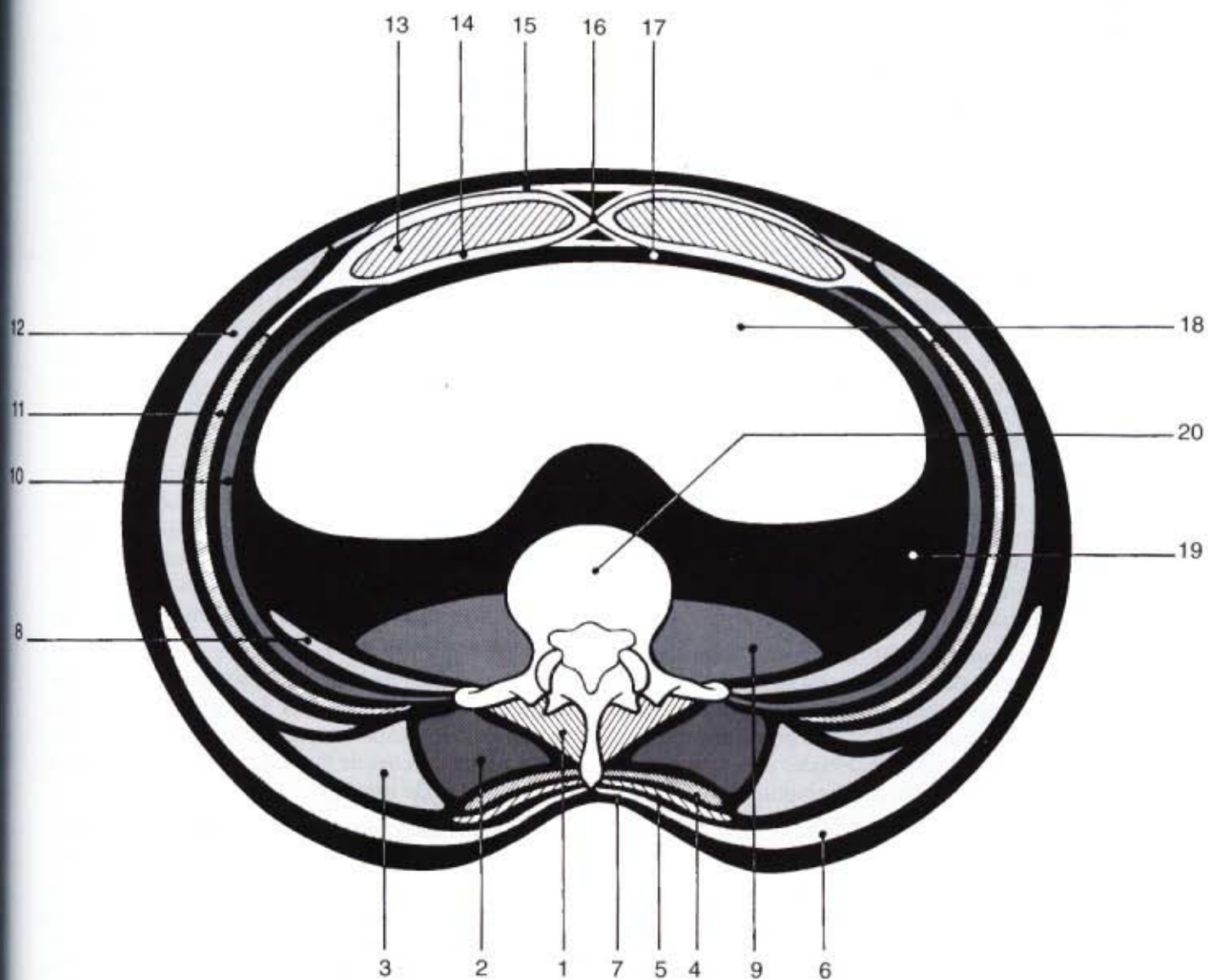
Los músculos laterovertebrales y los músculos anchos del abdomen delimitan la *cavidad abdominal*, en cuyo interior sobresalen el *raquis lumbar* (20) y los *gruesos vasos prevertebrales* (aorta y vena cava inferior). La cavidad abdominal propiamente dicha (18) está tapizada por el peritoneo que recubre la cara posterior de los músculos recto abdominal, la cara profunda de los músculos anchos y la pared posterior a la que se adosan los órganos retroperitoneales, *los riñones, cubiertos por una atmósfera grasa retroperitoneal* (19). Entre el peritoneo parietal y la pared del abdomen se intercala una delgada capa de tejido fibroso; la *fascia transversalis* (17).

12

11

10

8



LOS MÚSCULOS POSTERIORES DEL TRONCO

Los músculos posteriores del tronco están distribuidos en tres planos, de la profundidad a la superficie.

El **plano profundo** está constituido por *músculos espinales*, que se aplican directamente contra el raquis (Figs. 26 y 27), de ahí su denominación de músculos de las correderas vertebrales, y sus haces son tanto más cortos cuanto más profunda es su localización. Éstos son:

- el *transverso espinoso* (1), constituido por láminas dispuestas como las tejas de un tejado, en la figura sólo se ha dibujado una de estas láminas según el *concepto de Winckler*: las fibras se originan en la lámina de una vértebra, y de forma oblicua, hacia abajo y hacia fuera, se insertan en las apófisis transversas de las cuatro vértebras subyacentes. Según el *concepto de Trolard* las fibras se originan en las láminas y en las espinosas de las cuatro vértebras suprayacentes para insertarse en la apófisis transversa de la vértebra subyacente (véase Fig. 85, pág. 241);
- los *músculos interespinales* (2), situados a ambos lados de la línea media unen los bordes de dos apófisis espinosas contiguas. En el esquema no se ha representado más que un solo par de los mismos;
- el *epiespinoso* (3), fusiforme, localizado a cada lado de los interespinales y por detrás de los transversoespinales, se inserta por abajo en las espinosas de las dos primeras lumbares y de las dos últimas dorsales para terminar en las espinosas de las diez primeras dorsales. Los haces más cortos son los más mediales;
- el *dorsal largo* (5), larga banda muscular localizada inmediatamente por fuera del epiespinoso, asciende por la cara posterior del tórax para fijarse en las costillas hasta la segunda costilla (haces laterales o costales) y en las transversas de las vértebras lumbares y dorsales (haces mediales o transversos, (véase Fig. 29, pág. 151));
- el *sacrolumbar o iliocostal* (6), gruesa masa muscular prismática situada por detrás y por fuera de los músculos precedentes, asciende por la cara posterior del tórax, expandiendo haces terminales en la cara posterior de las

diez últimas costillas, próximos a su ángulo posterior. A continuación, estas fibras quedan relevadas por las que ascienden hasta las apófisis transversas de las cinco últimas cervicales (véase Fig. 89, pág. 243).

Todos estos músculos se unen en su parte inferior constituyendo la *masa común* (6), visible en el lado derecho de la figura 27; sus inserciones se localizan en la cara profunda de una gruesa lámina tendinosa que se confunde en la superficie con la *aponeurosis del dorsal ancho* (7).

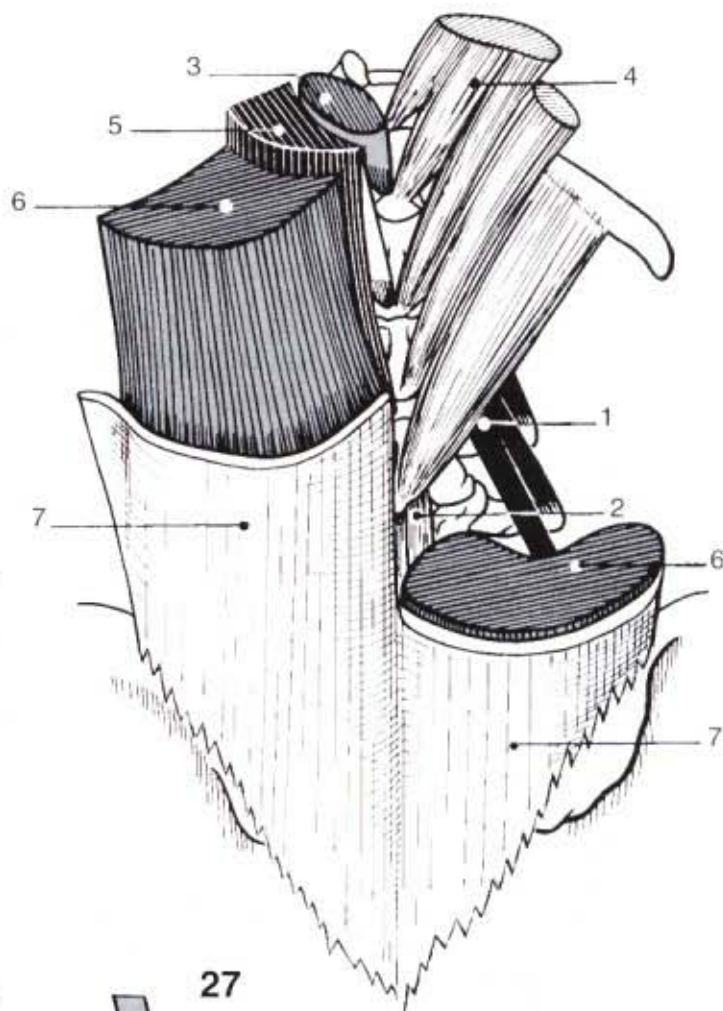
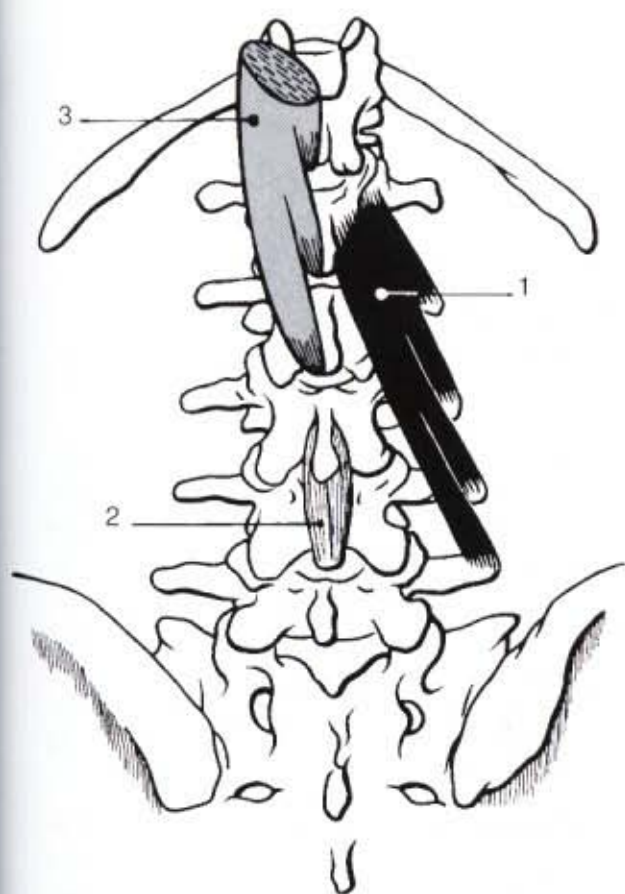
El **plano medio** (Fig. 27) está constituido por un solo músculo: el *serrato menor posterior e inferior* (4), situado inmediatamente por detrás de los músculos de las correderas y recubierto por el plano del músculo dorsal ancho. Se inserta en las espinosas de las tres primeras vértebras lumbares y de las dos últimas vértebras dorsales y forma haces oblicuos hacia arriba y hacia fuera que finalizan en el borde inferior y en la cara externa de las tres o cuatro últimas costillas.

El **plano superficial** está constituido por el *músculo dorsal ancho* (7) que se origina en la espesísima aponeurosis lumbar, sus fibras oblicuas dirigidas hacia arriba y hacia fuera, recubren todos los músculos de las correderas y dan origen a fibras musculares siguiendo una línea de transición oblicua hacia abajo y hacia fuera.

El conjunto de la aponeurosis lumbar forma un rombo de eje mayor vertical. Las fibras musculares conforman una capa muy extensa que envuelve la parte posteroexterna de la base torácica y finaliza en el húmero (véase tomo I).

La **acción de los músculos posteriores** es esencialmente la *extensión* del raquis lumbar (Fig. 28); tomando el sacro como punto fijo, traccionan con fuerza hacia atrás el raquis lumbar y dorsal; por una parte, en torno a la charnela lumbosacra, y por otra, en torno a la charnela dorsolumbar. Además, *acentúan la lordosis lumbar* (Fig. 29) ya que constituyen las *cuerdas parciales o totales* del arco formado por el raquis lumbar. Por lo tanto, no se puede afirmar que enderecen el raquis lumbar puesto que *tiran de él hacia atrás y lo incurvan*.

Además, se podrá ver más adelante el papel que desempeñan estos músculos posteriores en la espiración.

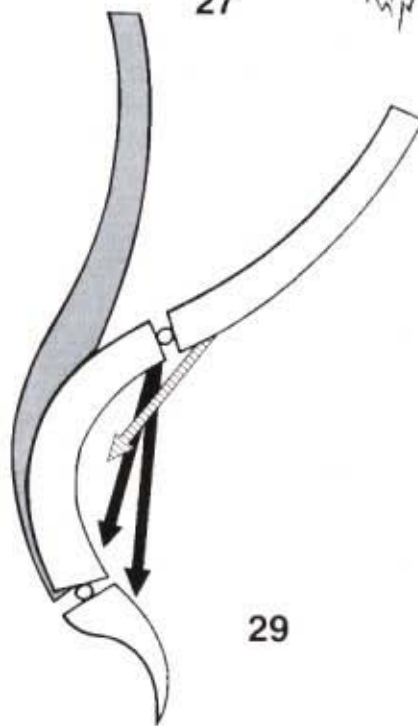
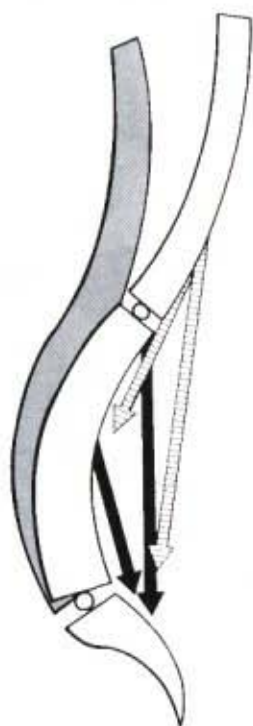


26

27

28

29

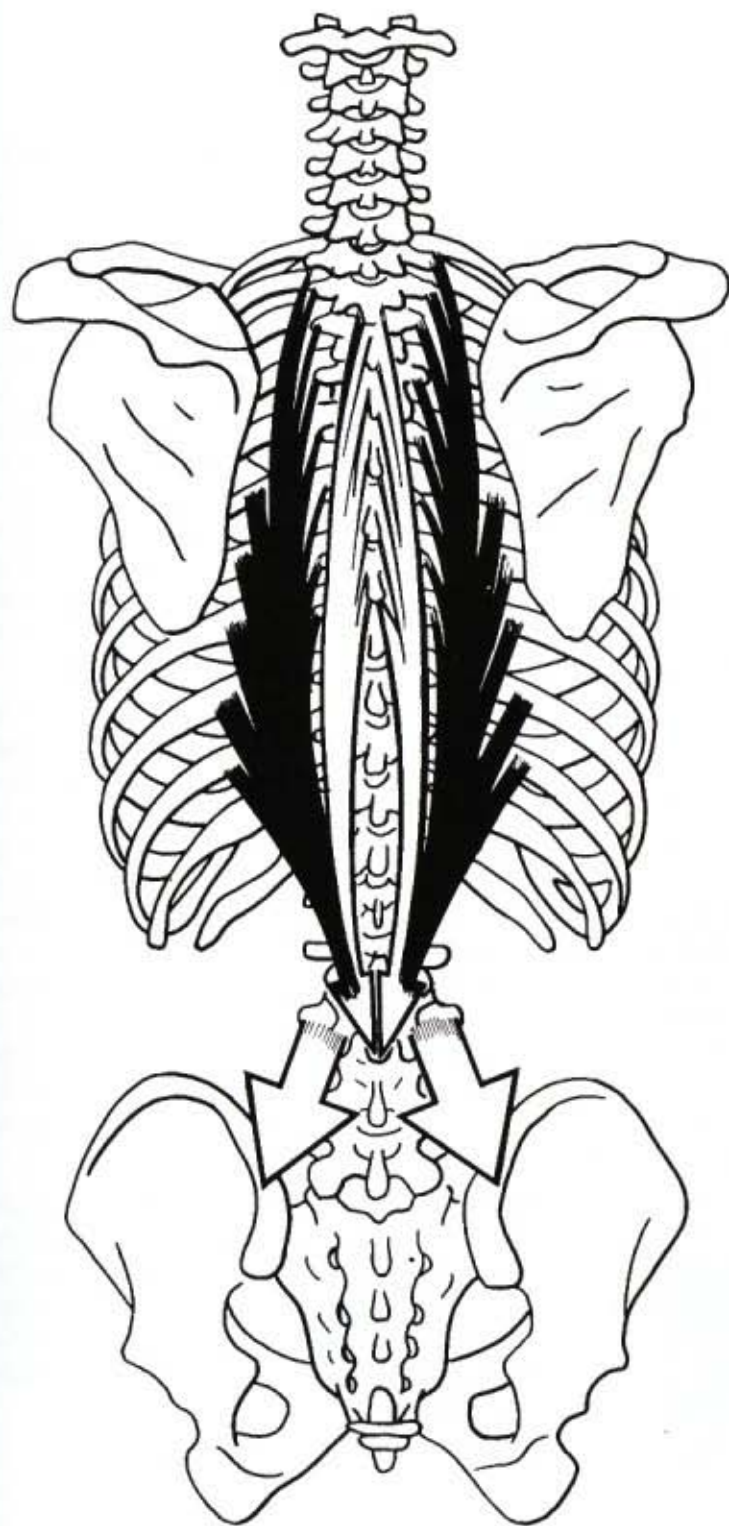


PAPEL DE LA TERCERA VÉRTEBRA LUMBAR Y DE LA DUODÉCIMA VÉRTEBRA DORSAL

Los trabajos de A. Delmas han puesto de manifiesto el valor funcional de determinadas vértebras (Figs. 30 y 31 según Delmas), en bipedestación. El *carácter cuneiforme de la quinta vértebra lumbar* que debe realizar la transición entre el sacro más o menos horizontal y un raquis vertical se conoce desde hace tiempo. Sin embargo, el **papel de la tercera vértebra lumbar** apenas se comienza a entender (Fig. 30). De hecho, esta vértebra posee un arco posterior más desarrollado, ya que sirve de *relevo muscular* entre, por una parte los haces lumbares del dorsal largo procedentes del hueso ilíaco que se inserta en las apófisis transversas de L₅, y por otra, ascendiendo hacia el raquis dorsal, los haces del epiespinoso cuya inserción más baja se localiza exactamente en la espinosa de L₅. Así (Fig. 31), los músculos con inserción sacra e ilíaca desplazan la tercera lumbar hacia atrás de modo que representa un punto fijo para la acción de los músculos dor-

sales. Por lo tanto, desempeña un papel primordial en la estática vertebral debido a su situación en *el vértice de la lordosis lumbar* y a que *sus mesetas son paralelas y horizontales entre sí*. Se trata de la primera vértebra del raquis lumbar verdaderamente móvil ya que se puede considerar que la cuarta y quinta vértebra, muy ligadas al hueso ilíaco y al sacro constituyen una transición más estática que dinámica entre el raquis y la pelvis.

En cambio, la **duodécima vértebra dorsal** constituye el punto de inflexión entre la cifosis dorsal y la lordosis lumbar. Se trata de una vértebra charnela cuyo cuerpo vertebral es relativamente importante en relación al arco posterior, por detrás del cual los músculos de las correderas pasan formando un puente, sin tomar inserciones notables. A. Delmas la compara a "una verdadera rótula del eje vertebral".



30



31

LOS MÚSCULOS LATERALES DEL TRONCO

El **grupo de músculos laterales** del tronco comprende *dos músculos*: el cuadrado lumbar y el psoas.

El **cuadrado lumbar** (Fig. 32, vista anterior) forma, como su nombre indica, una capa muscular cuadrilátera que se expande entre la última costilla, la cresta iliaca y el raquis, y presenta por fuera un borde libre. Está constituido por tres *tipos de fibras* (lado derecho de la figura):

- fibras que unen directamente la última costilla a la cresta iliaca (flechas blancas);
- fibras que unen la última costilla a las apófisis transversas de las cinco vértebras lumbares (flechas rayadas verticalmente);
- fibras que unen las apófisis transversas de las cuatro primeras vértebras lumbares a la cresta iliaca (flechas grises), y que están a continuación de las que provienen del transverso espinoso (flechas negras) que aparecen en el espacio entre las apófisis transversas.

Los tres tipos de fibras del cuadrado lumbar están dispuestas según tres planos; el plano más posterior está formado por las fibras directas costoiacicas, recubiertas por las fibras transversoiacicas y a continuación por las costotransversas (1).

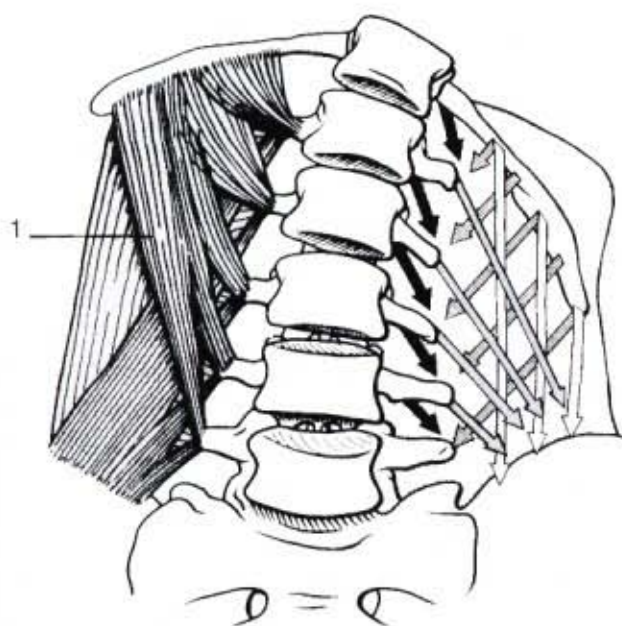
Cuando el cuadrado lumbar se contrae unilateralmente produce una *inflexión del tronco* del lado de su contracción (Fig. 33), esta acción se ve fuertemente reforzada por la contracción de los músculos oblicuo menor (flecha gris oblicua hacia abajo y hacia fuera) y oblicuo mayor (flecha rayada oblicua hacia abajo y hacia dentro).

El **psoas** se localiza por delante del cuadrado lumbar (Fig. 34), su cuerpo carnoso fusiforme (2) se inserta en dos capas musculares: por una

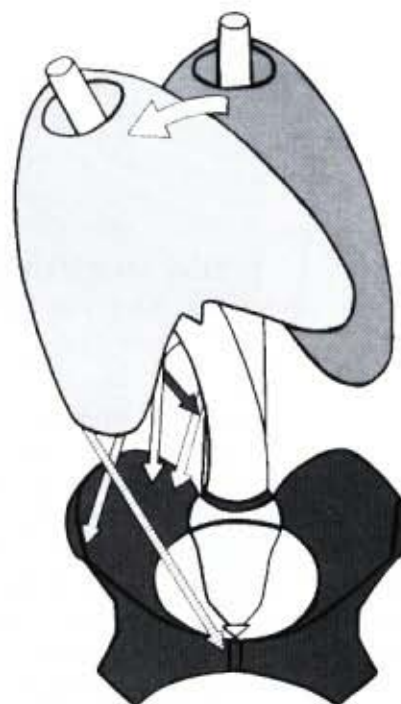
parte, una capa posterior que se fija en las apófisis transversas de las vértebras lumbares, y por otra una capa anterior que se inserta en los cuerpos vertebrales de la duodécima dorsal y las cinco vértebras lumbares. Estas inserciones se llevan a cabo en los bordes inferiores y superiores de las dos vértebras adyacentes, así como en el borde lateral del disco comprendido entre estas dos vértebras. Existen arcos tendinosos que unen entre sí las áreas de inserción musculares. El cuerpo muscular fusiforme, aplanado de delante atrás, desciende oblicuamente hacia abajo y hacia fuera, sigue por el estrecho superior, se refleja sobre el borde anterior el hueso coxal, a la altura de la eminencia iliopectínea y, junto con el músculo iliaco, termina en el vértice del trocánter menor.

Cuando el psoas toma como punto fijo su inserción sobre el fémur y la cadera está bloqueada por la contracción de los otros músculos periarticulares, ejerce una *potente acción sobre el raquis lumbar* (Fig. 35), el cual realiza a la vez una inclinación hacia el lado de su contracción y una *rotación* hacia el lado opuesto de la contracción. Además (Fig. 36), como este músculo se inserta en el vértice de la lordosis lumbar, acarrea una *flexión* del raquis lumbar con respecto a la pelvis a la par que una *hiperlordosis* lumbar que aparece con claridad en el individuo en decúbito supino, con los miembros inferiores extendidos sobre el plano de apoyo (Fig. 62, pág. 115).

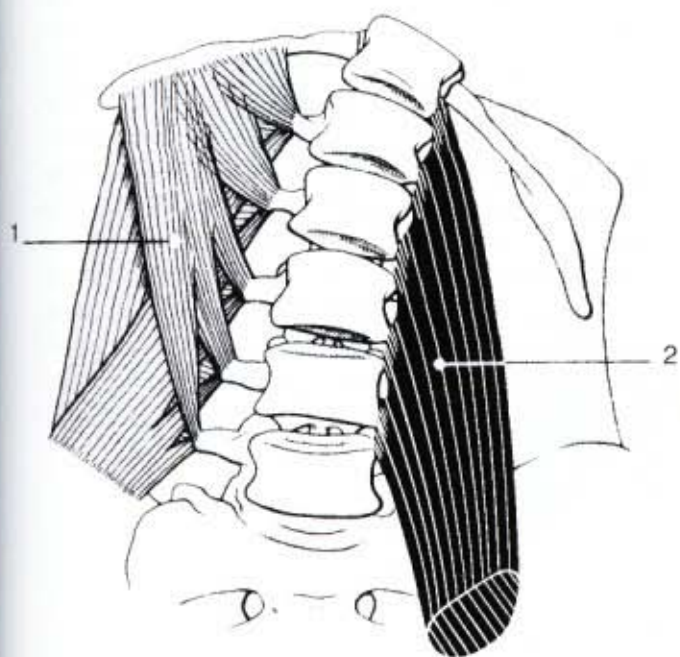
Resumiendo, los dos músculos del grupo lateral inclinan el tronco hacia el lado de su contracción, pero mientras que el cuadrado lumbar no ejerce acción alguna sobre la lordosis lumbar, el psoas determina una hiperlordosis al mismo tiempo que una rotación del tronco hacia el lado opuesto.



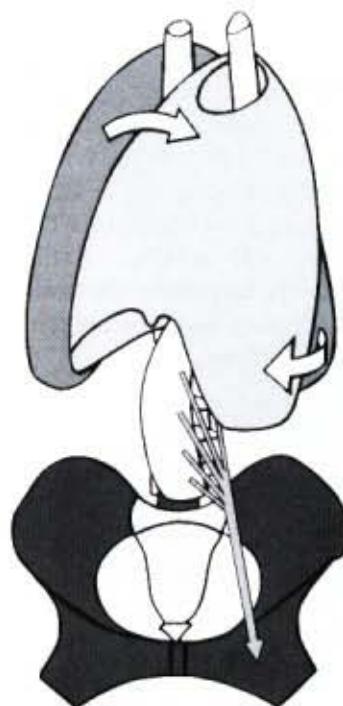
32



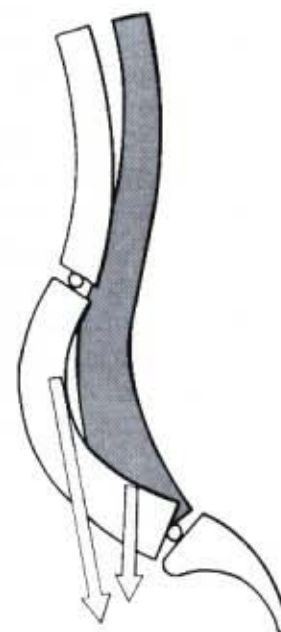
33



34



35



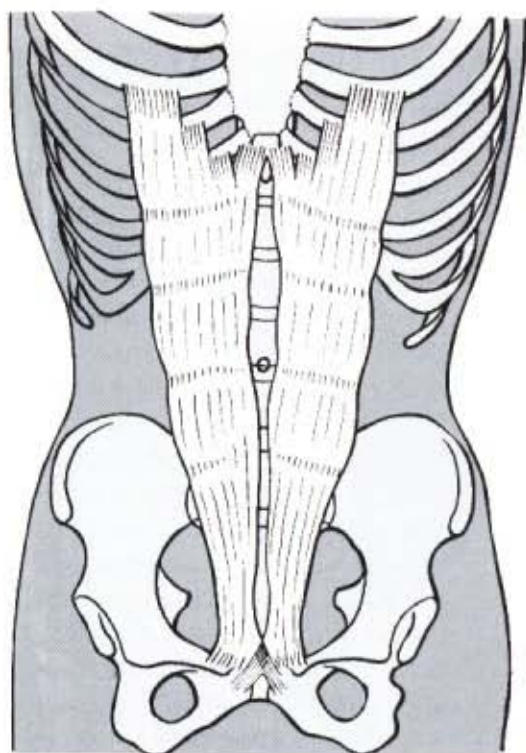
36

LOS MÚSCULOS DE LA PARED ABDOMINAL: EL RECTO ABDOMINAL Y EL TRANSVERSO

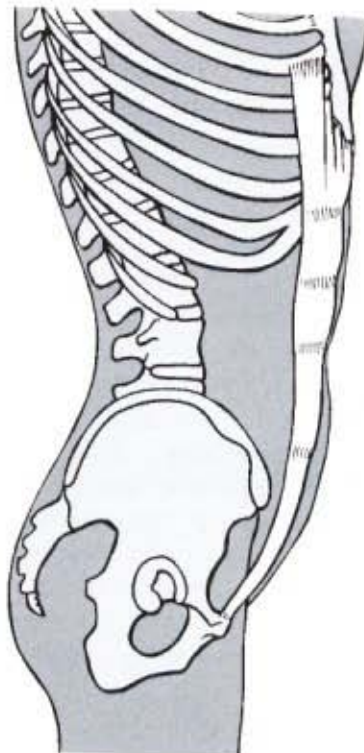
Los **dos músculos rectos abdominales** (Fig. 37, vista de frente, y Fig. 38, vista de perfil) constituyen dos bandas musculares extendidas por la *cara anterior del abdomen*, a un lado y otro de la línea media. Sus inserciones superiores se llevan a cabo en los 5°, 6° y 7° arcos anteriores y cartílagos costales al igual que en la apófisis xifoides. La espesa banda muscular que parte de estas inserciones se estrecha gradualmente, entrecortada por intersecciones aponeuróticas (dos intersecciones por encima del ombligo, una a la altura de éste y otra por debajo). La anchura del cuerpo muscular es netamente menor por debajo del ombligo para dar nacimiento a un potente tendón que se inserta en el borde superior del pubis, en la sínfisis púbica, con expansiones hacia el lado opuesto y hacia los aductores. Los dos músculos rectos abdominales están separados en la línea media por un espacio más ancho por encima del ombligo que por debajo del mismo. Están envueltos por una vaina aponeurótica formada por las aponeurosis de terminación de los músculos anchos de la pared abdominal.

Los **músculos transversos** (Fig. 39, vista de frente, el transversos sólo se ha representado en la mitad izquierda, y Fig. 40, vista de perfil) constituyen la capa más profunda de los músculos anchos de la pared abdominal. Por detrás, se

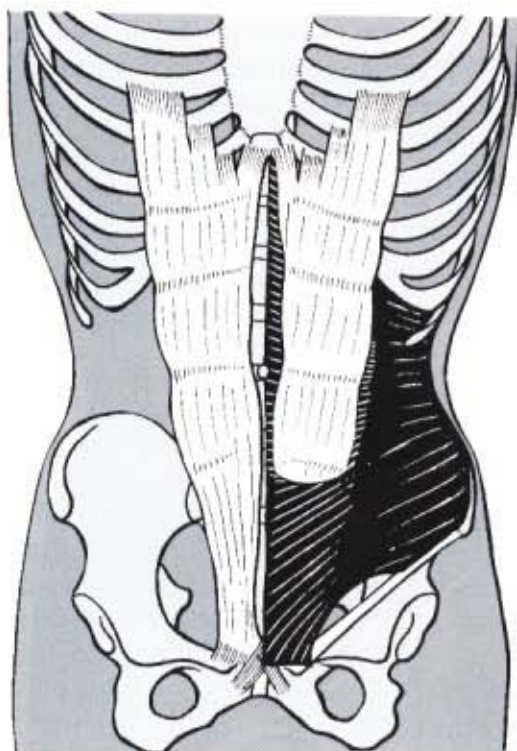
insertan en el vértice de las apófisis transversas de las vértebras lumbares; las fibras musculares horizontales se dirigen hacia fuera y directamente hacia delante y rodean la masa visceral. Dan origen a fibras aponeuróticas siguiendo una línea paralela al borde lateral de los rectos abdominales. Esta aponeurosis de terminación del transversos se une a la del lado opuesto en la línea media y, en su mayor parte, pasa por detrás del recto abdominal, participando así en la constitución de *la lámina posterior de la vaina de los rectos*. Sin embargo, *debajo del ombligo*, la aponeurosis del transversos pasa por *delante del músculo recto abdominal*, el cual la perfora para pasar por detrás. A partir de este nivel, marcado en la cara posterior del recto abdominal por *la arcada aponeurótica de Douglas*, la aponeurosis del transversos toma parte en la constitución de *la lámina anterior de la vaina de los rectos*. En este esquema también se puede constatar que sólo las fibras de la parte media son horizontales; las fibras de la parte superior son oblicuas hacia arriba y hacia dentro, las fibras de la parte inferior son oblicuas hacia abajo y hacia dentro y las fibras más bajas terminan en el borde superior de la sínfisis púbica y del pubis participando, junto con las del oblicuo menor, en la formación del tendón conjunto.



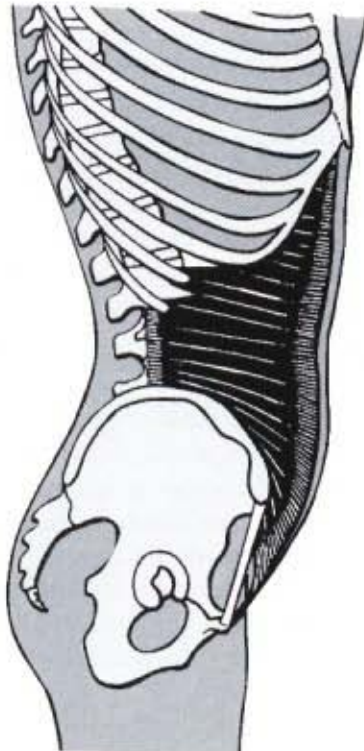
37



38



39



40

MÚSCULOS DE LA PARED ABDOMINAL: EL OBLICUO MENOR Y EL OBLICUO MAYOR

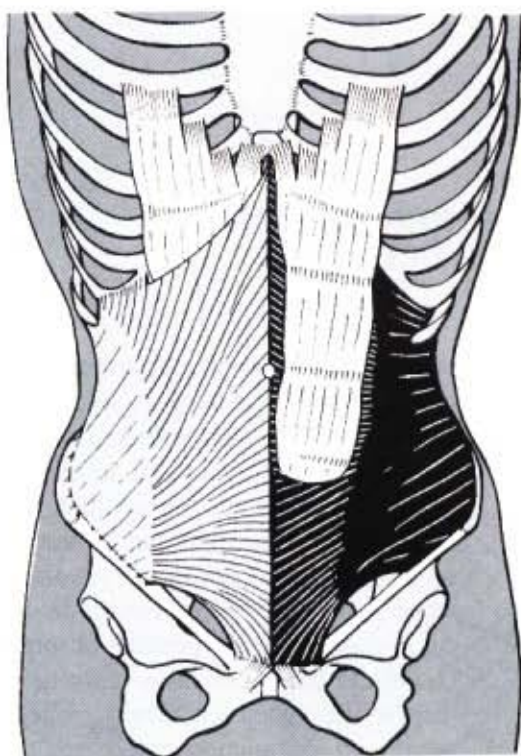
El **oblicuo menor** (Figs. 41 y 42) constituye la capa intermedia de los músculos anchos de la pared abdominal. La dirección general de sus fibras es oblicua de abajo arriba y de fuera adentro; se inserta en la cresta iliaca; las fibras carnosas forman una lámina muscular localizada en la pared lateral del abdomen; algunas finalizan directamente en la duodécima y undécima costillas; otras terminan mediante una *aponeurosis* contigua al cuerpo muscular siguiendo una línea inicialmente horizontal, que parte del vértice de la undécima costilla, que posteriormente se verticalizará a lo largo del borde lateral del recto abdominal; las fibras aponeuróticas finalizan en el décimo cartilago costal y en el apéndice xifoides, y contribuyen a la formación de la *lámina anterior de la vaina de los rectos*; de modo que se entrecruza en la línea media con su homólogo opuesto, constituyendo la *línea alba abdominal*. La parte inferior del oblicuo menor se inserta directamente en la parte lateral del arco crural; sus fibras son horizontales y, a continuación, oblicuas hacia abajo y hacia dentro; junto con las fibras del transverso forman el *tendón conjunto*; finalizan en el borde superior de la sínfisis púbica y en la espina del pubis. De este modo, el tendón conjunto limita, con la parte medial del arco crural, el orificio profundo del conducto inguinal.

El **oblicuo mayor** (Figs. 43 y 44) constituye la capa superficial de los músculos anchos de la pared abdominal; la dirección general de sus fibras es oblicua de arriba abajo y de fuera adentro. Sus digitaciones carnosas se insertan en las siete últimas costillas; se recubren de abajo arriba y están imbricadas con las digitaciones del serrato mayor; los haces musculares se sitúan en la pared lateral del abdomen y originan una *aponeurosis* siguiendo una línea de transición inicial-

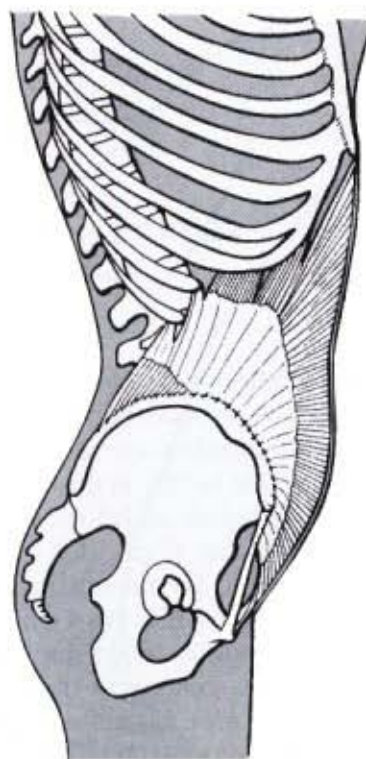
mente vertical, paralela al borde lateral del recto abdominal; posteriormente, será oblicua hacia abajo y hacia atrás. Esta *aponeurosis* participa en la constitución de la *lámina anterior de la vaina de los rectos* y se entrecruza en la línea media con su homólogo opuesto de modo que contribuye a la formación de la *línea alba abdominal*. Las fibras de la novena costilla que provienen de la digitación se insertan en el pubis y envían expansiones aponeuróticas hacia los aductores del mismo lado y del lado opuesto. Las fibras procedentes de la digitación que se origina en la décima costilla se insertan en el arco crural; estos dos haces tendinosos delimitan el *orificio superficial del conducto inguinal*, triangular de vértice *superoexterno*, y cuya base *inferoexterna* está constituida por el pubis y la espina del mismo en la que se inserta el arco crural.

De la descripción de estos músculos de la pared abdominal que constituyen el grupo anterior de los músculos motores del raquis, conviene recordar las siguientes nociones:

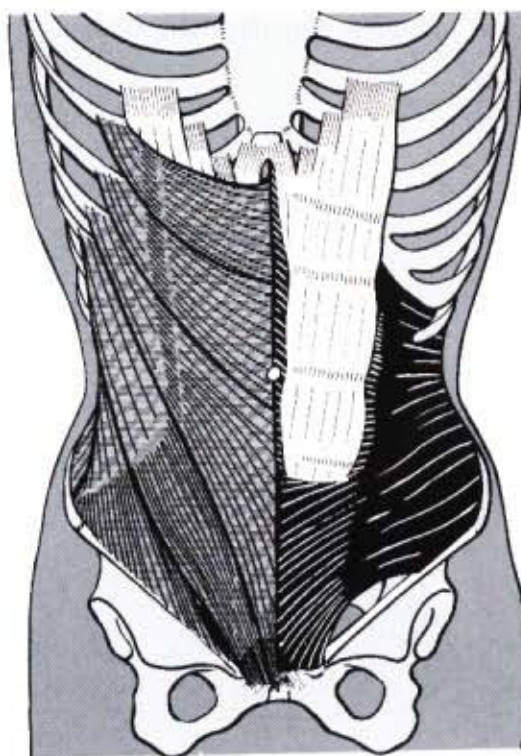
- los músculos rectos abdominales forman, en la parte más anterior del abdomen, dos bandas musculares que actúan a *gran distancia del raquis*, entre el orificio inferior del tórax, en su parte anterior, y la cintura pélvica, también en su parte anterior;
- los músculos anchos forman tres capas sucesivas cuyas fibras toman la siguiente dirección: transversal en la capa profunda del transverso, oblicua hacia arriba y hacia adentro en la capa media del oblicuo menor, oblicua hacia abajo y hacia dentro en la capa superficial del oblicuo mayor (véase Fig. 31, pág. 153).



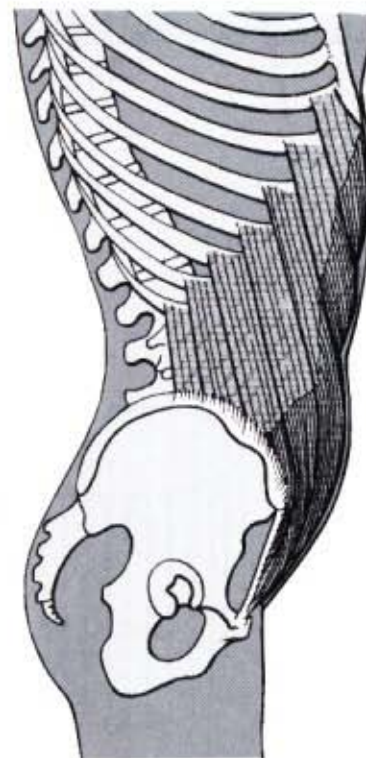
41



42



43



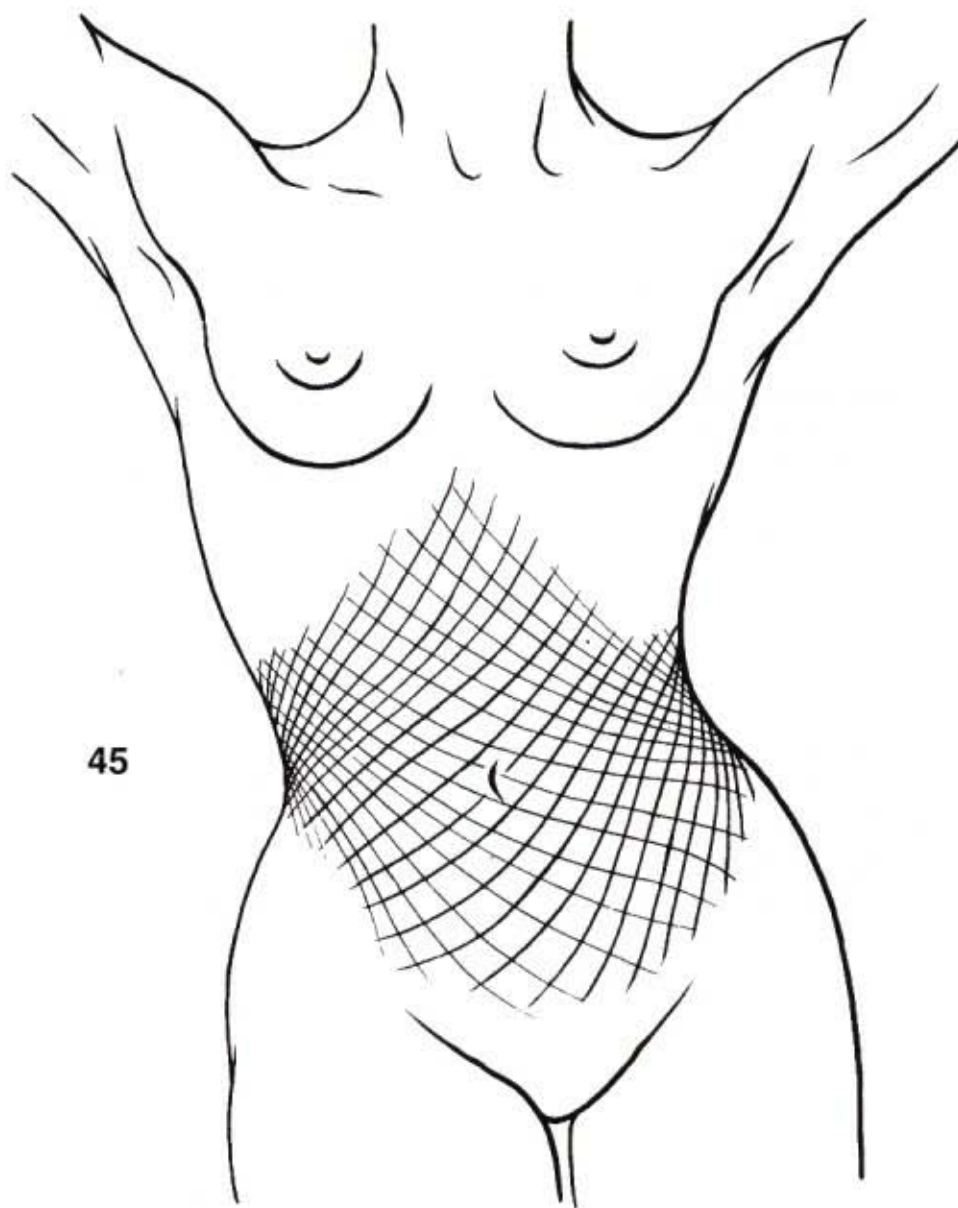
44

MÚSCULOS DE LA PARED ABDOMINAL: EL CONTORNO DEL TALLE

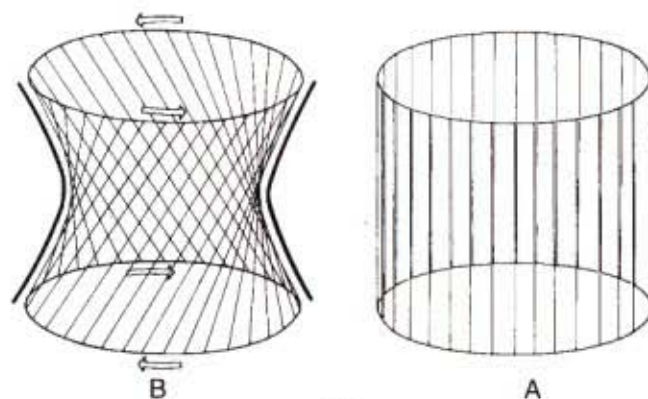
Las fibras de los músculos anchos prolongadas por las fibras de sus respectivas aponeurosis forman un tejido, un *verdadero corsé* alrededor del abdomen (Fig. 45). De hecho, la dirección de las fibras del oblicuo mayor de un lado se prolongan en la dirección de las fibras del oblicuo menor del otro y viceversa. De manera que, considerados en conjunto, estos músculos oblicuos menor y mayor constituyen un tejido romboideo en vez de rectangular; las costureras dirían que este tejido está cortado *al bias*. Esta circunstancia le permite adaptarse al contorno del talle.

Una demostración permite ilustrar con facilidad este hecho (Fig. 46): si se extienden unos hilos o gomas elásticas entre dos círculos (A),

cuando su dirección es paralela al eje que une el centro de ambos círculos, se obtendrá una superficie cilíndrica. En cambio, si se hace girar el círculo superior respecto al inferior (B), los hilos permanecen tensos pero toman una dirección oblicua y la superficie que "envuelve" todas estas rectas es una *hipérbole de revolución* cuyo contorno está entallado en forma de curva hiperbólica. Este mecanismo permite comprender a la perfección la forma del talle, tanto más nítida cuanto más tensas estén las fibras oblicuas y, naturalmente, cuanto menos grueso sea el panículo adiposo. Para reconstruir el contorno del talle, será pues necesario restablecer la tonicidad de los músculos oblicuos del abdomen.



45



46

A

B

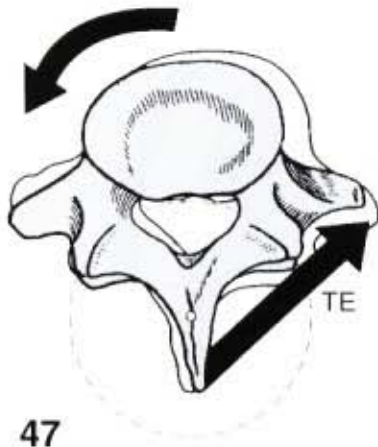
MÚSCULOS DE LA PARED ABDOMINAL: LA ROTACIÓN DEL TRONCO

La **rotación sobre el eje raquídeo** la realizan los *músculos de las correderas vertebrales* y los *músculos anchos del abdomen*.

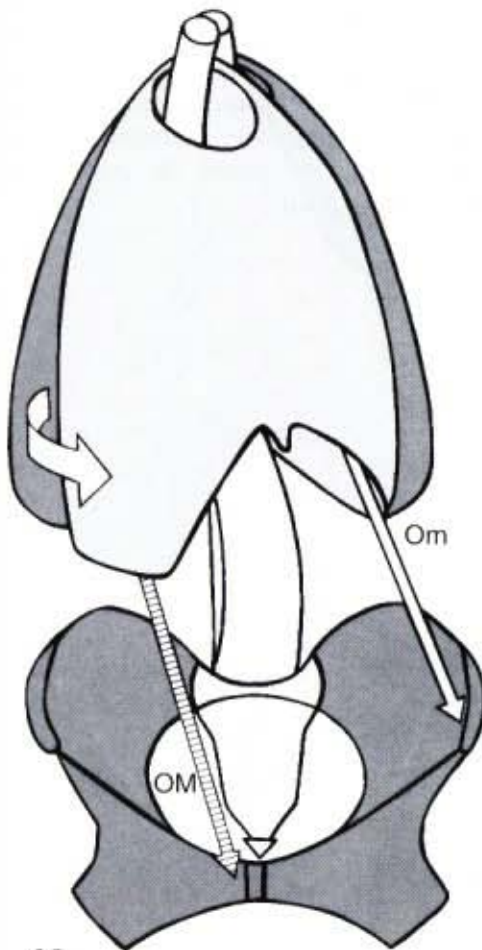
La contracción unilateral de los músculos de las correderas vertebrales ejerce un ligero efecto rotador, pero la capa muscular más profunda, la del *transverso espinoso* (Fig. 47), tiene una acción rotadora mucho más acentuada: tomando como punto fijo las apófisis transversas subyacentes, el transverso espinoso (TE) tira hacia fuera de la apófisis espinosa de la vértebra suprayacente, determinando así una rotación hacia el lado opuesto a su contracción.

En el transcurso de la rotación del tronco, la acción principal la llevan a cabo *los músculos*

oblicuos del abdomen (Fig. 48). De hecho, su trayecto enrollado en espiral alrededor del talle le confiere una gran eficacia, así como sus inserciones a distancia del raquis sobre la caja torácica, lo que moviliza no sólo el raquis lumbar, sino también el raquis dorsal inferior. Para obtener la rotación del tronco hacia la izquierda (Fig. 48), es necesario que actúen, por una parte, *el oblicuo mayor (OM) del lado derecho*, y por otra, *el oblicuo menor (Om) del lado izquierdo*. Es preciso recalcar que estos dos músculos están enrollados en el mismo sentido alrededor de la cintura (Fig. 49) y que sus fibras musculares y aponeuróticas se prolongan en la misma dirección. Por lo tanto, *en esta acción de rotación son sinérgicos*.



47



48



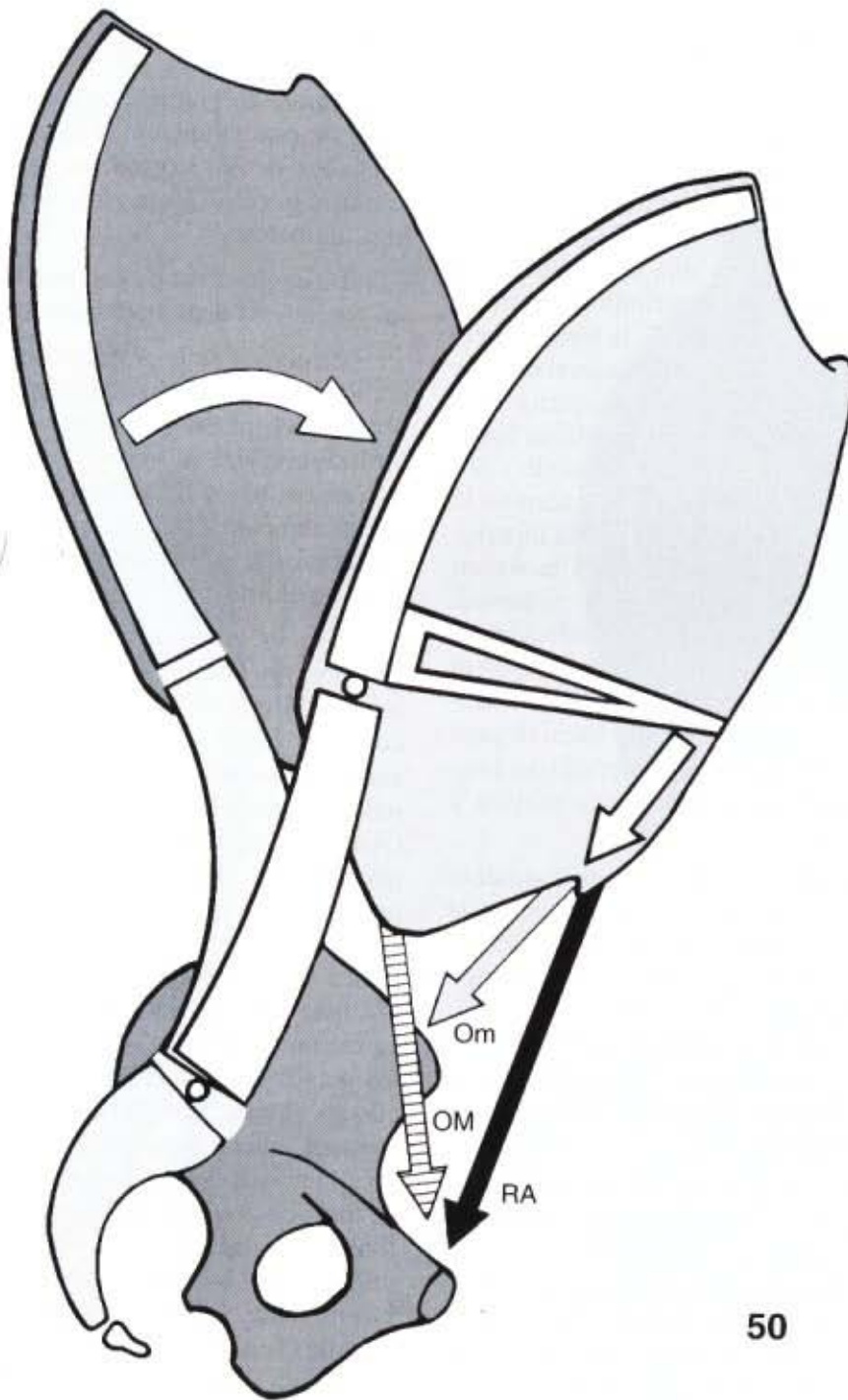
49

MÚSCULOS DE LA PARED ABDOMINAL: LA FLEXIÓN DEL TRONCO

Los músculos de la pared abdominal son *potentes flexores del tronco* (Fig. 50). Situados por delante del eje raquídeo, movilizan el conjunto del raquis hacia delante sobre las charnelas lumbosacra y dorsolumbar. Su acción es muy importante, ya que se lleva a cabo mediante **dos grandes brazos de palanca**: el *brazo de palanca inferior*, constituido por la distancia promontopúbica, y el *brazo de palanca superior*, representado por la consola que se apoya en el raquis dorsal inferior, constituido por la distancia dorsoxifoides; el recto abdominal (RA) que une directa-

mente el apéndice xifoides a la sínfisis púbica, realiza una potente acción de flexión del raquis. Se ve reforzado por dos músculos anchos, el oblicuo menor (Om) y el oblicuo mayor (OM) que unen el orificio inferior del tórax al borde superior de la cintura pélvica; mientras que el recto abdominal constituye un *tensor directo*, el oblicuo menor constituye un *tensor oblicuo hacia abajo y hacia atrás*, y el oblicuo mayor un *tensor oblicuo hacia abajo y hacia delante*. Además, ambos desempeñan el papel de sustentadores cuanto más oblicuos son.





MÚSCULOS DE LA PARED ABDOMINAL: EL ENDEREZAMIENTO DE LA LORDOSIS LUMBAR

La mayor o menor curva del raquis lumbar depende no sólo del tono de los abdominales y raquídeos, sino también de ciertos músculos de los miembros inferiores unidos a la cintura pélvica. En la posición denominada "asténica" (Fig. 51 B), la relajación muscular conlleva una exageración de todas las curvas raquídeas: hiperlordosis lumbar, acentuación de la cifosis dorsal y de la lordosis cervical. Además, la *pelvis bascula en anteversión*: la línea que une la espina iliaca anterosuperior a la espina iliaca posterosuperior se hace oblicua hacia abajo y hacia delante. El músculo psoas (Ps) flexiona el raquis lumbar sobre la pelvis y acentúa la lordosis lumbar que se ve agravada por la hipertonicidad del mismo; esta actitud asténica la suelen adoptar sujetos carentes de energía y voluntad. También se observan curvas del raquis parecidas en las mujeres en estado avanzado de gestación, en el que la distensión de los músculos de la pared abdominal, al igual que el desplazamiento hacia delante del centro de gravedad debido al desarrollo del feto, perturban considerablemente la estática pélvica y raquídea.

El enderezamiento de las curvas raquídeas (Fig. 51 A) comienza en la pelvis. La corrección de la anteversión pélvica se obtiene mediante la acción de los músculos *extensores de cadera*: la contracción de los *isquiotibiales* (IT) y sobre todo del *glúteo mayor* (G) acarrea la báscula de la pelvis hacia atrás y restablece la horizontalidad de la línea bi-espinosa. Así, el sacro se verticaliza y la curva del raquis lumbar disminuye.

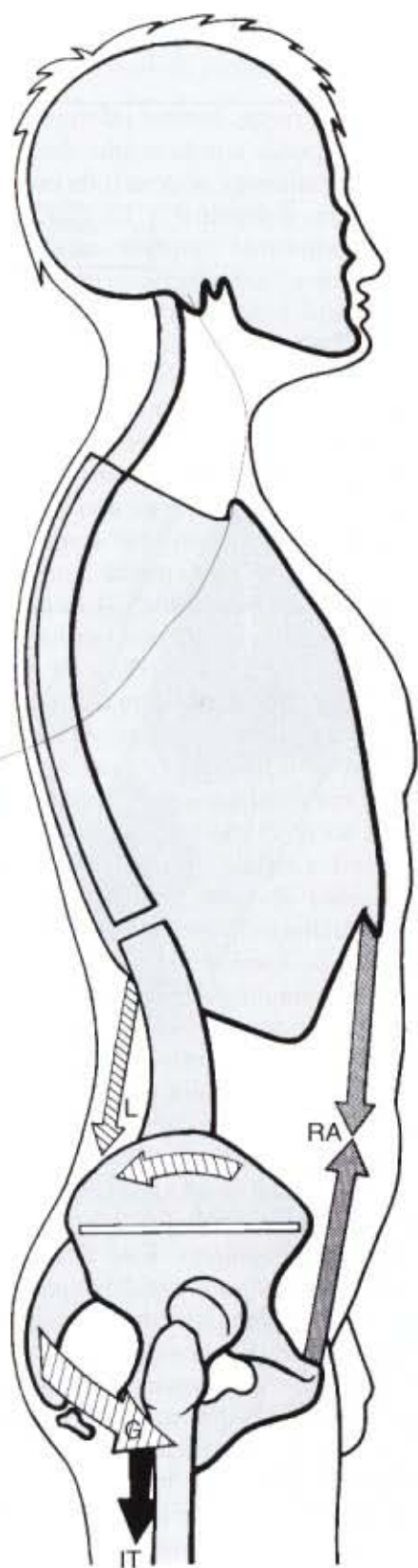
El papel más importante en la corrección de la hiperlordosis lumbar le corresponde a los músculos del abdomen y en particular a los *rectos abdominales* (RA) localizados en el lado de la convexidad de la curva lumbar y que actúan, como se ha expuesto con anterioridad, a través de *dos grandes brazos de palanca*. Basta entonces con contraer los dos glúteos mayores y los dos rectos abdominales para con-

seguir un enderezamiento de la lordosis lumbar. A partir de este momento, la acción extensora de los músculos de las correderas lumbares (L) puede lograr la tracción hacia atrás de las primeras vértebras lumbares.

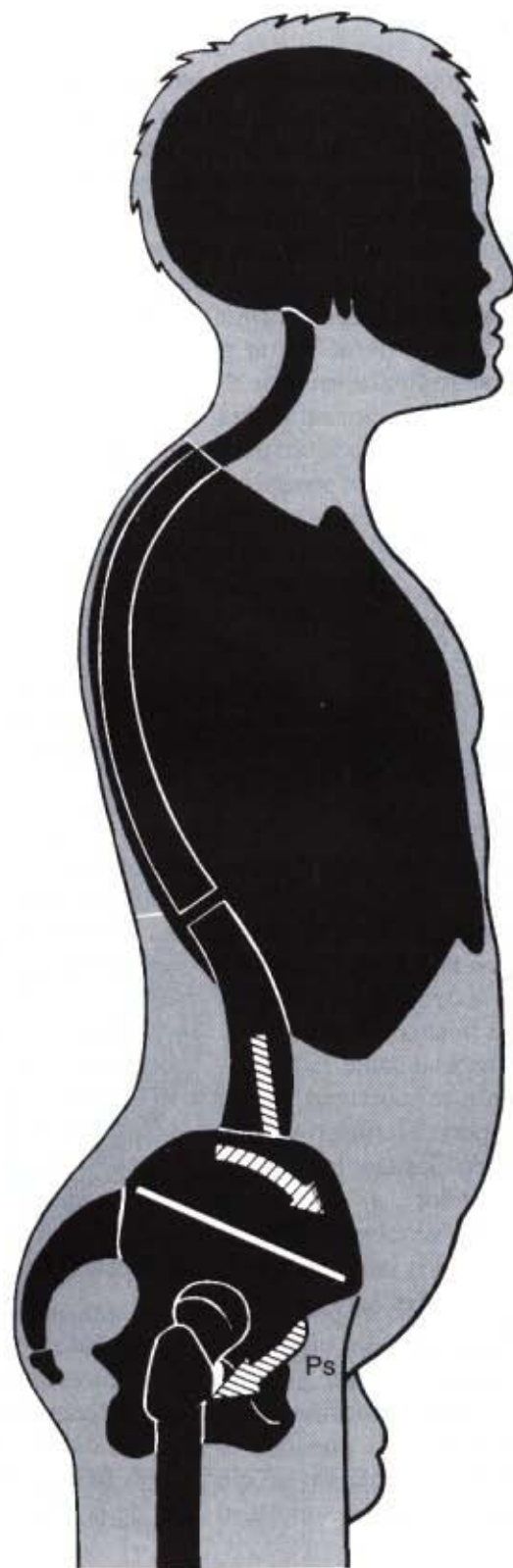
La contracción de los músculos del plano dorsal conlleva la disminución de la cifosis dorsal.

La acción de los músculos del raquis cervical, como se podrá comprobar más adelante, permite obtener del mismo modo un enderezamiento de la lordosis cervical. Resumiendo, con las curvas borradas, el raquis es más alto (esto corresponde a un ligero aumento del índice raquídeo de Delmas) y así, el mismo individuo puede ganar 1, 2 e incluso 3 cm en altura.

Esta es la teoría clásica, pero, recientemente, estudios "inclinométricos" han demostrado (Klausen 1965) que el raquis en conjunto se comporta como un *brazo de grúa*, en posición de voladizo anterior. Los electromiogramas simultáneos de los músculos del plano posterior y de los abdominales (Asmussen & Klausen, 1962) ponen de manifiesto que en cuatro de cada cinco individuos, la bipedestación controlada por el simple reflejo postural inconsciente no necesita más que la contracción tónica de los músculos del plano posterior. Cuando el sujeto carga la parte superior de su raquis colocando un peso sobre su cabeza o llevando peso en las manos con los brazos colgando a lo largo del cuerpo, el voladizo anterior del raquis aumenta ligeramente, mientras que la lordosis lumbar disminuye y la cifosis dorsal se acentúa. Simultáneamente, el tono de los músculos espinales aumenta para limitar el voladizo. Por lo tanto, los músculos abdominales no participan en la estática raquídea inconsciente, lo que no significa que no actúen durante el enderezamiento consciente de la lordosis lumbar, en la posición de "¡Firmes!" por ejemplo, o en el acarreo de cargas pesadas en voladizo anterior.



A



B

EL TRONCO COMO ESTRUCTURA HINCHABLE

Si en la **posición de inclinación hacia delante** sólo se considera la acción de los músculos raquídeos (Fig. 52), el cálculo de las fuerzas que se ejercen sobre el disco lumbosacro demuestra que éstas son *considerables*. De hecho, el peso de la parte superior del tronco junto con la cabeza se aplica a la altura del centro de gravedad parcial (P) localizado justo por delante de la décima dorsal. Este peso (P_1) recae en el extremo de un gran brazo de palanca, cuyo punto fijo se sitúa en el núcleo pulposo de L_5-S_1 . Para equilibrar esta fuerza, los músculos espinales (E_1) que actúan sobre un brazo de palanca de 7 a 8 veces más corto, precisan de una fuerza de 7 a 8 veces superior al peso P_1 . Estas fuerzas se pueden reducir en función del ángulo de inclinación del tronco hacia delante, que hace que la longitud del brazo de palanca sobre el que actúa P_1 aumente. De todos modos, la fuerza que se ejerce sobre el disco lumbosacro será igual a la suma de P_1 y de E_1 y será tanto más acentuada cuanto más inclinado esté el individuo hacia delante y, sobre todo, teniendo en cuenta el peso que lleva en las manos.

Se calcula que para levantar una carga de 10 kg, con las rodillas flexionadas y el tronco vertical, la fuerza E_1 desarrollada por los músculos espinales es de 141 kg. La misma carga de 10 kg levantada con las rodillas extendidas y el cuerpo inclinado hacia delante desarrolla una fuerza E_1 de 256 kg. Si esta misma carga se lleva con los brazos extendidos hacia delante, la fuerza E_1 necesaria es de 363 kg. En este momento, según los autores, la carga que soporta el núcleo oscilaría entre 282 y 726 kg pudiendo alcanzar los 1200 kg, lo que es claramente superior a las cargas de ruptura de los discos vertebrales (800 kg antes de los 40 años, 450 kg en los individuos de edad avanzada).

Dos hechos pueden explicar esta aparente contradicción: por una parte, la totalidad de la fuerza que se ejerce sobre el disco intervertebral no la soporta únicamente el núcleo. Nachemson, determinando la presión del interior del núcleo, demostró que cuando se ejerce una fuerza sobre un disco, el núcleo soporta el 75% de la carga y el anillo el 25%.

Por otra parte, *el tronco en conjunto interviene* para suavizar la presión sobre el disco lumbosa-

cro y los discos del raquis lumbar inferior (Fig. 52 B). En efecto, se puede constatar que durante los esfuerzos de levantamiento, se desarrolla instintivamente una "presión abdominal". ¿En que consiste esta presión abdominal también denominada maniobra de Valsalva? Sencillamente en que asocia *el cierre de la glotis* y de todos los orificios abdominales, transformando así la cavidad abdominotorácica en una cavidad cerrada a la contracción mantenida de los músculos espiratorios, y en particular *de los músculos abdominales*. De este modo, la presión aumenta considerablemente en la cavidad abdominotorácica y la convierte en una *viga rígida* situada por delante del raquis que transmite las fuerzas a la cintura pélvica y el periné. La intervención de esta **estructura hinchable** reduce de manera notable la compresión longitudinal en los discos: en el disco D_{12-L_1} decrece un 50% y en el disco lumbosacro un 30%. Por este mismo motivo, la tensión de los músculos espinales disminuye un 55%. Este mecanismo de hiperpresión toracoabdominal es por lo tanto muy útil para suavizar las fuerzas que se ejercen sobre el raquis; sin embargo, sólo actúa durante cortos espacios de tiempo. De hecho, provoca una *apnea absoluta* y causa importantes alteraciones circulatorias: *hiperpresión en el sistema venoso cefálico, disminución del retorno venoso al corazón, disminución del volumen de sangre contenido en las paredes alveolares, aumento de la resistencia en la circulación menor*. Además, supone la integridad de los músculos de la cincha abdominal y la posibilidad de un cierre de la glotis de los otros orificios abdominales. Por último, la hiperpresión toracoabdominal se acompaña de una derivación de la circulación venosa de retorno por los *plexos venosos perirraquídeos*. Esto acarrea a su vez la *hiperpresión del líquido cefalorraquídeo*. Tal situación no puede prolongarse indefinidamente y *los esfuerzos de levantamientos de cargas pesadas sólo pueden ser breves e intensos*. Por consiguiente, la conclusión práctica que se puede deducir es que para disminuir la compresión en los discos intervertebrales, es preferible levantar las cargas con el tronco vertical antes que con el tronco inclinado hacia delante con un voladizo importante. Este es el consejo que debe darse a los individuos expuestos a hernias discales.

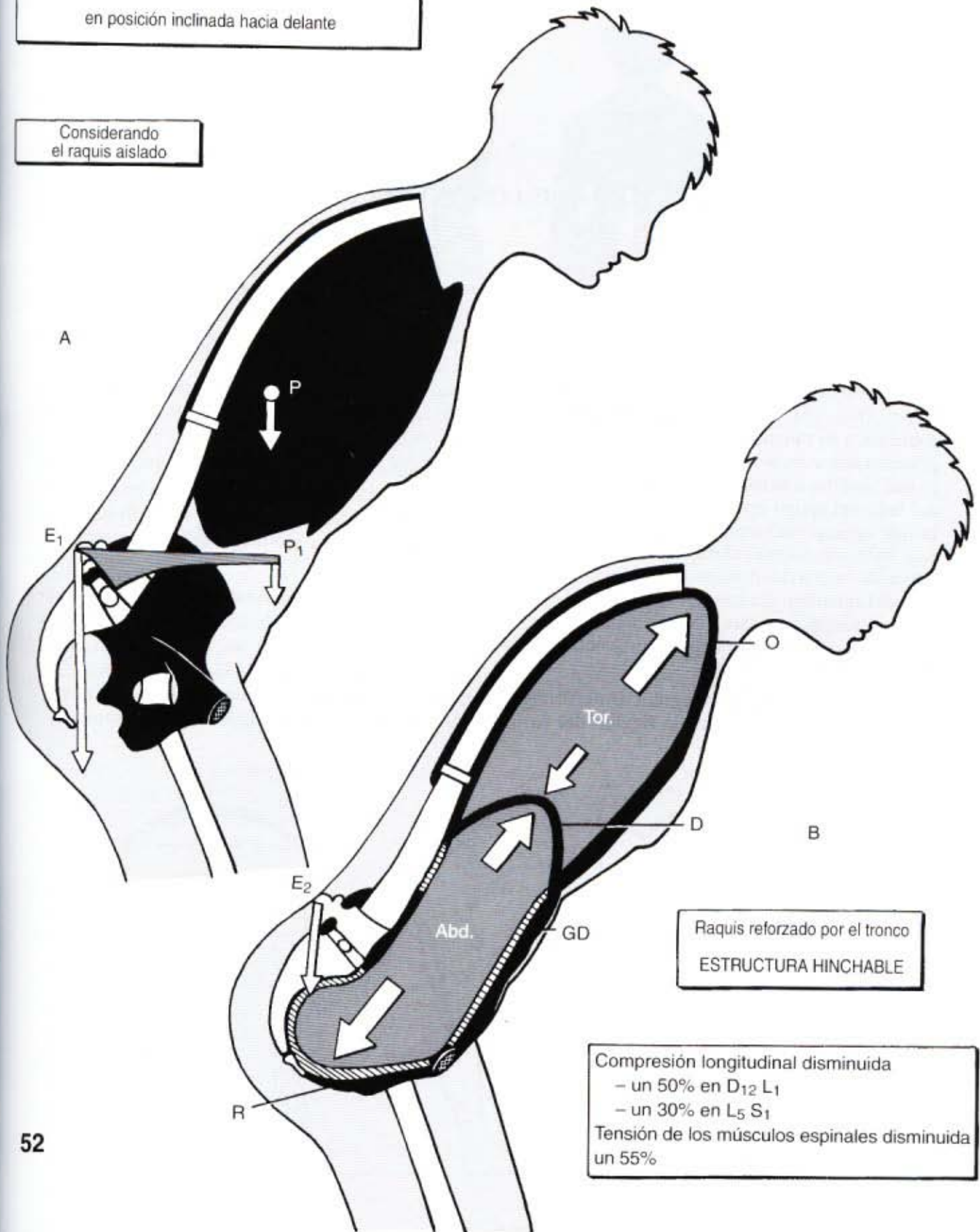
FUE

e

E

FUERZAS SOBRE LA CHARNELA LUMBOSACRA
en posición inclinada hacia delante

Considerando
el raquis aislado



ESTÁTICA DEL RAQUIS LUMBAR EN BIPEDESTACIÓN

En **apoyo simétrico** sobre los dos miembros inferiores, el raquis lumbar, visto de perfil (Fig. 53), presenta, como ya se ha visto con anterioridad, una curva de concavidad posterior denominada lordosis lumbar. Visto de espaldas (Fig. 54), es rectilíneo, en cambio, en la *posición "en jarra"* (Fig. 55), es decir en **apoyo asimétrico** sobre un solo miembro inferior, el raquis lumbar presenta una concavidad hacia el lado del apoyo, lo que se debe a la báscula de la pelvis, la cadera del lado del apoyo está más elevada que la cadera que no soporta carga alguna. Para compensar esta inflexión lumbar, el raquis dorsal adopta una curva de concavidad opuesta, es decir hacia el lado del miembro sin carga. Por último, el raquis cervical adopta una curva de concavidad hacia el lado del apoyo; es decir en el mismo sentido de la curva lumbar.

Los estudios electromiográficos de Brügger han demostrado que durante la **flexión del tron-**

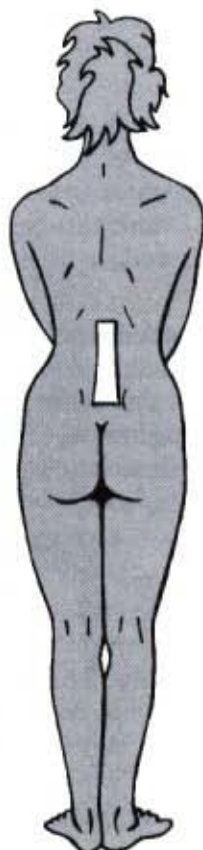
co (Fig. 56), los músculos espinales son los primeros en contraerse enérgicamente, seguidos de los glúteos y, por último, los isquiotibiales y los sóleos. Al final de la flexión, el raquis se estabiliza únicamente por la *acción pasiva de los ligamentos raquídeos* (LR) que toman como punto fijo la pelvis, cuya anteversión retienen los isquiotibiales (IT).

Durante el **enderezamiento** (Fig. 57), los músculos intervienen en el orden inverso: en primer lugar los isquiotibiales; en segundo lugar los glúteos y en tercer y último lugar, los lumbares y los dorsales (E).

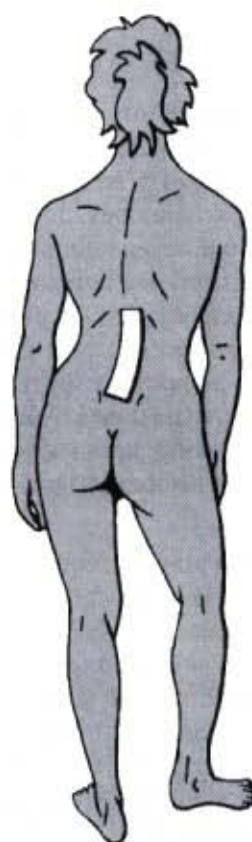
En **bipedestación rectilínea** (Fig. 58), el ligero desequilibrio hacia delante está controlado por la contracción tónica de los músculos del plano posterior, tríceps surales (T), isquiotibiales (IT), glúteos (G), músculos espinales (E); los abdominales en cambio, están relajados (Asmussen).



53



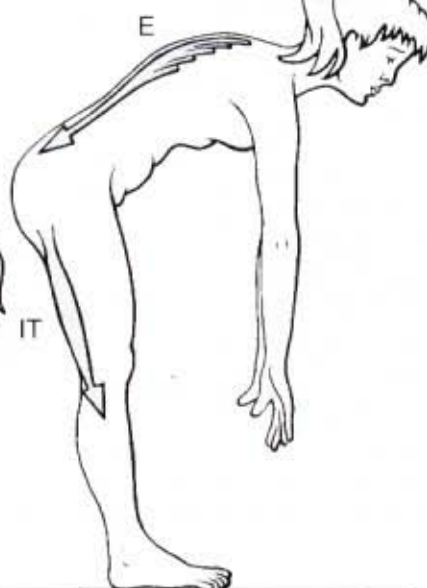
54



55



56



57



58

SEDESTACIÓN Y DECÚBITO

En la **posición de sedestación con apoyo isquiático**, en la postura denominada *de la mecánografa* (Fig. 59), sin respaldo, el peso del cuerpo reposa únicamente sobre los isquiones, la *pelvis está en equilibrio inestable*, más bien solicitada en anteversión, de ahí una hiperlordosis lumbar y las curvas dorsales y cervicales acentuadas: los músculos de la cintura escapular, y especialmente el *trapecio* que sostiene la cintura escapular y los miembros superiores, actúan para mantener la estática raquídea. A la larga, esta actitud causa dolores, conocidos como "síndrome de las mecánografías" o síndrome de los trapecios.

En la **posición de sedestación con apoyo isquiofemoral** (Fig. 60) denominada *del cochero*, el tronco inclinado hacia delante, reposando acodado sobre las rodillas, el apoyo se lleva a cabo a través de las tuberosidades isquiáticas y de la cara posterior de los muslos. La pelvis está en *anteversión* y la acentuación de la cifosis dorsal conlleva el enderezamiento de la lordosis lumbar. Si los miembros superiores actúan como puntales, el tronco permanece estable con un mínimo esfuerzo muscular e incluso es posible conciliar el sueño. Es una *posición de reposo de los músculos de las correderas vertebrales*, los enfermos afectados de espondilolistesis la adoptan con frecuencia de manera instintiva ya que *disminuye el efecto de cizallamiento* sobre el disco lumbosacro y permite la relajación de los músculos del plano posterior.

En la **posición de sedestación con apoyo isquiosacro** (Fig. 61), el tronco, totalmente echado hacia atrás, reposa sobre el respaldo de la silla y el apoyo se realiza con las tuberosidades isquiáticas y la cara posterior del sacro y del cóccix; la pelvis está en *retroversión*, la *lordosis lumbar está enderezada*, la cifosis dorsal acentuada y la cabeza puede caer hacia delante sobre el tórax, a la vez que se invierte la lordosis cervical. También es una posición de reposo que puede incluso suscitar el sueño, aunque la respiración resulta dificultosa debido a la flexión del cuello y al peso de la cabeza sobre el esternón: esta posición reduce el deslizamiento anterior de L₅ y relaja los músculos posteriores del raquis lumbar, aliviando así los dolores de la espondilolistesis.

El **decúbito supino con los miembros inferiores extendidos** (Fig. 62), es la posición más comúnmente adoptada para el reposo: la tracción sobre el psoas provoca una hiperlordosis lumbar y produce un hueco "debajo de los riñones".

En la **posición de decúbito supino con los miembros inferiores flexionados** (Fig. 63), la relajación de los psoas acarrea una retroversión pélvica y una disminución de la lordosis lumbar: el "hueco de los riñones" contacta con el plano de apoyo, consiguiendo así una mejor relajación de los músculos espinales y abdominales.

En la **posición denominada de "relajación"** (Fig. 64), conseguida con ayuda de cojines o de asientos especiales, donde el plano de apoyo dorsal es cóncavo determinando un enderezamiento de la lordosis lumbar y de la lordosis cervical; un apoyo debajo de las rodillas flexiona las caderas, con lo que el psoas y los isquiotibiales se relajan.

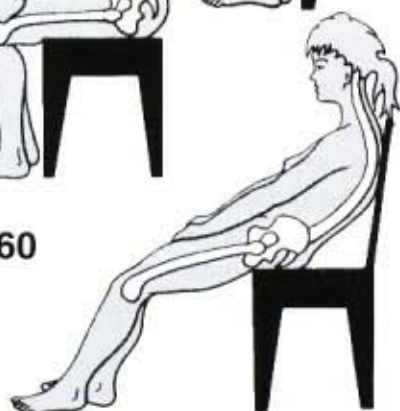
En la **posición de decúbito lateral** (Fig. 65), el raquis sigue una curva sinuosa: *convexidad lumbar inferior*; la línea de las dos espinas ilíacas posteriores superiores marcada por las fositas sacras y la línea de los hombros convergen por encima del sujeto. El raquis dorsal presenta una curva de convexidad superior. Con esta postura no se consigue una relajación muscular general y provoca algunas dificultades respiratorias durante las anestésias.

En cuanto a la **posición de decúbito prono**, tiene todos los inconvenientes del decúbito dorsal (hiperlordosis lumbar) agravados por las *dificultades respiratorias* debidas al apoyo sobre la caja torácica y el abdomen, que comprime la masa abdominal contra el diafragma, disminuyendo así su desplazamiento y, finalmente, la posible obstrucción de las vías respiratorias por el plano de apoyo, las secreciones o los cuerpos extraños. No obstante, son muchas las personas que adoptan esta postura para dormir, aunque la cambian de inmediato. De manera general, nunca se mantiene durante mucho tiempo una misma posición durante el sueño, ya que de este modo se consigue la *relajación sucesiva de todos los grupos musculares* y, sobre todo, el *desplazamiento de los puntos de apoyo*, pues es sabido que permanecer en un mismo punto de apoyo más de tres horas puede producir escaras por isquemia de los tegumentos.

59



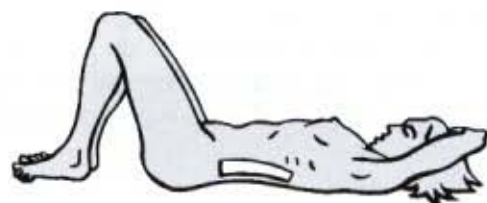
60



61



62



63



64



65

AMPLITUD DE FLEXOEXTENSIÓN DEL RAQUIS LUMBAR

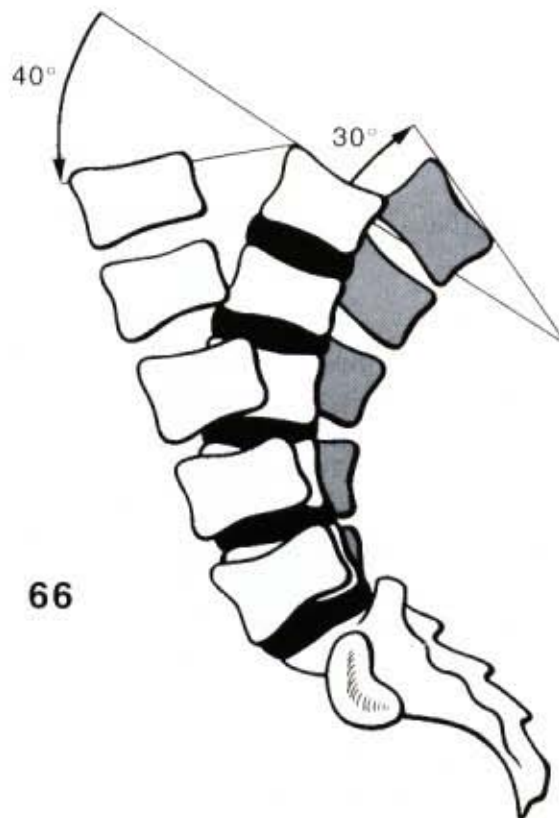
Las amplitudes de flexoextensión del raquis lumbar *varían según los individuos y según la edad*. Por lo tanto, todas las cifras propuestas son casos particulares o promedios. No obstante se puede asumir (Fig. 66):

- que la **extensión**, que se acompaña de una hiperlordosis lumbar, tiene una amplitud de 30°;
- que la **flexión**, que se acompaña de un enderezamiento de la lordosis lumbar, tiene una amplitud de 40°.

Los trabajos de David y Albrook (Fig. 67 A) permiten conocer la amplitud individual de flexoextensión en cada nivel (columna de la derecha) y la *amplitud total y acumulada* de la flexoextensión (columna de la izquierda): 83°; o sea, bastante próxima a los 70° citados anteriormente. Por

otra parte, la amplitud máxima de flexoextensión se sitúa entre L₄ y L₅: 24°, y a continuación, por orden de amplitud decreciente, vienen las interlíneas L₃-L₄ y L₅-S₁ todas ellas de 18° y, casi de la misma amplitud, las interlíneas L₂-L₃ de 12° y L₁-L₂ de 11°. De este modo, el raquis lumbar inferior es, para estos autores, mucho más móvil en el plano de la flexoextensión que el raquis lumbar superior.

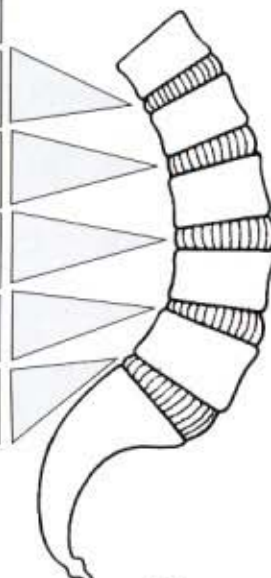
Como cabía esperar, las *amplitudes de la flexión son bien distintas según la edad* (Fig. 67 B). Este cuadro, según S.S. Tanz, permite constatar que la movilidad del raquis lumbar decrece con la edad, siendo máxima entre los dos y los trece años. La movilidad máxima se sitúa en la parte baja del segmento lumbar, sobre todo en el espacio L₄-L₅.



AMPLITUD DE LA FLEXIÓN
SEGÚN LA EDAD
(según S.S. TANZ)

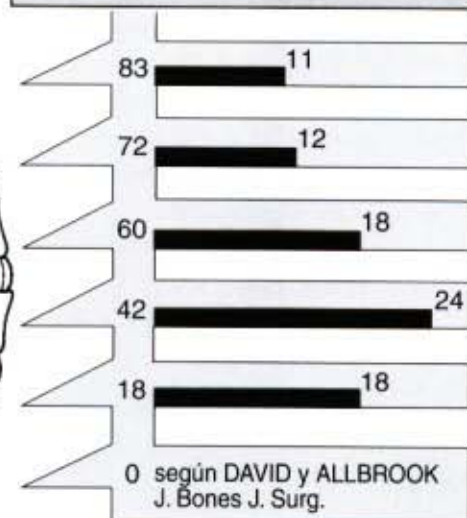
2 → 13	35 → 49	50 → 64	65 → 77
	6°	4°	2°
10°	8°	5°	5°
13°	9°	8°	3°
17°	12	8°	7°
24°	8°	8°	7°

B



67

AMPLITUD DE
FLEXOEXTENSIÓN
Total Individual



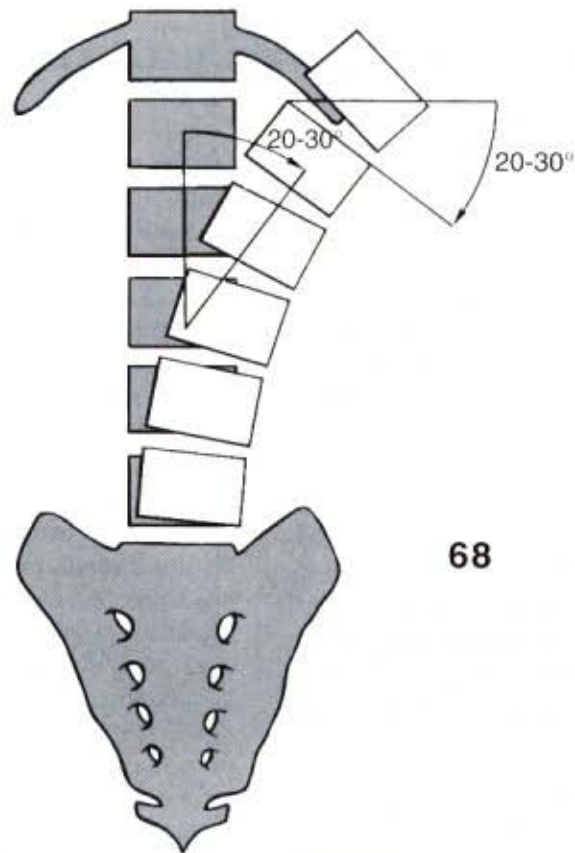
A

AMPLITUD DE INCLINACIÓN DEL RAQUIS LUMBAR

Como en el caso de la flexoextensión, la amplitud de la inflexión lateral, también denominada **inclinación**, varía según la edad y según los individuos: sin embargo, se puede afirmar (Fig. 68) que en termino medio, la inclinación es de 20 a 30° a cada lado.

S. Tanz estudio las amplitudes de la inclinación (Fig. 69). Éstas disminuyen considerablemente con la edad, son máximas de los dos a los trece años, alcanzando los 62° a un lado y otro de la posición media; entre los 35 y los 49 años, la amplitud sólo es de 31° a cada lado; desciende a 29° entre los 50 y los 64 años y a 22° entre los 65 y 77 años. Tras haber sido muy importante hasta los trece años, la inflexión lateral permanece rela-

tivamente estable en torno a los 30° de 35 a 64 años, después desciende a 20°. En la edad media de la vida, la amplitud total de la inflexión entre la derecha y la izquierda es de 60°, lo que es casi igual a la amplitud total de flexoextensión del raquis lumbar. No deja de ser interesante recalcar que la amplitud segmentaria de la inclinación a nivel del disco L₅-S₁ es bastante limitada, ya que de 7° en la juventud desciende rápidamente a 2°, 1° e incluso 0° en edad avanzada. La amplitud máxima se localiza entre L₄-L₅ y, sobre todo, entre L₃ y L₄ donde es de 16° en la juventud para después permanecer relativamente estable alrededor de los 8° entre los 35 y los 64 años y, por último, descender a 6° en la edad senil.



68

	2 → 13	35 → 49	50 → 64	65 → 77
	12°	5°	6°	4°
	12°	8°	7°	7°
	16°	8°	8°	6°
	15°	8°	7°	5°
	7°	2°	1°	0°

AMPLITUD DE INCLINACIÓN
SEGÚN LA EDAD
(según S.S. TANZ)

69

AMPLITUD DE ROTACIÓN DEL RAQUIS DORSOLUMBAR

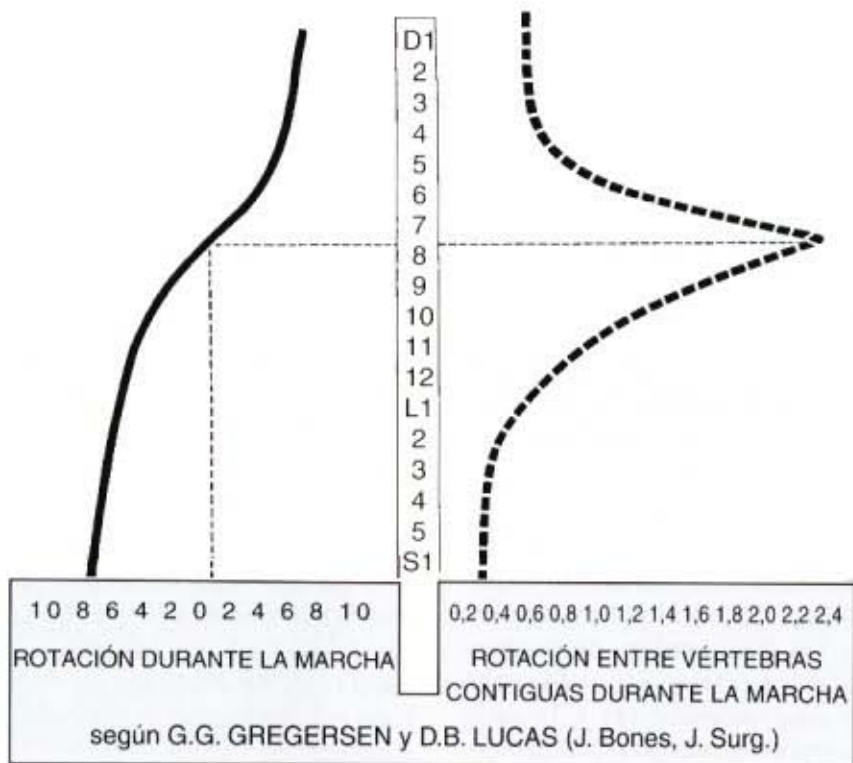
La amplitud de rotación segmentaria y total en el raquis lumbar y en el raquis dorsal ha sido durante mucho tiempo una gran incógnita. De hecho, es muy difícil inmovilizar la pelvis y apreciar la rotación en el extremo dorsal del raquis, ya que la cintura escapular es muy móvil sobre el tórax, pudiendo así cometer errores fácilmente. Ha sido necesario esperar los recientes trabajos de G.G. Gregersen y D.B. Lucas para disponer de cifras fiables. Estos autores decidieron implantar agujas metálicas bajo anestesia local en cada una de las apófisis espinosas del raquis dorsal y lumbar para medir su desplazamiento angular mediante captadores electrónicos altamente sensibles. Así, pudieron medir la rotación del raquis dorsolumbar durante la marcha (Fig. 70) y en su amplitud total en sedestación y bipedestación (Fig. 71).

Durante la marcha (Fig. 70), el lado izquierdo del gráfico muestra que el disco D_7-D_8 permanece en el sitio, mientras que la rotación es máxima en las dos vértebras adyacentes (lado derecho del gráfico). Por tanto, las mayores amplitudes de rotación se sitúan en torno a este "espacio-pivote", decreciendo a continuación con regularidad hacia arriba y hacia abajo, para reducirse de manera considerable en el raquis lumbar ($0,3^\circ$) y en el raquis dorsal superior ($0,6^\circ$). La rotación del raquis lumbar es por tanto *dos veces menor* que en las zonas menos móviles del raquis dorsal; ya se vieron anteriormente las causas anatómicas de esta limitación.

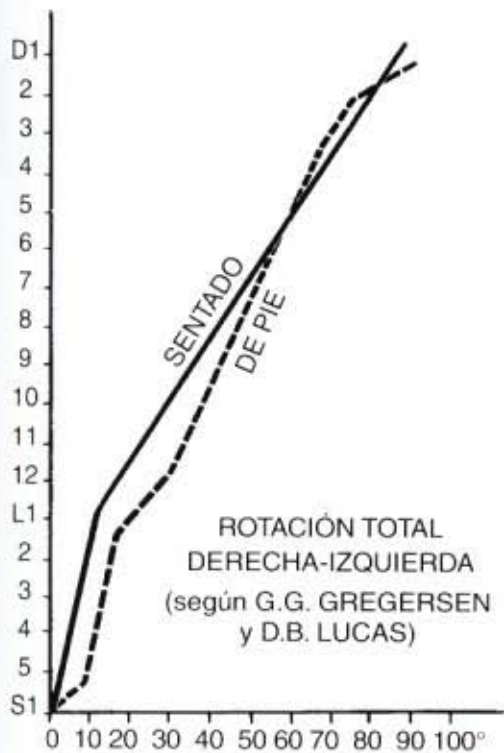
Si a continuación se analiza la **rotación total y máxima derecha-izquierda** (Fig. 71), Gregersen y Lucas ponen de manifiesto una ligera diferencia según se tome la medida en sedestación o en bipedestación. La posición de sedestación da amplitudes más limitadas, ya que *la pelvis se inmoviliza con más facilidad cuando las caderas están flexionadas*. En lo concerniente al **raquis lumbar** aislado, la rotación total derecha-izquierda para la totalidad del raquis lumbar sólo es de

10° , lo que corresponde a 5° a cada lado y por lo tanto, 1° de rotación en cada segmento por término medio. En el **raquis dorsal**, la rotación es considerablemente mayor ya que alcanza en total, entre la rotación derecha y la rotación izquierda, una amplitud de $85-10^\circ$, o sea 75° , y por lo tanto, 37° a cada lado o también, por término medio, $3^\circ 4'$ a cada lado y por segmento. Obsérvese pues que, a pesar de la presencia de la caja torácica, la rotación es *cuatro veces mayor* en el raquis dorsal en conjunto que en el raquis lumbar, noción que se volverá a tratar más adelante. La comparación de dos curvas permite constatar que tanto en la posición de sedestación como en la posición de bipedestación, la amplitud total de la rotación derecha-izquierda es idéntica. Únicamente varían las proporciones entre estas dos curvas; y en particular la curva en bipedestación muestra cuatro puntos de inflexión, especialmente un punto de inflexión en la zona inferior del raquis lumbar cuya rotación es más amplia en la citada posición. Al parecer, acontece lo mismo en la zona de transición de la charnela dorsolumbar.

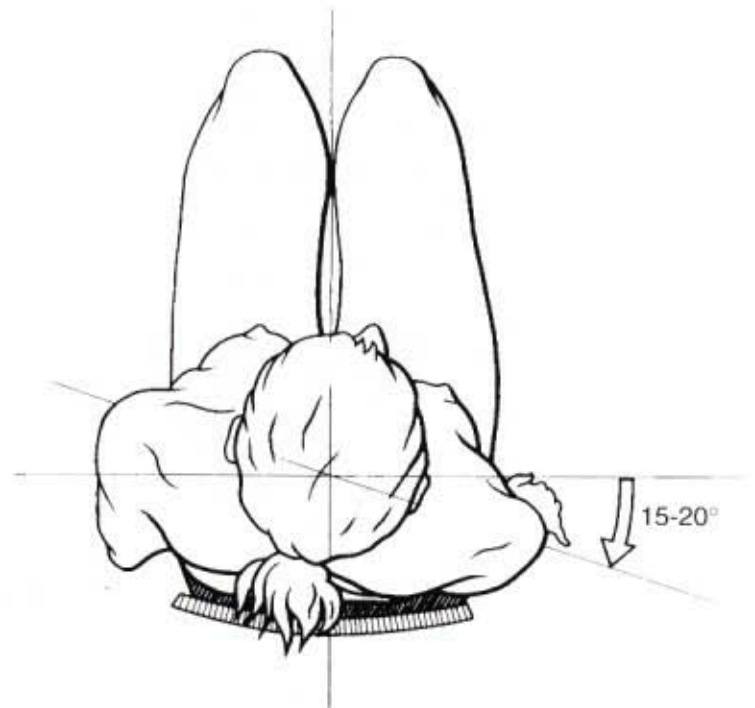
En la práctica, como resulta imposible implantar agujas en las apófisis espinosas de los individuos a quienes se desea medir la rotación del raquis dorsolumbar, hay que contentarse con los antiguos **métodos clínicos**; para lo que es necesario que el sujeto esté sentado (Fig. 72), intentando que la línea de los hombros se mantenga estable en relación al tórax; a continuación se le pide que realice una rotación hacia un lado y luego hacia el otro, tras lo cual se medirá el ángulo formado por la línea de los hombros con el plano frontal. En este caso la amplitud es de 15 a 20° , aunque no representa la amplitud máxima de rotación unilateral que, según Gregersen y Lucas, es de unos 45° . Una forma práctica de fijar la cintura escapular con respecto al tórax consiste en situar los miembros superiores horizontalmente sobre un mango de una escoba colocado en la espalda a la altura de los omóplatos, materializando así la línea de los hombros.



70



71



72

EL AGUJERO DE CONJUNCIÓN Y EL CUELLO RADICULAR

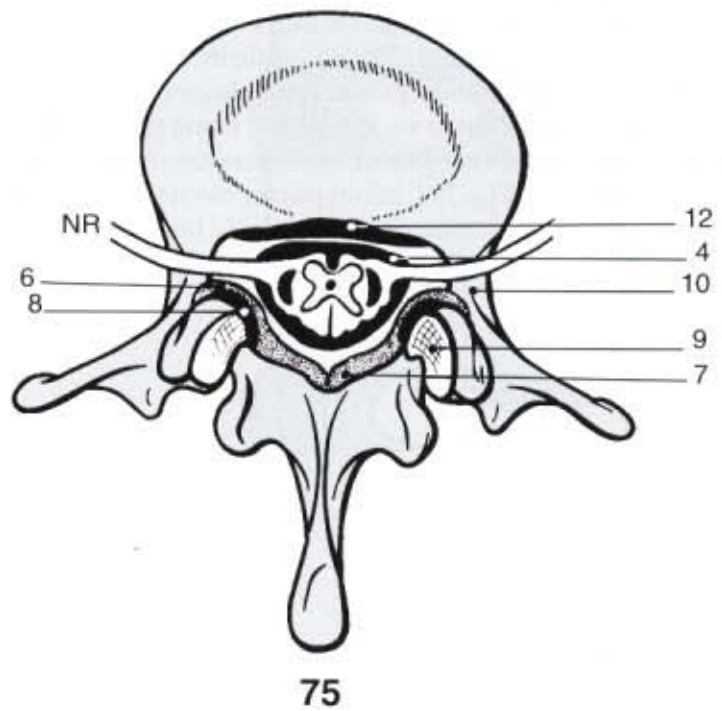
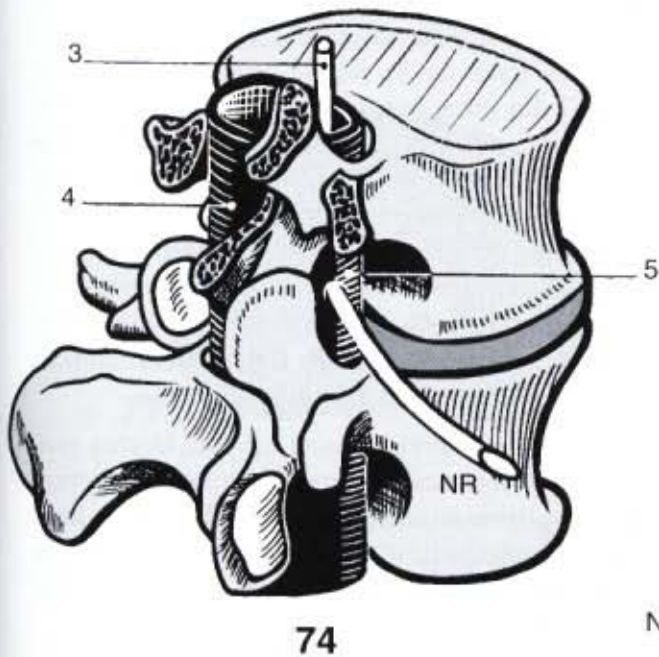
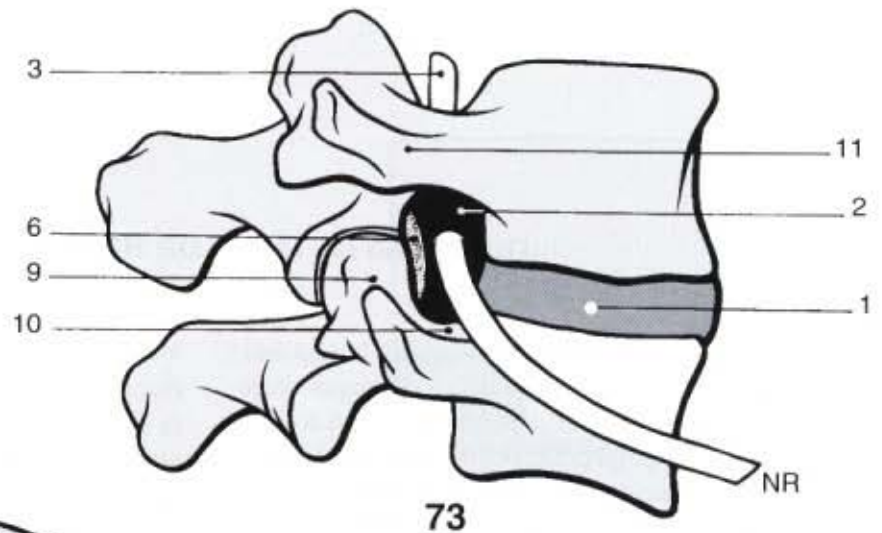
Es imposible terminar este capítulo de anatomía funcional del raquis lumbar sin dar unas cuantas nociones sobre la **fisiopatología radicular** muy abundante en este segmento raquídeo.

También son necesarias unas cuantas nociones de anatomía para comprender el mecanismo de las afecciones radiculares. Cada nervio raquídeo (NR) sale del canal vertebral por un agujero de conjunción (Fig. 73). Este **agujero de conjunción** (2) está limitado por delante por el contorno posterior del *disco intervertebral* (1) y la parte adyacente de los *cuerpos vertebrales*, por debajo, por el *pedículo de la vértebra subyacente* (10); por arriba, por el *pedículo de la vértebra supra-yacente* (11); por detrás, por las articulaciones interapofisarias (9), recubiertas por delante por su cápsula (8) y el borde *lateral del ligamento amarillo* (6), que recubre la cápsula y avanza ligeramente sobre el agujero de conjunción.

En el área del agujero de conjunción, el nervio raquídeo debe perforar el saco dural (Fig. 74): esta vista en perspectiva muestra como el nervio

raquídeo (NR), situado en principio en el interior del saco dural (3), se aproxima a la pared medial del mismo (4) para perforarlo a nivel del **cuello radicular** (5) que representa un *punto fijo*, punto de paso obligado del nervio raquídeo donde quedará sujeto por el saco dural.

En una vista superior (Fig. 75), se hallan de nuevo todos estos nexos entre el eje nervioso y el canal vertebral. La médula, rodeada por el saco dural (4), está albergada en el canal vertebral tapizado por delante por el ligamento vertebral común posterior (12), y por detrás por el ligamento amarillo (7). La cara anterior de las articulaciones interapofisarias (9) queda cubierta por una cápsula, reforzada por un ligamento (8), a su vez cubierto por una prolongación del ligamento amarillo (6). El nervio raquídeo, que reposa sobre el pedículo de la vértebra inferior, pasa de este modo por un estrecho desfiladero entre el disco por delante, cubierto por el ligamento vertebral común posterior, y la articulación interapofisaria por detrás, cubierta por una prolongación del ligamento amarillo.



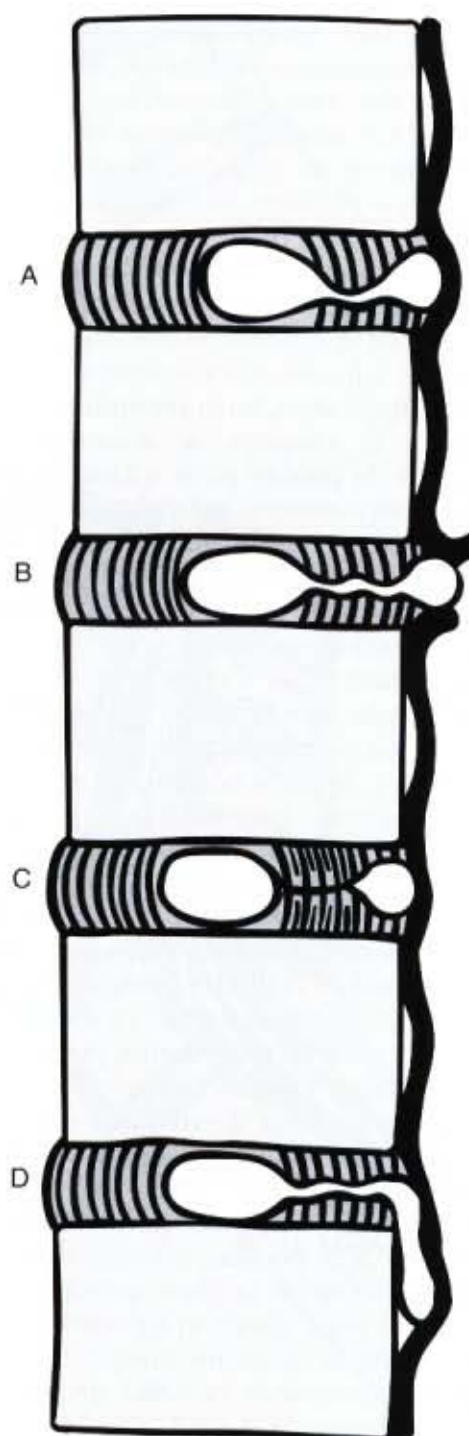
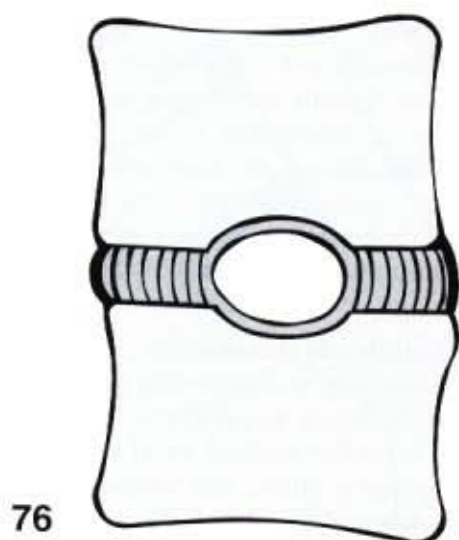
DIFERENTES TIPOS DE HERNIA DISCAL

Bajo el efecto de la presión axial, la sustancia del núcleo pulposo puede fluir en distintas direcciones. Si las fibras del anillo fibroso son todavía resistentes, la hiperpresión puede acarrear el hundimiento de las mesetas vertebrales. Se trata entonces de una "hernia intraesponjosa" (Fig. 76).

Sin embargo, estudios recientes han demostrado que a partir de los 25 años, las fibras del anillo fibroso empiezan a degenerar, pudiéndose producir desgarros infrafasciculares entre sus diferentes capas. Entonces, bajo la presión axial, la sustancia del núcleo podría pasar a través de las fibras del anillo (Fig. 77). Estas fugas de sustancia nuclear pueden ser *concéntricas*, aunque *a menudo, son radiales*. Las fugas anteriores son las más raras. En cambio, *las posteriores son muy frecuentes*, sobre todo en sentido posterolateral. De este modo, cuando el disco se aplasta (Fig. 78), una parte de la sustancia nuclear se difunde ya sea hacia delante, ya sea hacia atrás, pudiendo así alcanzar el borde posterior del disco y aflorar bajo el ligamento vertebral común posterior (Fig. 79). En un primer momento, aún permaneciendo *unida al núcleo*, puede bloque-

arse debajo del ligamento vertebral común posterior (A); en este caso, todavía es factible reintegrarla en su compartimento del núcleo mediante tracciones vertebrales. Pero, con frecuencia, hunde el ligamento vertebral común posterior (B) y puede incluso quedar libre en el interior del canal vertebral. Se trata de la *hernia discal denominada "libre"*. En otros casos, queda *bloqueada* bajo el ligamento vertebral común posterior (C), y las fibras del anillo fibroso se cierran entonces detrás de ella, impidiéndole toda posibilidad de retorno. Y por último, otros casos en los que tras haber alcanzado la cara profunda del ligamento vertebral común posterior, la hernia puede deslizarse bien hacia arriba, bien hacia abajo (D). Se trata entonces de una *hernia migratoria subligamentosa*.

Cuando la hernia discal alcanza la cara profunda del ligamento vertebral común posterior, tensa sus fibras nerviosas produciendo dolores lumbares o *lumbalgias*; ulteriormente, cuando la hernia comprime el nervio raquídeo es la causa de las *radiculalgias*.



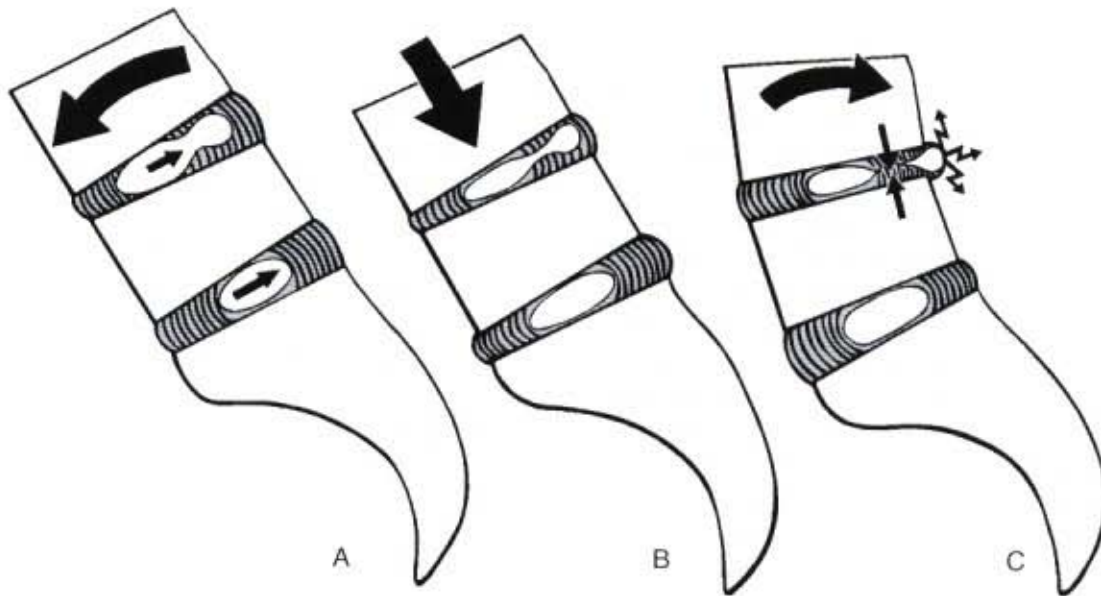
HERNIA DISCAL Y MECANISMO DE COMPRESIÓN RADICULAR

Hoy parece fuera de toda duda que la hernia discal se produce en **tres tiempos** (Fig. 80). Sin embargo, su aparición sólo es posible si previamente el disco ha resultado deteriorado por *microtraumatismos repetidos* y si, por otra parte, las fibras del anillo fibroso han empezado a degenerar. En general, la hernia discal aparece tras un *esfuerzo de levantamiento de una carga con el tronco inclinado hacia delante*: en el **primer tiempo** (A), la flexión del tronco hacia delante disminuye la altura de los discos en su parte anterior y entreabre hacia atrás el espacio intervertebral. La sustancia nuclear se proyecta hacia atrás, a través de los desgarros preexistentes del anillo fibroso. En el **segundo tiempo** (B), al iniciar el esfuerzo de levantamiento, el aumento de la presión axial aplasta la totalidad del disco intervertebral y *desplaza violentamente hacia atrás* la sustancia del núcleo, que de este modo alcanza la cara profunda del ligamento vertebral común posterior. En el **tercer tiempo** (C), el *enderezamiento del tronco* ha finalizado prácticamente, el trayecto en zigzag por el que ha pasado el pedículo de la hernia discal se cierra de nuevo bajo la presión de las mesetas vertebrales y la masa constituida por la hernia queda bloqueada bajo el ligamento vertebral común posterior. Es en este preciso momento cuando sobreviene un intenso dolor en la región lumbar, comúnmente denominado "dolor de riñones" y también lumbago, que corresponde al primer tiempo de la lumbociatalgia. Este lumbago agudo inicial puede remitir ya sea espontáneamente, ya sea con tratamiento, pero si se producen episodios idénticos y repetidos, la hernia discal va a aumentar de volumen y se protuirá cada vez más hacia el conducto raquídeo, entrando entonces en conflicto con uno de los nervios raquídeos, una de las *raíces del nervio ciático* (Fig. 81). Por eso, la hernia discal aparece generalmente en la parte posterolateral del disco, en el lugar donde el ligamento vertebral común posterior es menos grueso; desplazando progresivamente a la raíz del nervio ciático, hasta el momento en el que la pared posterior del agujero de conjunción la detiene, es decir, la articulación interapofisaria recubierta por su

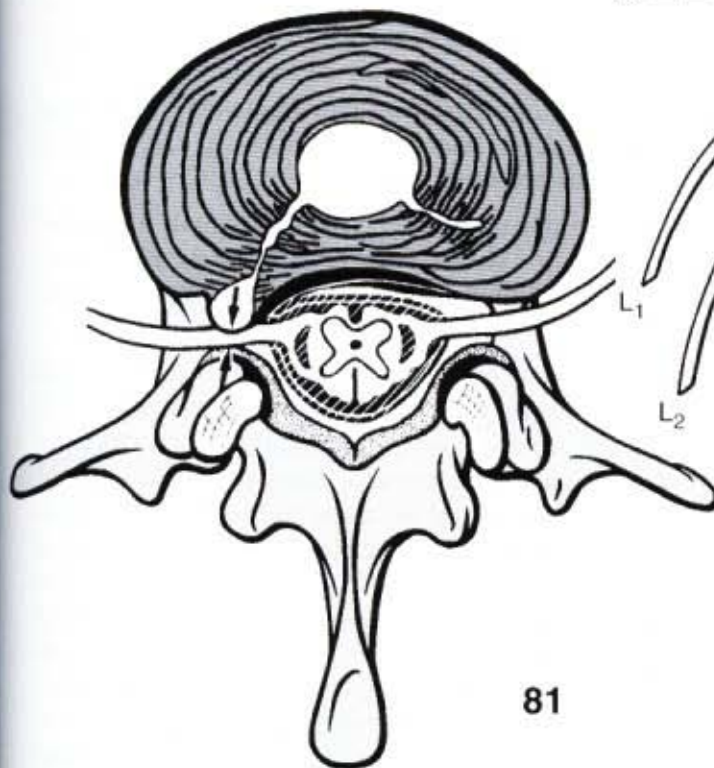
cápsula, que a su vez está reforzada por un ligamento anterior y por la parte lateral del ligamento amarillo. A partir de este instante, la raíz comprimida va a manifestar su sufrimiento con la aparición de *dolores* en el territorio de la misma e incluso, posteriormente, *trastornos de los reflejos* (abolición del reflejo aquileo si se trata de la compresión de la raíz de S_1 y *trastornos motores*, en la ciática paralizante).

Dependiendo del nivel en el que se produce la hernia discal y la compresión radicular, la sintomatología clínica será distinta (Fig. 82): cuando la hernia discal se localiza en el **segmento L_4-L_5** (1), comprime la quinta raíz lumbar (L_5) y la radiculalgia correspondiente afecta al siguiente territorio: cara posterolateral del muslo y de la rodilla, cara lateral de la pantorrilla, cara dorsal lateral de la garganta del pie y cara dorsal del pie hasta el dedo gordo. Cuando la hernia discal se localiza en el **segmento L_5-S_1** (2), comprime la primera raíz sacra (S_1) y la radiculalgia afectará a la siguiente topografía: cara posterior del muslo, de la rodilla y de la pantorrilla, talón y borde lateral del pie hasta el quinto dedo. No obstante, es necesario puntualizar esta sistematización, ya que la hernia discal L_4-L_5 al hallarse más cerca de la línea media puede comprimir simultáneamente L_5 y S_1 o incluso, a veces, solamente a S_1 . Si la exploración quirúrgica se limita al espacio L_5-S_1 en razón de la topografía S_1 de la radiculalgia, corre el riesgo de pasar por alto la lesión localizada en el segmento superior.

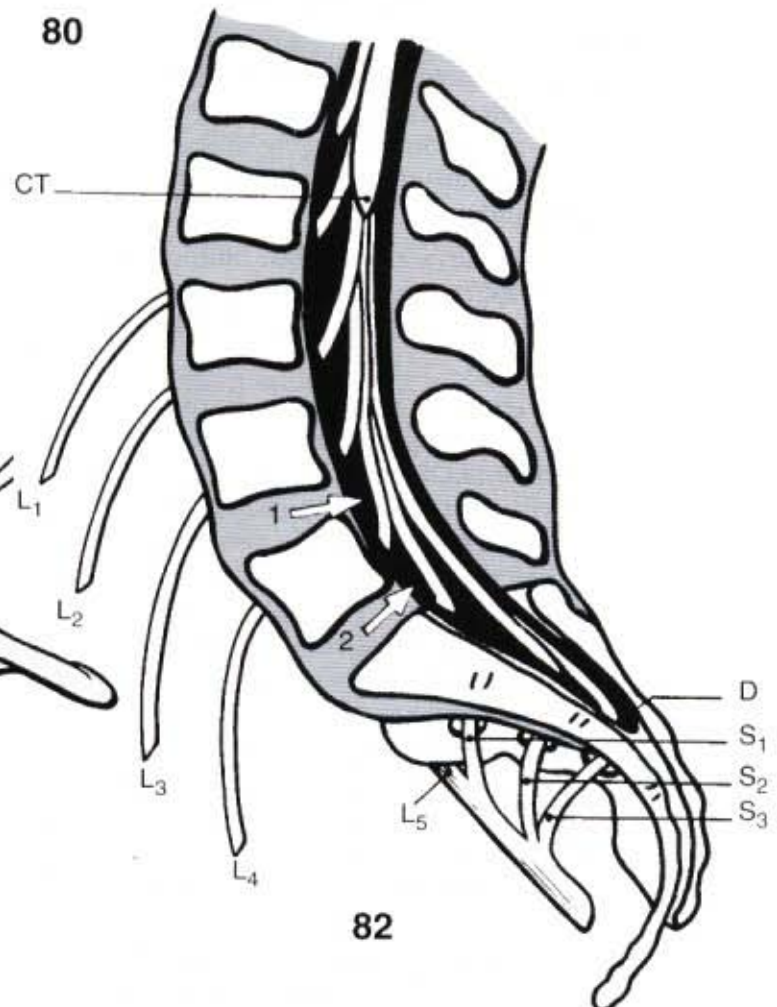
El corte sagital (Fig. 82) corrige el corte transversal (Fig. 81): en efecto, en este último se ha representado la medula. En realidad, la medula se detiene a la altura del cono terminal (CT), en la segunda vértebra lumbar. Por debajo del cono terminal, dentro del saco dural, sólo existen raíces que forman la "cola de caballo" y que salen de dos en dos por los agujeros de conjunción en cada nivel. A la altura de L_4-L_5 , también existen cuatro pares de raíces en el saco dural; a la altura de L_5-S_1 , las dos raíces de L_5 salen por arriba, de modo que sólo restan tres pares de raíces en el citado saco que termina, en forma de fondo de saco (D), en la tercera vértebra sacra.



80



81



82

EL SIGNO DE LASÈGUE

El signo de Lasègue es un dolor provocado al *tensar el nervio ciático* o una de sus raíces. Se explora con el individuo en decúbito supino, elevando progresiva y lentamente el miembro inferior extendido. El dolor reproduce el dolor ciático que experimenta de manera espontánea el enfermo; es decir, en la topografía de la raíz afecta.

Los trabajos de Charnley han demostrado que *las raíces se deslizan libremente a través de los agujeros de conjunción* y que en el transcurso de la elevación del miembro inferior, con las rodillas extendidas, las raíces se desplazan fuera del agujero de conjunción en una longitud que puede alcanzar 12 mm en el caso de la quinta raíz lumbar (Fig. 87).

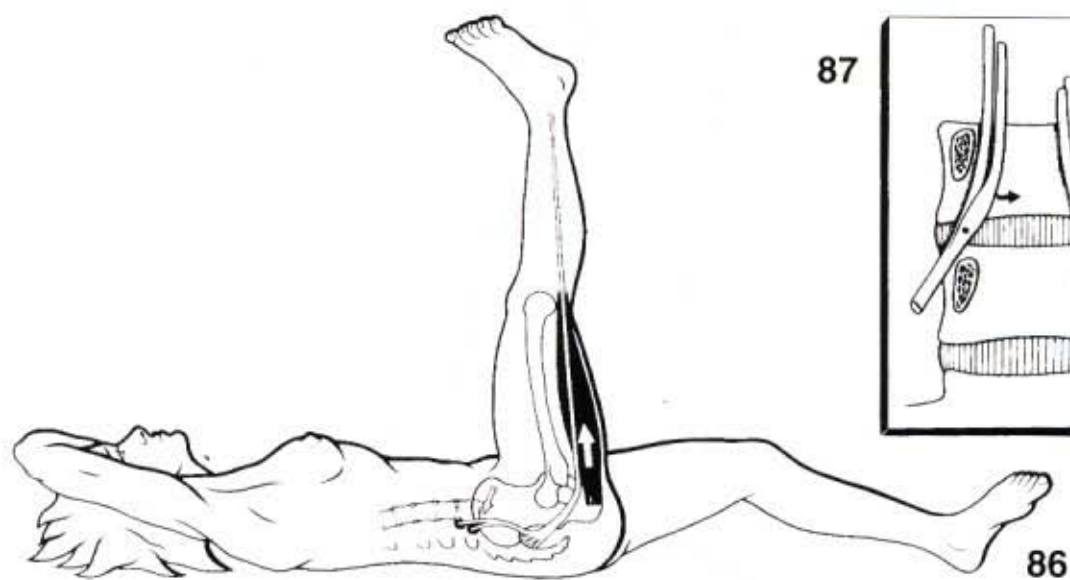
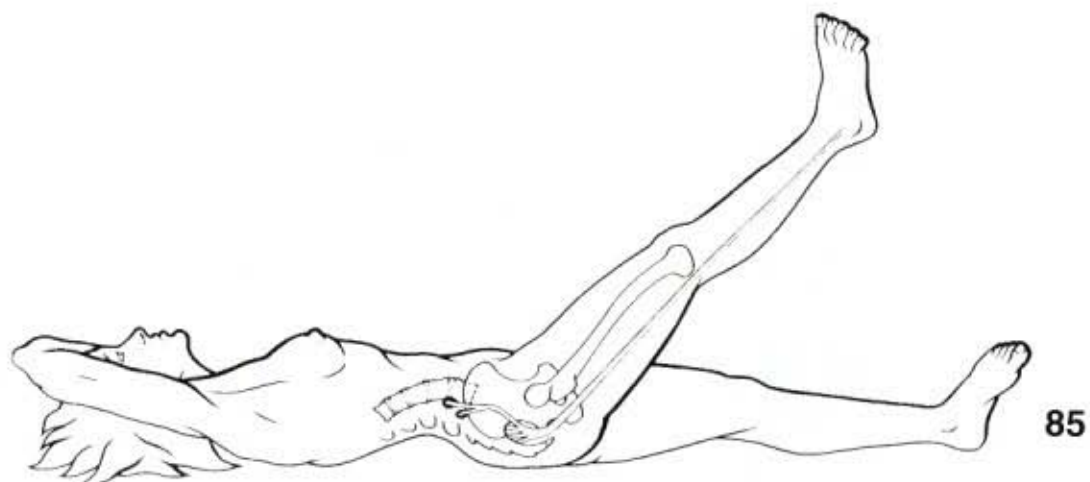
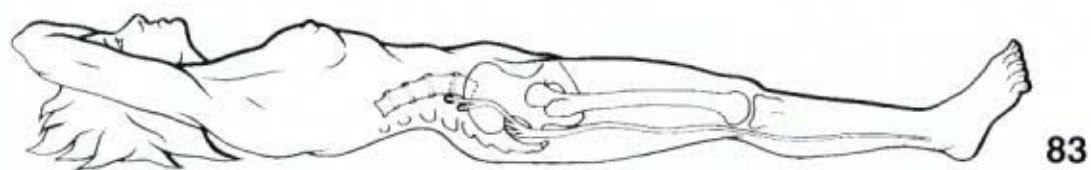
He aquí cómo se puede interpretar el **signo de Lasègue**:

- cuando el sujeto está en *decúbito supino*, con los miembros inferiores descansando sobre el plano de apoyo (Fig. 83), el nervio ciático y sus raíces están perfectamente distendidos;
- cuando se eleva el miembro inferior con las *rodillas flexionadas* (Fig. 84), el nervio ciático y sus raíces todavía permanecen distendidos;
- pero si entonces se extiende la rodilla o bien se eleva progresivamente el miembro inferior con la *rodilla extendida* (Fig. 85), el nervio ciático se ve obligado a recorrer un trayecto más largo y en consecuencia está sometido a una tensión creciente. En el individuo normal, las raíces se deslizan libremente por el agujero de conjunción y está maniobra no es dolorosa, sólo aparece dolor en la parte posterior del muslo al final de la elevación, cuando el miembro inferior se aproxima a la vertical (Fig. 86), debido a la tensión de los músculos isquiotibiales en los sujetos que han perdido flexibilidad. Se trata de un *falso signo de Lasègue*;
- por el contrario, cuando una de las raíces queda bloqueada en el agujero de conjunción, o cuando debe recorrer un trayecto

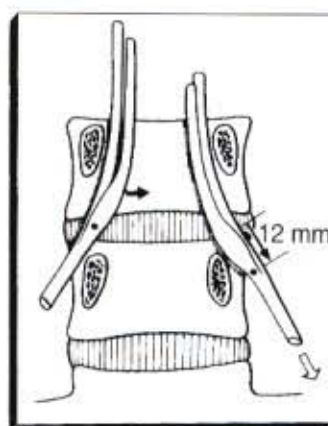
ligeramente más largo sobre la convexidad de una hernia discal, una elevación moderada del miembro inferior provocará dolor al tensarlo. Se trata del *verdadero signo de Lasègue* que, generalmente, aparece por debajo de los 60° de flexión; de hecho, por encima de los 60° ya no se trata del signo de Lasègue, puesto que la tensión del nervio ciático alcanza su máximo a los 60°. Por lo tanto, el dolor ciático provocado puede aparecer en una elevación de 10°, 15° ó 20° del miembro inferior, lo que caracteriza un signo de Lasègue a 10, 15, 20 ó 30°, permitiendo dar una noción cuantitativa.

Es necesario subrayar un punto en particular: durante la elevación forzada del miembro inferior con la pierna extendida, la fuerza de tracción sobre las raíces alcanza los 3 kg. No obstante, la resistencia a la tracción de estas raíces es de 3,200 kg. Si una de ellas está bloqueada o relativamente acortada por una hernia discal, una maniobra brusca puede provocar una *ruptura de los axones* en el interior de la raíz, lo que se traduce en una parálisis, con frecuencia transitoria pero a veces lenta de regresión. De esto se derivan dos precauciones:

- por una parte, *efectuar siempre la maniobra de Lasègue con suavidad* y con precaución, y detener la elevación del miembro en cuanto aparezca dolor;
- por otra parte, *no realizar nunca esta maniobra bajo anestesia general*, ya que el dolor no puede indicar la interrupción del movimiento. Esto puede acaecer al colocar al paciente para la operación de hernia discal, cuando en decúbito supino se flexionan las caderas dejando las rodillas extendidas. El cirujano debe colocar siempre personalmente a su paciente y vigilar que la flexión de caderas se acompañe simultáneamente de una *flexión de rodillas*, distendiendo entonces el nervio ciático y preservando así la raíz bloqueada.

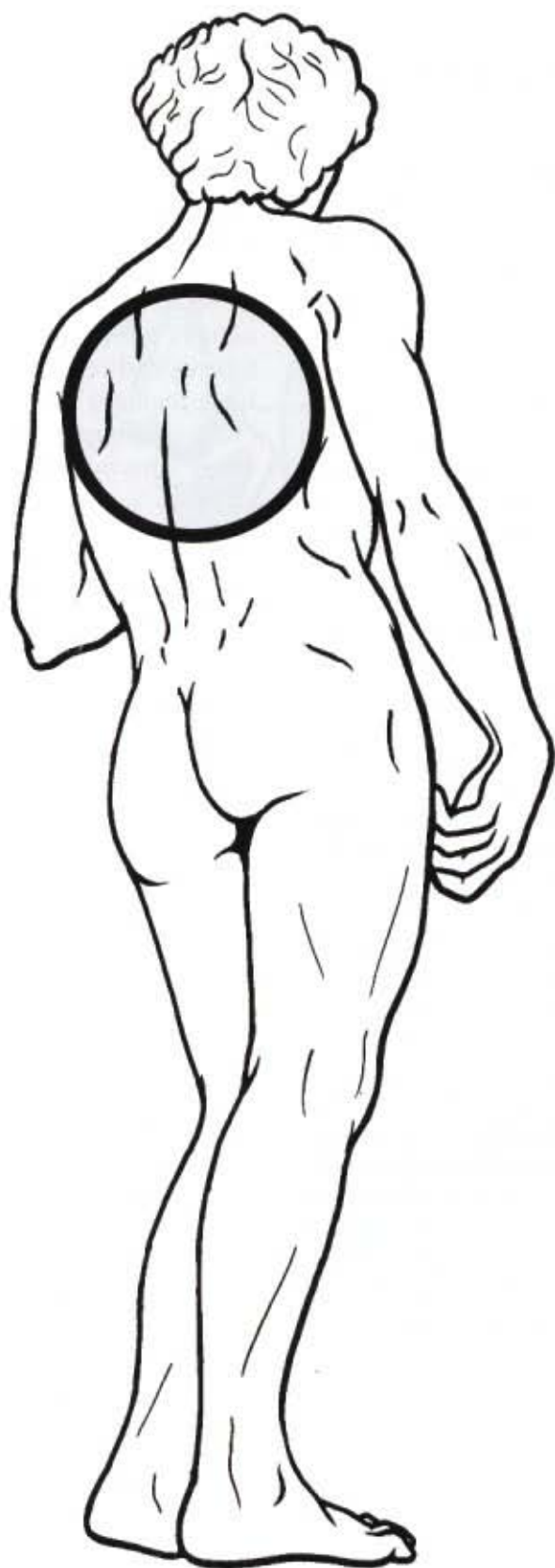


87



CAPÍTULO IV

EL RAQUIS DORSAL Y LA RESPIRACIÓN



LA VÉRTEBRA DORSAL TIPO Y LA DUODÉCIMA DORSAL

La **vértebra dorsal tipo** (Fig. 2) está compuesta de las mismas partes que la vértebra lumbar; no obstante existen grandes diferencias morfológicas y funcionales.

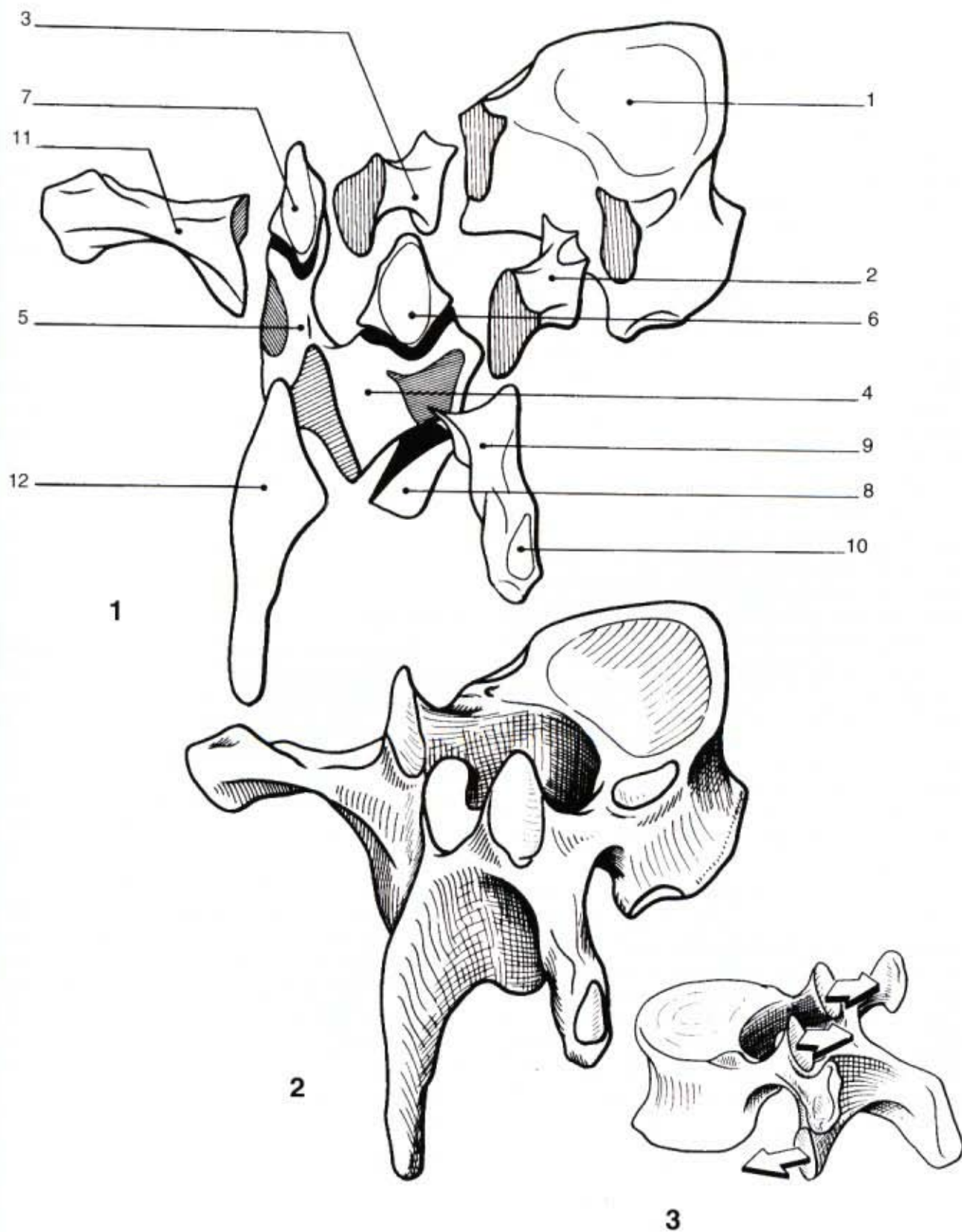
En una vista "desarmada" (Fig. 1), se puede reconocer el *cuerpo vertebral* (1) cuyo diámetro transversal es casi igual al diámetro anteroposterior. También es proporcionalmente más alto que el cuerpo de las vértebras lumbares; su contorno anterior y lateral está muy excavado. En la parte posterolateral de las mesetas vertebrales se puede observar una carilla oval, tallada oblicuamente y recubierta de cartilago: se trata de la *carilla articular costal* que se tratará más adelante a propósito de las articulaciones costovertebrales. En la parte posterolateral del cuerpo vertebral se implantan los *dos pedículos* (2 y 3), la carilla articular costal superior sobrepasa con frecuencia la raíz del pedículo. Por detrás del mismo se implantan las *láminas vertebrales* (4 y 5) que constituyen la mayor parte de los arcos posteriores. Estas láminas son más altas que anchas y están inclinadas a modo de tejas; cerca del pedículo, su borde superior da origen a las *apófisis articulares superiores* (6 y 7), que poseen una carilla articular ovalada, plana o ligeramente convexa, recubierta transversalmente de cartilago, *orientada hacia atrás, ligeramente hacia arriba y hacia fuera*; en la parte inferior de las láminas, siempre cerca del pedículo, se implantan las *apófisis articulares inferiores*, de las que sólo se puede apreciar aquí la *apófisis derecha* (8). Presentan en su cara anterior una carilla articular oval, plana o ligeramente cóncava, *orientada transversalmente hacia delante y ligeramente hacia abajo y hacia dentro*. Estas carillas se articulan con las carillas superiores de la vértebra subyacente. En la unión de las láminas

y los pedículos, en las apófisis articulares, se implantan las *apófisis transversas* (9 y 11); que se dirigen hacia fuera y ligeramente hacia atrás, y presentan un extremo libre abultado, que contiene en su cara anterior una carilla articular denominada *carilla costal* (10) que corresponde a la tuberosidad costal. Las dos láminas se unen en la línea media y originan a una *apófisis espinosa* (12), voluminosa, larga y muy inclinada hacia abajo y hacia atrás, con un solo tubérculo en su vértice.

La asociación de todos estos elementos forma la vértebra dorsal tipo (Fig. 2).

La **última vértebra dorsal** (duodécima dorsal), *vértebra de transición* con el raquis lumbar, presenta algunas particularidades:

- en primer lugar, su cuerpo vertebral sólo posee dos carillas costales situadas en la parte posterolateral de la *meseta superior*, para la cabeza de la duodécima costilla;
- en segundo lugar, si las apófisis articulares superiores están orientadas como las de todas las vértebras dorsales, hacia atrás y ligeramente hacia arriba y hacia fuera, las carillas articulares deben corresponder a las carillas superiores de la primera vértebra lumbar. Por lo tanto, la dirección es la misma que la de las carillas inferiores de todas las vértebras lumbares; es decir, *orientadas hacia fuera y hacia delante* y con una curva transversal *ligeramente convexa* que se inscribe en una misma superficie cilíndrica, cuyo eje se sitúa aproximadamente en el origen de la espinosa.



FLEXOEXTENSIÓN E INFLEXIÓN LATERAL DEL RAQUIS DORSAL

El movimiento de **extensión** entre dos vértebras dorsales (Fig. 4) se acompaña de una inclinación hacia atrás del cuerpo vertebral de la vértebra superior. Simultáneamente, el disco intervertebral se aplasta hacia atrás y se ensancha hacia delante lo que, como en el caso del raquis lumbar, proyecta el núcleo pulposo hacia delante. La limitación del movimiento de extensión viene determinada por el *tope de las apófisis articulares* (1) y de las *apófisis espinosas* (2), las cuales, muy inclinadas hacia abajo y hacia atrás, ya están prácticamente en contacto. Por otra parte, el *ligamento vertebral común anterior* (3) se tensa mientras que el ligamento vertebral común posterior, los ligamentos amarillos y los ligamentos interespinosos se distienden.

Por el contrario, el movimiento de **flexión** entre dos vértebras dorsales (Fig. 5) se acompaña de una apertura posterior del espacio intervertebral, con desplazamiento del núcleo hacia atrás. Las superficies articulares de las apófisis articulares se deslizan esta vez hacia arriba, y las apófisis inferiores de la vértebra superior tienden a desbordar hacia arriba las apófisis superiores de la vértebra inferior. El movimiento de flexión queda limitado por la *tensión del ligamento interespinoso* (4), de los *ligamentos amarillos* y de las *cápsulas de las articulaciones interapofisarias* (5), y por la del *ligamento vertebral posterior* (6). En cambio, el ligamento vertebral común anterior está distendido.

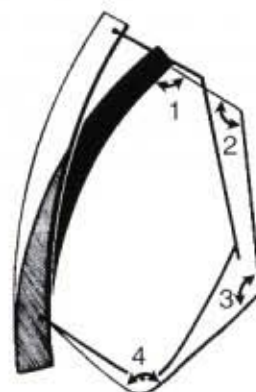
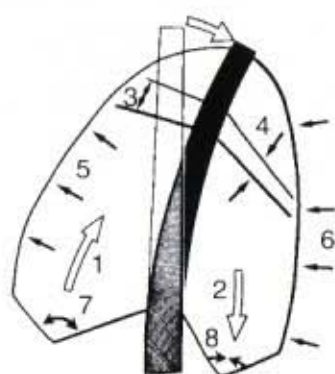
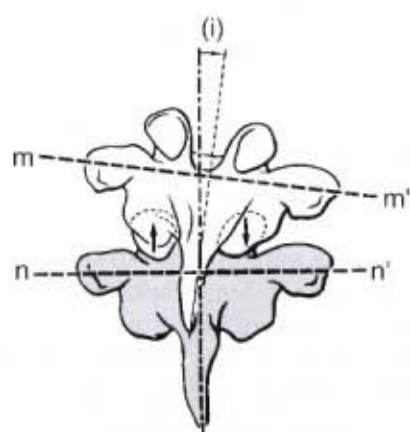
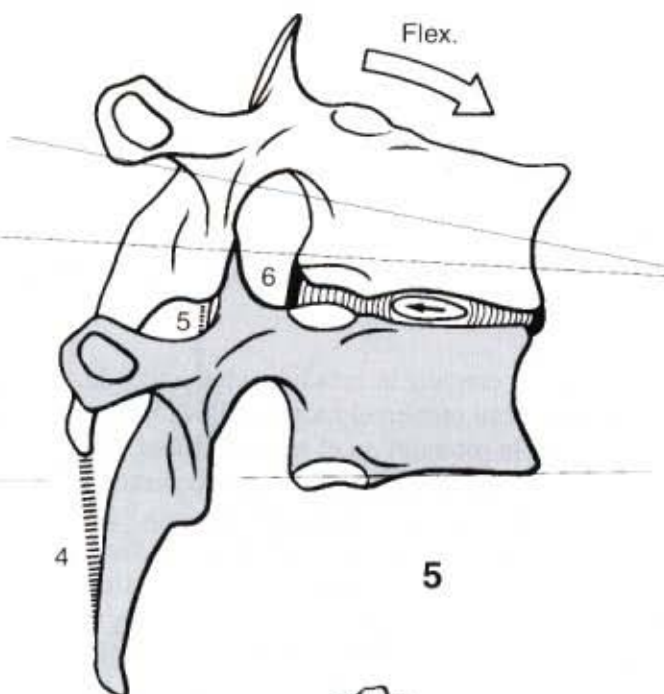
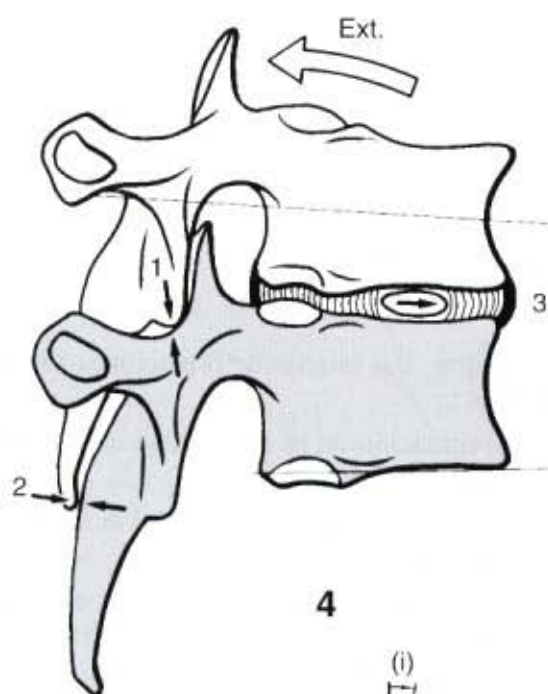
El movimiento de **inclinación** de dos vértebras dorsales (Fig. 6, vista posterior) se acompaña de un deslizamiento distinto en las articulaciones interapofisarias: en el lado de la convexidad, las carillas se deslizan como en la flexión, o sea, hacia arriba; en el lado de la concavidad, las carillas se deslizan como en la extensión, o sea, hacia abajo. La línea de las apófisis transversas *mm'* forma con la línea de las apófisis transversas *nn'*

de la vértebra subyacente, un ángulo igual al ángulo de inclinación (*i*); la limitación del movimiento viene determinada, por una parte, por el tope óseo de las apófisis articulares del lado de la concavidad y, por otra, por la tensión de los ligamentos amarillo e intertransverso del lado de la convexidad.

Sin embargo, sería un error considerar los movimientos del raquis dorsal únicamente a nivel de las vértebras mismas; de hecho, *el raquis dorsal está articulado con la caja torácica* (Fig. 7) y todos los elementos óseos, cartilaginosos y articulares de la citada caja torácica intervienen para *dirigir y limitar los movimientos aislados del raquis*. Tanto es así, que en el cadáver se puede comprobar que el raquis dorsal aislado tiene mayor movilidad que cuando va unido a la caja torácica. Por lo tanto, es necesario estudiar las *repercusiones en el tórax de los movimientos que tienen lugar en el raquis dorsal*.

Durante la inflexión lateral del raquis dorsal (Fig. 8), en el lado de la convexidad raquídea, el tórax se eleva (1), los espacios intercostales se ensanchan (3), el tórax se dilata (5) y el ángulo condrocostal de la décima costilla tiende a abrirse (7). En el lado de la concavidad de la curva raquídea, se observan los fenómenos inversos: el tórax descende (2) y se retrae (6), mientras que los espacios intercostales se reducen (4) y se cierra el ángulo condrocostal (8).

Durante el movimiento de flexión del raquis dorsal (Fig. 9), se abren todos los ángulos que articulan los distintos segmentos del tórax entre sí y con el raquis: ángulo costorraquídeo (1), ángulo esternocostal superior (2) e inferior (3) y ángulo condrocostal (4). Por el contrario, durante el movimiento de extensión todos estos ángulos se cierran.



ROTACIÓN AXIAL DEL RAQUIS DORSAL

¿Cómo se efectúa la rotación elemental de una vértebra sobre otra en el raquis dorsal? Difiere bastante de la rotación en el raquis lumbar. De hecho (Fig. 10), las articulaciones interapofisarias tienen una orientación totalmente distinta. La interlínea también está incluida en una superficie cilíndrica, pero el *eje de este cilindro* se sitúa aproximadamente en el *centro de los cuerpos vertebrales* (O). Durante la rotación de una vértebra sobre otra, el deslizamiento de las superficies en las apófisis articulares se acompaña de una rotación de un cuerpo vertebral sobre otro sobre su eje común; por tanto, de una rotación-torsión del disco intervertebral y no de un cizallamiento como es el caso en el raquis lumbar. La rotación-torsión del disco puede tener una amplitud más grande que su cizallamiento: la rotación elemental entre dos vértebras dorsales es, al menos, tres veces mayor que entre dos vértebras lumbares.

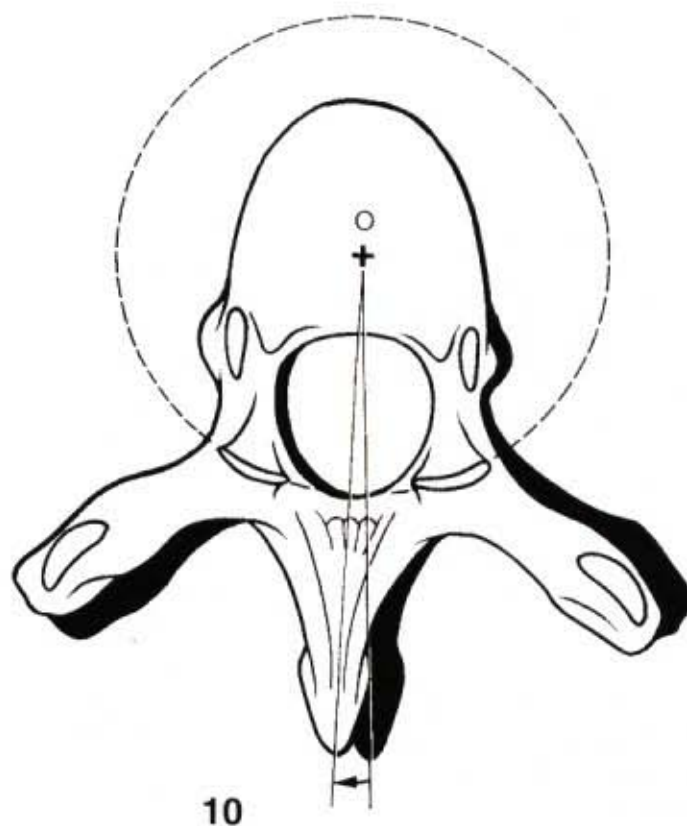
Sin embargo, esta rotación sería todavía mayor si la columna dorsal no estuviese estrechamente unida al tórax óseo. De hecho, *cada segmento vertebral arrastra el par de costillas correspondiente* (Fig. 11), pero el deslizamiento de un par de costillas sobre el par subyacente está limitado por el *esternón*, al cual se articulan todas las costillas mediante cartílagos costales. La rotación de una vértebra se va a acompañar pues de una deformación del par de costillas asociadas a la misma gracias a la elasticidad costal y, sobre

todo, condral. Las citadas deformaciones son las siguientes:

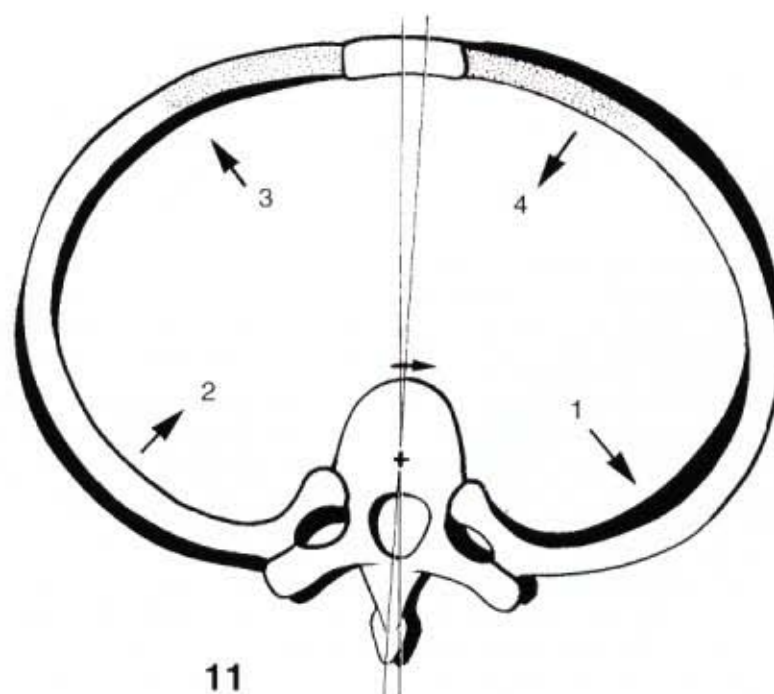
- acentuación de la concavidad costal en el lado de la rotación (1);
- disminución de la concavidad costal en el lado opuesto (2);
- acentuación de la concavidad condrocostal en el lado opuesto a la rotación (3);
- disminución de la concavidad condrocostal en el lado de la rotación (4).

Por consiguiente, en el transcurso de este movimiento, el esternón está sometido a fuerzas de cizallamiento y tiende a dirigirse oblicuamente de arriba abajo para seguir la rotación de los cuerpos vertebrales. No obstante, esta oblicuidad no debe ser demasiado pronunciada y es prácticamente inapreciable en la observación clínica; radiológicamente también es muy difícil ponerla de manifiesto debido a las superposiciones.

La resistencia mecánica del tórax interviene, pues, para limitar de manera considerable la amplitud de los movimientos del raquis dorsal; mientras el tórax sea flexible, como es el caso de los jóvenes, los movimientos del raquis dorsal son muy amplios y, en cambio, cuando con la edad los cartílagos costales se osifican y disminuye la elasticidad condrocostal, el tórax constituye un bloque casi rígido, con amplitudes que disminuyen proporcionalmente.



10



11

LAS ARTICULACIONES COSTOVERTEBRALES

En cada segmento del raquis dorsal, un par de costillas se articula con las vértebras mediante *dos articulaciones por costilla*: la **articulación costovertebral** entre la cabeza costal y el disco intervertebral y los cuerpos vertebrales; y la **articulación costotransversa** entre la tuberosidad costal y la apófisis transversa de la vértebra subyacente.

En una *vista de perfil* (Fig. 12), se ha separado una de las costillas tras haber seccionado los distintos ligamentos, permitiendo así observar las superficies articulares del lado vertebral. En el segmento inferior, la costilla permanece en su sitio con sus ligamentos.

En una *vista superior* (Fig. 13), la costilla del lado derecho permanece en su sitio, aunque se han abierto las articulaciones; en el lado izquierdo se ha separado la costilla tras seccionar sus ligamentos.

El *corte verticofrontal* (Fig. 14) pasa por la articulación entre la cabeza costal y los cuerpos vertebrales. En el lado opuesto se ha separado la costilla tras sección ligamentosa.

Se van a describir los elementos de manera simultánea en las tres figuras, cuyos números de referencia son comunes.

La **articulación costovertebral** es una doble artrodia; constituida en el lado vertebral por dos carillas costales, una en el borde superior de la vértebra inferior (5), y la otra en el borde inferior de la vértebra superior (6). Forman entre sí un ángulo diedro perfectamente visible en el corte (Fig. 14), cuyo fondo está ocupado por el anillo fibroso del disco intervertebral. Las superficies correspondientes de la cabeza costal (12) son ligeramente convexas y forman entre sí el mismo ángulo diedro que encaja con exactitud en el de las carillas vertebrales.

Un **ligamento interóseo** (8), que se origina en el vértice de la cabeza costal entre las dos carillas articulares, se fija en el disco intervertebral y separa esta articulación, recubierta por una **cápsula articular única** (9), en dos cavidades articulares distintas, una superior y una

inferior (13). La articulación costovertebral está reforzada por un **ligamento radiado** en el que se distinguen tres haces: un *haz superior* (14) y un *haz inferior* (15), que se insertan en el cuerpo de las vértebras adyacentes y un *haz medio* (16), que se inserta en el anillo fibroso (2) del disco intervertebral.

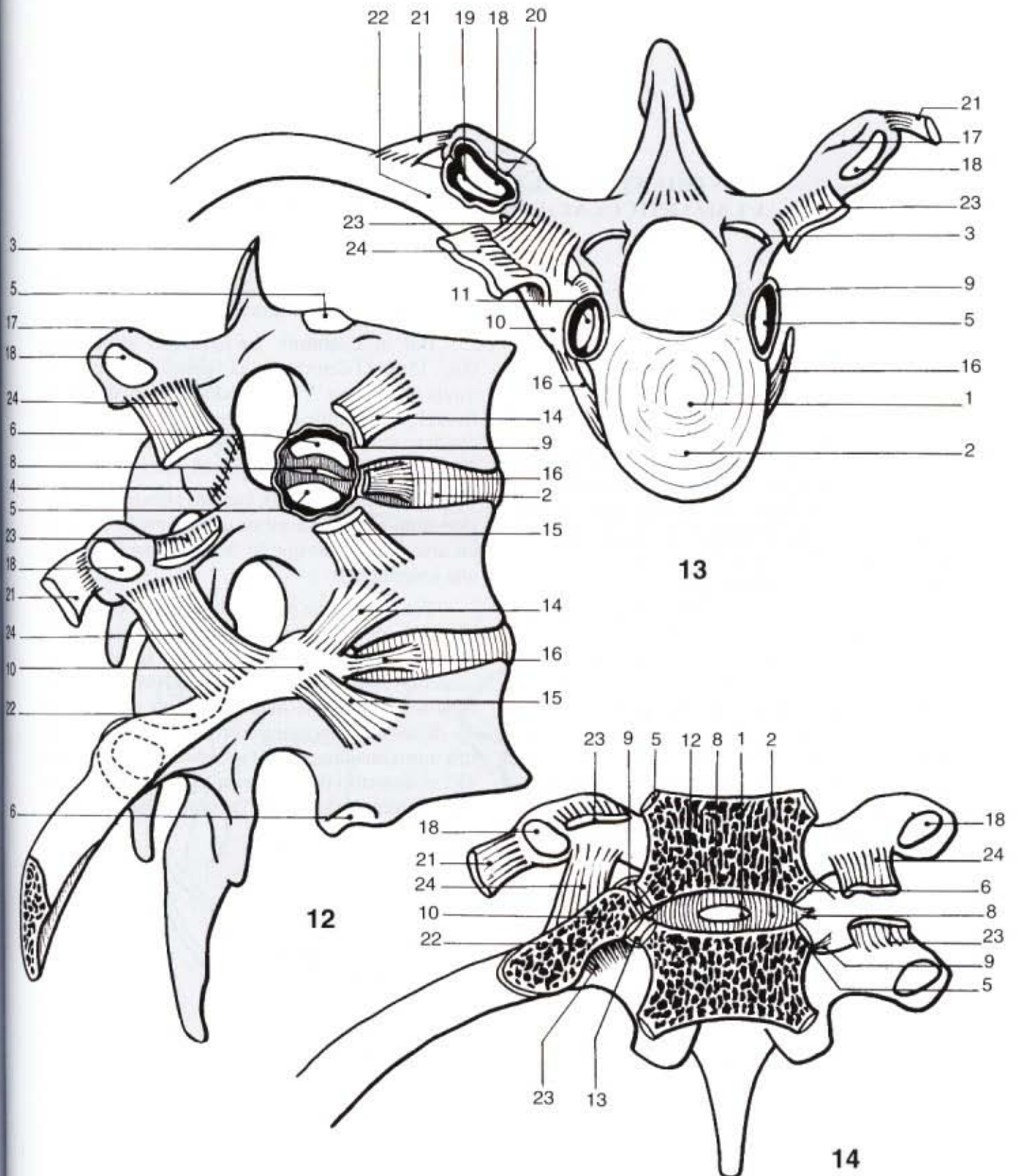
La **articulación costotransversa** también es una **artrodia** constituida por dos carillas ovaladas: *una en el vértice de la apófisis transversa* (18), y *la otra en la tuberosidad costal* (19). Esta articulación se completa con una cápsula (20), pero, sobre todo, la refuerzan tres ligamentos costotransversos:

- el **ligamento costotransverso interóseo** (23), muy corto y resistente, que se extiende desde la apófisis transversa a la cara posterior del cuello de la costilla;
- el **ligamento costotransverso posterior** (21), cintilla rectangular de 1,5 cm de longitud por 1 cm de anchura, que se extiende desde el vértice de la apófisis transversa a la parte lateral de la tuberosidad costal;
- el **ligamento costotransverso superior** (24), muy grueso, muy resistente, plano y cuadrilátero, de 10 mm de longitud por 8 mm de anchura, que se extiende desde el borde inferior de la apófisis transversa al borde superior del cuello de la costilla subyacente.

Además, se describe un **ligamento costotransverso inferior** que ocupa la cara inferior de la articulación costotransversa.

En estas figuras también se pueden distinguir los detalles del disco intervertebral con el núcleo pulposo (1) y el anillo fibroso (2), las articulaciones interapofisarias con sus carillas articulares (3), y sus cápsulas (4).

Resumiendo, la costilla se articula con el raquis mediante **dos artrodias**: una artrodia simple, la articulación costotransversa y un artrodia doble encajada de forma más sólida, la articulación costovertebral; ambas dotadas de potentes ligamentos.



MOVIMIENTOS DE LAS COSTILLAS EN TORNO A LAS ARTICULACIONES COSTOVERTEBRALES

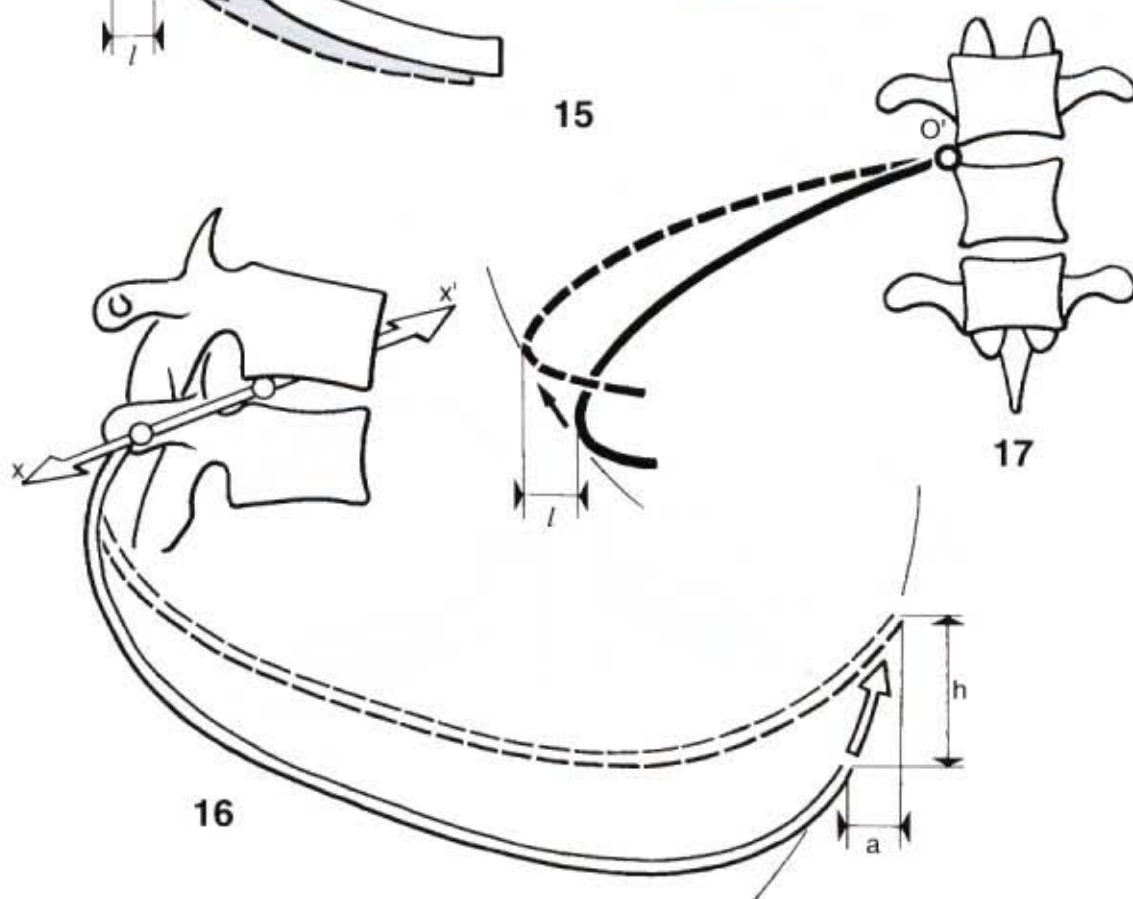
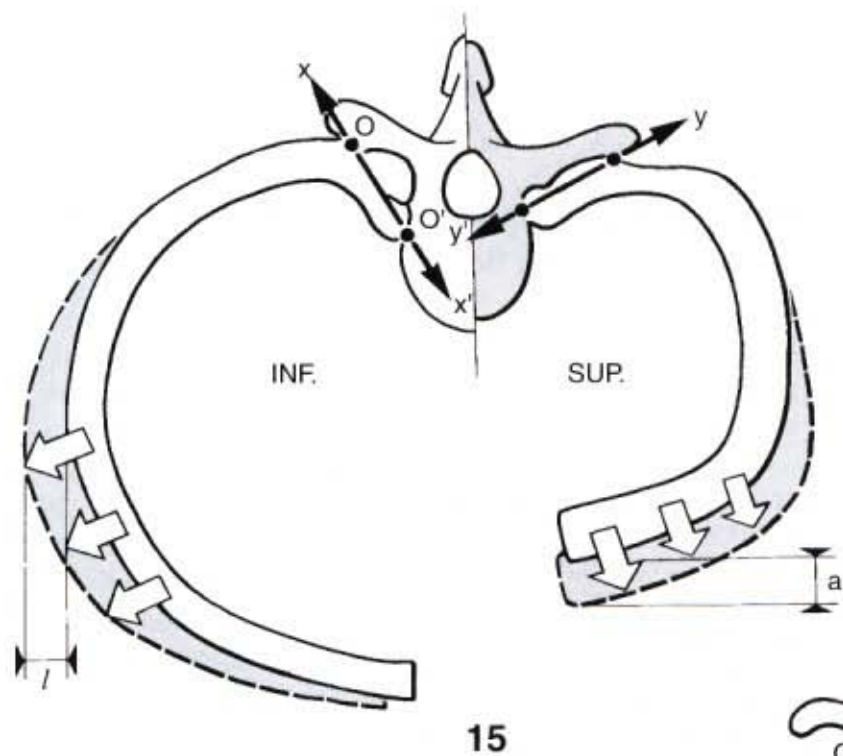
La articulación costovertebral, por una parte, y la articulación costotransversa, por otra, forman un par de artrodias mecánicamente unidas (Fig. 15), cuyo movimiento común no puede ser más que una *rotación en torno a un eje que pase por el centro de cada una de estas dos artrodias*. Así, se puede describir un eje XX' que une el centro O de la articulación costotransversa al centro O' de la articulación costovertebral. Le sirve de charnela a la costilla que, de este modo, queda "suspendida" del raquis por dos puntos O y O' . La orientación de este eje respecto al plano sagital determina la dirección del movimiento costal: en las **costillas inferiores** (lado izquierdo de la figura) el eje XX' se aproxima al plano sagital y, en consecuencia, el movimiento de elevación de la costilla conlleva, sobre todo, un aumento del diámetro transversal del tórax (1). De hecho (Fig. 17), cuando la costilla gira en torno a este eje, describe un arco de círculo de centro O ; su oblicuidad disminuye, y, al hacerse más transversal, su punto más lateral queda desplazado hacia fuera una longitud l , que

representa el aumento del semidiámetro transversal de la base del tórax.

Por el contrario, las **costillas superiores** (Fig. 15: lado derecho de la figura) se articulan a través de un eje YY' situado casi en un plano frontal; el movimiento de elevación de la costilla conlleva entonces un aumento bastante acentuado del diámetro anteroposterior del tórax (a).

En efecto (Fig. 16), cuando el extremo anterior de la costilla se eleva una altura h , describe un arco de círculo que le desplaza hacia delante una longitud a .

Por lo tanto, se puede concluir que durante la elevación de las costillas se produce un *aumento del diámetro transversal del tórax inferior y un aumento del diámetro anteroposterior del tórax superior*. En la parte media del tórax en la que el eje de las articulaciones costovertebrales se localiza aproximadamente en una dirección oblicua a 45° , el aumento del diámetro se produce tanto en sentido transversal como en sentido anteroposterior.

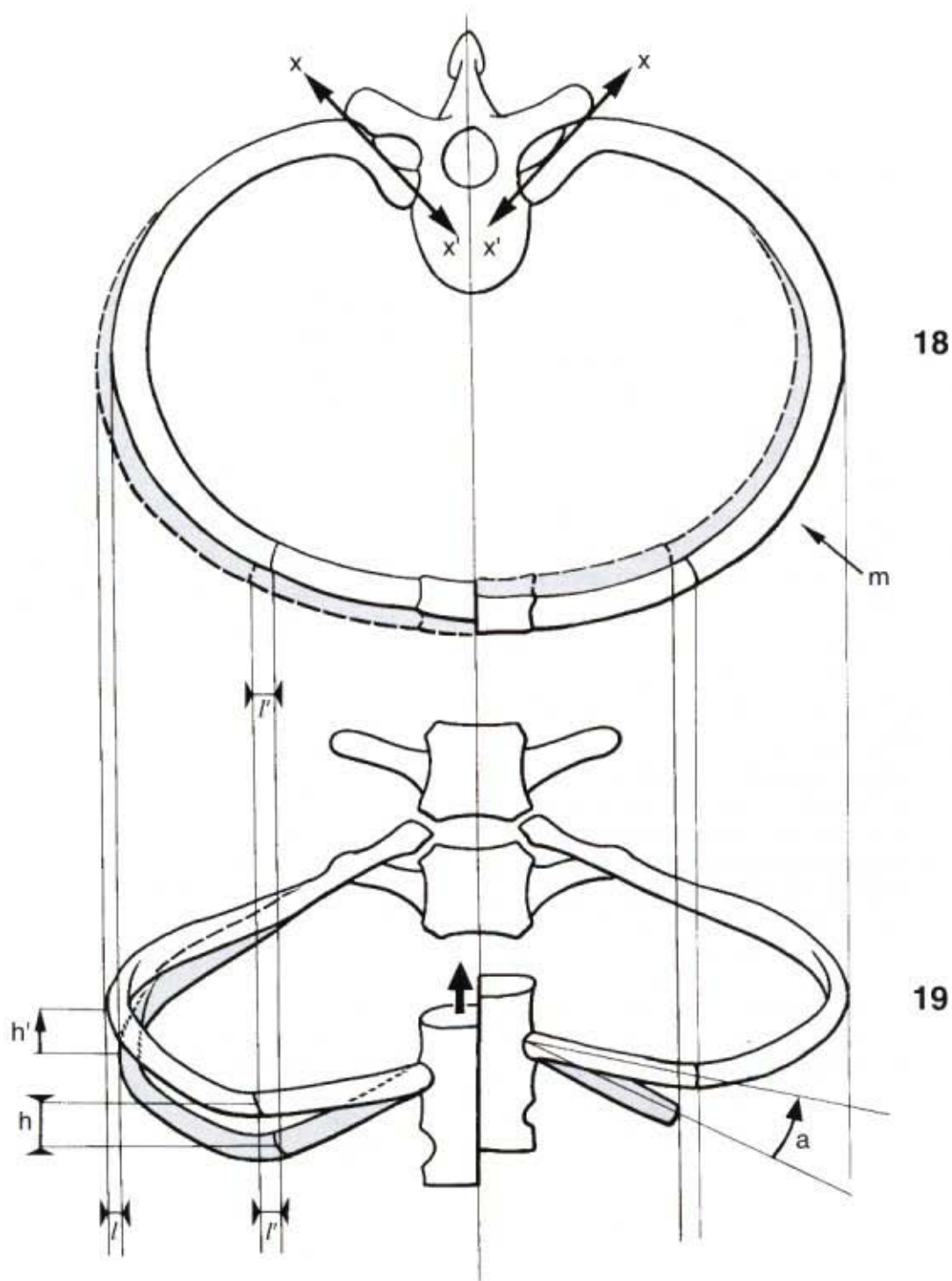


MOVIMIENTOS DE LOS CARTÍLAGOS COSTALES Y DEL ESTERNÓN

Hasta el momento se ha considerado únicamente el movimiento de las costillas en torno a las articulaciones costovertebral y costotransversa, pero también se deben tener en cuenta los movimientos de las costillas con respecto al esternón y a los cartílagos costales. Si se compara una vista superior del movimiento de las costillas (Fig. 18) con una vista anterior de este mismo movimiento (Fig. 19), se puede constatar que, mientras que *la parte más lateral de la costilla se eleva una altura h' y se separa del eje del cuerpo una longitud l* , el extremo anterior de la costilla se eleva una altura h y se separa del plano de simetría una longitud l' , siendo estas dos últimas longitudes ligeramente mayores que las dos primeras. Simultáneamente, el *esternón se eleva* y el

cartílago costal toma una dirección más horizontal formando un ángulo a con su posición inicial. Este *movimiento angular del cartílago costal* con respecto al esternón se lleva a cabo *en la articulación condroesternal*. Además, al mismo tiempo, se produce otro movimiento angular en la articulación condrocostal. Más adelante se hablará de ello.

Durante la elevación de la costilla (Fig. 18, lado derecho de la misma), el punto m en el que se produce el mayor aumento de volumen del diámetro torácico, es el más alejado del eje XX' . Esta constatación geométrica explica el desplazamiento del citado punto sobre la costilla cuando la oblicuidad del eje XX' varía.



LAS DEFORMACIONES DEL TÓRAX EN EL PLANO SAGITAL DURANTE LA INSPIRACIÓN

Si se imagina el raquis inmutable durante el movimiento de inspiración (Fig. 20) y considerando únicamente, por una parte, el pentágono deformable compuesto por el raquis y, por otra, la primera costilla, el esternón, la décima costilla y su cartílago costal, se pueden constatar las siguientes deformaciones:

- la primera costilla móvil alrededor de su articulación costovertebral (O) se eleva y su extremo anterior describe un *arco de círculo AA'*;
- esta elevación de la primera costilla produce una *elevación del esternón*, el cual pasa de la posición AB a la posición A'B';
- en este movimiento, *el esternón no está exactamente paralelo a sí mismo*, ya que, como se ha podido ver con anterioridad, en la parte superior del tórax el diámetro anteroposterior aumentaba más que en la parte inferior. De ello se deduce que el ángulo que formaba con la vertical (ángulo *a*) se cierra ligeramente y simultáneamente se puede observar como se cierra también ligeramente el ángulo OA'B' entre la primera costilla y el esternón. Este cierre del ángulo esternocostal se acompaña de una rotación longitudinal del cartílago costal (véase pág. 164);
- en cuanto a la décima costilla, también efectúa un movimiento de elevación en torno a su centro (Q) y su extremo anterior describe un arco de círculo CC';
- en este movimiento de la décima costilla y del esternón, el décimo cartílago costal pasa de la posición CB a la posición C'B' permaneciendo aproximadamente paralelo a sí mismo. Esto determina, por una parte, el aumento del ángulo en C' de un valor equivalente al ángulo *c* (obsérvese que este ángulo *c* es igual al ángulo C'QC, o sea, al ángulo de elevación de la décima costilla). Por otra parte, se produce un ligero aumento del ángulo C'B'A' que corresponde a la articulación del décimo cartílago costal con el esternón. También en este caso, la apertura del ángulo se lleva a cabo gracias a una rotación del cartílago sobre su eje longitudinal. A nivel de cada cartílago se produce una rotación longitudinal idéntica. Más adelante se analizará su utilidad a propósito de la elasticidad del tórax.

MECANISMO DE LOS MÚSCULOS INTERCOSTALES Y DEL MÚSCULO TRIANGULAR DEL ESTERNÓN

En una vista posterior del tórax y del raquis (Fig. 21) se puede constatar la existencia de tres tipos de fibras musculares:

- los **pequeños músculos supracostales** (S), que, procedentes del vértice de la apófisis transversa finalizan en el borde superior de la costilla subyacente. Cuando se contraen, *elevan esta costilla*;
- los **músculos intercostales externos** (E) cuyas fibras oblicuas hacia arriba y hacia dentro tienen una dirección paralela a las de las fibras del músculo supracostal. Estos músculos intercostales externos son, como el supracostal, *elevadores de las costillas* y por lo tanto, *inspiradores*;
- los **músculos intercostales internos** (I), cuyas fibras son oblicuas hacia arriba y hacia fuera, producen el *descenso de las costillas* y por lo tanto, la *expiración*.

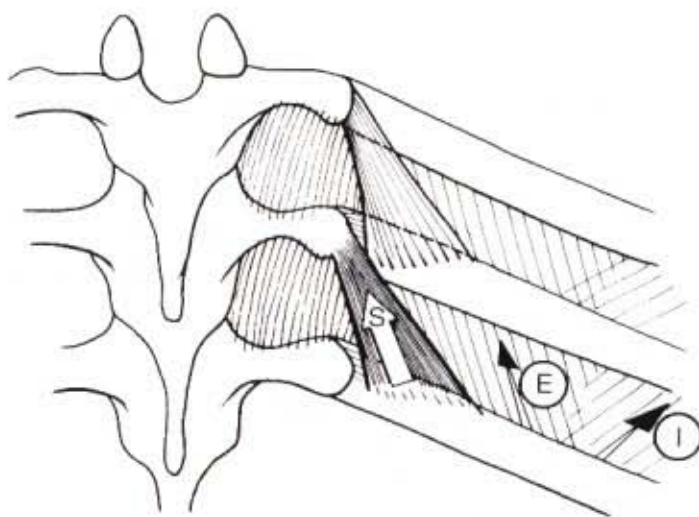
El esquema de **Hamberger** explica perfectamente el mecanismo de acción de los músculos intercostales:

- la acción de los *intercostales externos* (Fig. 22) se entiende cuando se constata que la dirección de sus fibras es la de la gran diagonal del paralelogramo OO'BA que forman las costillas articuladas con el raquis y el esternón. Cuando el intercostal externo (E) se contrae, esta diagonal disminuye una longitud r , deformando el paralelogramo y, suponiendo que OO' permanezca fijo, produce la rotación de A_1 en A_2 y de B_1 en B_2 ; la contracción del intercostal externo acarrea una elevación

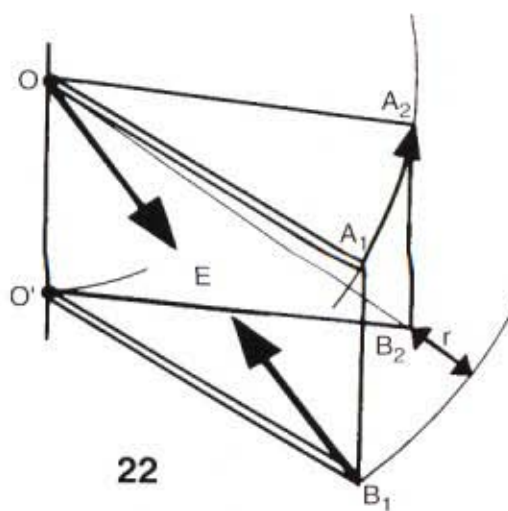
de las costillas y por lo tanto, se trata de un músculo *inspirador*;

- la acción de los *intercostales internos* (Fig. 23), se entiende de manera análoga, pero, esta vez, el músculo tiene una dirección paralela a la pequeña diagonal del paralelogramo. Cuando el intercostal interno se contrae (I), esta diagonal $O'A_1$ disminuye una longitud r' , lo que va a llevar a A_1 hasta A_2 y a B_1 hasta B_2 , siempre en el supuesto de que el lado OO' permanezca inmutable. La contracción del intercostal interno produce el descenso de las costillas y por lo tanto, se trata de un músculo *expirador*. Al parecer, este esquema de Hamberger, a pesar de haber sido contradicho por los experimentos de excitación eléctrica de Duchenne de Boulogne, se considera válido en la actualidad gracias a los trabajos electromiográficos.

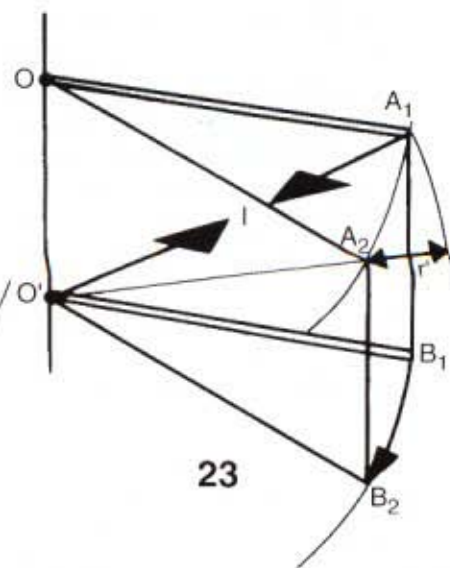
El triangular del esternón es un músculo generalmente poco estudiado, y al que se tiende a olvidar por su localización retroesternal (Fig. 24). De hecho, está totalmente situado en la cara posterior del esternón y sus fibras, que se insertan en los cartílagos de la segunda a la sexta costillas, son oblicuas hacia abajo y hacia dentro. La contracción de sus cinco haces determina *el descenso, en relación al esternón, de los cartílagos costales correspondientes*. No obstante, se ha podido constatar (Fig. 19), que durante la inspiración el cartílago costal se eleva y que, a la inversa, desciende durante la expiración. Esto permite deducir que el triangular del esternón es un *músculo expirador*.



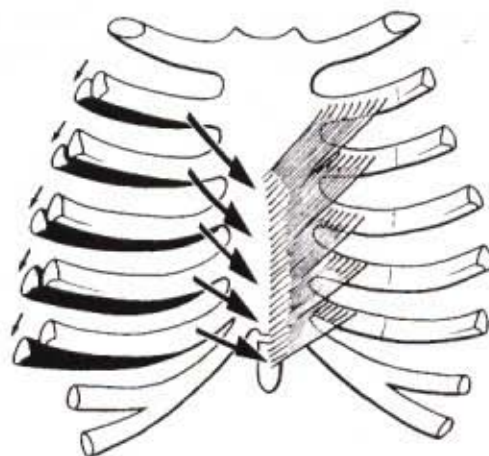
21



22



23



24

EL DIAFRAGMA Y SU MECANISMO

El diafragma forma una cúpula *músculo-aponeurótica que cierra el orificio inferior del tórax y separa el tórax del abdomen*. Una vista de perfil (Fig. 25), muestra como esta cúpula desciende más abajo por detrás que por delante y su punto más elevado lo constituye el centro frénico (1). En este centro se originan haces de fibras musculares (2) que se dirigen radialmente hacia el contorno del orificio inferior del tórax y se insertan en la cara medial de los cartílagos costales, en los extremos de las undécima y duodécima costillas, en los arcos que unen los extremos de las tres últimas costillas y, por último, en el raquis, a la altura de los cuerpos vertebrales, mediante unos *pilares* [pilar izquierdo (3) y pilar derecho (4)], en los arcos del psoas (7) y los arcos del cuadrado lumbar (8). Esto se puede apreciar mucho mejor en una vista anterior (Fig. 26), donde se distinguen a la vez la cara convexa del diafragma, en la parte superior de la figura, y su cara cóncava a la altura de los pilares. También se pueden distinguir los orificios por donde pasan el esófago (6) por arriba, y la aorta (5) por abajo. Sin embargo, en estas figuras no se puede apreciar el orificio de la vena cava inferior ya que no ha sido representado.

Cuando las fibras musculares del diafragma se contraen, *el centro frénico desciende*; de este modo el diámetro vertical del tórax se ensancha, pudiéndose comparar el diafragma a un émbolo que se desliza en el interior de una bomba. Sin embargo, la puesta en tensión de los elementos

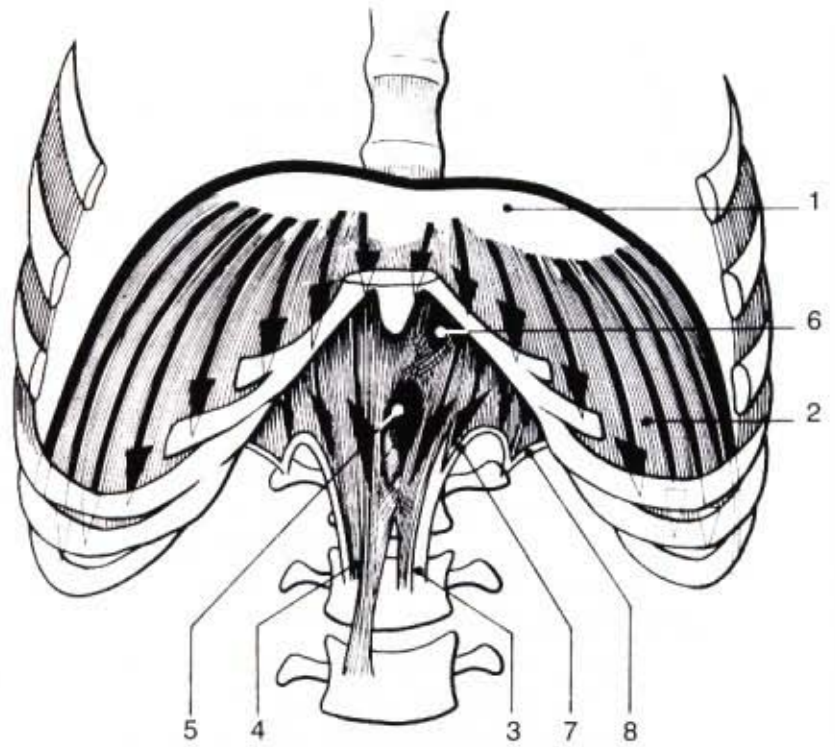
del mediastino y, sobre todo, la presencia de la masa de las vísceras abdominales limitan este descenso del centro frénico. A partir de este instante (Fig. 27), el centro frénico se convierte en punto fijo (gran flecha blanca) y las fibras musculares, que actúan a partir de la periferia del centro frénico (flecha blanca pequeña), pasan a ser las que elevan las costillas inferiores. De hecho, si se considera el punto P como fijo y la costilla que gira alrededor del centro O, su extremo describirá un arco de círculo AB mientras que la fibra muscular correspondiente se va a acortar una distancia A'B. Al elevar las costillas inferiores, el *diafragma ensancha el diámetro transversal del tórax inferior*; pero, simultáneamente, a través del esternón, eleva también las costillas superiores y, en consecuencia, *ensancha el diámetro anteroposterior*. Se puede entonces afirmar que el diafragma es un músculo primordial de la respiración, ya que, **por sí solo, ensancha los tres diámetros del volumen torácico**:

- ensanchamiento del diámetro vertical por descenso del centro frénico;
- ensanchamiento del diámetro transversal por elevación de las costillas inferiores;
- ensanchamiento del diámetro anteroposterior por elevación de las costillas superiores mediante el esternón.

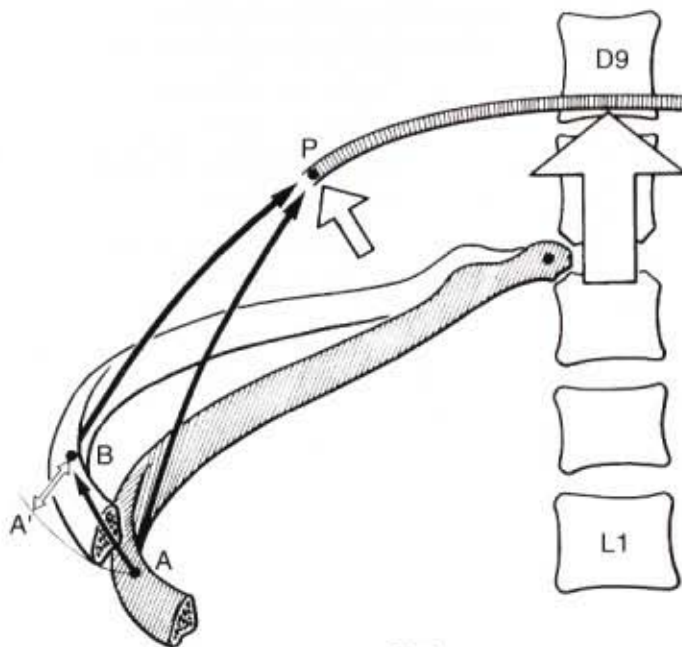
Se comprende así, la importancia del diafragma en la fisiología de la respiración.



25



26



27

LOS MÚSCULOS DE LA RESPIRACIÓN

Tras lo expuesto, se deduce que los músculos de la respiración se pueden clasificar en *dos categorías*. Por una parte, los **músculos de la inspiración**, que *elevan las costillas y el esternón*, y por otra, los **músculos de la espiración**, que *descienden las costillas y el esternón*. En estas dos categorías se distinguen, además, *dos grupos*, los **músculos principales** y los **músculos accesorios**, si bien estos últimos sólo actúan durante movimientos anormalmente amplios o potentes.

Se puede pues, distribuir los músculos de la respiración en cuatro grupos:

Primer grupo: los músculos **principales de la inspiración**: son los intercostales externos y los supracostales y, sobre todo, el **diafragma**.

Segundo grupo: los músculos **accesorios de la inspiración** (Figs. 28, 29 y 30):

- los esternocleidomastoideos (1), los escalenos anteriores (2), medios (3) y posteriores (4); todos estos músculos no son inspiradores más que cuando toman como punto fijo el raquis cervical rígido por la acción de otros músculos (Fig. 28);
- el pectoral mayor (4) y el pectoral menor (5), cuando estos dos músculos (Fig. 30) toman como punto fijo la cintura escapular y los miembros superiores en abducción;
- los haces inferiores del serrato mayor (6) y el dorsal ancho (10) cuando éste toma como punto fijo los miembros superiores previamente abducidos;
- el serrato menor posterior y superior (11);
- las fibras superiores del sacrolumbar (12), que toman como punto fijo por arriba las cinco últimas transversas cervicales y se

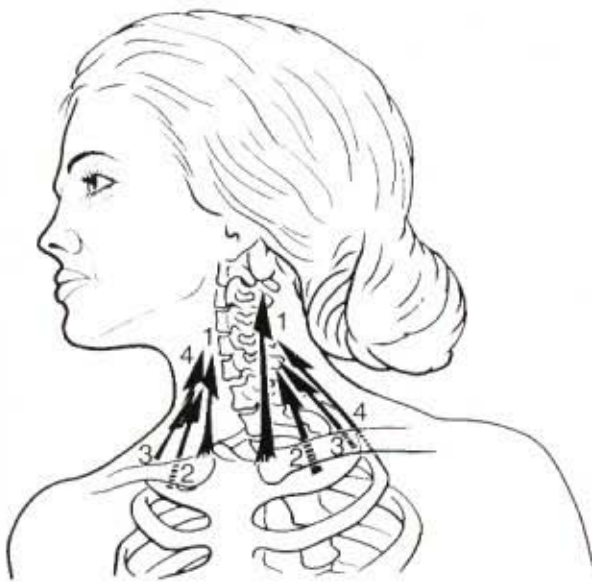
insertan por abajo en los seis primeros arcos costales, con lo que, de este modo, tienen una disposición semejante a la de los músculos supracostales de gran longitud.

Tercer grupo: los **músculos principales de la espiración**. Este grupo sólo está representado por los músculos intercostales internos. En efecto, *la espiración normal es un fenómeno puramente pasivo* de retorno del tórax sobre sí mismo por *simple elasticidad* de los elementos osteocartilaginosos y del parénquima pulmonar. Por lo tanto, la energía necesaria para la espiración es, en realidad, una restitución de la energía desarrollada en la inspiración por los músculos inspiradores y que está almacenada a nivel de los elementos elásticos del tórax y del pulmón. Más adelante se podrá ver el papel esencial que desempeñan los cartílagos costales en este mecanismo. Obsérvese también que en posición vertical, *la gravedad* interviene de manera importante para hacer que las costillas descendan por su propio peso.

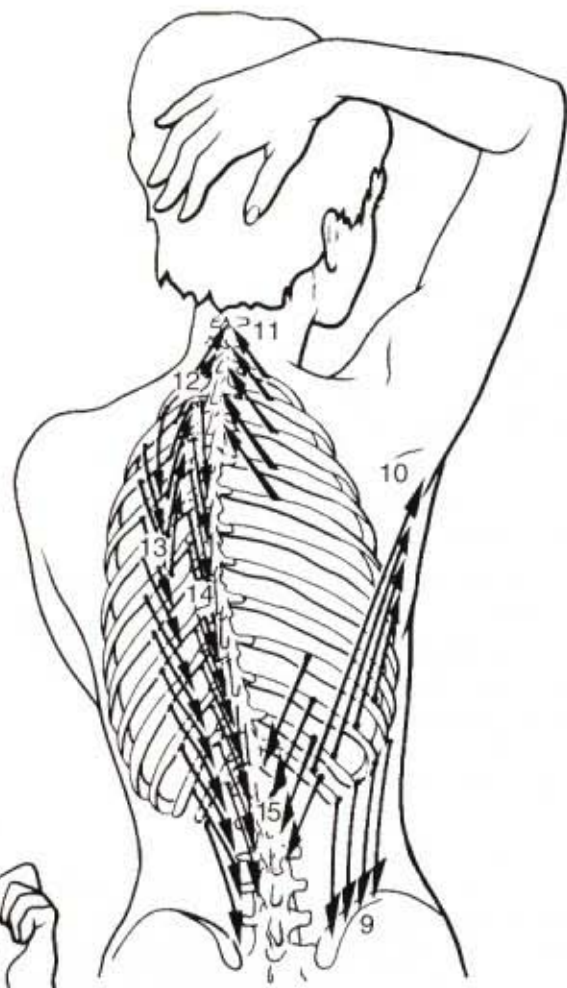
Cuarto grupo: los **músculos accesorios de la espiración**. No por ser accesorios, estos músculos dejan de ser importantes, ni extremadamente potentes, ya que condicionan la **espiración forzada y el esfuerzo abdominal**.

Los músculos abdominales (Fig. 30), el recto abdominal (7), el oblicuo mayor (8) y el oblicuo menor (9), descenden con fuerza el orificio inferior del tórax.

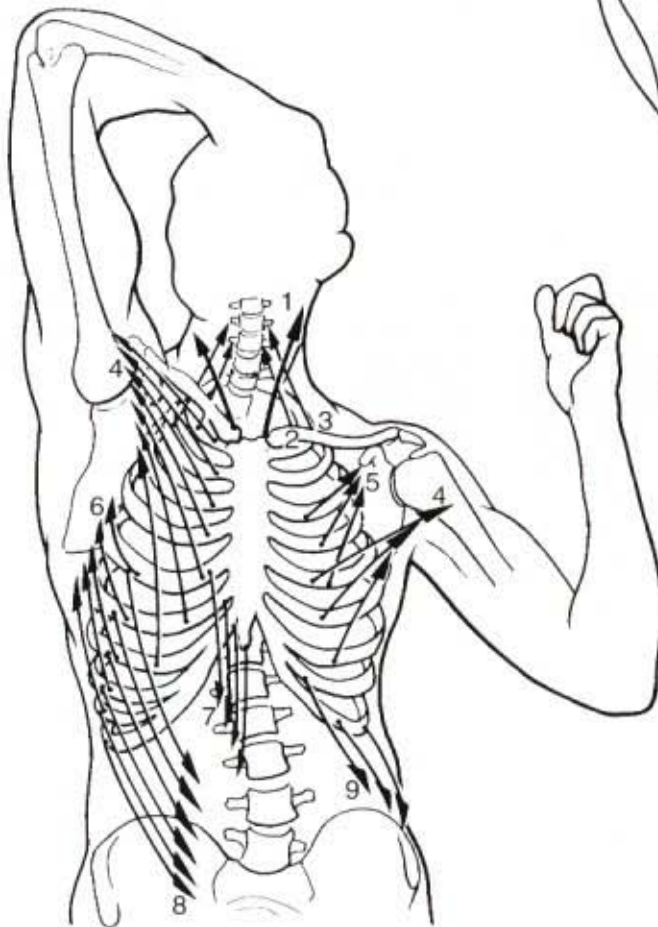
En la región dorsolumbar (Fig. 29) se encuentran otros músculos accesorios de la espiración: la porción inferior del músculo sacrolumbar (13), el dorsal largo (14), el serrato menor posterior e inferior (15) y el cuadrado lumbar (sin representar aquí).



28



29



30

RELACIÓN DE ANTAGONISMO-SINERGIA ENTRE EL DIAFRAGMA Y LOS MÚSCULOS ABDOMINALES

Ya se ha visto con anterioridad que el diafragma es un músculo inspirador e incluso el principal músculo inspirador y que, por otra parte, los músculos abdominales son músculos espiratorios accesorios extremadamente potentes, ya que son capaces de producir la espiración forzada. *Ahora bien, estos músculos que parecen ser antagonistas son, al mismo tiempo, sinergistas.* En particular, se puede decir del diafragma que su acción sería mucho menor si no existieran los abdominales.

¿Cuál es la relación entre el diafragma y los abdominales en el transcurso de las dos fases de la respiración?

Durante la inspiración (Fig. 31 vista de perfil y Fig. 32 vista de frente) la contracción del diafragma desciende el centro frénico, lo que aumenta el diámetro vertical del tórax; pero, a continuación, interviene la resistencia a la elongación de los elementos verticales del mediastino (M) y, sobre todo, la *resistencia de la masa de las vísceras abdominales* (D). Esta masa está sujeta por la "cincha abdominal" constituida por los potentes músculos abdominales: los rectos abdominales (RA), pero también los músculos transversos (T), oblicuos menores (Om) y oblicuos mayores (OM). Sin ellos, el contenido abdominal se vería impelido hacia abajo y hacia adelante, y el centro frénico no podría tomar un punto fijo sólido que le permitiera al diafragma elevar las costillas inferiores. De este modo, *la acción antagonista-sinérgica de los músculos abdominales es indispensable para la eficacia del diafragma.* Esta noción se confirma en patología, en el caso de las parálisis poliomie-

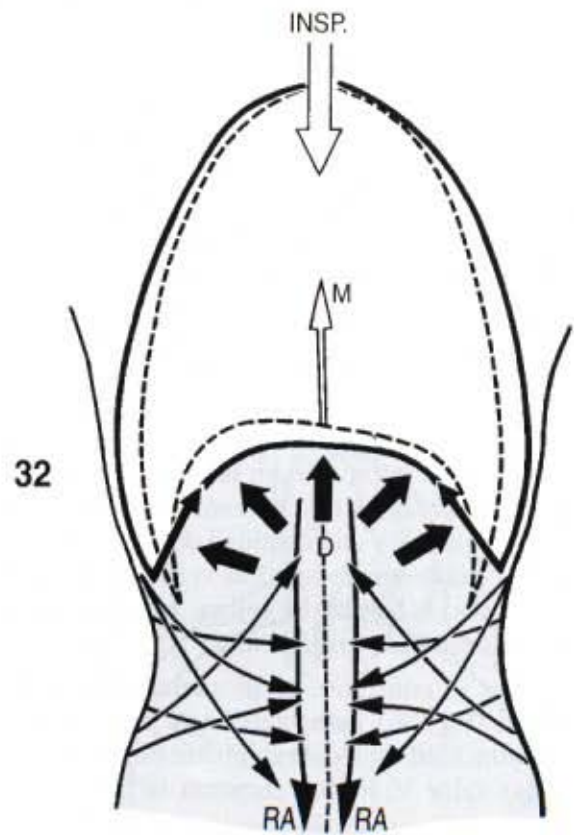
líticas de los músculos abdominales, en las que la eficacia ventilatoria del diafragma está disminuida. En la vista de perfil (Fig. 31), las direcciones de las fibras de los músculos anchos dibujan una estrella de seis puntas.

Durante la espiración (Fig. 32 vista de perfil y Fig. 34 vista de frente), el diafragma se relaja, y la contracción de los abdominales desciende el orificio inferior del tórax, de modo que disminuye simultáneamente los diámetros transversal y anteroposterior del tórax. Por otra parte, aumentando la presión intraabdominal, los citados músculos desplazan la masa de las vísceras hacia arriba y hacen ascender el centro frénico, lo que disminuye el diámetro vertical del tórax, al tiempo que "cierran" los senos costodiafragmáticos. Los músculos abdominales son pues los *antagonistas perfectos del diafragma*, ya que disminuyen simultáneamente los tres diámetros del tórax.

El **papel respectivo del diafragma y de los músculos abdominales** se puede por tanto concebir de la manera siguiente (Fig. 35): cada uno de estos grupos musculares se contrae de manera permanente, aunque su tono evoluciona de manera inversa. Durante la inspiración, la tensión del diafragma aumenta, mientras que el tono de los músculos abdominales decrece. En cambio, durante la espiración, la tensión de los músculos abdominales aumenta, mientras que el tono del diafragma disminuye. De este modo, entre estos dos grupos musculares existe un equilibrio móvil que se desplaza perpetuamente en un sentido o en otro y que ilustra con claridad la noción de antagonismo-sinergia.



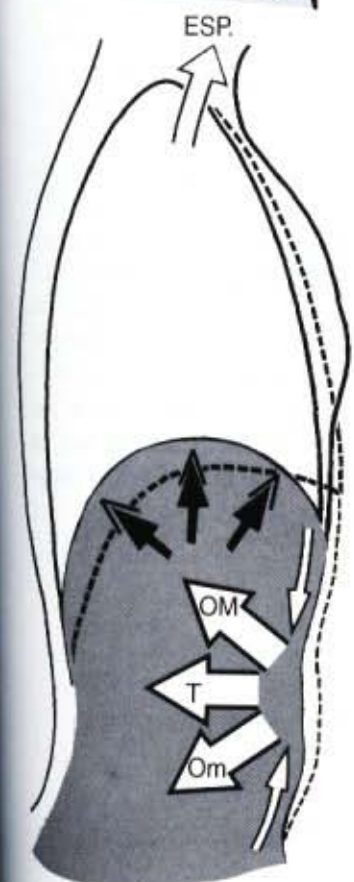
31



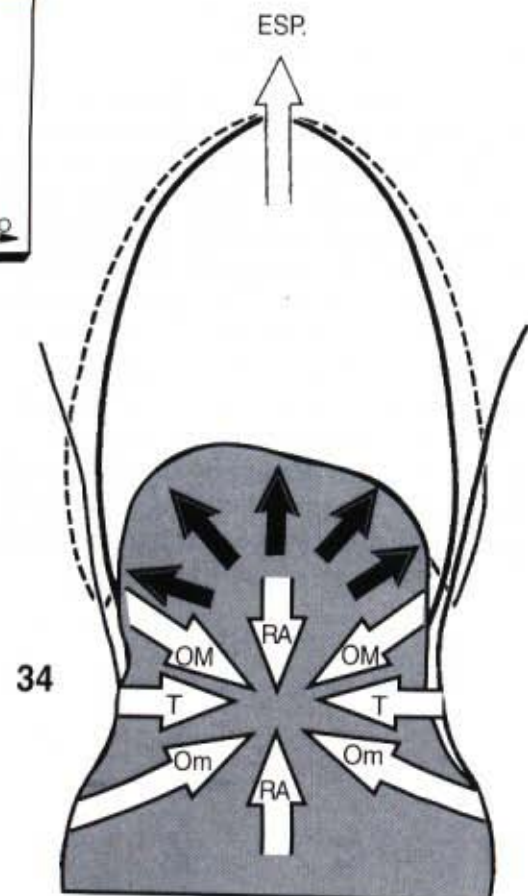
32



35



33



34

LA CIRCULACIÓN AÉREA EN LAS VÍAS RESPIRATORIAS

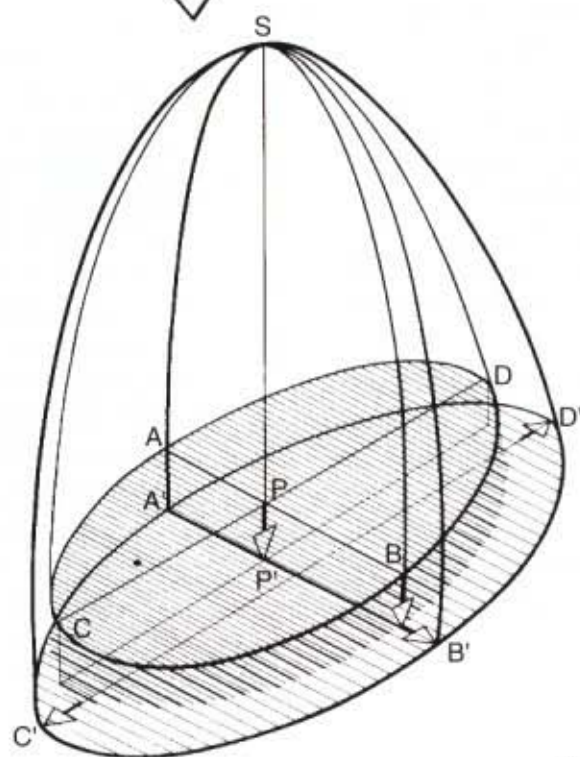
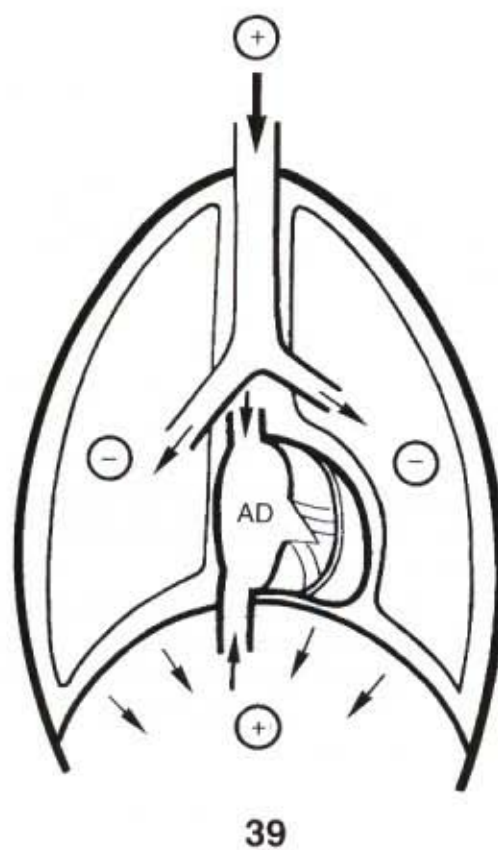
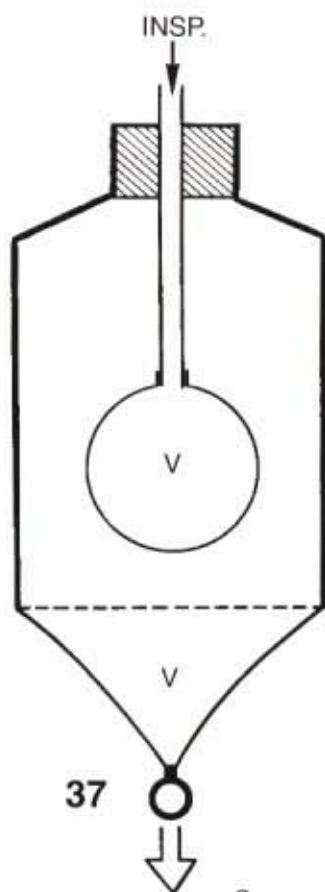
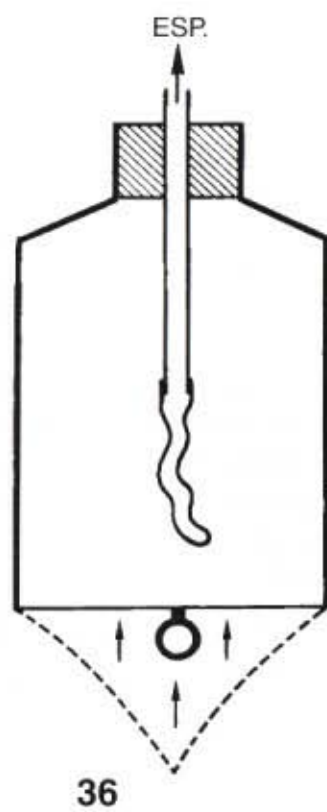
El clásico experimento de Funck (Figs. 36 y 37) ilustra la circulación aérea en las vías respiratorias: si se reemplaza el fondo de un recipiente por una membrana elástica estanca y, por otra parte, si se comunica una vejiga buey con el exterior mediante un tubo que atraviese el tapón, se podrá realizar la repleción o la depleción de esta vejiga movilizándolo tan sólo el fondo elástico. De hecho, si se tira de la membrana elástica (Fig. 37), aumenta la capacidad total del recipiente en un volumen suplementario igual a V, al tiempo que se disminuye la presión en el interior del mismo. La presión atmosférica es entonces superior a la presión interior y una cantidad de aire, cuyo volumen es exactamente igual al volumen V, penetra por el tubo e hincha la vejiga, lo que realiza el *Mecanismo de la inspiración*.

Por el contrario, si se suelta la membrana elástica (Fig. 36), ésta vuelve a su posición inicial y la capacidad total del recipiente disminuye en el mismo valor V, lo que aumenta la presión en el interior del mismo. El aire que se hallaba en la vejiga se expulsará a través del tubo. Se trata del *Mecanismo de la espiración*.

Así, la respiración se basa en el **aumento o disminución del volumen de la cavidad torácica** (Fig. 38). De hecho, si se parte de la posición inicial, en la que el tórax efectúa un *volumen ovoide truncado* con base ACBD, de diámetro transversal CD, de diámetro anteroposterior AB y de diámetro vertical SP, se puede considerar que la acción de los músculos respiratorios y, en particular la del diafragma, aumenta todos los diámetros y lo transforma en un ovoide mayor truncado que *contiene el precedente*, de base A'B'C'D', de diámetro anteroposterior A'B' mayor que CD y de diámetro vertical SP' mayor que SP. La diferencia con el experimento de Fulk

estriba en que *todas las dimensiones del recipiente han aumentado* simultáneamente. Sin embargo, existe una *notoria analogía* con esta experiencia (Fig. 39), ya que en ella se encuentra de nuevo el tubo vertical por el que penetra el aire: la *tráquea*; la vejiga de buey que se hincha: los *pulmones*; y la membrana elástica que reemplaza el fondo del recipiente: el *diafragma*, aunque éste aumenta también los otros diámetros. No obstante, se deben recalcar dos puntos:

- por una parte, los pulmones ocupan la totalidad del volumen interior del tórax y la unión entre las paredes torácicas y el pulmón en sí está asegurado por la pleura, cuya cavidad permanece virtual. En efecto, en estado normal, sus dos hojas permanecen pegadas y se deslizan libremente una sobre la otra, lo que constituye un elemento importante de eficaz *solidez mecánica entre los pulmones y la pared torácica*;
- durante la inspiración, la presión intratorácica disminuye y se hace negativa, no sólo en relación al aire exterior, *sino también respecto a la cavidad abdominal*. Esto tiene dos consecuencias: por una parte, la penetración del aire por la tráquea hasta los alvéolos pulmonares y, por otra, *la aceleración de la circulación venosa de retorno hacia la aurícula derecha (AD)*. Por lo tanto, la inspiración es un importante y excelente elemento de relleno del corazón y, a través de la circulación menor, de la *correcta llegada de la sangre venosa hasta la pared alveolar* al contacto del aire fresco que acaba de penetrar en ella. Así, la inspiración asegura **a la vez la circulación aérea y la circulación sanguínea pulmonar**.



LOS VOLÚMENES RESPIRATORIOS

Se denominan volúmenes respiratorios, o volúmenes pulmonares, a las cantidades de aire puestas en movimiento durante las distintas fases de la respiración y los diferentes tipos respiratorios.

Se ha creído conveniente esquematizar estos diferentes volúmenes en los pliegues de un acordeón, lo que permite compararlos entre sí.

Durante la respiración tranquila, en reposo (Fig. 40), los volúmenes respiratorios se definen de la siguiente manera:

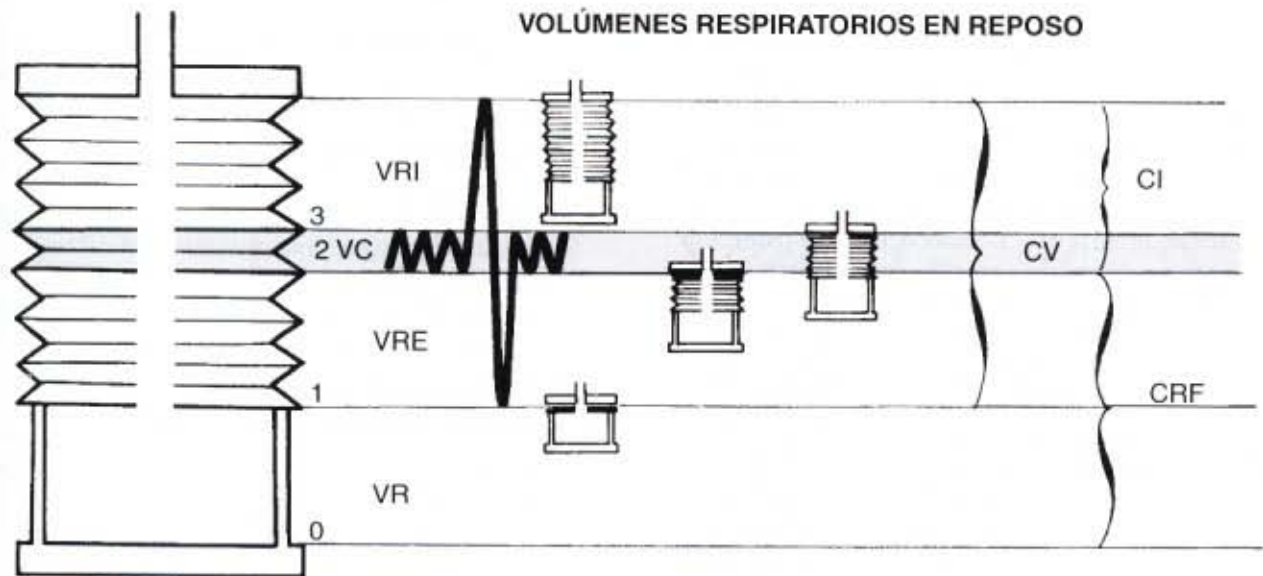
- el aire movilizado entre una espiración y una inspiración normales representa el **volumen corriente** (VC): medio litro. En el gráfico esta amplitud de la respiración en reposo está representada por la tira de color gris con el número 2 que contiene las oscilaciones del *espirograma*;
- si se prolonga una inspiración normal por una *inspiración forzada*, penetrará en los pulmones una cantidad adicional de aire que representa el **volumen de reserva inspiratoria** (VRI): un litro y medio;
- la suma de este volumen de reserva inspiratoria y del volumen corriente constituye la **capacidad inspiratoria** (CI): dos litros;
- si tras una espiración normal se prosigue la espiración forzada hasta el límite, se expulsa entonces el **volumen de reserva espiratoria** (VRE): un litro y medio;
- la suma del volumen de reserva inspiratoria, del volumen corriente y del volumen de reserva espiratoria constituye la **capacidad vital** (CV): tres litros y medio;
- al término de una espiración forzada y completa subsiste aún en los pulmones y en los bronquios cierta cantidad de aire

denominada **volumen residual** (VR): medio litro;

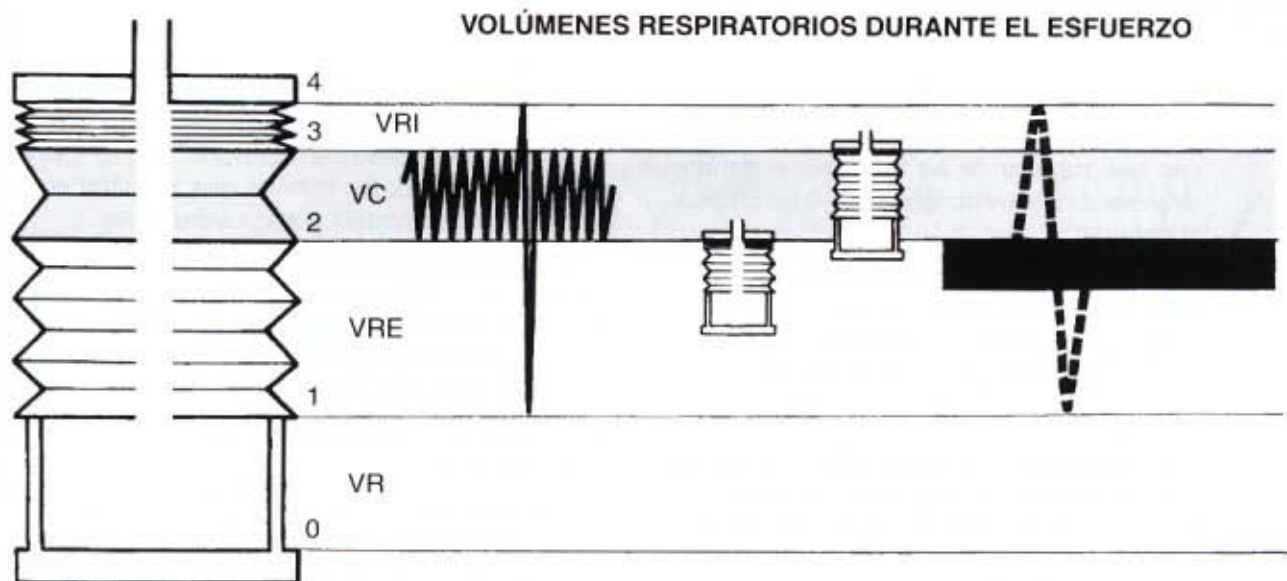
- la suma del volumen residual y del volumen de reserva espiratoria constituye la **capacidad residual funcional** (CRF): dos litros;
- por último, la suma de la capacidad vital y del volumen residual constituye la **capacidad pulmonar total**: cuatro litros.

Durante el esfuerzo (Fig. 41), los diferentes volúmenes se reparten de forma distinta en la capacidad pulmonar total:

- el único que *no varía es el volumen residual* ya que se trata de un aire imposible de expulsar, sean cuales sean la fuerza y la intensidad de los movimientos respiratorios;
- sin embargo, a medida que se acelera la frecuencia respiratoria se produce, en primer lugar, *un aumento del volumen corriente* (VC) hasta un máximo y, a continuación, como la frecuencia respiratoria continua aumentando, el volumen corriente tiende a descender ligeramente. Se denomina **débito ventilatorio** al producto de la frecuencia respiratoria por el volumen corriente. De todo ello se deduce que el débito ventilatorio acaba alcanzando un máximo;
- *el volumen de reserva espiratoria aumenta* de manera notable, lo que significa que la amplitud de la respiración rápida está más próxima a la dilatación máxima del tórax que durante la respiración en reposo;
- la consecuencia del aumento del volumen corriente y del volumen de reserva espiratorio es *la disminución del volumen de reserva inspiratorio* (VRI).



40



41

FISIOPATOLOGÍA RESPIRATORIA – LOS TIPOS RESPIRATORIOS

Muchos son los factores que pueden perturbar la eficacia de la ventilación.

El experimento de Funk puede modificarse (Fig. 42): se reemplaza una parte de la pared del recipiente por *otra membrana elástica*; cuando se tracciona de la membrana del fondo, esta membrana parietal se deprime un volumen v que se sustrae del volumen V . La vejiga de buey se hincha con un *volumen menor*, igual a $V - v$. Esto ocurre en patología cuando se **fractura una costilla** tras un fuerte traumatismo del tórax: una superficie más o menos grande de pared torácica deja de seguir los movimientos y se deprime durante la inspiración: se trata de la **respiración paradójica**. El rendimiento de la ventilación disminuye lo que provoca un estado de **distress respiratorio**. Si una herida comunica la cavidad pleural con el exterior, el pulmón se retrae sobre sí mismo por su propia elasticidad, y, con cada inspiración, el aire penetra en la herida: se trata de un *traumatopnea*, que causa un gran distress respiratorio, la supervivencia del sujeto sólo queda asegurada, de manera precaria, por el otro pulmón a condición de que éste sea suficiente.

En este esquema (Fig. 43), se han agrupado **todos los elementos perturbadores de la hematosis**. Estos factores son, mayoritariamente, ventilatorios:

- un **neumotórax** (1), *compresión gaseosa originada por una herida pleuropulmonar o por una ruptura de un bronquio o de una ampolla de enfisema*: la pleura ya no arrastra al pulmón;
- un **hemo** o un **hidrotórax**, también denominado pleuresía (2), acumulados en la base torácica. El pulmón se retrae sobre sí mismo (3) y pierde toda capacidad funcional;
- una **fractura costal** (4);
- una **atelectasia** (5), exclusión ventilatoria por obstrucción bronquial: en el esquema, el lóbulo superior izquierdo sufre una atelectasia por obstrucción del bronquio del lóbulo superior izquierdo;
- una **paquipleuritis** (6), engrosamiento importante de la pleura tras una pleuresía, pletorax o hemotórax, que forma una capa esclerosa que comprime el pulmón e impide su expansión inspiratoria;

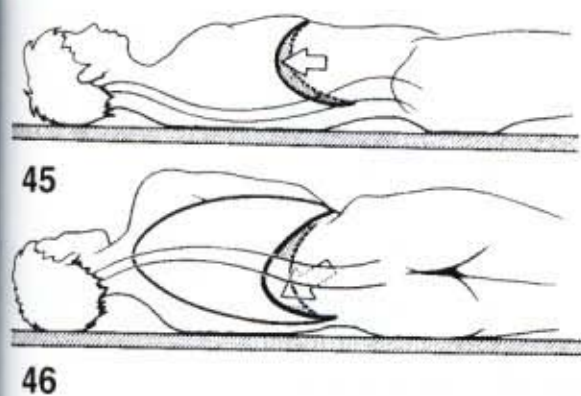
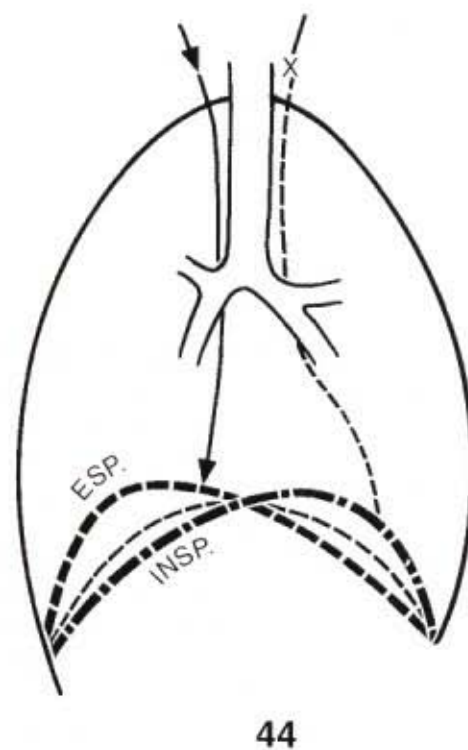
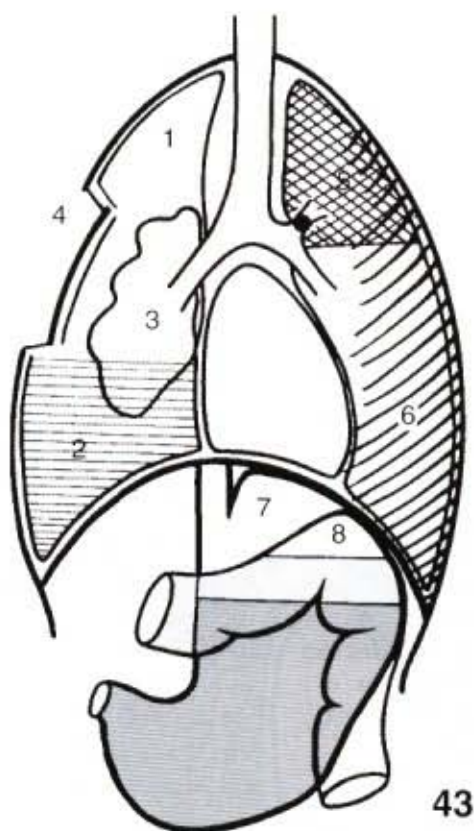
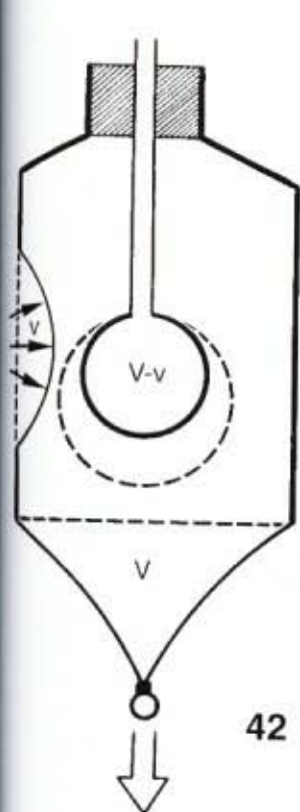
- una **dilatación aguda del estómago** (7), que obstaculiza el movimiento del diafragma;
- un **meteorismo abdominal importante** (8), que, por oclusión, desplaza el diafragma hacia el tórax;
- una **parálisis frénica** (Fig. 44): con el nervio frénico izquierdo inutilizado, la mitad izquierda de la cúpula diafragmática queda paralizada y sigue los movimientos denominados de *respiración paradójica*: durante la inspiración, la cúpula izquierda se eleva en lugar de descender.

La mecánica ventilatoria se puede modificar en gran medida con la **posición del cuerpo**:

- en *decúbito supino* (Fig. 45), la masa de las vísceras desplaza el diafragma hacia arriba, *la inspiración es más difícil*, el volumen corriente es menor y está desplazado hacia la parte superior del gráfico, en detrimento del volumen de reserva inspiratorio. Esta situación acaece en el transcurso de las anestésicas generales, e incluso se agrava por los anestésicos y los curarizantes, que disminuyen la eficacia de los músculos respiratorios;
- en *decúbito lateral* (Fig. 46), el desplazamiento del diafragma se acentúa más en el lado del declive. Por lo tanto, *el pulmón inferior respira con mayor dificultad que el superior*, situación agravada por el *estasis circulatorio*. Se trata de una posición especialmente temida por los anestesiólogos.

La mecánica ventilatoria difiere **según la edad y el sexo** (Fig. 47): *en la mujer*, la respiración es de *tipo costal superior*: la amplitud máxima se localiza en la parte superior del tórax por aumento del diámetro anteroposterior; *en el niño*, es de *tipo abdominal*, mientras que *en el hombre*, es de *tipo mixta, costal superior e inferior*.

Sin embargo, *en el anciano* (Fig. 48), las condiciones respiratorias se ven modificadas por la *cifosis dorsal* y la *hipotonía muscular*: el aumento de la curva del raquis dorsal superior conlleva la convergencia de las costillas superiores y la disminución de la amplitud de sus movimientos. De este modo, el lóbulo superior de los pulmones carece prácticamente de ventilación, y la respiración adopta el *tipo costal inferior e incluso abdominal*.



46



EL ESPACIO MUERTO

Se denomina **espacio muerto** a un *volumen de aire que no participa en los intercambios respiratorios*. En la representación de los volúmenes respiratorios a través del símil del acordeón (Fig. 49), si se prolonga el tubo de escape del aire mediante un recipiente de gran volumen (EM), se aumenta artificialmente el espacio muerto. De hecho, si sólo se utiliza un volumen corriente de 0,5 litros y si el volumen del tubo y del recipiente sobreañadido es de 0,5 litros, la ventilación sólo logrará desplazar el aire en el interior del espacio muerto; ningún volumen de aire fresco penetrará en el interior del acordeón.

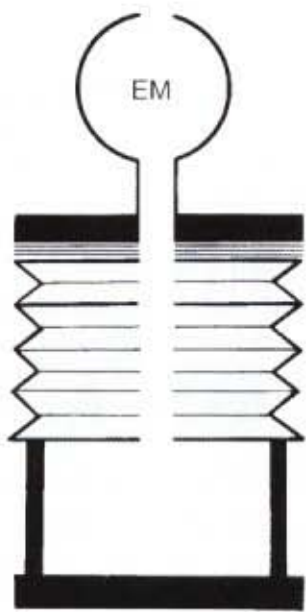
El *ejemplo del buzo* (Fig. 51) permite una mejor comprensión. Se puede imaginar un buzo unido a la superficie sólo a través de un tubo por el cual inspira y expira; si el volumen del tubo es igual a su capacidad vital, en ningún momento, pese a sus enérgicos esfuerzos, podrá inspirar aire fresco. En cada movimiento respiratorio, inspirará el aire viciado que ha enviado al tubo en la espiración precedente. De este modo, morirá rápidamente por asfixia, cosa que sucedió durante los primeros intentos de buceo con escafandra. La solución consiste en suministrarle aire fresco por el tubo y eliminar el aire espirado a través de una válvula fija al casco.

El **espacio muerto anatómico** (Fig. 50) representa el *volumen del árbol respiratorio*, es decir, de las vías aéreas superiores, boca, fosas

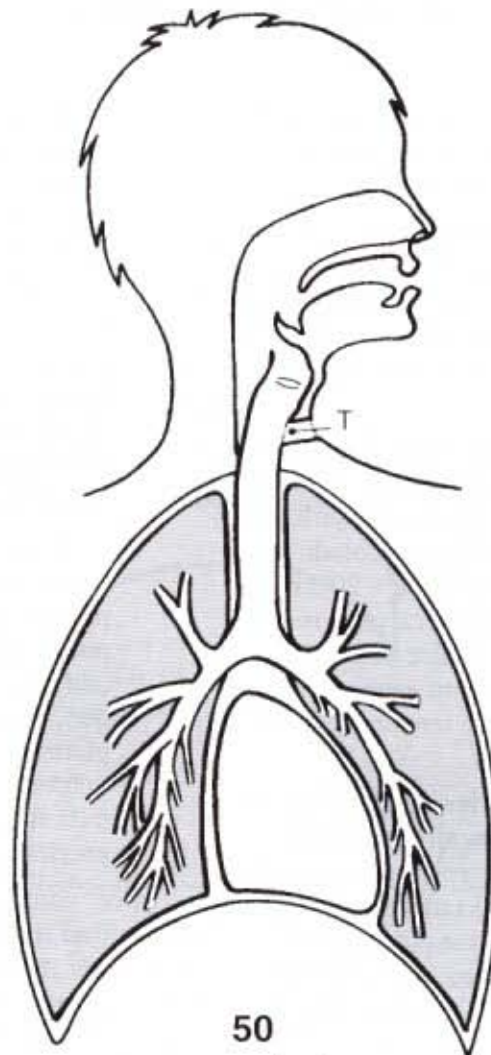
nasales incluidas, de la tráquea, de los bronquios y de los bronquiolos. El volumen de espacio muerto es de 150 ml, lo que significa que durante la respiración normal, cuando se moviliza únicamente el volumen corriente, tan solo llegan a las paredes alveolares y participan en la hematosis 350 ml. Para aumentar el rendimiento es necesario, bien aumentar el volumen ventilado mediante la intervención del volumen de reserva inspiratorio o espiratorio, o bien disminuir el volumen del espacio muerto, lo que se puede llevar a cabo con una **traqueotomía** (T) que establece una comunicación directa entre la tráquea y el exterior y *disminuye así el espacio muerto en casi la mitad*. Sin embargo, la traqueotomía no es un acto inocuo, ya que *priva al árbol respiratorio de sus defensas naturales* y lo expone a infecciones broncopulmonares graves.

En el esquema de volúmenes respiratorios simbolizados por el acordeón (Fig. 52), la traqueotomía está representada por los orificios de la base del tubo.

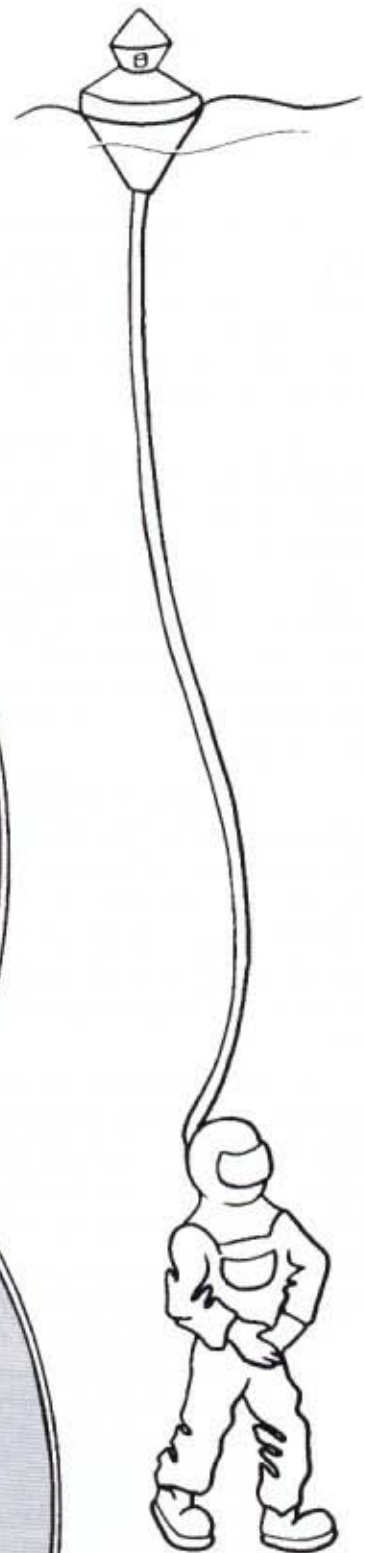
No obstante, existe otro tipo de espacio muerto (Fig. 53), el **espacio muerto fisiológico** (EM'): corresponde a la exclusión sanguínea de un territorio pulmonar producida por una embolia pulmonar (EP). Este *territorio sin irrigar* será la sede de una ventilación aérea absolutamente ineficaz, lo que aumentará, en la misma proporción, el espacio muerto anatómico.



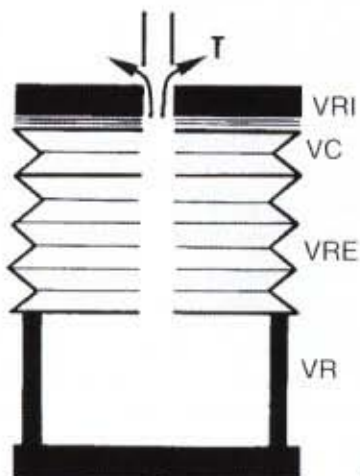
49



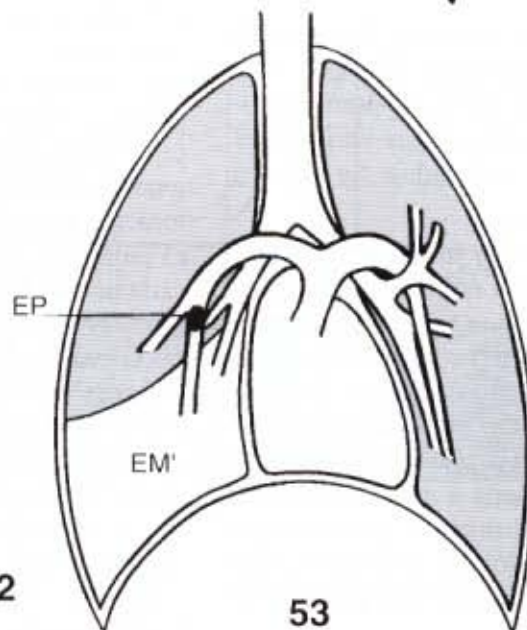
50



51



52



53

LA COMPLIANZA TORÁCICA

La noción de complianza está *directamente relacionada con la elasticidad de los elementos anatómicos del tórax y de los pulmones*.

Durante la **espiración normal** (Fig. 54), el tórax y los pulmones adoptan una posición de equilibrio comparable a la de un resorte que no está ni comprimido ni estirado. Existe entonces un *equilibrio de presión* entre el aire intraalveolar y el aire atmosférico.

A través de un esfuerzo muscular de **espiración forzada** (Fig. 55), se comprimen los elementos elásticos del tórax. Si, para expresarlo en una imagen, se somete al resorte representado por el tórax a una presión, por ejemplo, de + 20 cm de agua, la presión intrapulmonar será más fuerte que la presión atmosférica y el aire se escapará por la tráquea, pero el tórax tenderá a recuperar su posición inicial, como el resorte tenderá a volver a su posición O.

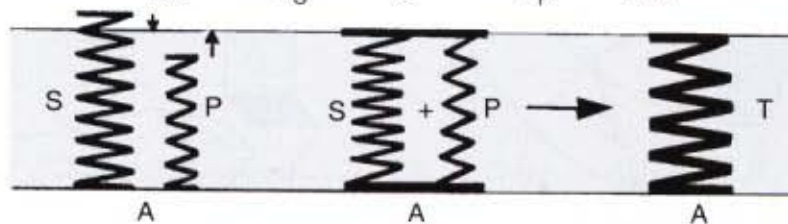
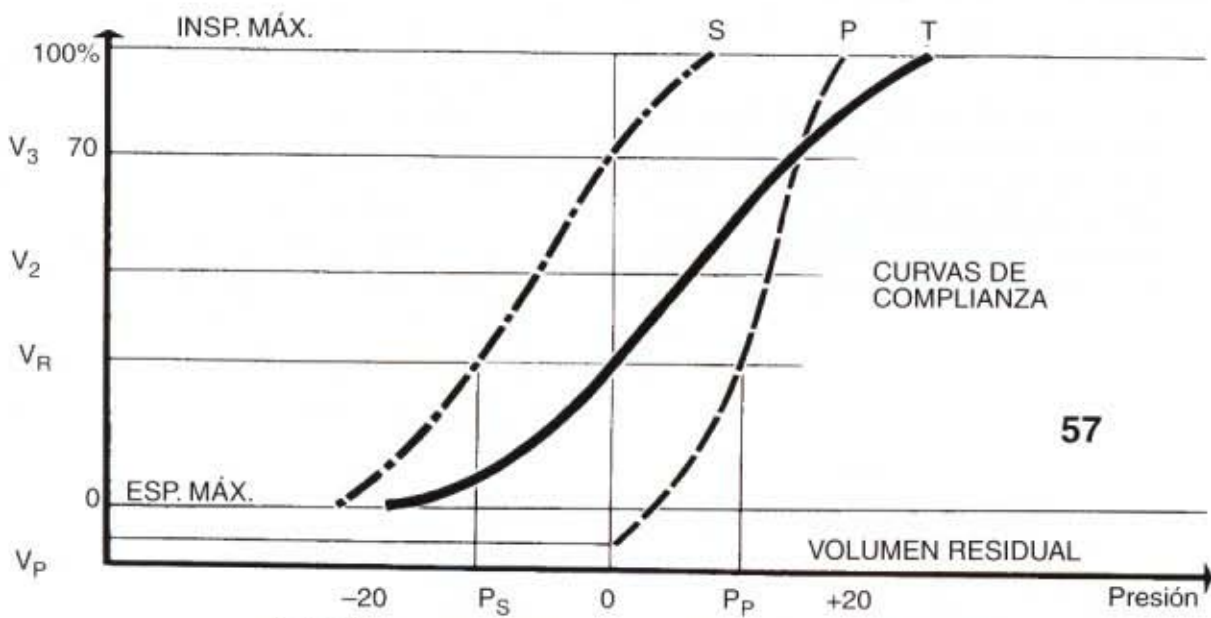
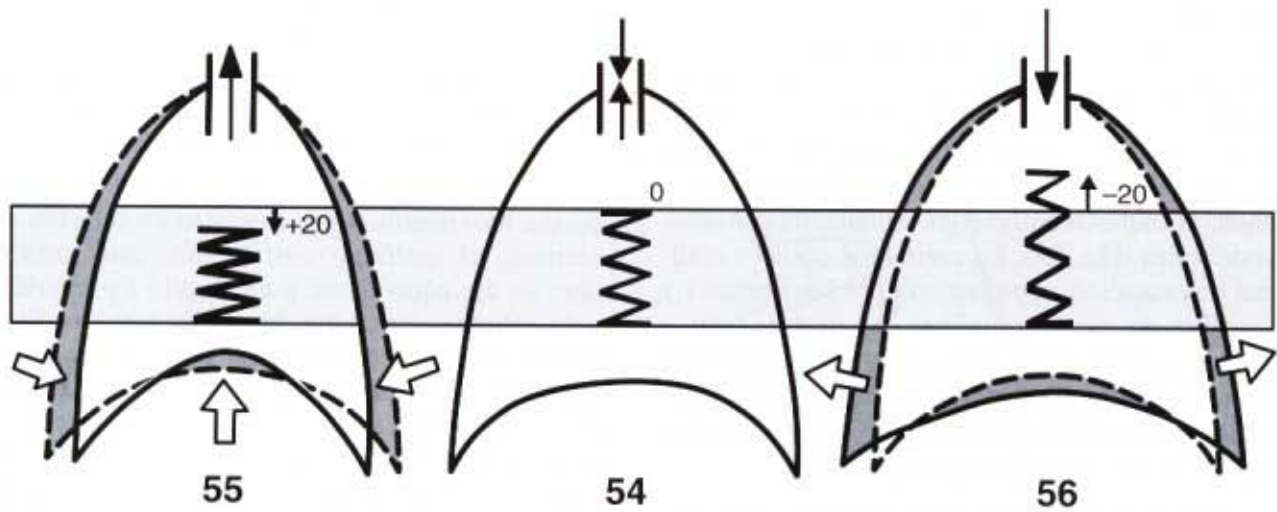
Por el contrario, si se realiza un esfuerzo de **inspiración** (Fig. 56), lo que podría compararse al estiramiento del resorte, se creará una presión negativa intratorácica de - 20 cm de agua, con respecto al aire atmosférico; esto determina la penetración del aire en la tráquea, pero, debido a su elasticidad, el tórax tiende a recobrar su posición inicial.

Estos fenómenos se pueden representar mediante **curvas de complianza** (Fig. 57), que representan las variaciones de la presión intratorácica en abscisas, en función de las variaciones del volumen torácico en ordenadas. Se pueden trazar tres curvas:

- la *curva de relajación torácica total* (T), en la cual la presión nula corresponde al volumen de relajación (VR); esta curva es el resultado de la *curva volumen/presión de los pulmones aislados* (P) y de la *curva volumen/presión de la pared torácica aislada* (S); es de notar que el volumen de relajación corresponde a una *igualdad de fuerza entre la elasticidad parietal* que desarrolla una presión P_s y la *elasticidad pulmonar* que desarrolla una presión de signo opuesto P_p ;

- en el volumen $V_{1/2}$, es decir, al 70% de la capacidad pulmonar total, la presión de origen parietal es nula y la presión de relajación torácica total se debe enteramente a la elasticidad de los pulmones (las dos curvas P y T se cruzan en ese punto);
- en un volumen intermedio $V_{1/3}$, la presión de relajación de la pared torácica aislada es igual a la mitad exacta de la presión de relajación pulmonar, de tal modo que la presión de relajación torácica total equivale a la mitad de la presión de relajación pulmonar;
- conviene subrayar un último punto: en espiración máxima, los pulmones no han perdido todavía su máxima elasticidad, puesto que la curva P aún está a la derecha del cero de presiones; esto explica que, si se deja que el aire penetre en las pleuras, aún pueden retraerse hasta un volumen mínimo V_p , en el que pierden toda fuerza de retracción y, por tanto, toda presión sobre el aire que contienen.

Por consiguiente, se puede considerar la **elasticidad total del tórax** (Fig. 58) como la *asociación de dos resortes* (A): un gran resorte (S) que representa la pared torácica y un pequeño resorte (P) que representa los pulmones. La sujeción funcional de éstos a la pared torácica a través de la pleura equivale a la asociación conjunta de ambos resortes (B), para lo que es preciso comprimir el gran resorte S y estirar el pequeño resorte P; la asociación de estos dos resortes equivale a un solo resorte (C) que representa la elasticidad torácica total (T). Pero, si la unión funcional entre el pulmón y la pared torácica quedara destruida, cada uno de los dos resortes recuperaría su propia posición de equilibrio (A). Volviendo a la noción de complianza, representa la *relación entre un volumen de aire y la presión parietal necesaria para movilizarlo*. En el gráfico (Fig. 57), la citada complianza representa *el trazado de la parte media de la curva*, pudiéndose constatar entonces que la complianza del pulmón aislado es mayor que la complianza de la pared torácica aislada, siendo la complianza torácica total la suma algebraica de estas dos complianzas.



58

MOVILIDAD ELÁSTICA DE LOS CARTÍLAGOS COSTALES

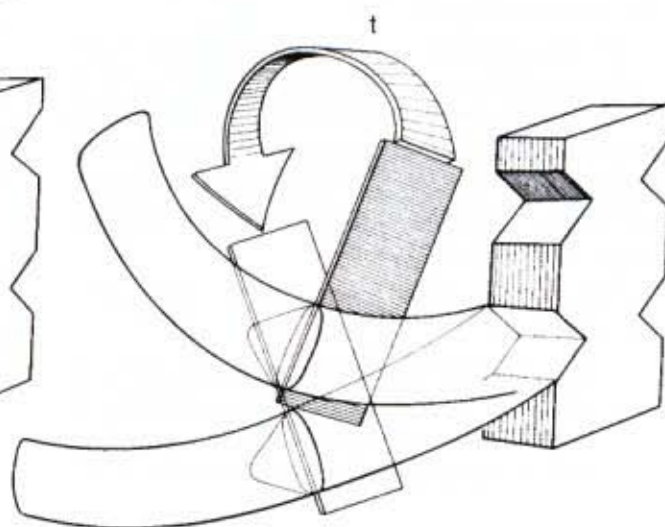
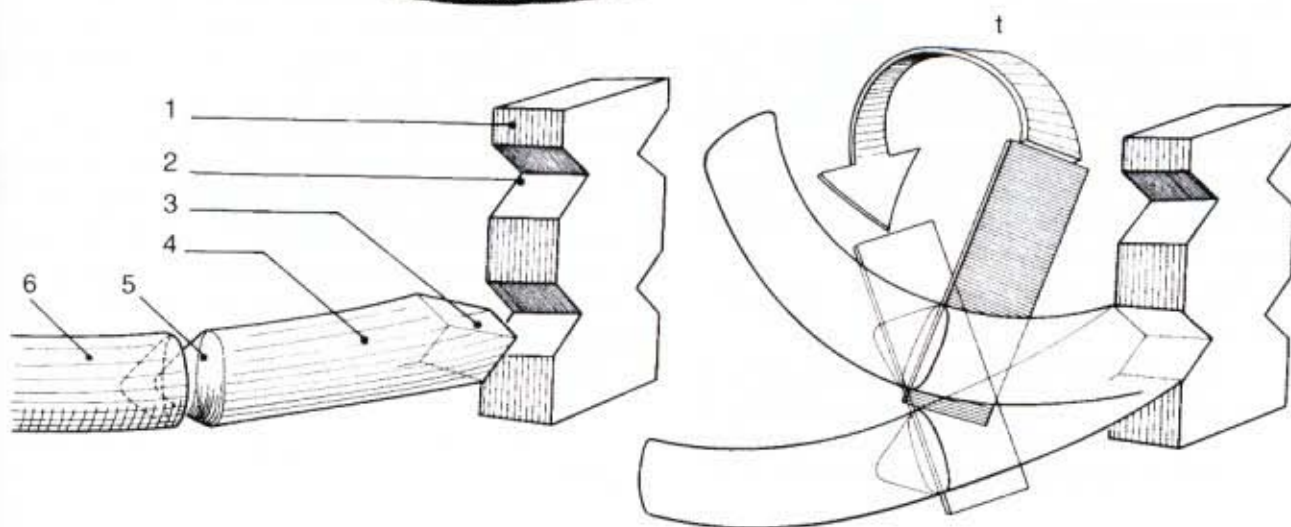
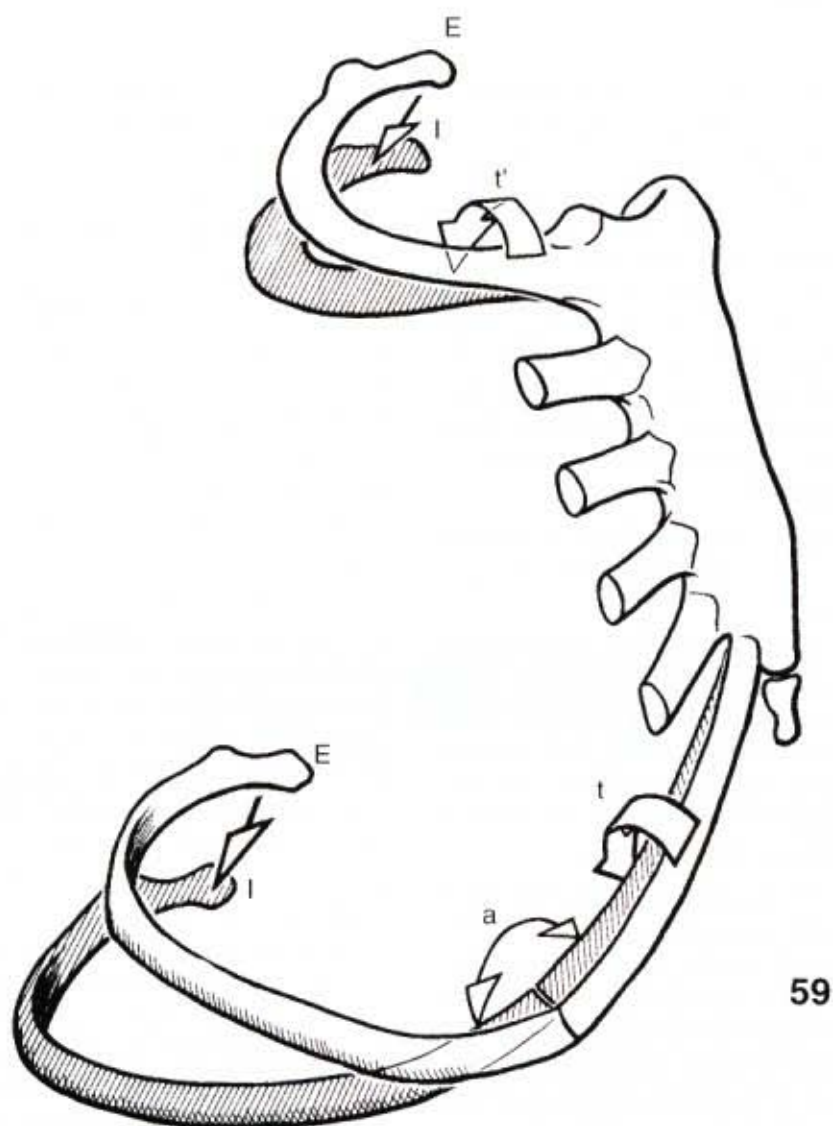
Ya se ha visto con anterioridad (Figs. 19 y 20) que durante la inspiración los cartílagos costales efectúan un desplazamiento angular y una torsión alrededor de su eje longitudinal. Esta torsión desempeña un papel importante en el mecanismo de la espiración. De hecho, cuando el esternón se eleva durante la inspiración, dado que el extremo posterior de las costillas permanece unido al raquis mediante las articulaciones costo-vertebrales (Fig. 59), los cartílagos costales realizan una rotación, representada por las flechas t y t' , sobre su eje longitudinal. Al mismo tiempo existen angulaciones (a) en las **articulaciones condrocostales y esternocostales** (para facilitar la comprensión, en esta figura el esternón está supuestamente fijo y el raquis móvil).

Esquemáticamente, estas articulaciones condrocostales y esternocostales (Fig. 60) son incrustaciones de cada uno de los extremos del cartílago costal:

- el *extremo interno* (3) está encajado en el borde del esternón (1) en un ángulo diedro (2), que recibe con exactitud el extremo del cartílago, permitiendo algunos movimientos en sentido vertical, pero ninguno en el sentido de la torsión;

- el *extremo externo* (5) tiene forma de cono plano de delante atrás; este cono se incrusta en el extremo anterior de la costilla, ahuecada a modo de cono conformado a la inversa; también en este caso, la articulación permite desplazamientos verticales y laterales, pero ningún movimiento de torsión.

Cuando, durante la inspiración, la costilla efectúa movimientos de descenso en relación al esternón, el cartílago costal sufre una torsión sobre su eje equivalente a un ángulo t y se comporta entonces como una **barra de torsión**. Este dispositivo, bien conocido por los ingenieros, se utiliza como resorte amortiguador en los automóviles: si se tuerce una barra sobre su eje longitudinal, su elasticidad almacena la energía de la torsión y la restituye cuando se suelta la barra. Del mismo modo, la energía de los músculos inspiradores se concentra en las barras de torsión de los cartílagos costales durante la inspiración y en el momento de la relajación de los citados músculos, *sólo por la elasticidad de estos cartílagos*, el tórax vuelve a su posición inicial. Los cartílagos son tanto más flexibles y elásticos cuanto más joven es el sujeto; con la edad tienden a osificarse, lo que explica la pérdida de flexibilidad torácica y respiratoria de los ancianos.



MECANISMO DE LA TOS – CIERRE DE LA GLOTIS

El aire que penetra en las vías respiratorias se filtra, humedece y calienta al pasar por las fosas nasales. En principio, ya no contiene ninguna partícula en suspensión cuando llega a la tráquea o a los bronquios. No obstante, si por inadvertencia se introducen partículas extrañas en el árbol bronquial, un mecanismo muy eficaz las expulsará: **la tos**. Asimismo, la tos se encarga de expulsar los paquetes mucosos secretados por los bronquios, que engloban las finas partículas extrañas para, a continuación, desplazarlas hacia el orificio glótico por el movimiento incesante del epitelio ciliado bronquial.

¿Cuál es entonces el **mecanismo de la tos**? Se puede explicar con tres esquemas, ya que consta de tres fases:

1ª fase (Fig. 62): una *inspiración profunda denominada preparatoria*, que hace entrar en el árbol bronquial y en los alvéolos la mayor parte del volumen de reserva inspiratorio. Esta inspiración profunda tiene el inconveniente de que puede arrastrar hacia los bronquiolos los cuerpos extraños que han franqueado la glotis;

2ª fase (Fig. 63): la puesta en tensión, en la que interviene dos factores, por una parte, el cierre de la glotis, y, por otra, la *contracción violenta de los intercostales y de la totalidad de los músculos espiradores accesorios y, en particular, de los músculos abdominales*. En el transcurso de esta segunda fase, la presión intratorácica aumenta de manera considerable;

3ª fase (Fig. 64): la *expulsión*. Mientras que los músculos espiradores accesorios permanecen tensos, la glotis se abre bruscamente y libera una violenta corriente de aire bronquial, que arrastra las partículas extrañas y los paquetes de moco, haciéndoles franquear el orificio glótico, hacia la faringe, donde se expectorarán.

Parece pues que, para ser eficaz, la tos debe hacer intervenir:

- por una parte, unos *músculos abdominales eficaces*. Es sabido que en los *poliomielíticos*, cuyos abdominales están paralizados, o incluso en los *operados del abdo-*

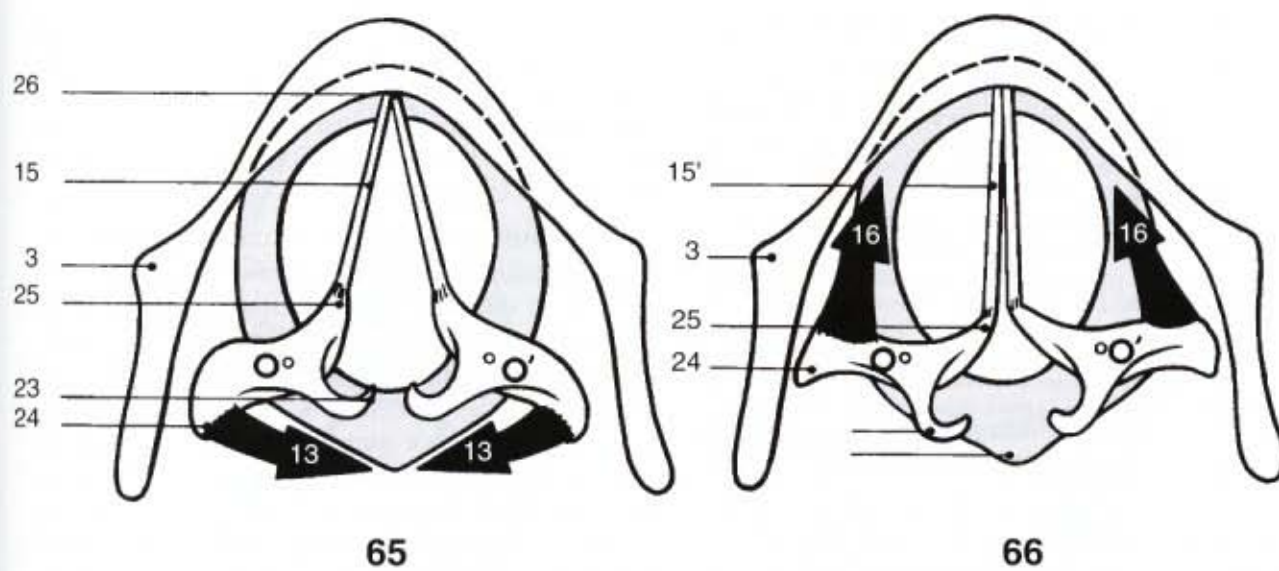
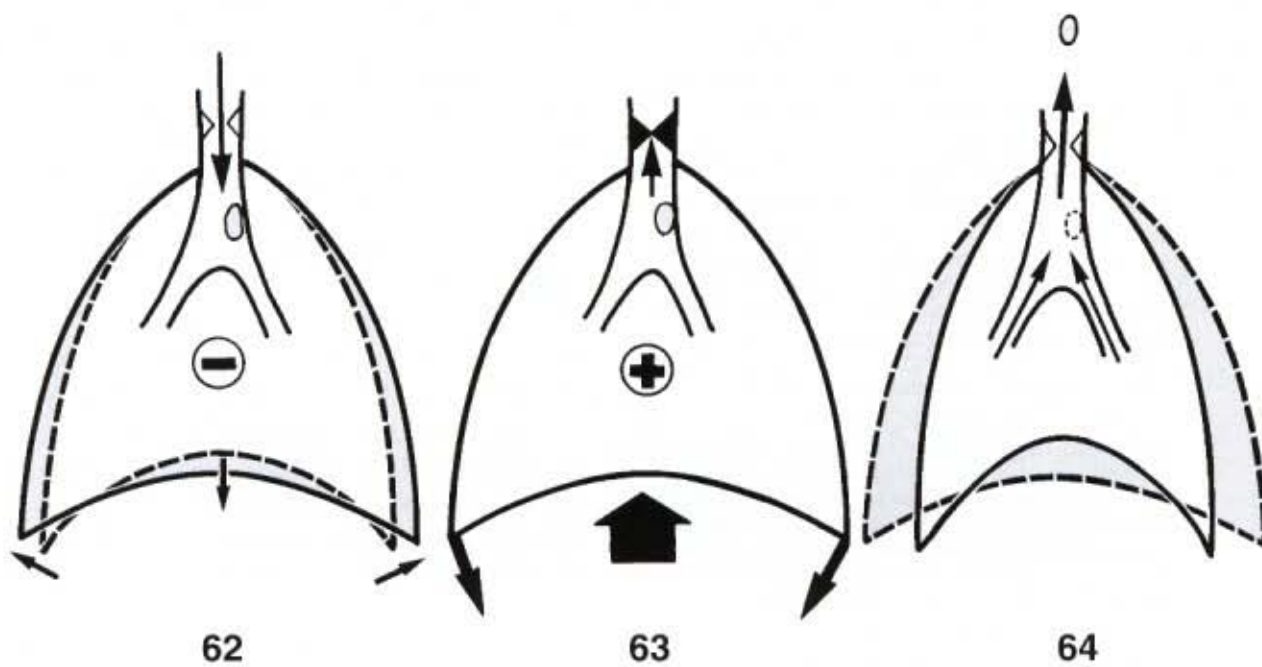
men, en quienes la tensión de los abdominales es dolorosa y, por lo tanto, temida, la tos o no existe o carece de toda eficacia;

- y por otra, el *cierre de la glotis*, lo que supone la integridad del aparato laríngeo y de su inervación nerviosa.

La tos es un **acto reflejo**, desencadenado por zonas sensitivas en la bifurcación entre la tráquea y la pleura, cuya vía centripeta está constituida por los neumogástricos; sus centros son bulbares; sus vías eectoras afectan no sólo a los nervios laríngeos, ramas del neumogástrico, sino también a los nervios intercostales y abdominales. Su mecanismo, extremadamente delicado, puede perturbarse con facilidad.

Ya se vio con anterioridad que el cierre de la glotis era uno de los mecanismos indispensables para la producción de la tos. ¿Cómo se cierra la glotis? Dos vistas esquemáticas superiores (Figs. 65 y 66: los números de las figuras son comunes a las de la página siguiente) van a permitir comprender su mecanismo: el orificio glótico visto desde la faringe tiene la *forma de una hendidura triangular de vértice anterior* (Fig. 65), sus dos bordes están constituidos por las cuerdas vocales inferiores (15), que van desde la cara posterior del cartílago tiroideos (3) a la apófisis anterior o apófisis vocal (25) de los cartílagos aritenoides. Estos cartílagos reposan en el cartílago cricoides (7) (de color gris en la figura) mediante dos articulaciones cuyos ejes pueden considerarse verticales a *O y O'*. Cuando los *músculos cricoaritenoides posteriores se contraen* (13), los cartílagos aritenoides giran sobre su eje *O y O'* y las apófisis vocales (25) se separan, lo que abre la glotis. A la inversa (Fig. 66), cuando los *músculos cricoaritenoides laterales se contraen* (16), los cartílagos aritenoides pivotan en el otro sentido, las apófisis vocales (25) se aproximan a la línea media y las cuerdas vocales (15') contactan entre sí, cerrando el orificio glótico.

(El resto de detalles de estos esquemas se explicarán en la página siguiente).



LOS MÚSCULOS DE LA LARINGE Y LA PROTECCIÓN DE LAS VÍAS AÉREAS DURANTE LA DEGLUCIÓN

El aparato laríngeo interviene en tres funciones esenciales: el cierre de la glotis en el transcurso de los *esfuerzos abdominales* y durante la tos, la *protección de las vías aéreas inferiores durante la deglución* y, por último, en la *fonación*.

Para entender el funcionamiento del aparato laríngeo es necesario hacer una **recapitulación anatómica**. Una vista de 3/4 posterior (Fig. 67) muestra la articulación de las piezas cartilaginosas entre sí:

- el *cartílago cricoides* (6), tiene la forma de un anillo (Fig. 70) cuyo engarce o placa (7), localizado por detrás, soporta a cada lado dos carillas articulares: la *carilla tiroidea* o carilla inferior (22) que se articula con el pequeño cuerno del cartílago tiroideo (5); la *carilla aritenoides* o carilla superior (21) recibe el cartílago aritenoides;
- el *cartílago tiroideo*, cuya cara interna se puede ver (2) y la cresta oblicua (3) que cubre su cara externa, contiene también en la parte superior de su borde posterior los cuernos mayores (4), unidos al hueso hioides por el ligamento tirohioides; este cartílago tiroideo está constituido por dos placas que forman un ángulo diedro de vértice anterior; en la parte inferior de su cara posterior (Fig. 71) se localizan en el punto de inserción anterior (26), las cuerdas vocales inferiores;
- a ambos lados de la placa tiroidea, los *cartílagos aritenoides* tienen una forma casi piramidal con apófisis: una *apófisis superior* también denominada *cartílago corniculado* (25), una *apófisis interna* o *apófisis vocal* (25) en la que se inserta la cuerda vocal inferior (15) y una *apófisis externa* o *apófisis muscular* (24) en la que se inserta el músculo cricoaritenoides posterior (13 y 14). Entre el cartílago corniculado y el borde superior de la placa cricoidea se extiende un ligamento en forma de Y, el ligamento cricocorniculado que, en el punto de unión de las tres ramas de la Y, contiene un pequeño nódulo cartilaginoso, el cartílago interaritenoides (11) que separa el ligamento en una rama inferior (12) y dos ramas superiores (10);
- en la parte superior del ángulo entrante del cartílago tiroideo se fija el pedículo del *cartílago epiglótico* (1), que tiene forma de un pétalo de lirio de concavidad posterior, dirigido hacia arriba. Sus dos bordes externos están unidos al cartílago corniculado mediante dos ligamentos aritenopiglóticos (9). Además, también se pueden apreciar (Fig. 67), el músculo *cricoaritenoides lateral derecho* (16) que une la apófisis muscular del aritenoides a la parte anterior del anillo del cricoides y el músculo *cricotiroideo derecho* (17) que une el borde inferior del cartílago tiroideo al borde anterior del anillo cricoideo.

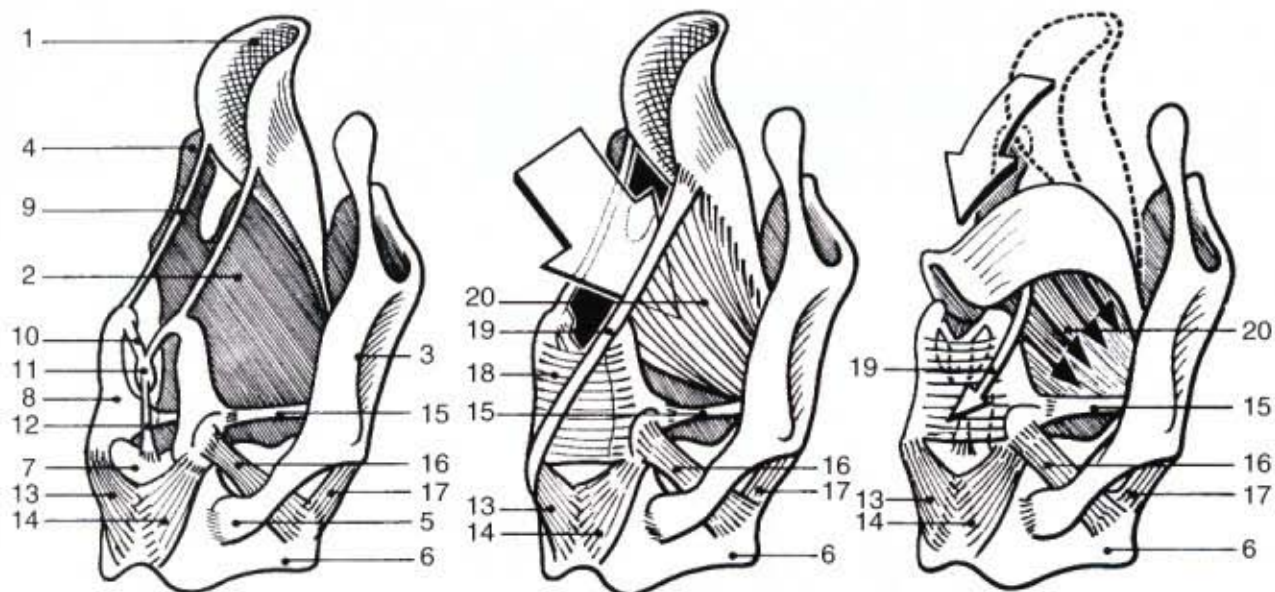
La gran flecha blanca se introduce en el orificio epiglótico (Fig. 68). Está constituido por arriba por el cartílago epiglótico y lateralmente por los ligamentos aritenopiglóticos recubiertos por los *músculos aritenopiglóticos* (19), por abajo por los cartílagos corniculados unidos por los ligamentos cricocorniculados (10), recubiertos por detrás por las fibras transversales del músculo interaritenoides transversal (18). Las paredes laterales de este orificio epiglótico las completan los músculos tiroaritenoides inferiores en su capa externa (20). El orificio epiglótico está representado abierto, como en la respiración normal.

Durante la deglución, la glotis se cierra, pero, simultáneamente, la *epiglotis bascula hacia abajo y hacia atrás* (Fig. 69), atraída hacia los cartílagos corniculados por la tracción de los músculos aritenopiglóticos (19) y de los músculos toroaritenoides inferiores (20). De este modo, los alimentos sólidos y líquidos se deslizan por la cara anterosuperior de la epiglotis, hacia la faringe inferior y la boca esofágica, que se localiza por detrás del cartílago cricoides.

Los dos últimos esquemas explican el *cierre de la glotis* (Fig. 70) y la puesta en tensión de las cuerdas vocales (Fig. 71) durante la *fonación*.

Una vista anteroizquierda (Fig. 70) del cartílago cricoides (6) y del cartílago aritenoides (8) lo muestra en equilibrio sobre la placa cricoidea (7), a la que se articula por la carilla aritenoides (21). El eje de esta *articulación cricoaritenoides* tipo artrodia es oblicuo: de abajo arriba, de dentro afuera y de atrás adelante. Cuando el músculo interaritenoides (18) y el músculo cricoaritenoides posterior (14) se contraen, el aritenoides gira hacia fuera (en su posición color gris) y su apófisis vocal (25) se aleja de la línea media. La cuerda vocal (15) forma con su opuesta un orificio triangular de vértice anterior. De un modo inverso, la contracción del cricoaritenoides lateral (16) hace girar el aritenoides hacia dentro, lo que aproxima tanto la apófisis vocal como la cuerda vocal (15') a la línea media.

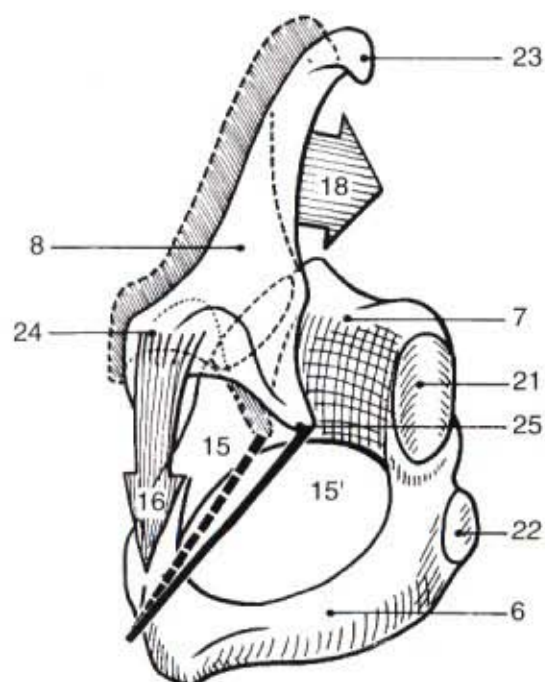
Durante la fonación, las cuerdas vocales se ven sometidas a tensiones variables. El mecanismo es fácil de entender (Fig. 71): suponiendo que el aritenoides esté fijo, se puede constatar que durante la contracción del músculo cricotiroideo (17), el cartílago tiroideo gira en torno a la articulación (5) de su cuerno menor con el cricoides, y su parte anterior desciende. La inserción anterior de la cuerda vocal pasa de la posición 26 a la posición 26', lo cual determina un alargamiento de la cuerda vocal, que *se tensa* debido a la contracción del cricotiroideo (17'). Este músculo innervado por el nervio laríngeo inferior, o nervio recurrente, es pues, el músculo más importante de la fonación, puesto que regula la tensión de las cuerdas vocales y, en consecuencia, la altura del sonido.



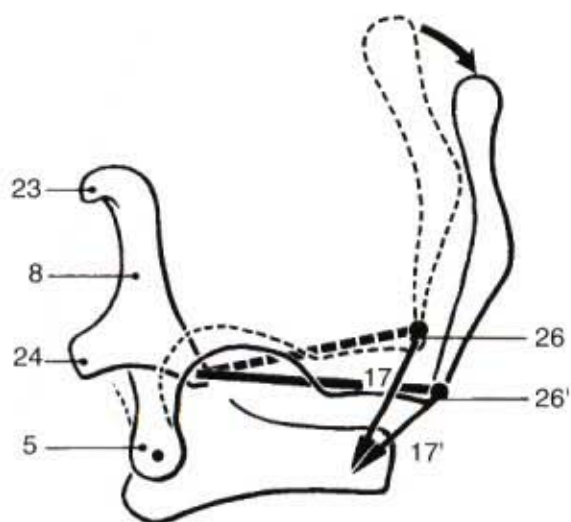
67

68

69



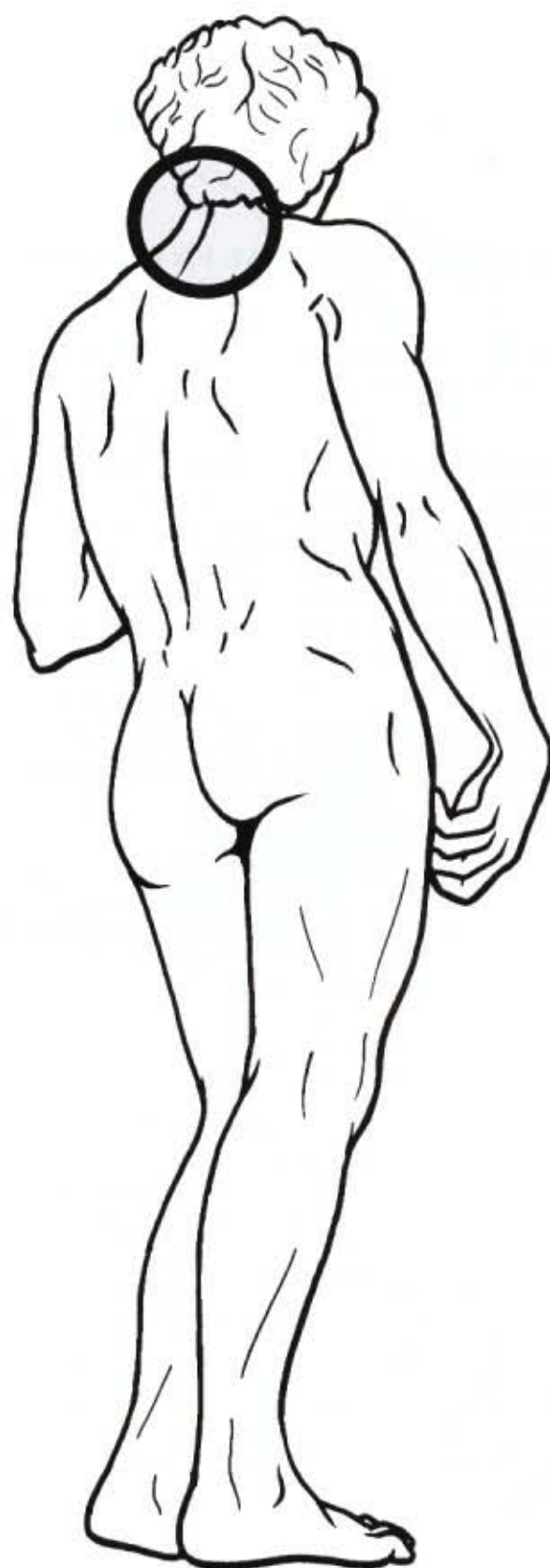
70



71

CAPÍTULO V

EL RAQUIS CERVICAL



EL RAQUIS CERVICAL EN CONJUNTO

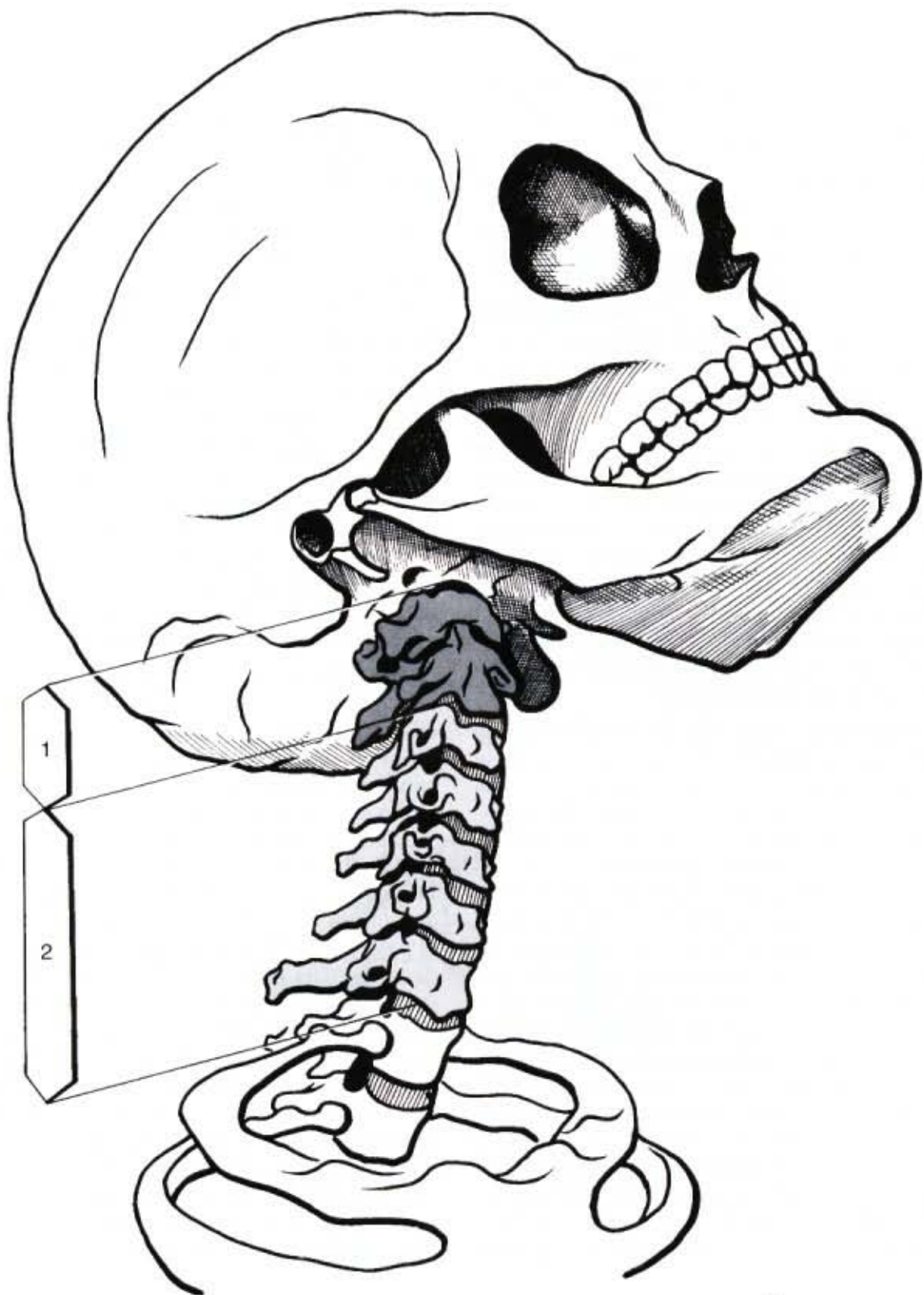
Considerado en conjunto (Fig. 1), el raquis cervical está constituido por *dos partes anatómica y funcionalmente distintas*:

- **el raquis cervical superior** (1), también denominado raquis suboccipital, que contiene la primera vértebra cervical o *atlas*, y la segunda vértebra cervical o *axis*. Estas piezas esqueléticas están unidas entre sí además de con el occipital por una compleja cadena articular con tres ejes y tres grados de libertad;
- **el raquis cervical inferior** (2), que se extiende desde la meseta inferior del axis

hasta la meseta superior de la primera vértebra dorsal.

Las vértebras cervicales son todas del mismo tipo, excepto el atlas y el axis, que difieren entre sí y de las demás vértebras cervicales. Las articulaciones del raquis cervical inferior poseen dos tipos de movimientos: por una parte, movimientos de *flexoextensión*; y por otra, movimientos mixtos de *inclinación-rotación*.

Funcionalmente estos dos segmentos del raquis cervical se completan entre sí para realizar movimientos puros de rotación, de inclinación o de flexoextensión de la cabeza.



CONSTITUCIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS TRES PRIMERAS VÉRTEBRAS CERVICALES

En estos esquemas se han representado, una debajo de la otra, en el mismo eje vertical: el atlas (Fig. 2), el axis (Fig. 3) y la tercera vértebra cervical (Fig. 4), muy esquematizadas.

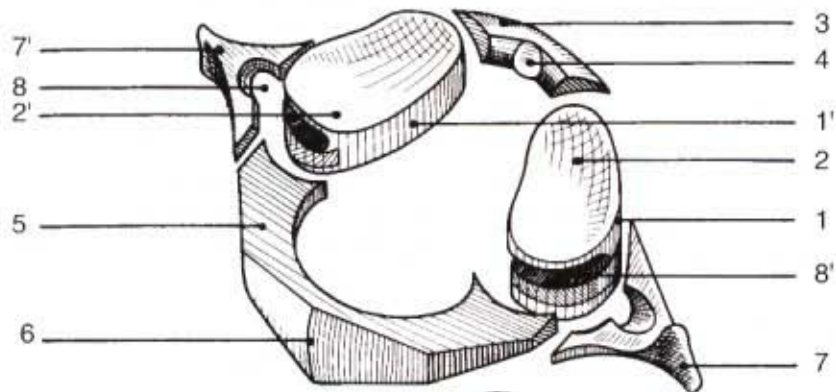
El **atlas** (Fig. 2), anillo más ancho transversal que sagitalmente, contiene *dos masas laterales* (1 y 1') ovaladas, de eje mayor oblicuo hacia delante y hacia dentro, con una *carilla articular superior* (2 y 2') orientada hacia arriba y hacia dentro, cóncava en los dos sentidos y articulada con los cóndilos del occipital, y una *carilla articular inferior* que se dirige hacia abajo y hacia dentro, convexa de delante atrás y articulada con la carilla superior del axis (12 y 12'). El *arco anterior* del atlas (3) tiene por cara posterior una *carilla* cartilaginosa ovalada (4) que se articula con la apófisis odontoides del axis (11). El *arco posterior* (5) en principio plano de arriba abajo, se ensancha por detrás en la línea media, en la que no existe apófisis espinosa, sino una simple cresta vertical (6). Las *apófisis transversas* (7 y 7') están agujereadas para dar paso a la *arteria vertebral* (8), que excava una *profunda corredera* (8') por detrás de las masas laterales.

El **axis** (Fig. 3) presenta un *cuerpo vertebral* (9) cuya cara superior (10) recibe en su centro la *apófisis odontoides* (11), también denominada diente del axis, y que sirve de pivote a la articulación atlóidoaxoidea; esta cara superior también da soporte a dos *carillas articulares* (12 y 12') a modo de hombreras, que sobresalen lateralmente por fuera del cuerpo vertebral y están orientadas hacia arriba y hacia fuera; son convexas de delante atrás y planas transversalmente. El *arco posterior* (16) está constituido por *dos estrechas láminas* (15 y 15'), oblicuas hacia atrás y hacia dentro. La *apófisis espinosa* (18) comporta dos tubérculos, como el resto de las espinosas cervicales. Por debajo del pedículo (16) se fijan las *apófisis articulares inferiores* (17 y 17') con unas carillas cartilaginosas orientadas hacia abajo y hacia delante y que se articulan con las carillas superiores de la tercera cervical (24 y 24'). Las *apófisis transversas* (13 y 13') presen-

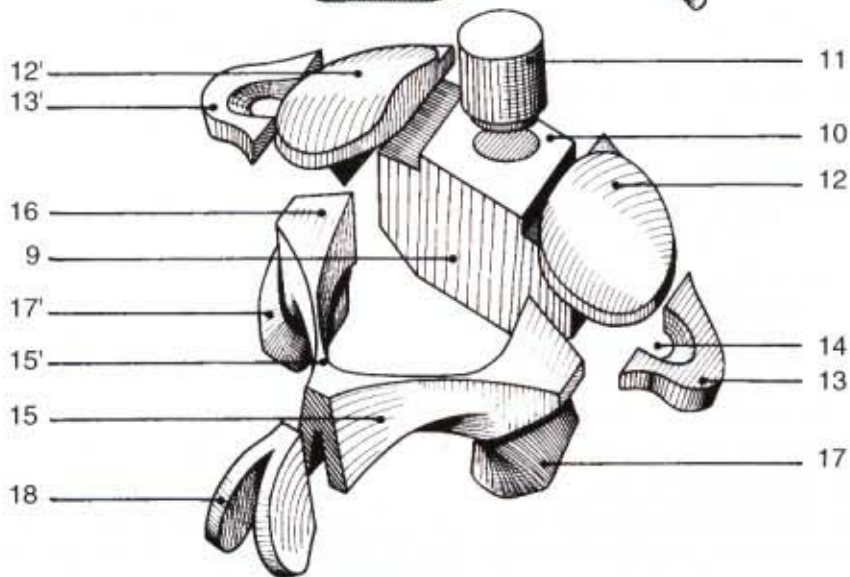
tan un orificio vertical (14) por el que asciende la *arteria vertebral*.

La **tercera vértebra cervical** (Fig. 4) es parecida a las cuatro últimas vértebras cervicales; por lo tanto, se trata de una *vértebra cervical tipo*: posee un *cuerpo vertebral* (19), paralelepípedo rectangular alargado transversalmente; su cara superior comporta una *meseta vertebral superior* (20) limitada lateralmente por las *apófisis unciformes* (22 y 22'), cuya carilla está orientada hacia arriba y hacia dentro y se articula con las superficies situadas a ambos lados de la meseta inferior del axis. El borde anterior de la meseta vertebral superior también posee una *superficie* (21) orientada hacia arriba y hacia delante, que se articula con la cara posterior de un pico que prolonga el borde anterior de la vértebra suprayacente, en este caso el axis. La *meseta vertebral inferior*, prolongada hacia delante y hacia abajo por un pico prominente, está bordeada a cada lado por dos carillas de la articulación uncovertebral, orientadas hacia abajo y hacia fuera.

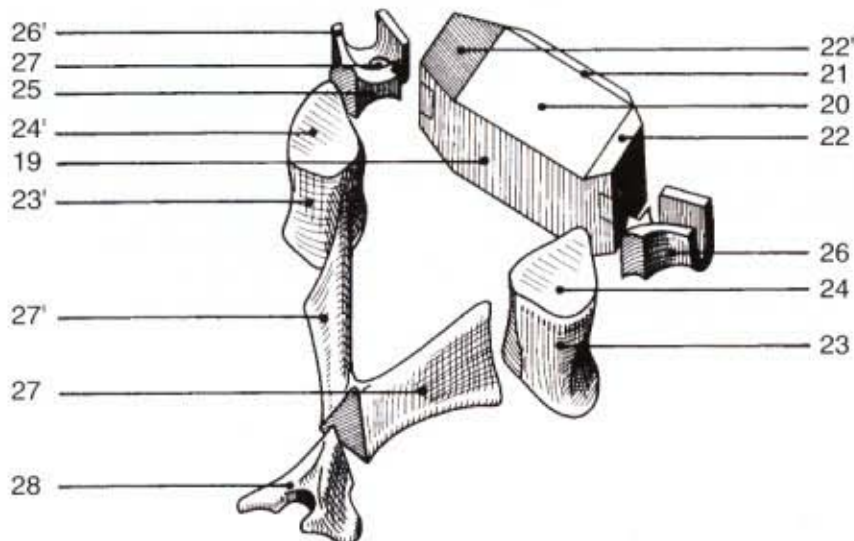
El arco posterior lo forman: las *apófisis articulares* (23 y 23'), cada una de las cuales contiene una *carilla superior* (24 y 24') que se dirigen hacia arriba y hacia atrás y se articulan con la carilla inferior de la vértebra suprayacente (en este caso la carilla inferior del axis: 17) y una *carilla inferior*, invisible en la figura, orientada hacia abajo y hacia delante y que se articula con la carilla superior de C₄. Estas apófisis articulares están unidas al cuerpo vertebral por el *pedículo* (25), el cual soporta en parte la base de la *apófisis transversa* (26 y 26') que se fija también en la cara lateral del cuerpo vertebral; tiene forma de corredera de concavidad superior, cuyo fondo, próximo al cuerpo vertebral, presenta un *orificio* por el que asciende la *arteria vertebral*; por último, se acaba en *dos tubérculos*, uno anterior y otro posterior. Las *dos láminas vertebrales* (27 y 27'), cuyo plano es oblicuo hacia abajo y hacia fuera, se unen en la línea media para dar origen a la *apófisis espinosa* (28), que contiene *dos tubérculos*.



2



3



4

LAS ARTICULACIONES ATLOIDOAXOIDEAS

La unión mecánica entre el atlas y el axis está asegurada por *tres articulaciones mecánicamente conectadas*:

- una articulación axial, la **atloidoodontoi-dea**, a la que la apófisis odontoides sirve de pivote y que se analizará en la página 180;
- dos articulaciones laterales y simétricas, las **atloidoaxoideas**, que establecen el nexo entre la cara inferior de las masas laterales del atlas y las superficies articulares superiores del axis.

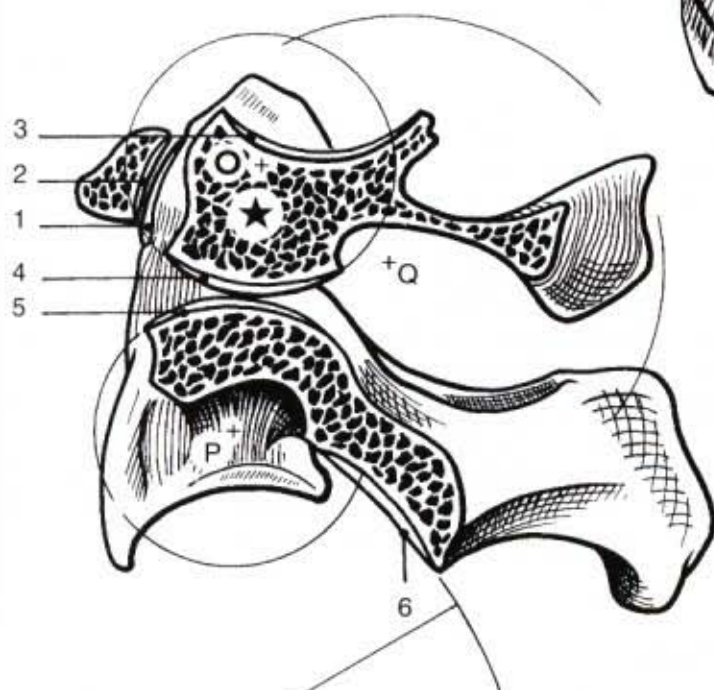
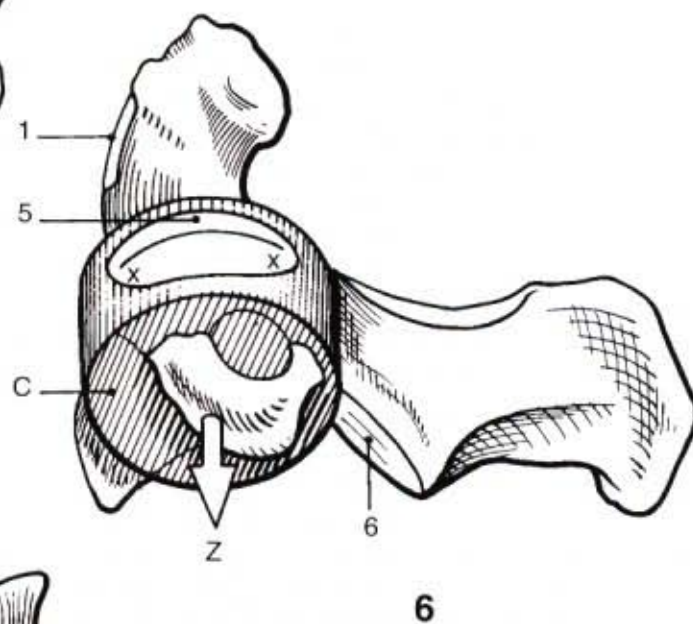
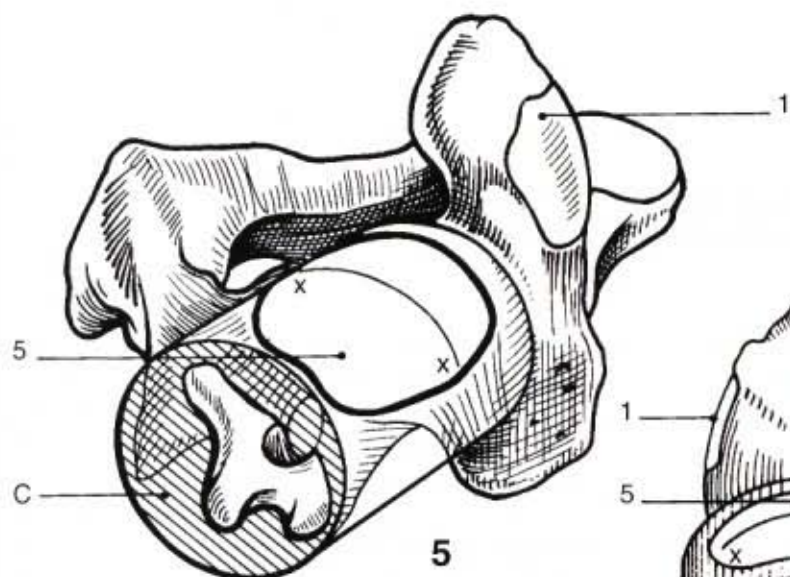
En una vista en perspectiva del axis (Fig. 5) y en una vista de perfil (Fig. 6), se aprecian tanto la forma como la orientación de esta carilla articular superior (5) *ovalada* de eje mayor antero-posterior, *convexa de delante* atrás siguiendo una curva XX', pero *rectilínea en sentido transversal*, de modo que se la puede considerar como tallada en la superficie de un cilindro (C) cuyo eje (Z) se dirigiría hacia fuera y ligeramente hacia abajo, de tal manera que la carilla esté orientada hacia abajo y ligeramente hacia fuera. El cilindro, en el que están talladas las dos carillas, representado transparente, engloba la parte lateral del axis; cuyo extremo distal de la apófisis transversa sobrepasa.

También se observa en estas dos figuras, la forma tan peculiar, de la apófisis odontoides, casi cilíndrica, aunque *encorvada hacia atrás*, y que contiene: por delante, una *carilla articular* (1) *en forma de escudo, ligeramente convexa en ambos sentidos y que se articula con la carilla del arco anterior del atlas*; por detrás, una *corredera* cóncava de arriba abajo y convexa transversalmente

con una cubierta cartilaginosa, que se articula con el *ligamento transversal*.

Un corte parasagital en las masas laterales del atlas (Fig. 7) muestra las curvas y orientaciones de las distintas superficies articulares:

- curva de la *articulación atloidoodontoi-dea*, con su carilla odontoidea (1) y la carilla del arco anterior del atlas (2) (éste se ha seccionado por el plano sagital medio), situada en un círculo de centro Q por detrás de la odontoides;
- la *carilla superior de las masas laterales del atlas* (3) es cóncava de delante atrás y se dirige directamente hacia arriba. Se articula con los cóndilos del occipital;
- la *carilla inferior de las masas laterales del atlas* (4) es convexa de delante atrás en un círculo de centro O y de radio de curva relativamente corto en relación al del círculo Q;
- la *carilla superior del axis* (5) es convexa de delante atrás en una curva de centro P con un radio casi igual al del círculo O. Por lo tanto, las dos superficies 4 y 5 reposan como dos ruedas, la una sobre la otra; la estrella representa el centro del movimiento de flexoextensión del atlas sobre el axis (véase pág. 178);
- por último, la *carilla inferior del axis* (6) está orientada hacia abajo y hacia delante; aunque es casi plana, presenta, sin embargo, una ligera curva de radio mayor cuyo centro R está situado por debajo y por delante. Se articula con la carilla superior de las apófisis articulares de C₁.



7

LA FLEXOEXTENSIÓN EN LAS ARTICULACIONES ATLOIDOAXOIDEAS Y ATLOIDOODONTOIDEAS

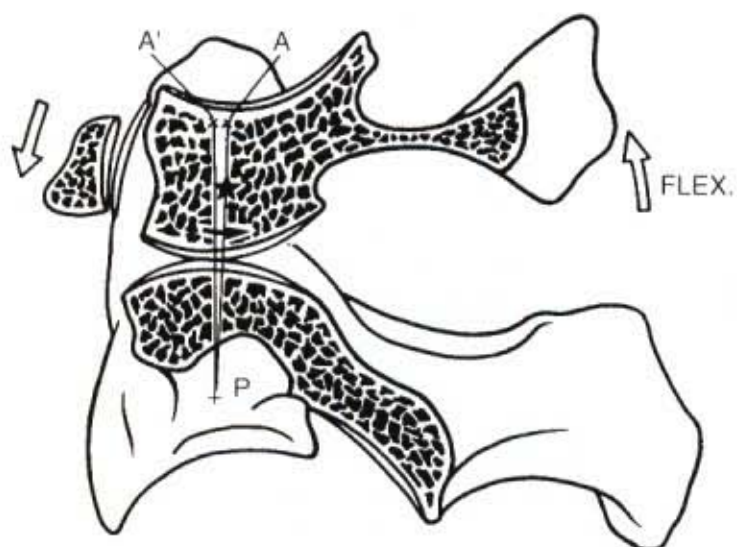
Suponiendo que, *durante la flexión* (Fig. 8), las masas laterales del atlas rueden sin deslizarse sobre las superficies superiores del axis, el punto de contacto entre estas dos superficies convexas se desplazaría hacia delante y la línea que une el centro de la curva P al punto de contacto de estas dos superficies se desplazaría de PA a PA'; simultáneamente, se podría apreciar un bostezo hacia arriba en la articulación entre el arco anterior del atlas y la carilla anterior de la odontoides.

Del mismo modo, *durante la extensión* (Fig. 9), si las masas laterales del atlas rodasen sin deslizarse sobre las superficies superiores del axis, el punto de contacto entre estas dos superficies convexas debería desplazarse hacia atrás y la línea que une el centro de la curva P al punto de contacto debería desplazarse de PB a PB'; al mismo tiempo, aparecería un bostezo inferior en la articulación entre el arco anterior del atlas y la superficie anterior de la odontoides.

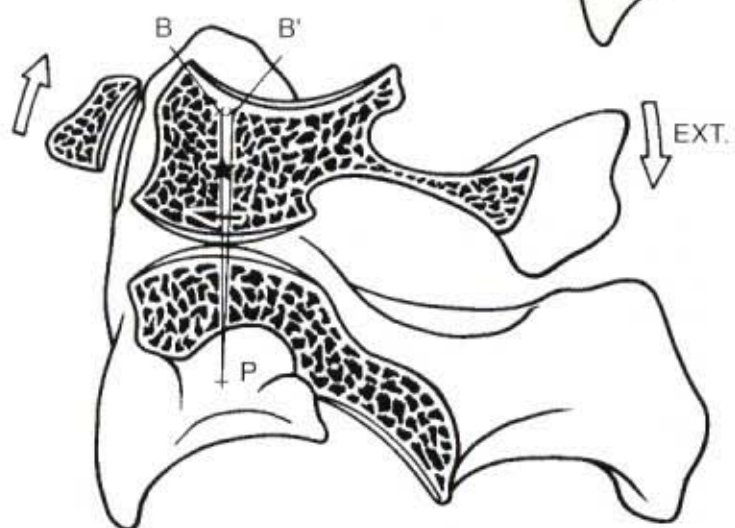
En realidad, el examen atento de las radiografías de perfil muestra que *este bostezo no existe* (Fig. 10): esto se debe a la presencia del **ligamento transverso** (T) que mantiene el arco anterior del atlas estrechamente unido a la odontoides (véase pág. 180). El centro real del movimiento de flexo-extensión del atlas sobre el axis no es pues (Fig. 7)

ni el punto P, centro de la curva de la superficie superior del axis, ni el punto Q, centro de la curva de la carilla anterior de la odontoides, sino un tercer punto representado aquí por una estrella y que se proyecta casi en *el centro de la apófisis odontoides vista de perfil*. En consecuencia, durante el movimiento de flexoextensión, la carilla inferior de las masas laterales del atlas rueda y se desliza al mismo tiempo sobre la superficie superior del axis, exactamente como los cóndilos femorales ruedan y se deslizan simultáneamente sobre las cavidades glenoideas de la tibia.

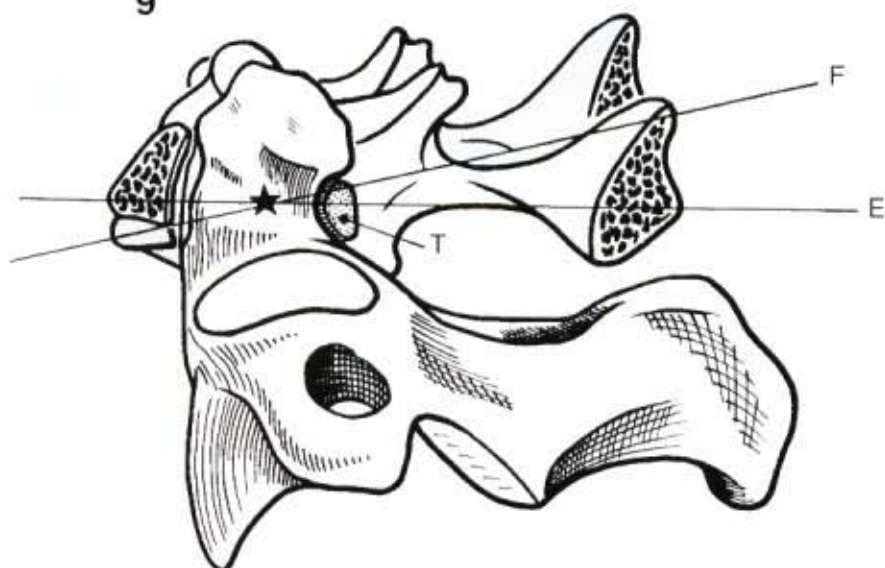
Sin embargo, es preciso recalcar la existencia de un *elemento deformable*, en este caso el ligamento transversal, que constituye la parte posterior de la articulación atloidoodontoidea, y que permite cierta flexibilidad en el funcionamiento de esta articulación: este ligamento, incrustado en la correa posterior de la odontoides puede *incurvarse* bien hacia arriba durante la extensión, bien hacia abajo durante la flexión, como si se tratara de la cuerda de un arco. *También se puede entender por qué la cavidad receptora de la odontoides no es totalmente ósea*. Asimismo, se pueden aducir razones similares en el caso del ligamento anular de la articulación radiocubital superior, que también es una articulación tipo trocoide (véase tomo I).



8



9



10

ROTACIÓN EN LAS ARTICULACIONES ATLOIDOAXOIDEAS Y ATLOIDOODONTOIDEAS

Se acaba de exponer la articulación atloidoaxoidea en un corte de perfil, una vista superior con el atlas en conjunto (Fig. 11) y en primer plano (Fig. 12) permite entender su estructura y funcionamiento durante la rotación.

La articulación atloidoodontoidea es una *trocoide* con dos superficies cilíndricas encajadas la una sobre la otra:

- una superficie *cilíndrica maciza*, la apófisis odontoides (1), cuya forma no es totalmente cilíndrica, de modo que se puede adaptar a un segundo grado de libertad, a los movimientos de flexoextensión. Esta apófisis odontoides presenta en sus caras anterior (4) y posterior (11) sendas carillas articulares;
- la cavidad que recibe este cilindro macizo es un *cilindro hueco* que rodea totalmente la apófisis odontoides y que está formado por delante por el *arco anterior del atlas* (2), y, a los lados, por las *masas laterales del atlas* que comportan en su cara interna un tubérculo muy pronunciado (7 y 7') en el que se fija un potente ligamento que se extiende transversalmente por detrás de la odontoides: el *ligamento transverso* (6).

Por lo tanto, la odontoides está incrustada en el interior de un anillo osteoligamentoso, con el que contacta a través de dos articulaciones diferentes:

- por delante, una articulación de tipo *sinovial* (5) con una cavidad articular y una *cápsula sinovial con dos pliegues*, uno a la izquierda (8) y otro a la derecha (9). Pone en contacto la *carilla anterior de la odontoides* (4) y la *carilla posterior del arco anterior del atlas* (3);
- por detrás, una articulación *carente de cápsula*, situada en el interior de un tejido celuloadiposo (10) que llena el espacio entre el anillo osteoligamentoso y la odontoides. Pone en contacto *dos superficies fibrocartilaginosas*, una en la cara posterior de la odontoides (11) y la otra

en la cara anterior del ligamento transverso (12).

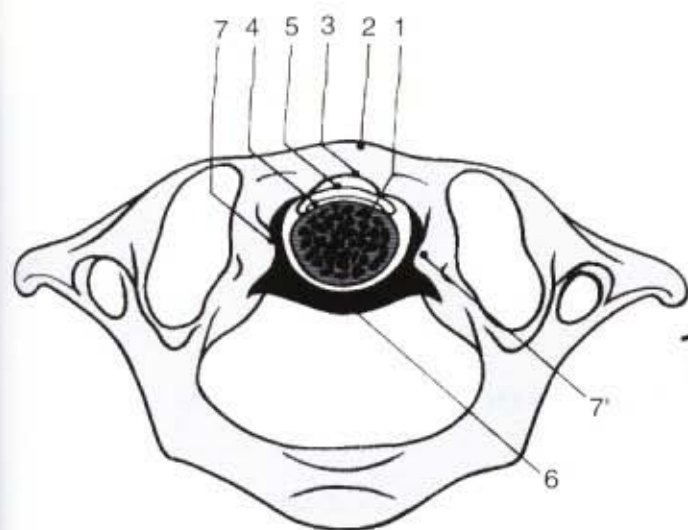
Durante el **movimiento de rotación**, hacia la izquierda por ejemplo, (Fig. 12), la odontoides (1) permanece fija y el anillo osteoligamentoso, formado por el atlas y el ligamento transverso gira en sentido inverso a las agujas de un reloj alrededor de un centro que corresponde al eje de la odontoides (señalado en la figura con una cruz blanca). la cápsula articular se distiende a la izquierda (8) y se tensa a la derecha (9).

Simultáneamente, existe un *desplazamiento en las dos articulaciones atloidoaxoideas* derecha e izquierda, mecánicamente unidas: en la rotación de la izquierda hacia la derecha (Fig. 13) la masa lateral izquierda del atlas avanza, mientras que la masa lateral derecha retrocede; durante la rotación de la derecha hacia la izquierda (Fig. 14), sucede a la inversa.

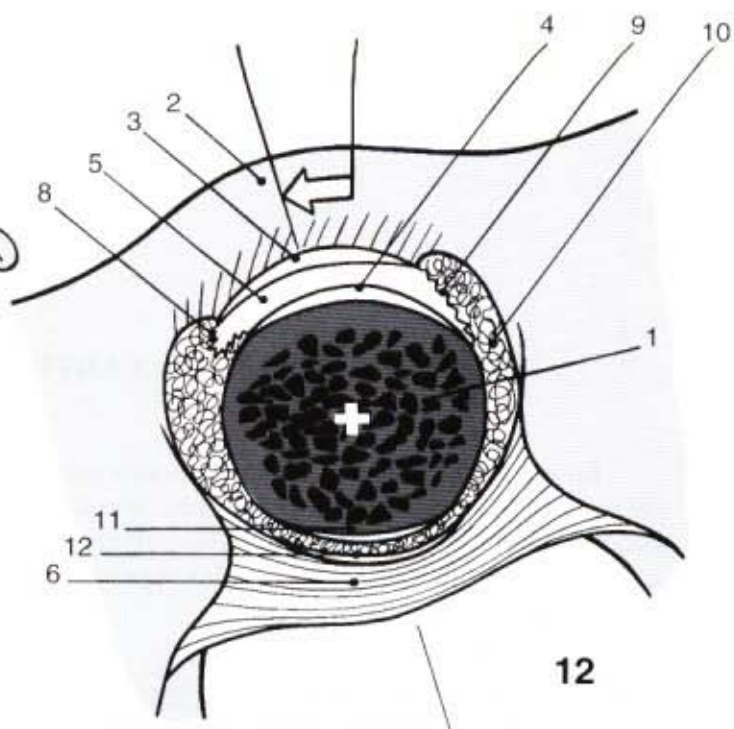
Pero como las superficies superiores del axis son convexas de delante atrás (Fig. 16), el trayecto descrito por las masas laterales del atlas no es rectilíneo en un plano horizontal, sino *curvilíneo de convexidad superior*: cuando el atlas gira en torno al eje vertical W, sus masas laterales describen el trayecto XX' o YY'.

Si se representa únicamente el círculo que contiene la curva de la carilla inferior de las masas laterales del atlas (Fig. 15), se puede constatar que, en su posición media correspondiente a la rotación neutra, el círculo de centro O ocupa su situación más elevada en la superficie superior del axis. Cuando se desplaza hacia adelante, este círculo "desciende" por la vertiente anterior de la superficie superior del axis de 2 a 3 mm, mientras que su centro sólo descende la mitad ($e/2$); durante el desplazamiento hacia atrás se produce el mismo fenómeno.

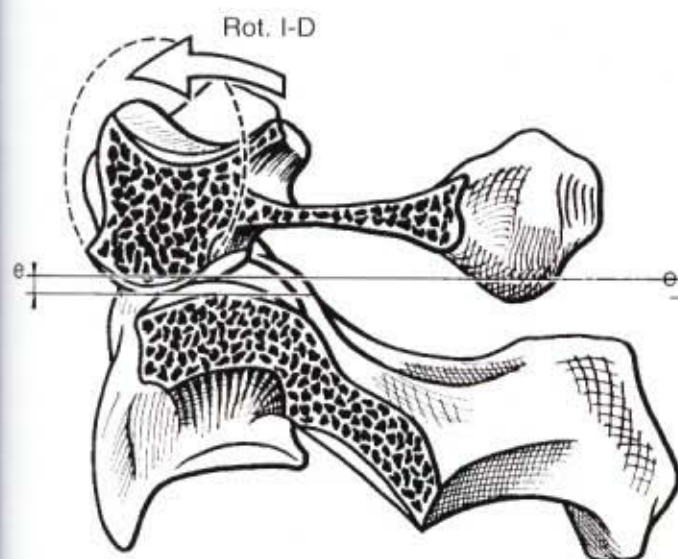
Por lo tanto, durante su rotación sobre el axis, el atlas se desplaza verticalmente hacia abajo de 2 a 3 mm, de modo que *su movimiento es helicoidal*; ahora bien, por una parte, *el paso de esta hélice es muy corto*, y, por otra, existe una hélice en la rotación hacia la derecha y otra hélice de paso inverso en la rotación hacia la izquierda.



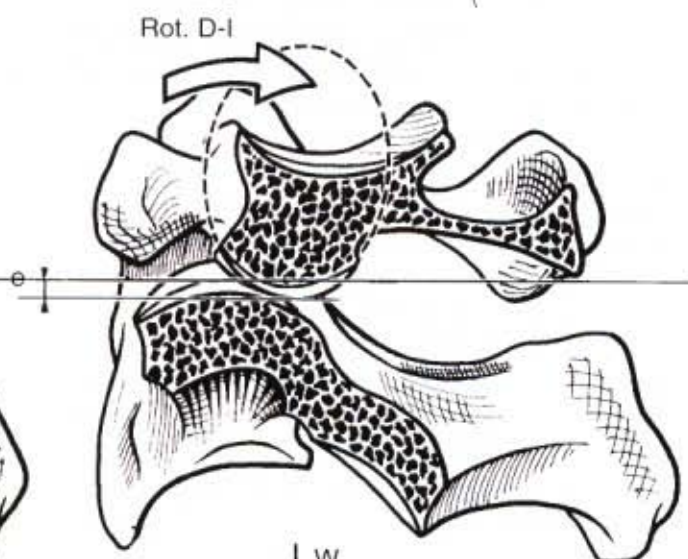
11



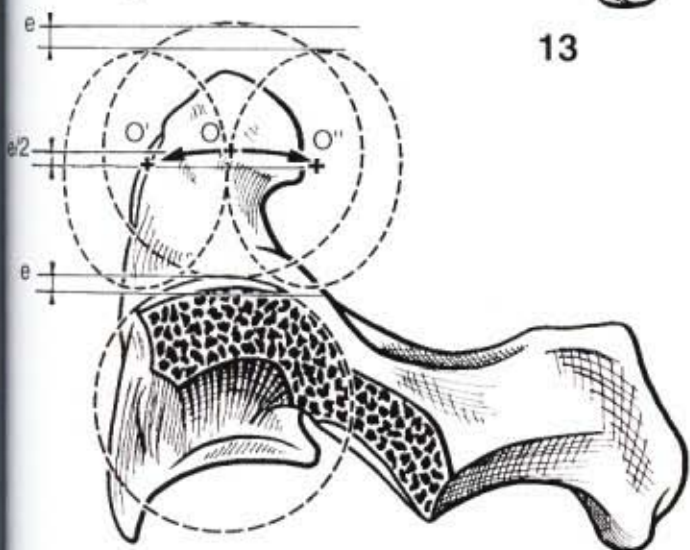
12



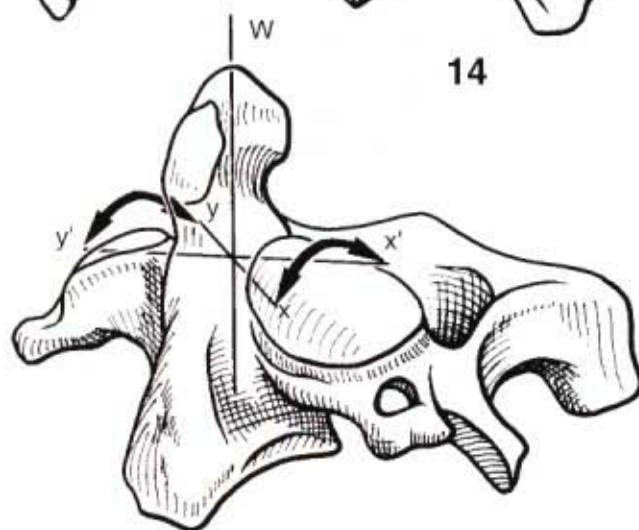
13



14



15



16

LAS SUPERFICIES DE LA ARTICULACIÓN OCCIPITOATLOIDEA

En realidad, existen *dos articulaciones occipitoatloideas*, mecánicamente unidas, pares y simétricas, que relacionan las carillas superiores de las masas laterales del atlas con las superficies de los cóndilos occipitales.

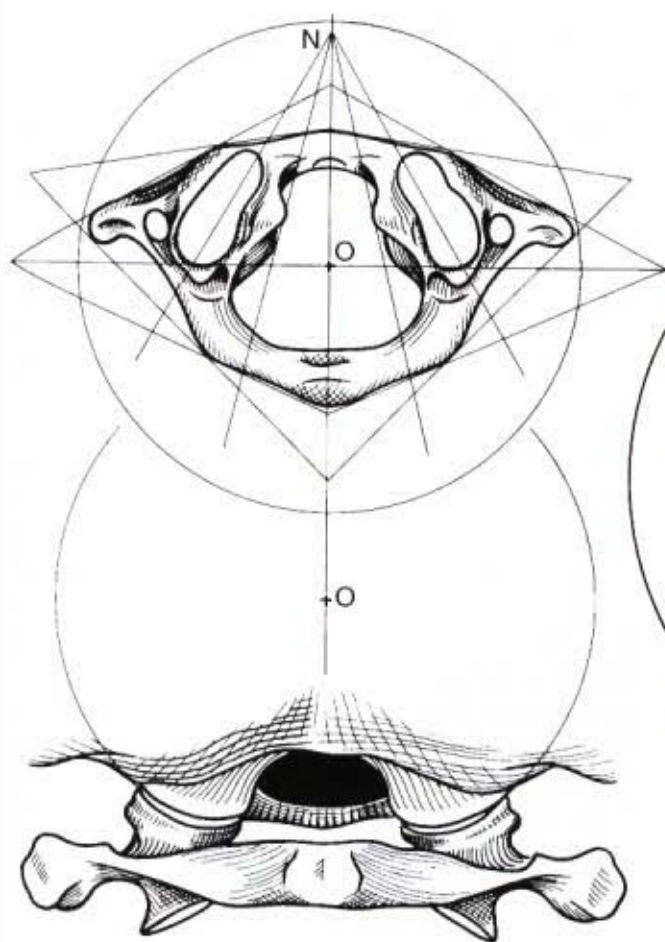
En una vista superior del atlas (Fig. 17), las *carillas atloideas* son ovaladas de eje mayor oblicuo hacia delante y hacia dentro, que convergen en un punto N, localizado en la línea media, algo por delante del arco anterior del atlas. A veces, están retraídas en su parte media e incluso, pueden estar cada una separadas en dos carillas distintas. Cubiertas de cartílagos, son cóncavas en ambos sentidos y la curva es casi idéntica tanto en un sentido como en otro. Por lo tanto, se puede considerar que están *comprendidas en la superficie de una esfera* (Fig. 19) cuyo centro O se situaría por encima del plano de las superficies articulares y se proyectaría en la intersección del eje de simetría y de la línea que une el borde posterior de las dos carillas articulares. Por otra parte, el punto Q representa el centro de la curva de las citadas carillas articulares en el plano secante

horizontal; el punto P es el centro de la curva de las mismas en el plano secante vertical; la figura muestra entonces la esfera, supuestamente transparente, apoyándose exactamente sobre las superficies articulares superiores de las masas laterales del atlas.

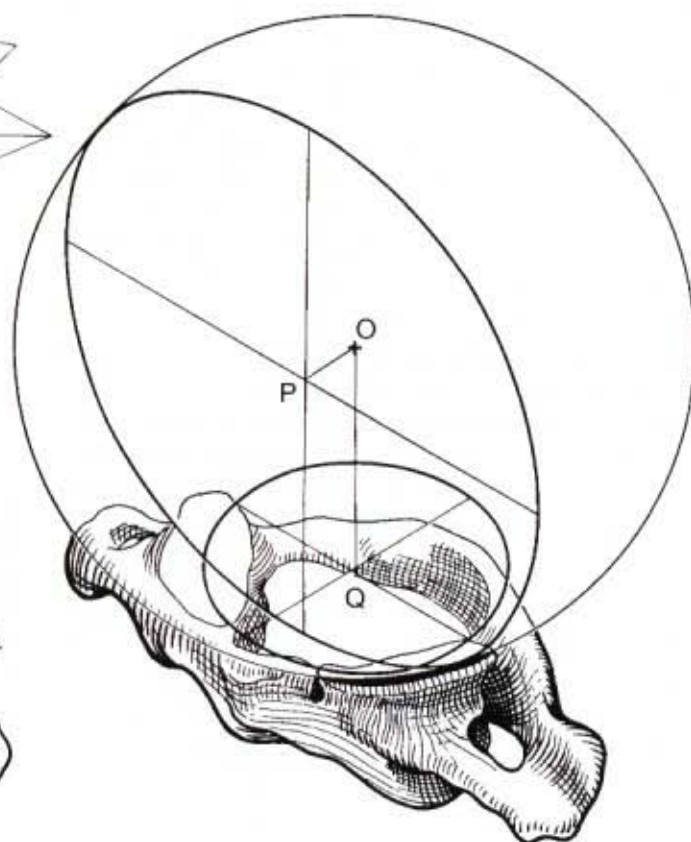
Una vista posterior de las articulaciones occipitoatloideas (Fig. 18), confirma que la curva de las superficies cóndileas occipitales está situada en la misma superficie esférica cuyo centro O se halla en el interior del cráneo, por encima del agujero occipital. La articulación occipitoatloidea puede entonces considerarse como *una enartrosis*, es decir, como una articulación de superficie esférica (Fig. 19) con tres ejes y, por lo tanto, con *tres grados de libertad*:

- **rotación axial** en torno a un *eje vertical* QO;
- **flexoextensión** en torno a un *eje transversal* que pasa por el centro O;
- **inclinación lateral** en torno a un *eje anteroposterior* PO.

17



18



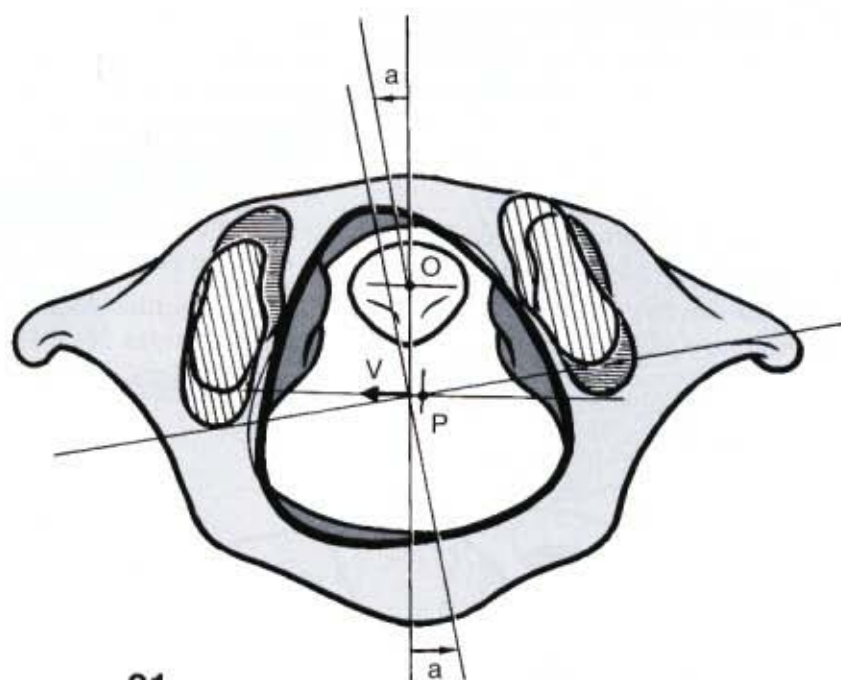
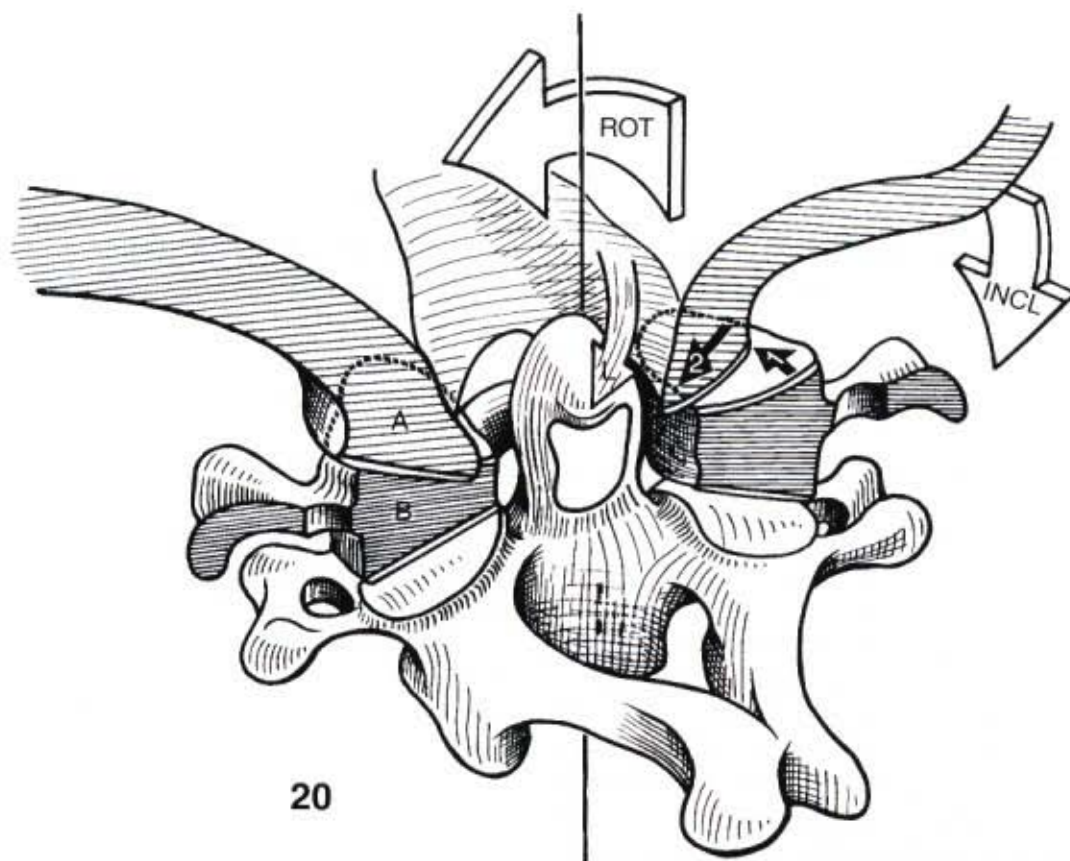
19

LA ROTACIÓN EN LAS ARTICULACIONES OCCIPITOATLOIDEAS

Cuando el occipital gira sobre el atlas (Fig. 20), participa en un movimiento general de rotación del atlas sobre el axis, que se efectúa en torno al eje vertical que pasa por el centro de la odontoides. Sin embargo, esta rotación no es un fenómeno sencillo, ya que hace intervenir la tensión de los ligamentos, y en particular, la *tensión del ligamento occipitoodontoideo lateral (L)*: en este esquema en el que se han seccionado el occipital (A) y las masas laterales del atlas (B) mediante un corte verticofrontal, se ha representado una rotación hacia la izquierda de occipital sobre el atlas. Este movimiento se traduce por el deslizamiento hacia adelante del cóndilo derecho del occipital sobre la masa lateral derecha del atlas (flecha 1), pero, simultáneamente, el ligamento occipitoodontoideo lateral (L) se enrolla alrededor de la odontoides y se tensa. *Esta tensión va a desplazar hacia la izquierda al cóndilo derecho del occipital* (flecha 2).

Por lo tanto, la rotación hacia la izquierda se acompaña, al mismo tiempo, de un desplazamiento hacia la izquierda de 2 a 3 mm y de una inclinación del occipital hacia la derecha. Por consiguiente, no existe una rotación pura, sino una *rotación asociada a una traslación y a una inclinación*.

Ahora bien, se sabe a través de la cinemática que una rotación asociada y una traslación equivale a otra rotación con el mismo ángulo, pero con distinto centro y fácil de construir. En una vista superior (Fig. 21) se ha representado el atlas de color gris claro, el axis, en gris oscuro, se ve a través de agujero occipital y, sobre la carillas laterales del atlas (rayas horizontales) las carillas de los cóndilos occipitales supuestamente transparentes (rayas oblicuas). Durante los movimientos de rotación hacia la izquierda, en un ángulo α en torno al centro de la odontoides O, se puede observar un desplazamiento lateral hacia la izquierda del occipital de 2 a 3 mm, siguiendo el vector V. Resulta entonces fácil de construir el **centro real de la rotación** en un punto P, situado ligeramente a la derecha del plano de simetría y en la línea que une el borde posterior de las superficies de las masas laterales del atlas. Por lo tanto, el centro real de la rotación occipitoatloidea se desplaza entre dos puntos extremos, el punto P en el caso de la rotación hacia la izquierda y su simétrico P' en el caso de la rotación hacia la derecha. De paso, cabe recalcar el interés de este dispositivo que hace retroceder hacia el centro del agujero occipital (trazo grueso) el centro real de la rotación, de tal modo, que el eje real del movimiento de rotación corresponde al eje anatómico del bulbo raquídeo.



LA INCLINACIÓN LATERAL Y LA FLEXOEXTENSIÓN EN LA ARTICULACIÓN OCCIPITOATLOIDEA

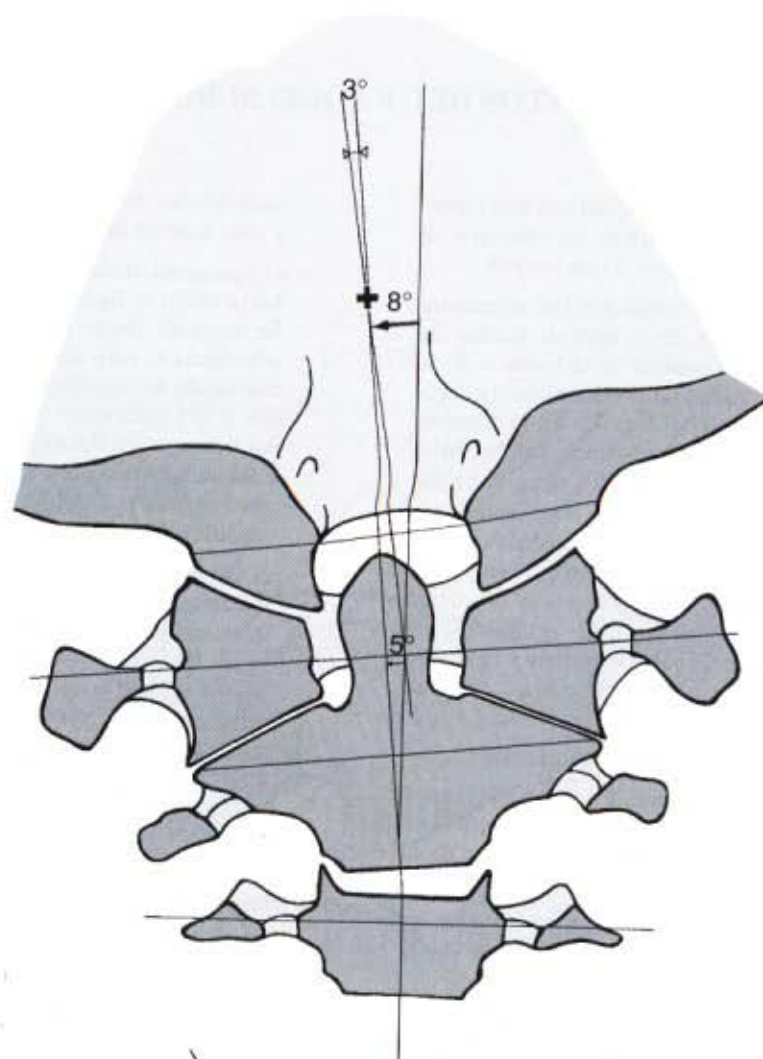
Durante la **inclinación lateral** (Fig. 22), un corte verticofrontal del occipital, del atlas, del axis y de la tercera cervical muestra que no existe *ningún desplazamiento en la articulación atloidoaxoidea*. La inclinación se efectúa únicamente entre el axis y la tercera vértebra cervical, por una parte, y, por otra, entre *el occipital y el atlas*. Entre estos dos últimos existe *poca amplitud* que se traduce por un deslizamiento de los cóndilos occipitales hacia la derecha en la inclinación hacia la izquierda y viceversa. En este caso se ha representado una inclinación hacia la izquierda que muestra como el cóndilo occipital izquierdo se aproxima a la odontoides pero sin contactar con ella, ya que el movimiento está limitado por la tensión de la cápsula de las occipitoatloideas y, sobre todo, por el ligamento occipitoodontoideo lateral derecho. La inclinación total entre el occipital y la tercera cervical es de 8°, que se reparten en 5° entre el axis y C₃, y 3° entre el occipital y el atlas.

Los movimientos de **flexoextensión del occipital sobre el atlas** se llevan a cabo mediante el deslizamiento de los cóndilos occipitales sobre las masas laterales del atlas.

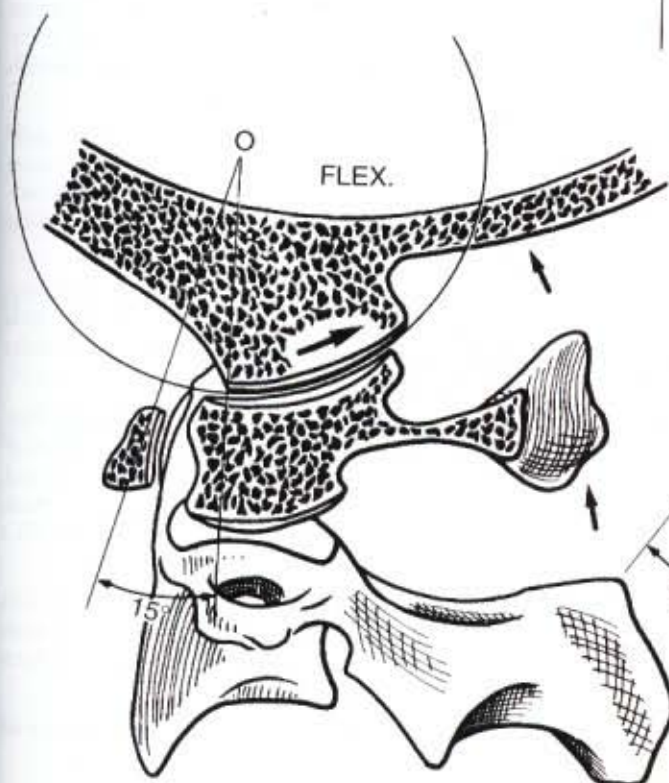
Durante la *flexión* (Fig. 23), los cóndilos occipitales retroceden sobre las masas laterales del atlas; simultáneamente, se puede observar como la concha occipital se aleja del arco posterior del atlas y, como este movimiento se acompaña siempre de una flexión en la atloidoaxoidea, también se ve como el arco posterior del atlas se aleja del arco posterior del axis. La flexión está limitada por la puesta en tensión de las cápsulas y de los ligamentos posteriores (membrana occipitoatloidea y el ligamento cervical posterior).

Durante la *extensión* (Fig. 24), los cóndilos occipitales se deslizan hacia delante sobre las masas laterales del atlas. Simultáneamente, la concha occipital se dirige hacia el arco posterior del atlas y como también existe una extensión en la atloidoaxoidea, el arco posterior del atlas se aproxima al arco posterior del axis. La extensión se ve limitada por el contacto de estos tres elementos óseos; durante los movimientos de extensión forzada, el arco posterior del atlas apresado como en un cascanueces puede quebrarse entre el occipital y el arco posterior del axis.

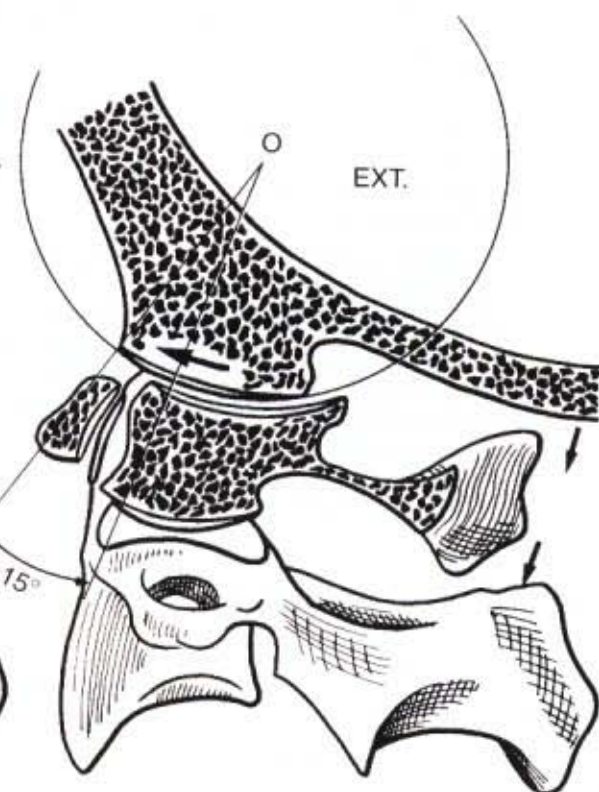
La amplitud total de la flexoextensión en la occipitoatloidea es de 15°.



22



23



24

LOS LIGAMENTOS DEL RAQUIS SUBOCCIPITAL

Los ligamentos del raquis suboccipital son *muy numerosos y potentes* (Fig. 25: corte sagital; los números de referencia son comunes hasta la figura 33 inclusive).

En primer lugar se van a emplazar **los elementos óseos**: de arriba abajo, el corte de la apófisis basilar del occipital (b); el corte del arco anterior (e) del atlas y de su arco posterior (f); el corte sagital de la odontoides (g) prolongando hacia arriba el cuerpo del axis (k). En la odontoides, la carilla articular anterior (h) en contacto con la carilla articular posterior (j) del arco anterior del atlas; la carilla articular posterior (i). El resto del axis está representado por su espinosa (n) y el corte de su lámina izquierda (o). Por debajo del axis, la tercera cervical con la sección sagital de su cuerpo vertebral (q), su apófisis espinosa (s) y la sección parasagital de su lámina izquierda (r). En perspectiva, la fosa cerebelosa por encima del agujero occipital y una parte del cóndilo occipital derecho, así como, por abajo, la mitad derecha del arco posterior del atlas, del axis y de C₃.

A continuación se van a situar **los ligamentos**:

- el *ligamento occipitoodontoideo medio* (1), muy corto y grueso, que se extiende verticalmente entre la apófisis basilar del occipital y el vértice de la apófisis odontoides;
- el *ligamento transverso* (3), visto en sección, en contacto con la carilla articular posterior de la odontoides (i);
- el *ligamento occipitotransverso* (4), entre el borde superior del ligamento transverso y la apófisis basilar del occipital;
- el *ligamento transversoaxoideo* (5), entre el borde inferior del ligamento transverso y la cara posterior del cuerpo del axis.

Estos tres ligamentos: transverso, occipitotransverso y transversoaxoideo forman el *ligamento cruciforme*.

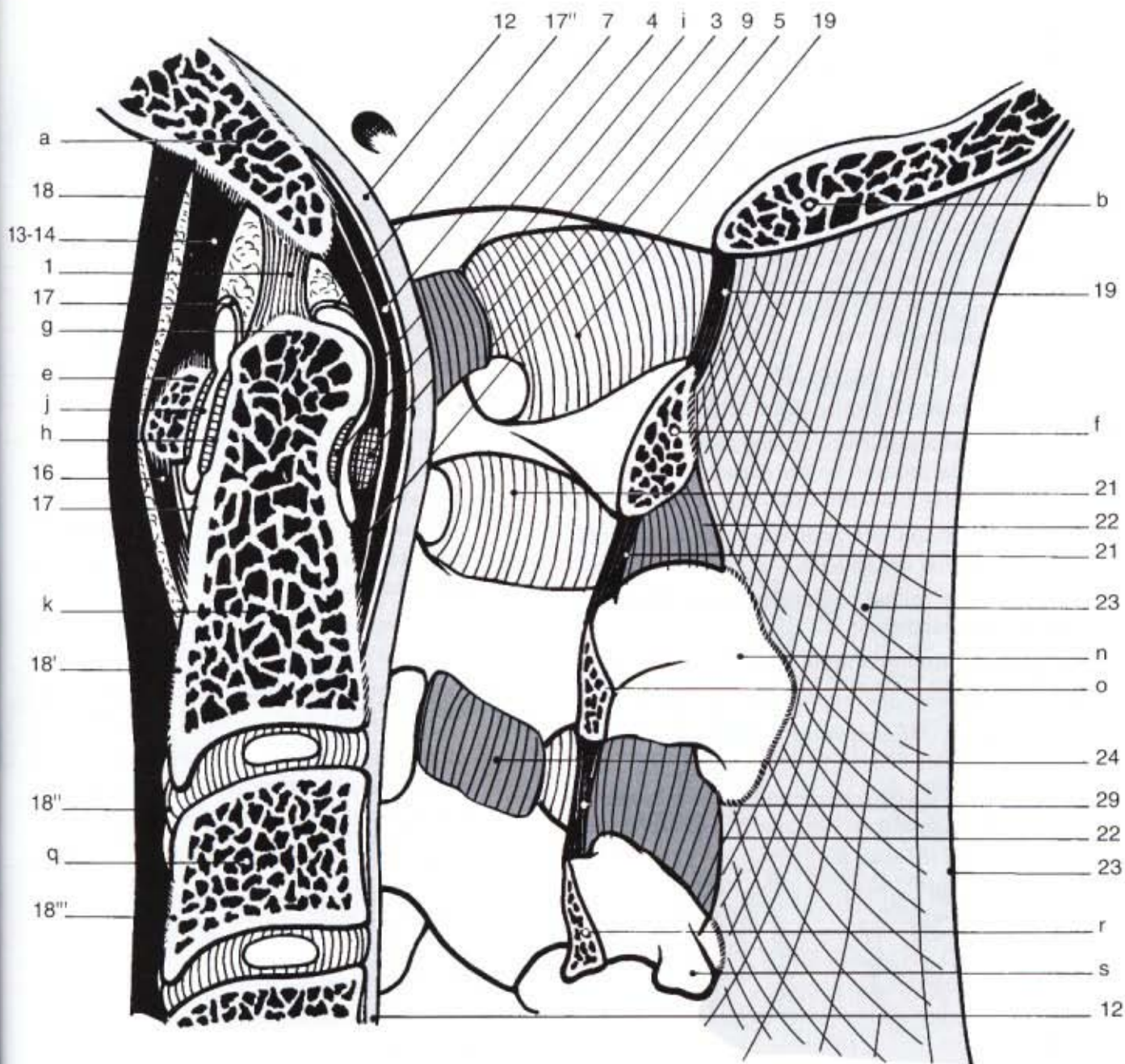
- el *ligamento occipitoaxoideo medio* (7), por detrás del ligamento cruciforme, se extiende desde la apófisis basilar a la cara posterior del cuerpo del axis. Se prolonga lateralmente por los *ligamentos occipitoaxoideos laterales*, invisibles en este corte;
- la *cápsula de la articulación occipitoatloidea* (9) se puede observar al fondo, vista en perspectiva;
- el *ligamento vertebral común posterior* (12), situado por detrás de los ligamentos occipitoaxoideos medios y laterales, se inserta en la corredera de la apófisis basilar y sobre el borde inferior del axis y se prolonga por todo el raquis hasta el canal sacro;
- el *ligamento occipitoatloideo anterior*, localizado por delante del ligamento occipitoodontoideo medio, formado por una lámina profunda (13) y una lámina superficial (14), se extiende desde la

cara inferior de la apófisis basilar al borde superior y cara anterior del arco anterior del atlas;

- el *ligamento atloidoaxoideo anterior* (16) prolonga hacia abajo el ligamento occipitoatloideo anterior. Se extiende desde el borde inferior del arco del atlas hasta la cara anterior del cuerpo del axis. De este modo se constituye, por delante de la odontoides y del ligamento occipitoodontoideo medio y por detrás de los ligamentos occipitoatloideo medio y atloidoaxoideo medio, un espacio celuloadiposo que contiene la *articulación atloidooodontoidea* y su cápsula (17);
- el *ligamento vertebral común anterior* (18) recubre todo este conjunto por delante y se inserta en la cara inferior de la apófisis basilar del occipital, pasa a modo de puente por delante del arco anterior del atlas, en el que no se inserta, para fijarse luego en la cara anterior del cuerpo del axis (18'). A continuación, se prolonga por toda la cara anterior del raquis hasta el sacro insertándose, en cada nivel, en el borde anterior de los discos intervertebrales (18'') y en la cara anterior de los cuerpos vertebrales (18''').

Los arcos posteriores están unidos por los ligamentos que a continuación se exponen:

- el *ligamento occipitoatloideo posterior* (19), también denominado membrana occipitoatloidea, une el borde posterior del agujero occipital al arco posterior del atlas. Es el equivalente de un ligamento amarillo y presenta por detrás de las masas laterales del atlas un orificio por el que penetra la arteria occipital y sale el primer nervio cervical;
- el *ligamento atloidoaxoideo posterior* (21), membrana atloidoaxoidea, que une los arcos posteriores del atlas y del axis a modo de un ligamento amarillo; por detrás de la articulación existe un orificio por el que sale el segundo nervio cervical;
- un *ligamento interespinoso* (22), une el arco posterior del atlas a la espinosa del axis, y luego, hacia abajo, las espinosas de las vértebras cervicales entre sí;
- el *ligamento cervical posterior* (23), tabique fibroso muy espeso, equivale a un ligamento supraespinoso; se inserta, por arriba, en la concha occipital, a la altura de la línea media, y separa las masas musculares de la nuca en dos mitades derecha e izquierda;
- la *cápsula de la articulación interapofisaria* (24), entre el axis y la tercera cervical, limita por detrás el agujero de conjunción, por el que sale el tercer nervio cervical;
- un *ligamento amarillo* (29) une el arco posterior del axis al arco posterior de la tercera cervical.



LOS LIGAMENTOS SUBOCCIPITALES

Para entender la disposición de estos ligamentos, se ha representado en primer lugar, una vista posterior del raquis cervical (Fig. 26), tras haber efectuado una sección verticofrontal a la altura de los arcos posteriores, que han sido retirados. Se vuelven a encontrar los mismos elementos que en el corte de la página anterior. Además se pueden observar:

- los cóndilos occipitales (c);
- las masas laterales del atlas (d);
- las articulaciones atlodoaxoideas con la carilla inferior de las masas laterales del atlas (l) y la carilla superior del axis (m);
- la sección del pedículo y de la apófisis articular del axis (t);

En este plano esquelético se fijan los siguientes ligamentos:

En el **plano profundo** (Fig. 27):

- el *ligamento occipitodontoideo medio* (1);
- los *dos ligamentos occipitodontoideos laterales* (2);
- el *ligamento transverso* (3), que se extiende lateralmente de una masa lateral del atlas a otra;

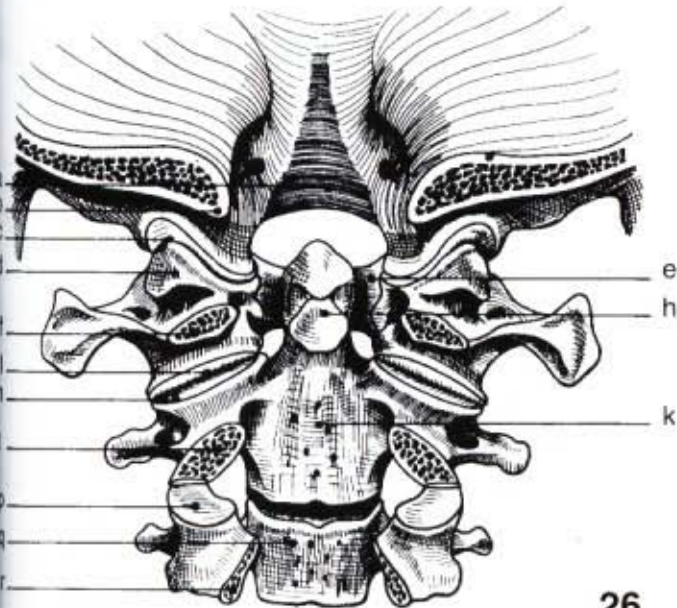
- el *ligamento occipitotransverso* (4) se ha seccionado a ras del borde superior del ligamento transverso y desplazado hacia arriba;
- el *ligamento transversoaxoideo* (5) también se ha seccionado y desplazado hacia abajo.

En el **plano medio** (Fig. 28) se distinguen:

- el *ligamento cruciforme* intacto (6), constituido por los ligamentos transversos, occipitotransverso y transversoaxoideo;
- lateralmente aparece la *cápsula de la articulación occipitoatlodea* (9) reforzada por fuera por el ligamento occipitoatlodeo lateral (10);
- en el segmento subyacente, la *cápsula de la articulación atlodoaxoidea* (11).

En el **plano superficial** (Fig. 29), se localizan:

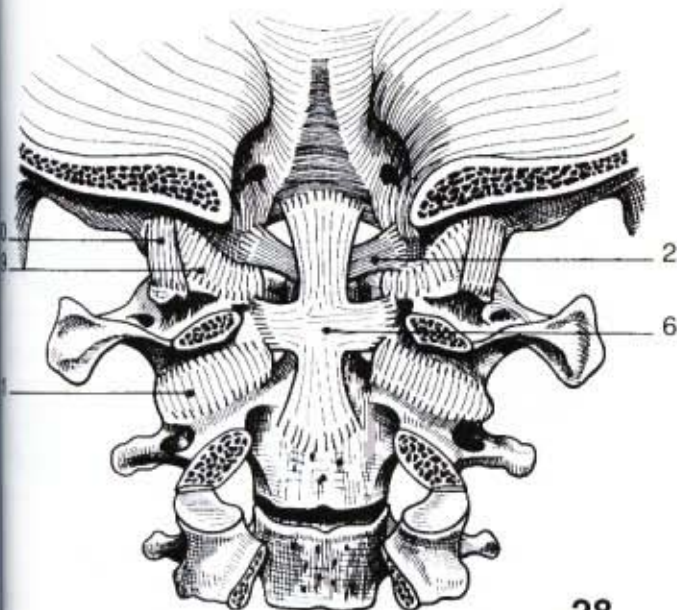
- el *ligamento occipitoaxoideo medio* (7), prolongado lateralmente por los *ligamentos occipitoaxoideos laterales* (8);
- el *ligamento vertebral común posterior* (12).



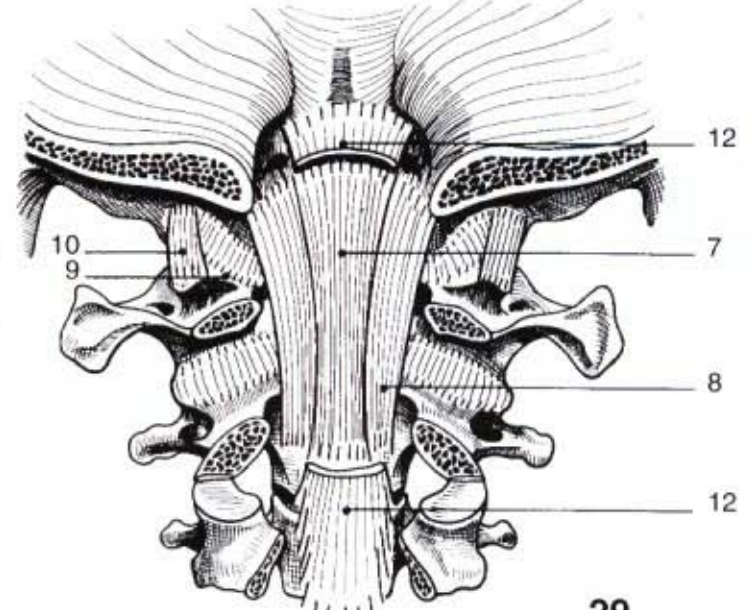
26



27



28



29

LOS LIGAMENTOS SUBOCCIPITALES

(continuación)

En la mitad izquierda de la página, se han representado las vistas esqueléticas, mientras que en la mitad derecha se han añadido los ligamentos.

En una vista esquelética anterior (Fig. 30) se observan todos los elementos descritos anteriormente.

Los **ligamentos anteriores** (Fig. 31) comprenden:

- el *ligamento occipitoatloideo anterior* con su haz profundo (13) y su haz superficial (14), que recubre la cápsula de la *articulación occipitoatloidea* (9);
- el *ligamento occipitoatloideo anterolateral* (15) lo cubre por delante; se extiende oblicuamente desde la apófisis basilar del occipital a la apófisis transversa del atlas;
- el *ligamento atloideoaxoideo anterior* (16) está lateralmente a continuación de la cápsula de la *articulación atloideoaxoidea* (11);
- el *ligamento vertebral común anterior* (18) sólo se ha representado en su mitad izquierda;
- la *cápsula de la articulación entre el axis y C₁* (23).

Una vista posterior de los elementos esqueléticos (Fig. 32) muestra esta vez los arcos posteriores del atlas, del axis y de C₁. Entre los cuales se puede ver el canal raquídeo, y entre la concha del occipital y del atlas, el agujero occipital.

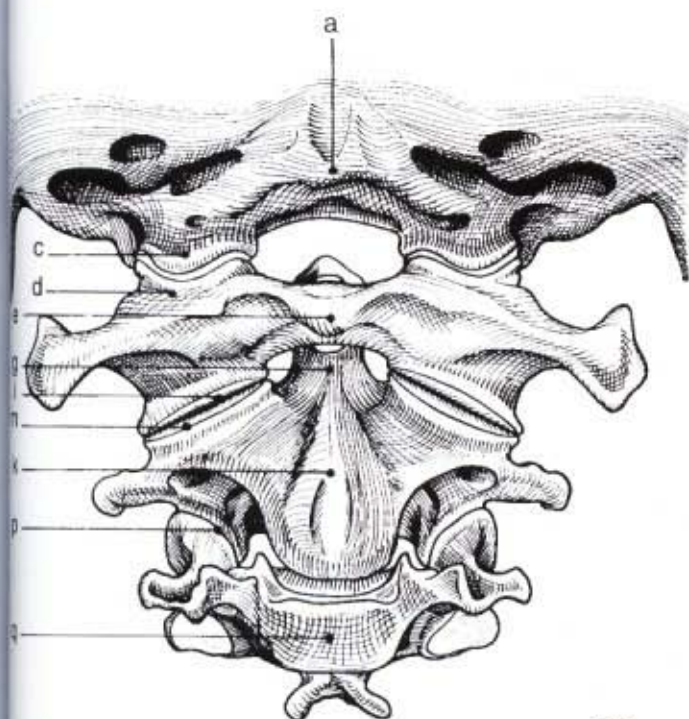
En la **vista posterior de los ligamentos** (Fig. 33), se han representado en el lado derecho los ligamentos que recubren la cara anterior del canal raquídeo (representados con anterioridad en la Fig. 29):

- los *ligamentos occipitoaxoideos medio* (7) y lateral (8);
- la *cápsula de la articulación occipitoatloidea* (9) reforzada por el ligamento occipitoatloideo lateral (10). Por último, se puede observar como asciende la **arteria vertebral** por los orificios de las apófisis transversas y como se incurva hacia atrás y luego hacia dentro para contornear por detrás la masa lateral del atlas (25).

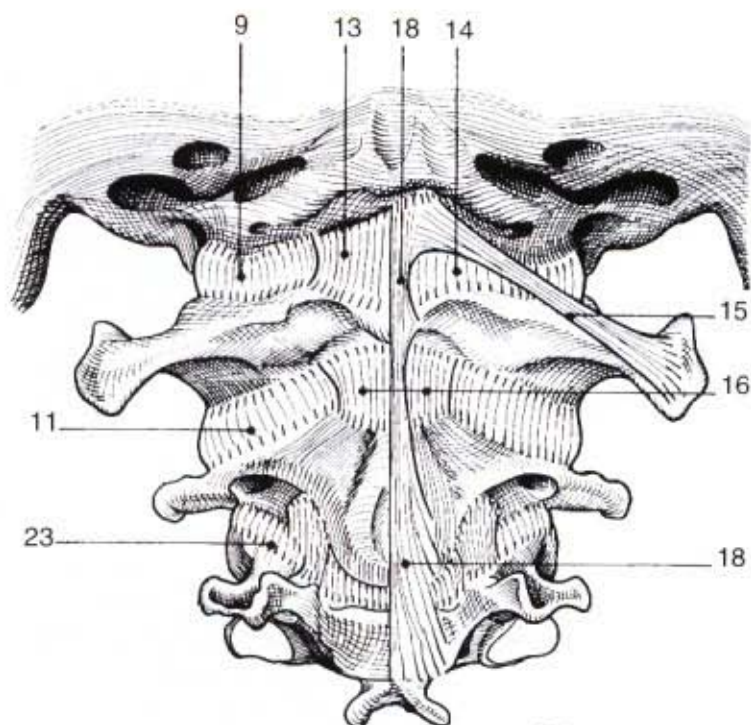
En el lado izquierdo se han representado los **ligamentos posteriores**:

- el *ligamento occipitoatloideo posterior* (19), recubierto por un ligamento occipitoatloideo lateral (20) que se extiende desde la concha occipital a la apófisis transversa del atlas;
- el *ligamento atloideoaxoideo posterior* (21);
- los *ligamentos interespinosos* (22), recubiertos por el *ligamento cervical posterior*, y de los que sólo se ha representado su mitad izquierda;
- por último, la cápsula de la articulación entre el axis y C₁ (24);
- también se puede ver el *primer nervio cervical* (26) salir por el orificio de penetración de la arteria vertebral y el *segundo nervio cervical* (27), cuya rama posterior constituye el *gran nervio occipital de Arnold*.

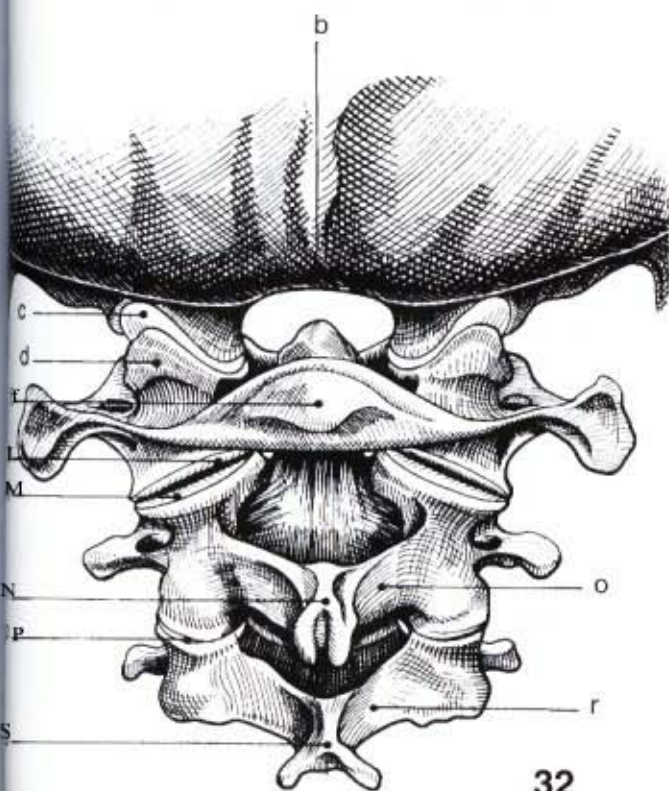
La rama posterior del tercer nervio cervical (28) es un error del dibujo, ya que, en realidad, emerge por el agujero de conjunción, es decir, *por delante* de la articulación (24).



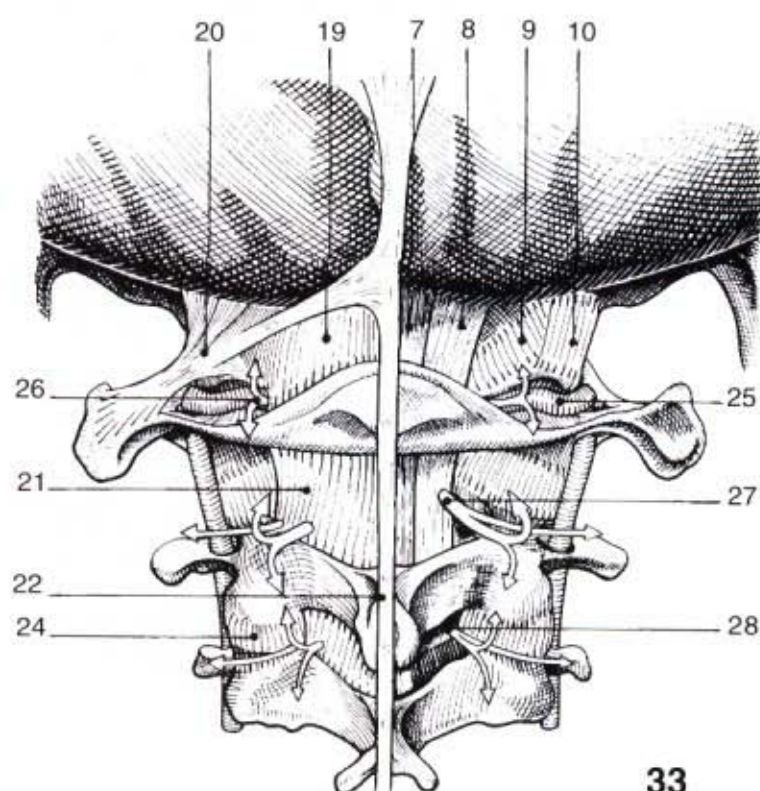
30



31



32

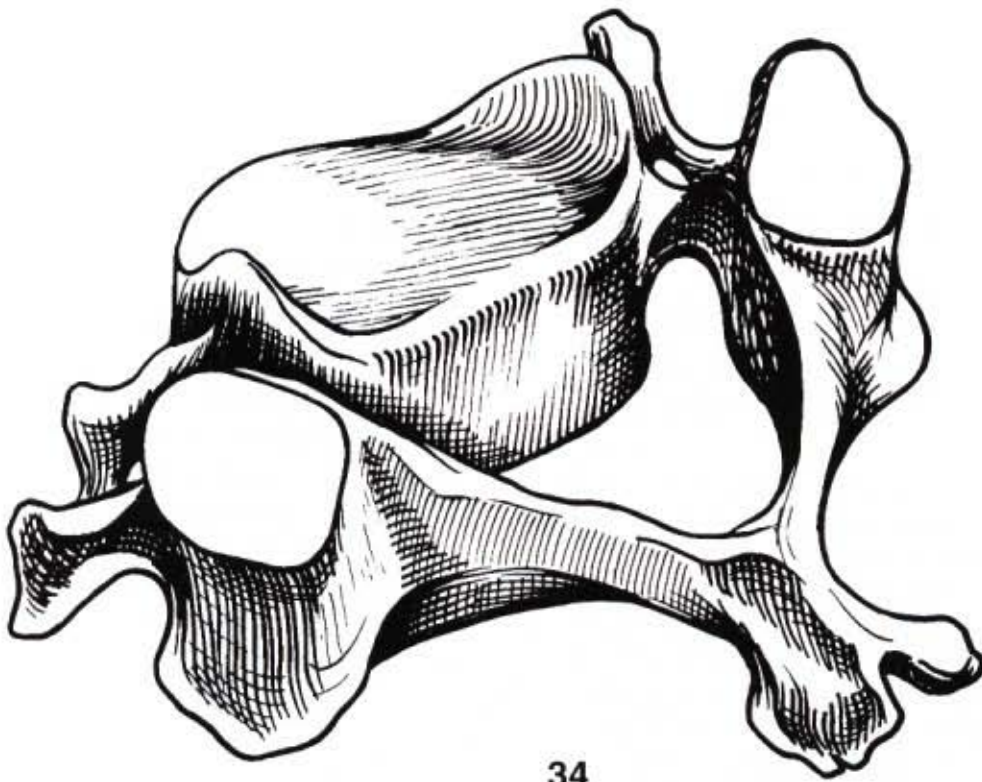


33

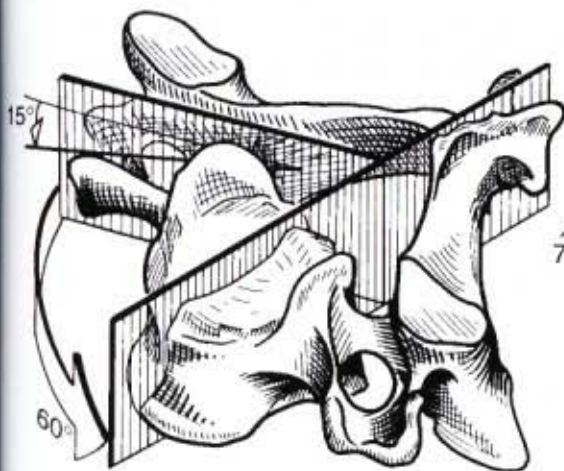
CONSTITUCIÓN DE UNA VÉRTEBRA CERVICAL

Una vista posterosuperior de una vértebra cervical (Fig. 34) muestra sus diferentes partes constitutivas, representadas también en una vista "desarmada" (Fig. 36):

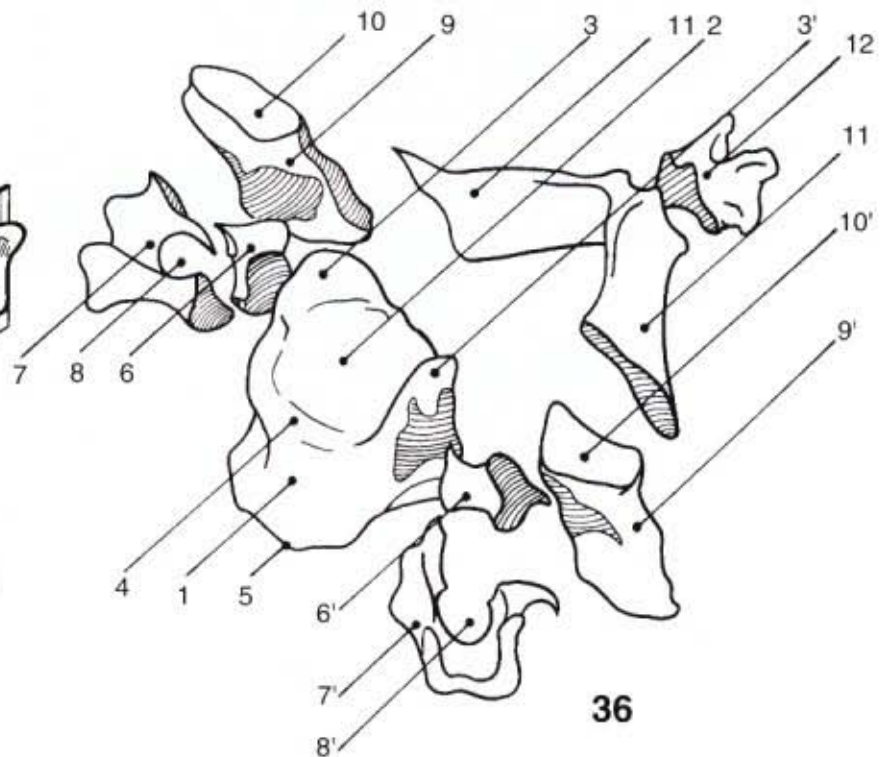
- el **cuerpo de la vértebra** (1) con su *meseta superior* (2), tiene dos prominencias planas transversalmente a cada lado, las *apófisis unciformes* (3 y 3'), o uncus, entre las que se encajan las carillas articulares correspondientes a la meseta inferior de la vértebra superior. También se puede observar la *superficie* (4) del reborde anterior de la meseta superior, así como el *pico* (5), que prolonga hacia abajo y hacia delante el borde anterior de la meseta inferior. En conjunto, la meseta superior es cóncava transversalmente y convexa de delante atrás, y a través del disco intervertebral se articula con la meseta inferior de la vértebra suprayacente, meseta convexa transversalmente y cóncava de delante atrás. Este conjunto articular tiene la forma de una silla de montar y, sobre todo, permite movimientos de flexoextensión; los movimientos laterales están limitados por la presencia de las apófisis unciformes que "conducen" los desplazamientos anteroposteriores en la flexoextensión;
- en la parte posterior de la cara lateral del cuerpo vertebral se implantan, por una parte, los *pedículos vertebrales* (6 y 6'), punto de origen del **arco posterior**, y por otra, la *raíz anterior de la apófisis transversa* (7 y 7'). Las apófisis transversas cervicales se caracterizan por su forma y orientación (Fig. 35): ahuecadas a modo de corredera de concavidad superior, se dirigen hacia delante y hacia fuera, en un plano que forma un ángulo de 60° con el plano sagital; además, son ligeramente oblicuas hacia abajo, formando una pendiente de 15°. El extremo posterointerno de corredera empieza en el *agujero de conjunción*; su extremo anterolateral está flanqueado por *dos tubérculos*, el anterior y el posterior, en los que se insertan los músculos escalenos. En cuanto a su fondo, está perforado por el agujero transverso por el que asciende la arteria vertebral. El nervio cervical, tras salir del canal raquídeo por el agujero de conjunción, recorre la corredera de la apófisis transversa, de modo que cruza perpendicularmente la arteria vertebral para desembocar entre los dos tubérculos de la apófisis transversa;
- la perforación del fondo de la apófisis transversa hace que ésta parezca tener su origen en dos raíces, una que se fija directamente en el cuerpo vertebral y la otra en la apófisis articular;
- las **apófisis articulares** (9 y 9') están situadas por detrás y por fuera del cuerpo vertebral al cual están unidas por los pedículos (6 y 6'); soportan las *carillas articulares* de las que se pueden observar aquí las superiores (10 y 10'), que se articulan con las carillas inferiores de la vértebra suprayacente;
- el arco posterior queda completado por las *láminas* (11 y 11') uniéndose en la línea media a la altura de la base de la *apófisis espinosa* (12) que es bífida;
- de este modo, el arco posterior está constituido sucesivamente por los pedículos, las apófisis articulares, las láminas y la apófisis espinosa;
- el agujero de conjunción está limitado por abajo por el pedículo, por dentro por el cuerpo vertebral y la apófisis unciforme, y por fuera por la apófisis articular.



34



35



36

LOS LIGAMENTOS DEL RAQUIS CERVICAL INFERIOR

Se acaban de ver los ligamentos, muy singulares, que unen las vértebras de raquis suboccipital entre sí; algunos de ellos prosiguen en el raquis cervical inferior.

Los elementos fibroligamentosos que unen las vértebras cervicales inferiores pueden detallarse en un *corte en perspectiva* (Fig. 37) que muestra una vértebra cervical seccionada en el plano sagital con su meseta superior (a) y su apófisis unciforme (b); esta vértebra está unida a la vértebra subyacente por el disco intervertebral, que en el corte presenta dos partes bien visibles: el anillo fibroso (1) y el núcleo pulposo (2).

Por delante de los cuerpos vertebrales se extiende el *ligamento vertebral común anterior* (3), por detrás el *ligamento vertebral común posterior* (4). Una cápsula (5) completa las articulaciones uncovertebrales a los lados.

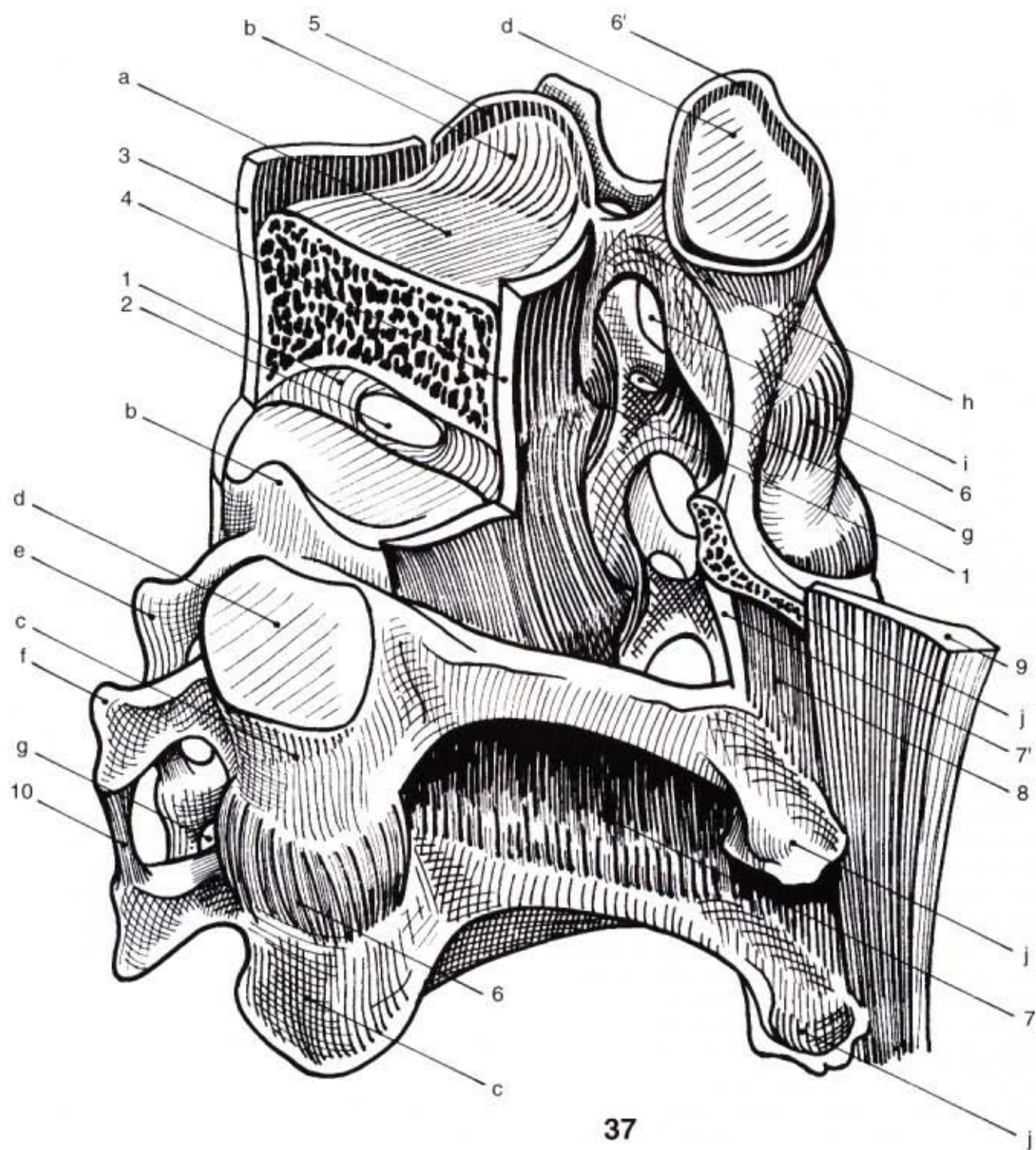
Las *articulaciones interapofisarias* ponen en contacto las carillas articulares (d), unidas por

una *cápsula* (6) que se ha representado abierta (6'); entre las láminas vertebrales se extienden, a cada lado, unos ligamentos amarillos (7); uno de ellos se ha representado seccionado (7').

Las apófisis espinosas (j) están unidas entre sí por los *ligamentos interespinosos* (8), prolongados hacia atrás por un ligamento supraespinoso, muy bien individualizado en el raquis cervical en un *ligamento cervical posterior* (9); en sus dos caras se insertan el trapecio y el esplenio.

Las apófisis transversas, con sus tubérculos anterior (e) y posterior (f), están unidas entre sí por los *ligamentos intertransversos* (10).

Se puede observar en la apófisis transversa el *agujero vertebral o transverso* (g) y los *agujeros de conjunción* (y), limitados por arriba por el pedículo vertebral (h), por detrás y por fuera por las apófisis articulares y la articulación interapofisaria, por delante y por dentro, por el cuerpo vertebral, el disco intervertebral (1) y la apófisis unciforme (b).



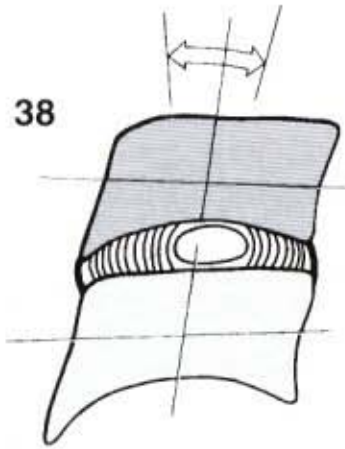
FLEXOEXTENSIÓN EN EL RAQUIS CERVICAL INFERIOR

En la **posición neutra**, los cuerpos vertebrales (Fig. 38, vista de perfil) están unidos por un disco intervertebral cuyo núcleo está en posición estable y en el que todas las laminillas del anillo fibroso están sometidas a la misma tensión. Además, las vértebras cervicales (Fig. 39) contactan a través de sus apófisis articulares, cuyas carillas están incluidas en un plano oblicuo hacia abajo y hacia atrás. En la parte baja del raquis cervical inferior, estas carillas poseen en el plano parasagital una ligera curva cóncava hacia delante, que corresponde a un centro de curva (marcado con una cruz) situado a bastante distancia hacia abajo y hacia delante; debido a la lordosis cervical, los centros de curva están separados una longitud ligeramente mayor a la que separa el plano de las superficies articulares. Más adelante, en la página 202, se podrá analizar el significado de la convergencia de estos ejes.

Durante el **movimiento de extensión**, el cuerpo de la vértebra suprayacente (Fig. 40) *se inclina y se desliza hacia atrás*; el espacio entre las mesetas vertebrales se estrecha más por detrás que por delante, el núcleo pulposo se desplaza ligeramente *hacia delante* y, de este modo, las fibras anteriores del anillo fibroso se tensan más. Este movimiento de deslizamiento hacia atrás del cuerpo vertebral no se efectúa en torno al centro de curva de las carillas articulares, y, en consecuencia (Fig. 41), aparece un *bostezo en la articulación interapofisaria*: de hecho, la carilla superior no sólo se desliza hacia abajo y hacia atrás en relación a la carilla inferior, sino que además, forma con ésta un ángulo x' igual al ángulo de extensión x , encontrado nuevamente en x'' el ángulo formado por las mediatrices de las carillas articulares. El movimiento de extensión está limitado por la *tensión del ligamento vertebral común anterior* y, sobre todo, por los *topes óseos*: el choque de la apófisis articular superior de la vértebra inferior sobre la apófisis transversa de la vértebra superior y, sobre todo, el *contacto de los arcos posteriores* a través de los ligamentos.

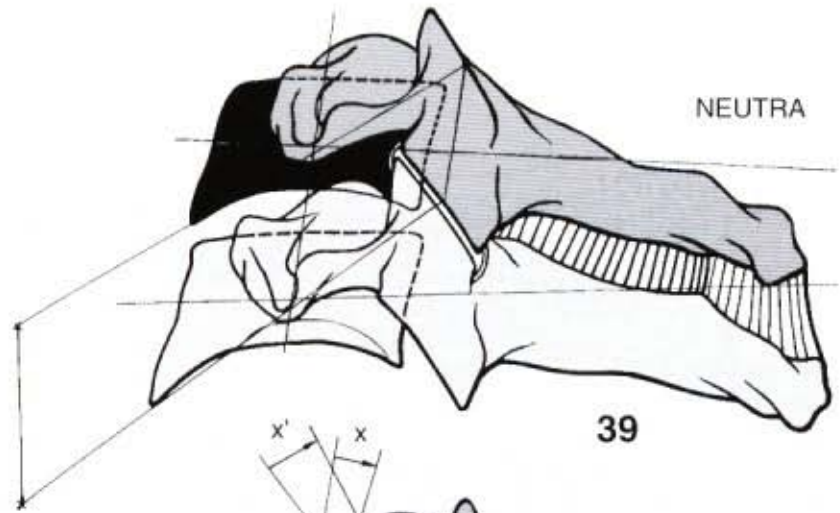
Durante el **movimiento de flexión**, el cuerpo de la vértebra suprayacente (Fig. 42) *se inclina y se desliza hacia delante*, lo que disminuye el grosor de la porción anterior del disco intervertebral y desplaza el núcleo hacia atrás, tensando las fibras posteriores del anillo fibroso; este movimiento de inclinación de la vértebra suprayacente se ve favorecido por la superficie de la meseta superior de la vértebra subyacente, que deja pasar el pico de la meseta inferior de la vértebra suprayacente. Como en el caso de la extensión, la flexión de la vértebra suprayacente (Fig. 43) no se efectúa en torno al centro de curva de las carillas articulares, lo que acarrea automáticamente un bostezo entre estas carillas: la carilla inferior de la vértebra suprayacente *se desplaza hacia arriba y hacia delante*, a la par que se produce un *bostezo hacia abajo y hacia atrás*, formando un ángulo y' igual al ángulo y de flexión y al ángulo y'' formado por las mediatrices de las carillas articulares. El movimiento de flexión no está limitado por los topes óseos, sino *sólo por las tensiones ligamentosas*: tensión del ligamento vertebral común posterior, de la cápsula de la articulación interapofisaria, de los ligamentos amarillos, de los ligamentos interespinales y del ligamento supraespinoso o ligamento cervical posterior. En los accidentes de automóvil por choque trasero o delantero, el raquis cervical se ve, con frecuencia, bruscamente lanzado, primero en extensión y luego en flexión: se trata de la lesión "en latigazo" que conlleva una elongación e incluso *desgarros en los distintos ligamentos* y, en extremo, una *luxación anterior de las articulares*: las articulares inferiores de la vértebra suprayacente se enganchan en el pico anterosuperior de las articulares de la vértebra subyacente; este tipo de *luxación con "enganche" de las articulares* es muy difícil de reducir y pone en peligro tanto el bulbo como la medula cervical, con riesgo de muerte súbita, de cuadriplejía o de paraplejía.

38



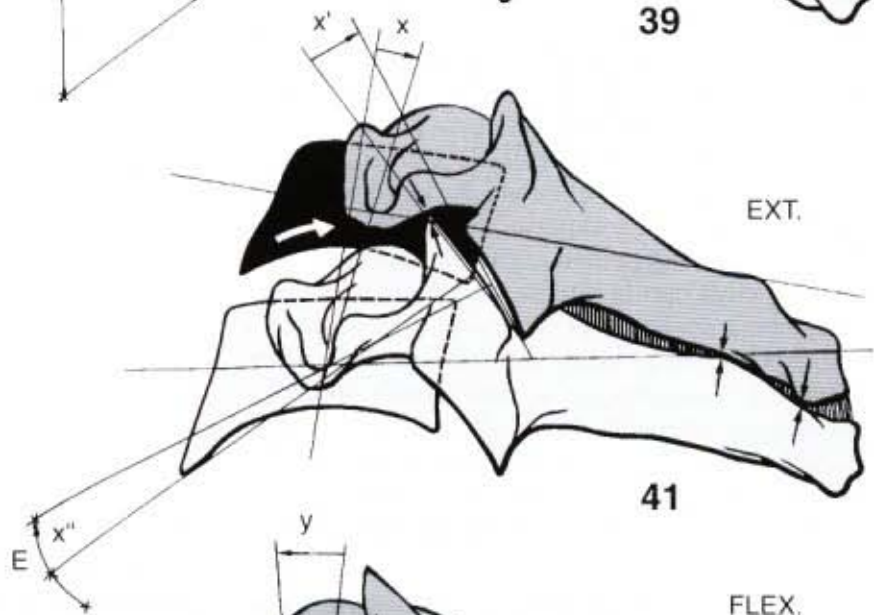
NEUTRA

39



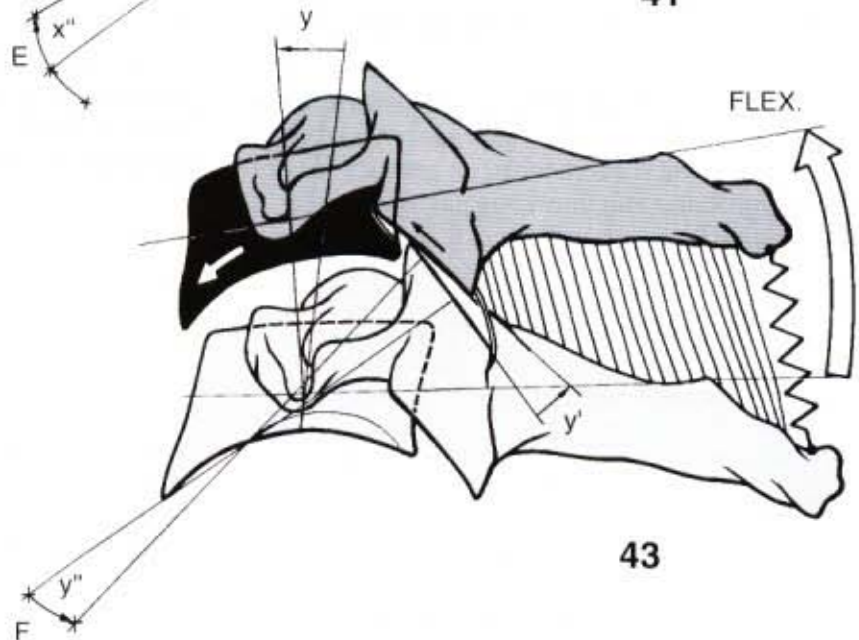
EXT.

41

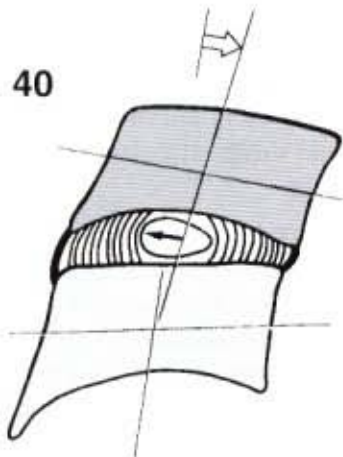


FLEX.

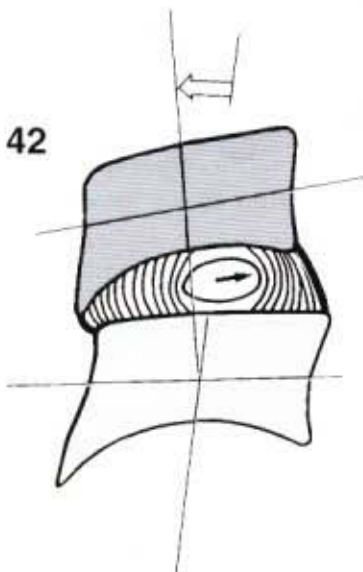
43



40



42



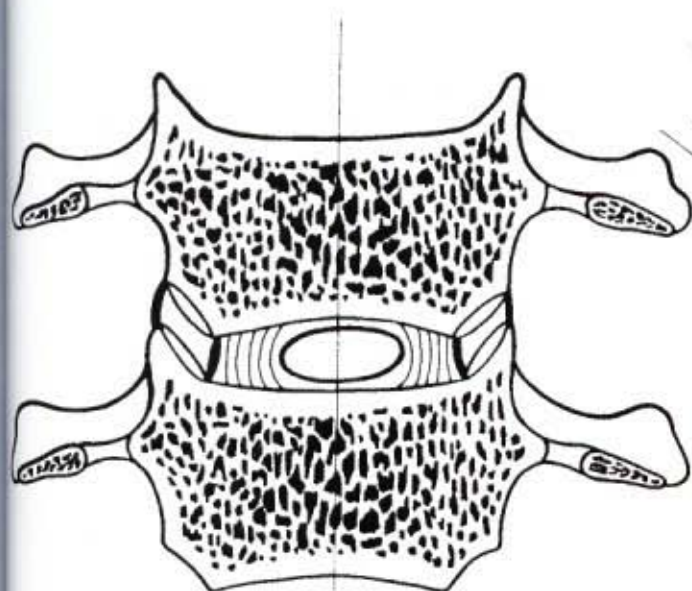
LOS MOVIMIENTOS EN LAS ARTICULACIONES UNCOVERTEBRALES

Hasta ahora, se han expuesto los movimientos en las articulaciones interapofisarias y los discos intervertebrales, pero en el raquis cervical existen, en cada segmento, dos pequeñas articulaciones adicionales: las **articulaciones uncovertebrales**. En un corte frontal (Fig. 44), se puede observar, entre las dos mesetas vertebrales, el disco con el núcleo y el anillo fibroso, pero el disco no llega hasta el borde de la vértebra. De hecho, en la meseta superior sobresalen dos apófisis situadas en el plano sagital, las *apófisis unciformes*, cuya carilla interna, orientada hacia arriba y hacia dentro, está recubierta de cartílago y corresponde en el borde inferolateral del cuerpo vertebral suprayacente a una *carilla articular semilunar*, orientada hacia abajo y hacia fuera recubierta, asimismo, de cartílago. Esta pequeña articulación está en el interior de una *cápsula articular* que se confunde por dentro con el disco intervertebral.

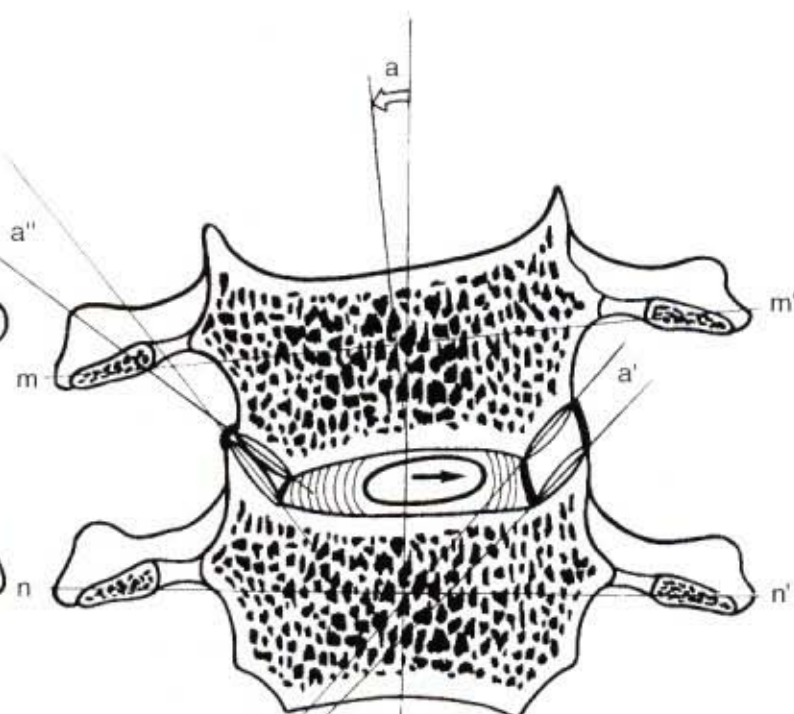
En los **movimientos de flexoextensión**, cuando el cuerpo vertebral suprayacente se desliza hacia delante o hacia atrás, se produce un deslizamiento concomitante entre las carillas de las articulaciones uncovertebrales. Las apófisis unciformes "conducen" el cuerpo vertebral en este movimiento.

Durante los **movimientos de inclinación** (Fig. 45), en estas articulaciones uncovertebrales se producen movimientos de bostezo cuyo ángulo $\hat{a}'$ y $\hat{a}''$ es igual al ángulo de inclinación $\hat{a}$ que aparece de nuevo en el ángulo formado por las dos horizontales nn' y mm' que pasan por las apófisis transversas. Además, en este esquema se puede constatar el desplazamiento del núcleo pulposo hacia la convexidad de la curva y la puesta en tensión de la cápsula de la articulación uncovertebral del mismo lado.

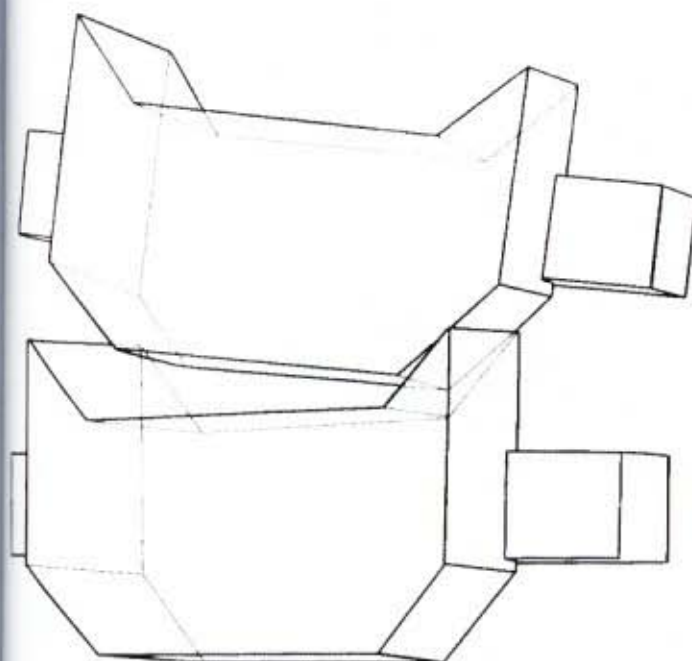
En realidad, los movimientos en la articulación uncovertebral son *mucho más complejos*: de hecho, más adelante, se podrá comprobar como no existe movimiento de inclinación, sino *movimientos de inclinación combinados con movimientos de rotación y de extensión*. Por lo tanto, en las articulaciones uncovertebrales no sólo existen bostezos hacia arriba y hacia abajo, sino también *deslizamientos hacia atrás y bostezos hacia adelante*. Esto es lo que los dos esquemas en perspectiva transparente (Fig. 46 A y B) sobre vértebras sumamente esquematizadas tratan de hacer comprender. Convendría repasarlos tras haber asimilado el mecanismo de los movimientos de inclinación-rotación.



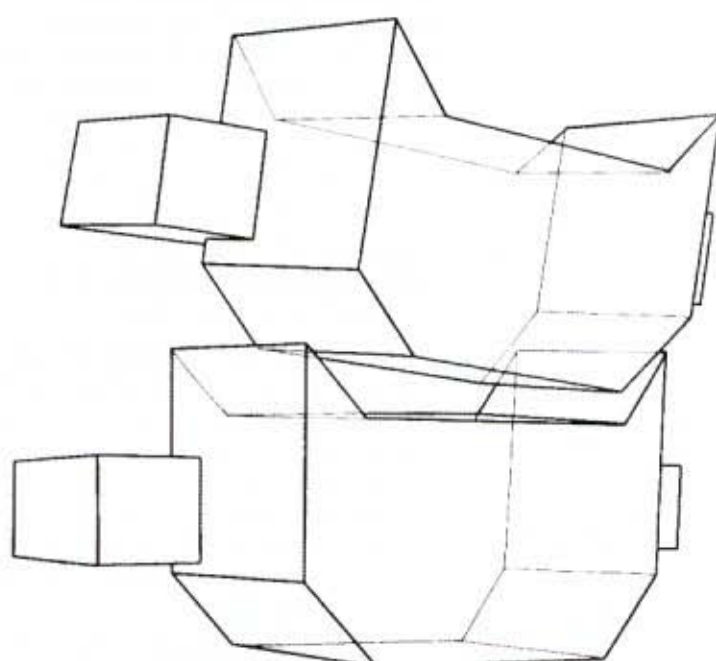
44



45



A



B

46

LA ORIENTACIÓN DE LAS CARILLAS ARTICULARES EL EJE MIXTO DE ROTACIÓN-INCLINACIÓN

Los movimientos de inclinación y de rotación en el raquis cervical inferior están *determinados por la orientación de las carillas* de las apófisis articulares, que no permite ni un movimiento de rotación pura, ni un movimiento de inclinación pura.

De hecho, si se considera una vértebra de situación media, como por ejemplo la **quinta cervical** (Fig. 47), se puede constatar que sus carillas articulares superiores son *planas y están incluidas en un mismo plano P oblicuo hacia abajo y hacia atrás*. Por consiguiente, todo deslizamiento de la cuarta cervical que la sobrepasa sólo puede ser de dos tipos:

- bien un *deslizamiento global hacia arriba*, se trata entonces de una *flexión o deslizamiento global hacia abajo* en el caso de la *extensión*;
- bien un *deslizamiento desigual*: una de las carillas de C_4 , por ejemplo la izquierda, se eleva hacia arriba y hacia delante (flecha a), mientras que la carilla derecha desciende hacia abajo y hacia atrás (flecha b). De este modo, este deslizamiento desigual en el plano P es una *rotación* en torno a un *eje A perpendicular al plano P*, eje situado en el plano sagital y por ende en la mediatriz de la línea que une el centro de las carillas articulares de C_5 . La rotación de C_4 en torno al eje A, oblicuo hacia abajo y hacia delante, le hace realizar sobre C_5 , a la vez, un movimiento de inclinación y de rotación, ambos hacia la derecha. Se trata en este caso de un **movimiento mixto de rotación-inclinación** que depende de la oblicuidad del eje A.

Los *cortes horizontales* realizados en las articulaciones interapofisarias (Fig. 48) muestran que las carillas, en las partes superior e inferior, no son rigurosamente planas; sino que presentan una ligera convexidad hacia atrás en C_6 y C_7 (Fig. 48 A), o bien una ligera concavidad hacia atrás en C_1 y C_2 (Fig. 48 B). Esto no contradice en absoluto la demostración anterior, ya que entonces se puede considerar que el plano P (Fig. 47) quedaría reemplazado por una *superficie esférica de radio mayor*, cuyo centro se localizaría en el *eje A*, bien por debajo de la vértebra en el caso de C_6 y C_7 (Fig. 49 A), bien por enci-

ma de la vértebra en el caso de C_1 y C_2 (Fig. 49 B); por lo tanto, **el eje mixto de rotación-inclinación sigue siendo el eje A** de la Fig. 47.

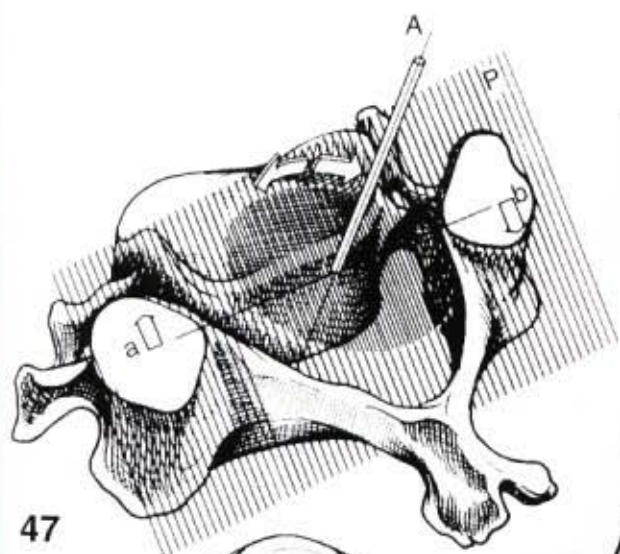
En una radiografía de perfil del raquis cervical (Fig. 50) es fácil trazar la *dirección del plano de las carillas articulares*:

- estos planos *a, b, c, d, e, f* son *oblicuos* con respecto a la vertical;
- pero, además, *su oblicuidad es creciente* de abajo arriba: el plano f, que corresponde a la interlínea C_7-D_1 , sólo tiene una inclinación de 10° sobre la horizontal. Sin embargo, el plano *a* de la interlínea C_2-C_3 está inclinado de 40 a 45° sobre la horizontal. Por lo tanto, existe un ángulo de 30 a 35° entre el plano de la interlínea inferior *f* y el del superior *a*.

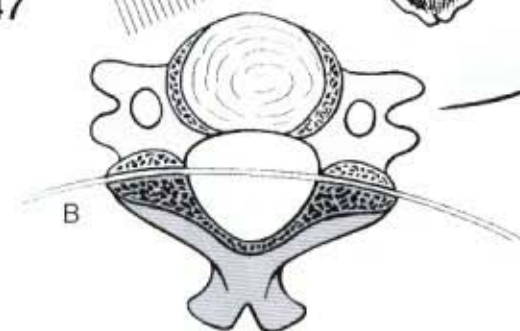
No obstante, estos planos no convergen exactamente en un mismo punto: existen ciertas irregularidades en la progresión de la oblicuidad de abajo arriba; los tres últimos planos (*d, e, f*) son casi paralelos, mientras que los tres primeros (*a, b, c*) son muy convergentes.

Por consiguiente, si se traza una *mediatriz en cada carilla* articular, ésta representa la proyección en el plano sagital del *eje de rotación mixta A*, que ya se expuso en la figura 47. La oblicuidad de estos ejes (1, 2, 3, 4, 5 y 6) también es regularmente creciente y se inscribe en un ángulo de 30 a 35° , pero, hecho importante, el eje más bajo (6) es casi vertical, lo que implica una *rotación casi pura*, mientras que el eje más elevado (1) está inclinado de 40 a 45° sobre la vertical, lo que implica una *igualdad entre la inclinación y la rotación* (véase pág. 206).

En este esquema (Fig. 50), también se ha representado, en forma de pequeñas cruces, la localización de los *centros motores* según el diagrama de Penning, que corresponde a la localización del *eje transversal de flexoextensión* de cada una de las vértebras suprayacentes. Nótese que cuando más se desciende hacia la base del raquis cervical, más se desplaza el centro motor hacia arriba y hacia delante del cuerpo vertebral. La posición de estos centros motores no corresponde exactamente a la que podría construirse mediante la intersección de las mediatrices de los dos elementos móviles de la vértebra suprayacente, por una parte, la mediatriz de su carilla inferior, y, por otra, la mediatriz de su meseta inferior. Esta posición teórica está representada en el esquema a modo de estremitas, mientras que los centros motores se deducen de calcos de radiografías de perfil, tomadas en posiciones extremas de flexión y de extensión.



47

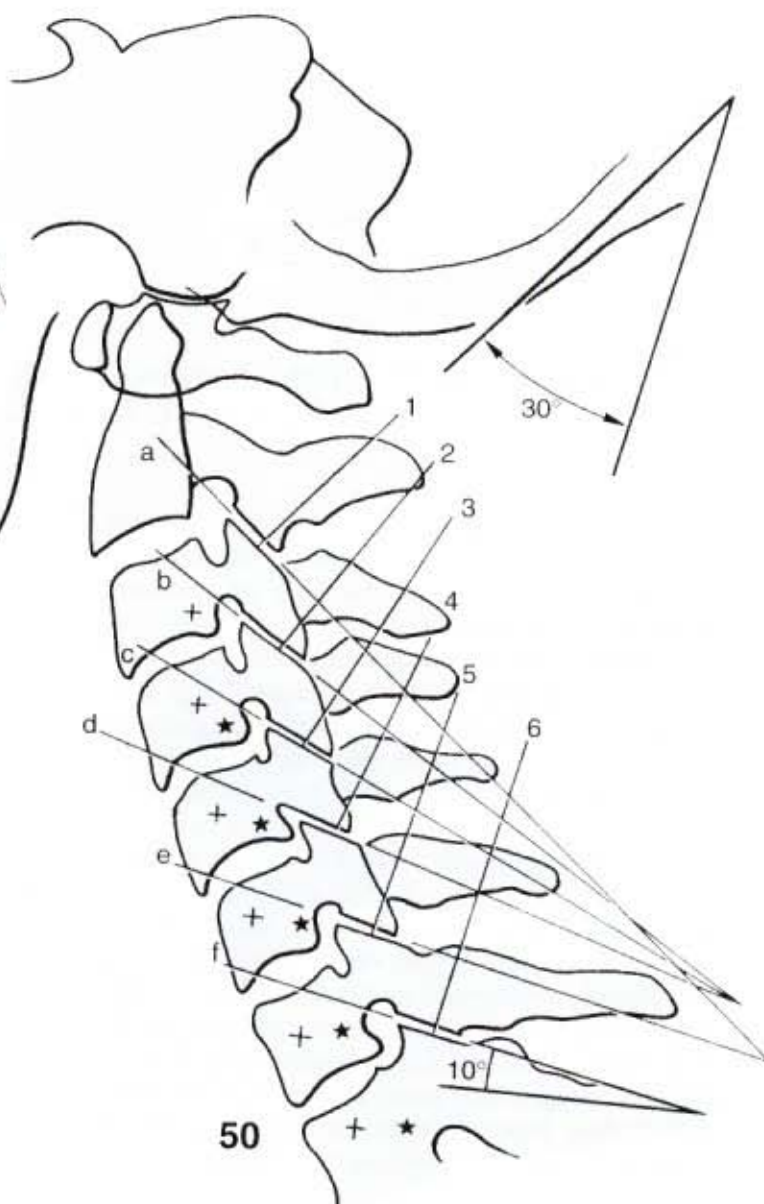


B

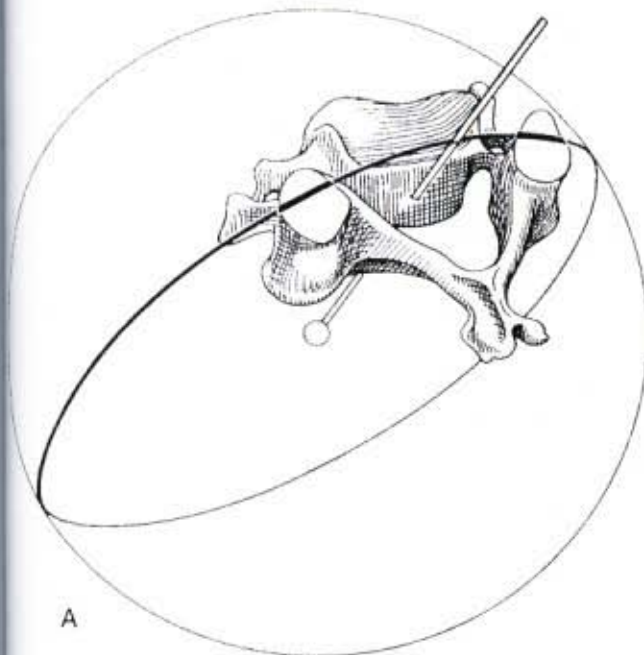


A

48

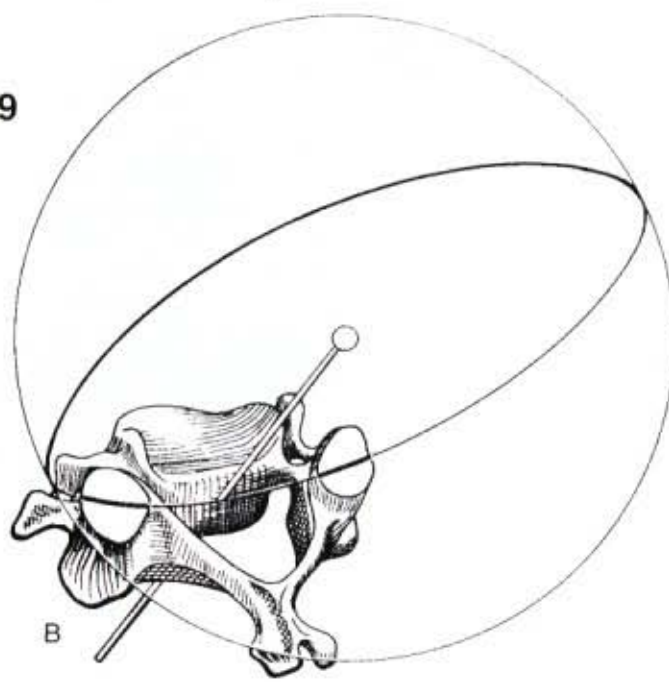


50



A

49



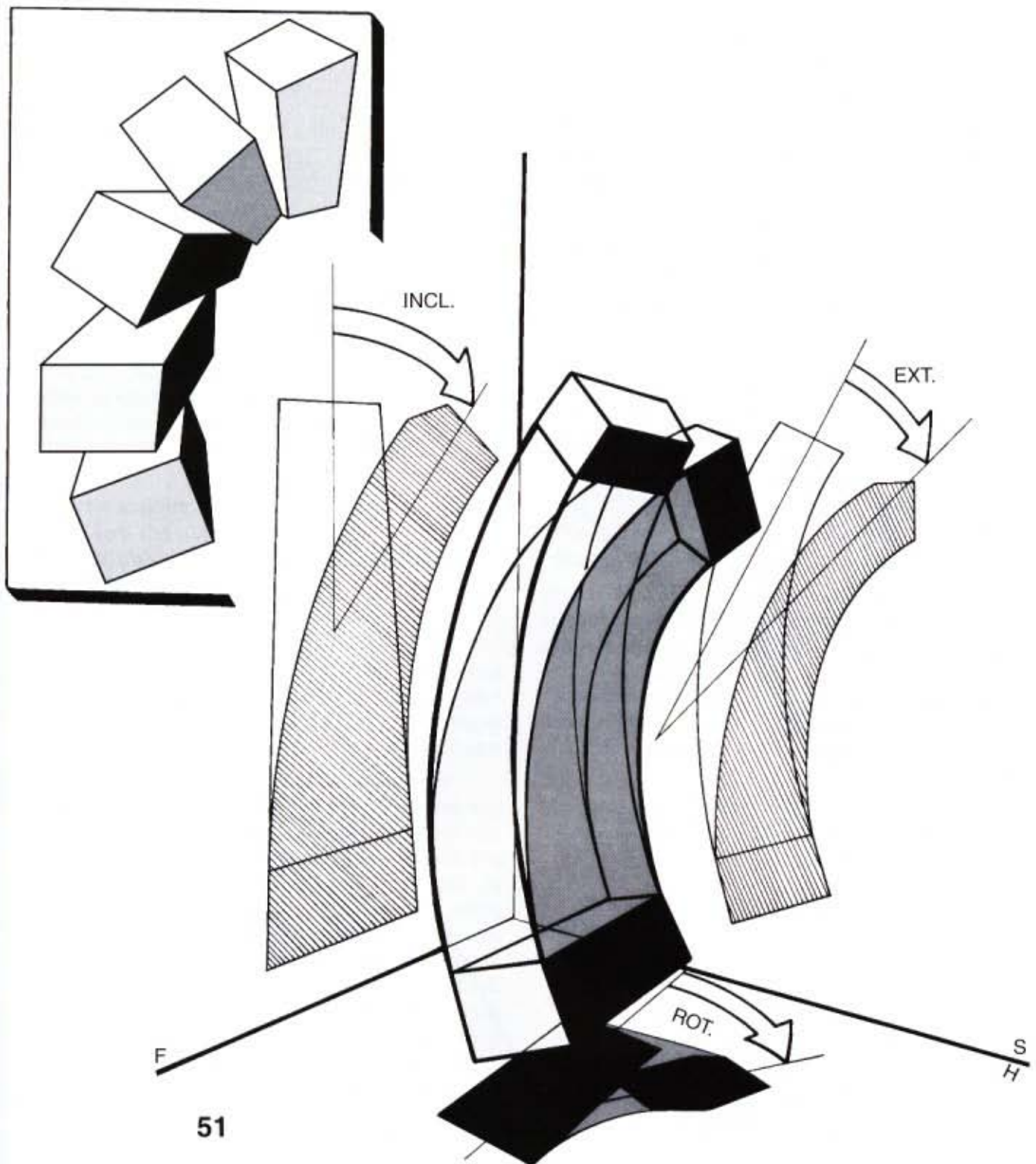
B

LOS MOVIMIENTOS COMBINADOS DE INCLINACIÓN-ROTACIÓN EN EL RAQUIS CERVICAL INFERIOR

Se acaba de ver que, en cada segmento, la rotación alrededor del eje oblicuo realizaba un movimiento mixto de inclinación y de rotación. Si ahora se considera la totalidad del raquis inferior entre C_2 y D_1 , se puede comprobar que a esto se añade un componente de extensión (Fig. 51). De hecho, si se parte de una vértebra D_1 , estrictamente situada en el eje, el movimiento entre C_7 y D_1 desembocara en una rotación-inclinación de C_7 y el movimiento entre C_6 y C_7 , que parte ya de una posición de inclinación-rotación conllevará esta vez no solamente una rotación y una inclinación, sino también una extensión y este mecanismo se acentuará de abajo arriba, de tal modo que si se proyecta el movimiento mixto del raquis cervical inferior en conjunto sobre los tres planos de referencia, o si se realizan radiografías de frente y de perfil (desgraciadamente es imposible efectuar radiografías transversales), se puede apreciar como aparecen los siguientes componentes:

- en el **plano frontal** (F), el componente de *inclinación*;
- en el **plano sagital** (S), el componente de *extensión*;
- y en el plano **transversal u horizontal** (H), el componente de *rotación*.

Por lo tanto, se puede afirmar que, aparte de los movimientos de flexoextensión, el raquis cervical sólo puede realizar movimientos siempre parecidos a sí mismos, estereotipados, movimientos mixtos de inclinación-rotación-extensión, teniendo en cuenta que el componente de extensión se ve en cierta medida automáticamente compensado por una flexión en el mismo raquis cervical inferior. En cambio, se podrá ver que el resto de los componentes sólo pueden ser compensados en el raquis cervical superior.



DETERMINACIONES GEOMÉTRICAS DE LOS COMPONENTES DE INCLINACIÓN Y DE ROTACIÓN

Para entender correctamente el mecanismo de estos movimientos mixtos se puede llevar a cabo una **demonstración geométrica simple**.

Un *esquema en el espacio* (Fig. 52) permite imaginar los efectos de la rotación alrededor del eje UU' , dirigido, como el eje mixto de inclinación-rotación, oblicuamente hacia abajo y hacia delante. Este eje se localiza en el plano sagital, determinado por el eje de referencia vertical ZZ' , y el eje de referencia horizontal YY' ; se dirige hacia la intersección de los tres ejes rectangulares vertical ZZ' , sagital YY' y transversal XX' . Si un segmento OK perpendicular al eje UU' gira en torno a este eje, por ejemplo, hacia la derecha, toma la posición OL . Simultáneamente, su proyección $O'M$ en el plano horizontal toma la posición $O'N$ y, de igual manera, su proyección $O''K'$ en el plano frontal toma la posición $O''L'$. Se puede determinar el valor de los ángulos $\widehat{K'O'L'}$ y $\widehat{MO'N}$ en función del ángulo de rotación $\widehat{KOL}$ y de la inclinación del eje UU' sobre la vertical.

Esta demostración puede realizarse en un *esquema simplificado* (Fig. 53), en el que aparece de nuevo el eje UU' formando un ángulo $\hat{a}$ con la vertical (v), un segmento OK en posición de partida y OL en posición de llegada tras una rotación de un ángulo $\hat{b}$ en torno al eje UU' . Sólo resta calcular el ángulo de rotación $\hat{a}$ y el ángulo de inclinación $\hat{d}$.

Para quienes estén interesados por esta demostración matemática, he aquí el desarrollo del razonamiento:

$$\operatorname{tg} c = \frac{MN}{OM} = \frac{KL}{OM} ; \quad \operatorname{tg} b = \frac{KL}{OK} \quad \text{de donde}$$

$$KL = OK \cdot \operatorname{tg} b ; \quad \cos a = \frac{OM}{OK} \quad \text{por tanto}$$

$$OM = OK \cdot \cos a \quad \text{de lo que resulta:}$$

$$\boxed{\operatorname{tg} c = \frac{\operatorname{tg} b}{\cos a}}$$

Además:

$$\operatorname{sen} a = \frac{KM}{OK} \quad \text{de donde } KM = OK \cdot \operatorname{sen} a ;$$

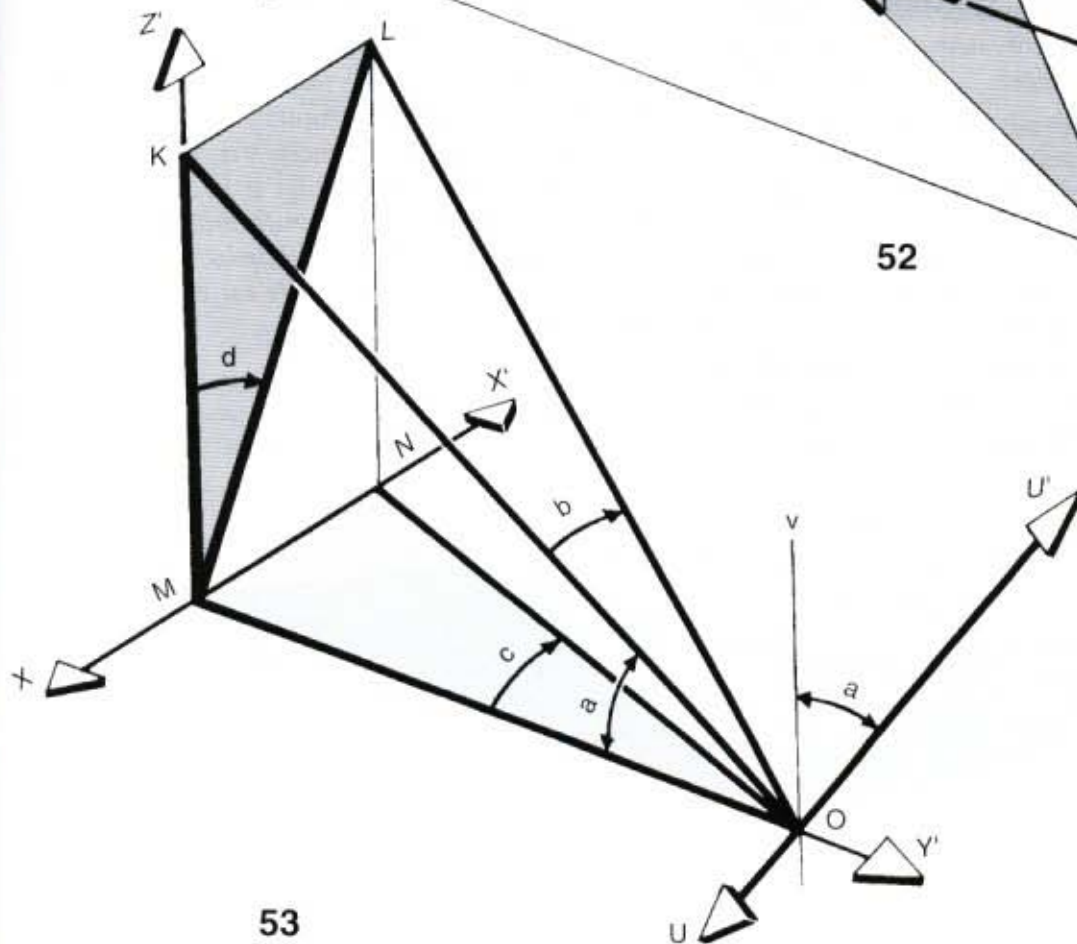
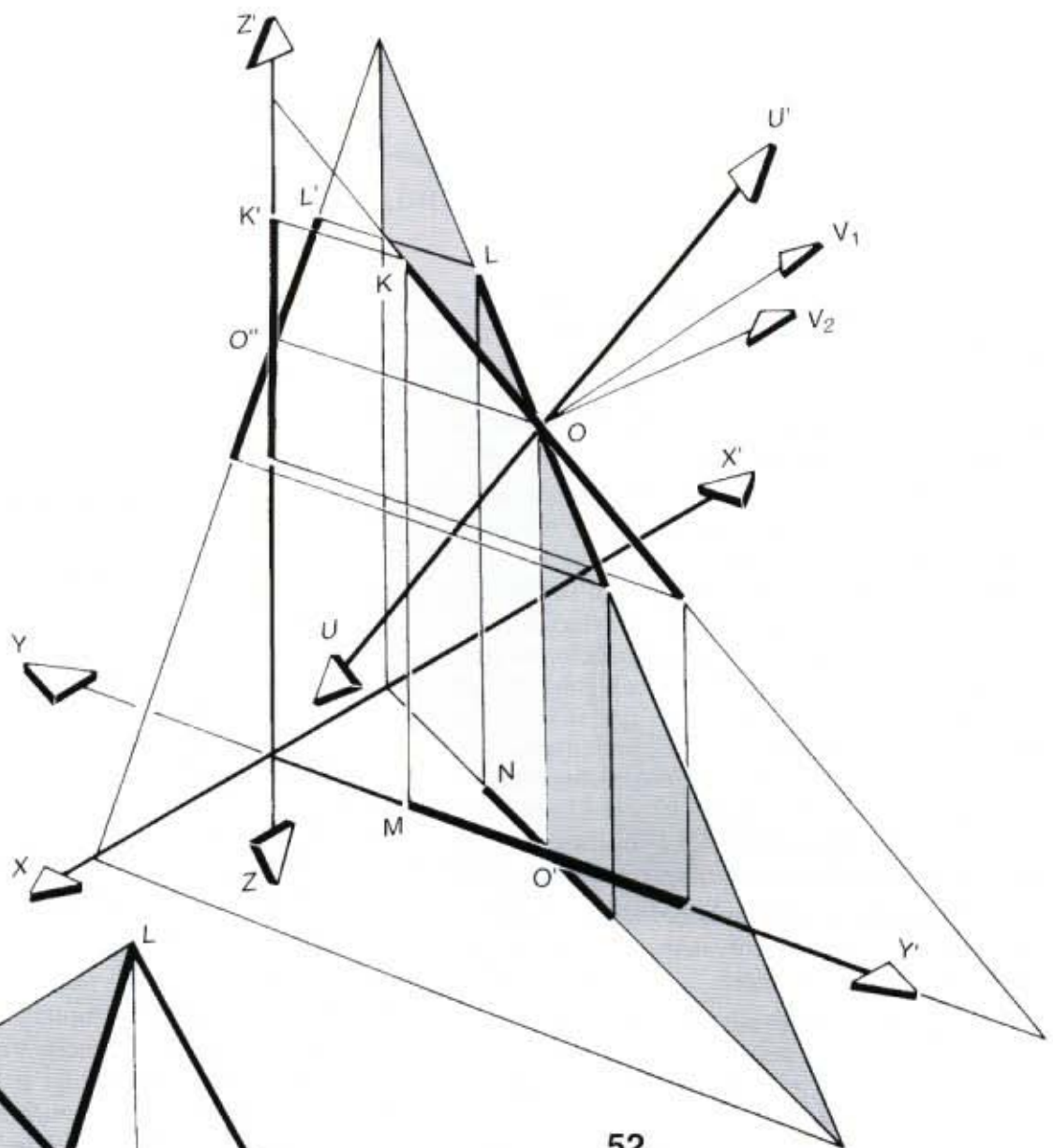
$$\operatorname{tg} d = \frac{KL}{KM} \quad \text{o también} \quad \boxed{\operatorname{tg} d = - \frac{\operatorname{tg} b}{\operatorname{sen} a}}$$

El interés de esta demostración radica en que permite verificar los dos casos extremos:

1. si el eje UU' es vertical, el ángulo $\hat{a}$ es nulo, y por lo tanto, $\cos a = 1$, de lo que se deduce que $\operatorname{tg} c = \operatorname{tg} b$; de modo que $c = b$; lo que significa que cuando el eje es vertical, toda rotación en torno a este eje determina una *rotación pura sin ninguna inclinación*;
2. a la inversa, si el eje UU' pudiera ser horizontal (esto es imposible), $\operatorname{sen} a = 1$, de lo que se deduce que $\operatorname{tg} d = \operatorname{tg} b$ y $d = b$; lo que significa que toda rotación en torno al eje UU' horizontal sería una *inclinación pura*.

No obstante, existe un caso intermedio de inclinación a 45° del eje UU' sobre la vertical; en este caso, se demuestra de igual forma que el ángulo $\hat{d}$ de inclinación es igual al ángulo $\hat{c}$ de rotación.

Volviendo a la figura 52, se puede comprobar que cuando la vértebra gira sobre la vértebra subyacente, un ángulo $\widehat{KOL}$ arrastra con ella el eje V_1 , por el que se articula con la vértebra suprayacente. Este eje gira entonces en V_2 y, saliendo del plano sagital, pasa a ser oblicuo en relación a los tres ejes de referencia, lo que explica que a partir de este momento aparezca un nuevo componente de extensión. Se podrían calcular los componentes sucesivos en los seis segmentos; pero esto requeriría el uso de un ordenador, ya que las fórmulas comportarían tangentes de tangentes de tangentes hasta el sexto grado. Por lo tanto, para entender estos movimientos es mucho más sencillo recurrir a un *modelo mecánico*.



MODELO MECÁNICO DEL RAQUIS CERVICAL

Partiendo de esas concepciones mecánicas y de la división funcional entre raquis cervical superior suboccipital y raquis cervical inferior, se ha realizado un modelo mecánico (Fig. 54) que permite poner de manifiesto los distintos tipos de funcionamiento de las articulaciones del raquis cervical ⁽¹⁾.

En el raquis cervical inferior, es decir, entre C₂ y D₁, sólo se han efectuado movimientos mixtos de inclinación-rotación, alrededor de *ejes oblicuos* (véase pág. 210), respetando su oblicuidad anatómica y su disposición en relación a los cuerpos vertebrales que, en este modelo, no presentan ninguna articulación discal entre sí; en cambio, dichos ejes constituyen por sí solos los frenos del movimiento de inclinación-rotación. La eliminación deliberada de los movimientos de flexoextensión en esta parte del modelo permite que los movimientos de inclinación-rotación aparezcan de manera particularmente explícita.

El **raquis cervical suboccipital** se ha llevado a cabo según los equivalentes mecánicos; de hecho, se puede distinguir:

- un **eje vertical** que corresponde a la *odontoides* y que permite, además de los movimientos de *rotación*, algunos movimientos de flexoextensión de la meseta elíptica que representa al atlas, merced a un juego mecánico introducido voluntariamente entre él y el cuerpo de C₂;
- un conjunto de **tres ejes ortogonales** de poca amplitud que corresponden a la *articulación occipitoatloidea*:

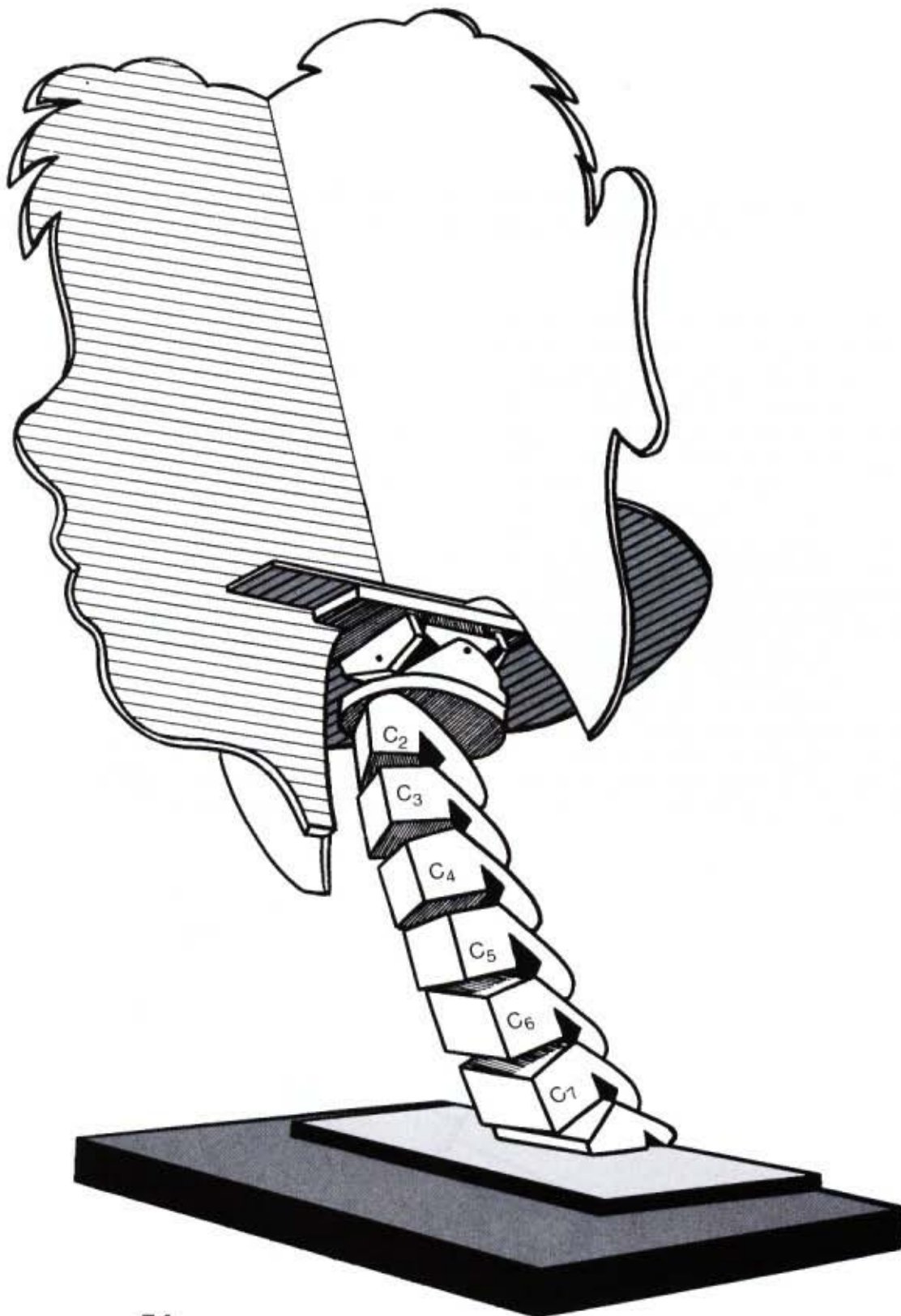
- un *eje vertical* situado en el centro de la meseta del atlas;
- *dos ejes perpendiculares* entre sí y en relación al precedente, visibles en el esquema, que forman un cardán y que representan, por una parte, el eje de *inclinación lateral* de la occipitoatloidea, y, por otra, el eje de *flexoextensión* en esta misma articulación.

Resumiendo, el raquis suboccipital representa una **cadena articular de tres ejes y con tres grados de libertad** asegurando la unión entre C₂ y el occipital, representado en este modelo por una plaquita horizontal, unida a los tres planos principales de referencia de la cabeza:

- el plano sagital, a trazos claros;
- el plano frontal, en blanco;
- y el plano transversal, a trazos oscuros.

Este modelo permite entender cómo los dos segmentos del raquis se completan funcionalmente; así, en el esquema se puede ver que el movimiento de *inclinación-rotación a la derecha del raquis cervical inferior se transforma en el raquis suboccipital en un movimiento de inclinación pura, gracias a la eliminación de los componentes no deseados*.

(1) Muy difícil de realizar según el método de maquetas recortables, se está valorando editarlo en plástico.



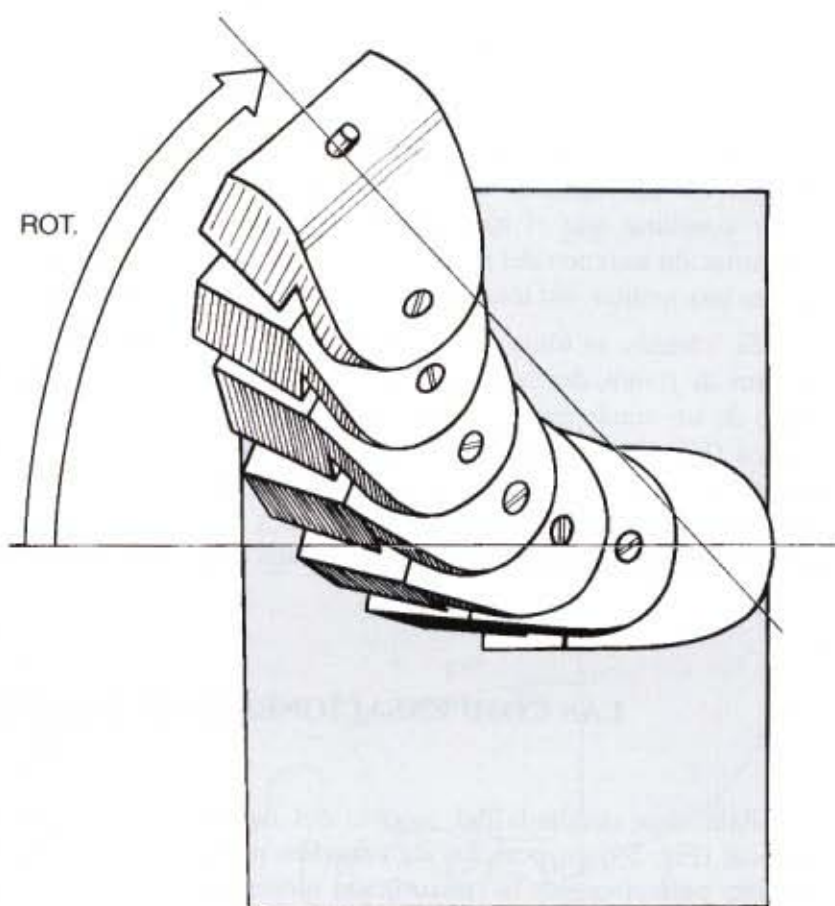
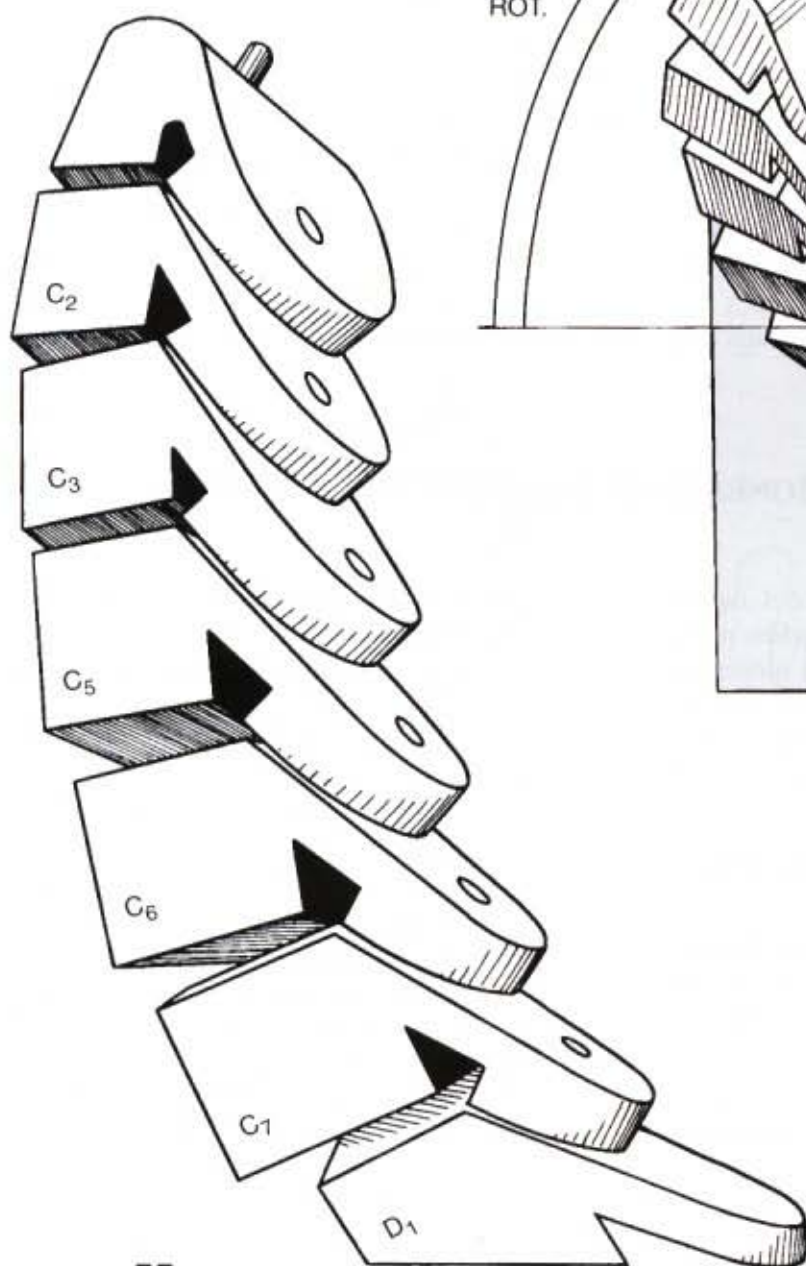
LOS MOVIMIENTOS DE INCLINACIÓN-ROTACIÓN EN EL MODELO DEL RAQUIS CERVICAL

Si ahora se considera el *raquis cervical inferior con detalle* (Fig. 55), se puede apreciar que, funcionalmente, a cada cuerpo vertebral le corresponde un arco posterior representado por una tablilla inclinada hacia abajo y hacia atrás y provista de una calza en forma de cuña. Si se compara esta figura a la figura 50, se puede constatar que el papel de estas calzas es el de reconstituir la convergencia del plano de las superficies articulares y, por lo tanto, realizar la lordosis cervical. En cada uno de estos planos de superficie articular se implanta perpendicularmente el eje oblicuo, materializado en este caso por un tornillo, y que permite la articulación con la vértebra suprayacente. De este modo, esta vértebra suprayacente sólo se puede desplazar con respecto a la que está situada por encima en los movimientos de rotación alrededor de este eje oblicuo, tal como se han explicado en la Fig. 50. Si se aplica entonces

una rotación sucesiva en torno a los seis ejes de este modelo, se puede ver como adquiere, a la vez, un movimiento de inclinación y de rotación (Fig. 56), *cuyos 50° corresponden a la amplitud de rotación del raquis cervical inferior* y también un ligero componente de extensión que apenas es visible en estos esquemas.

Asimismo, nótese la forma de la cara superior de C_2 que representa *funcionalmente* la articulación atlodoaxoidea:

- la *forma convexa de delante atrás* que corresponde a las *carillas superiores del axis* y permite movimientos de flexoextensión del atlas (sin representar aquí);
- el *eje vertical* que rebasa y representa funcionalmente la *odontoides* y permite movimientos de rotación.



COMPARACIONES ENTRE EL MODELO Y EL RAQUIS CERVICAL DURANTE LOS MOVIMIENTOS DE INCLINACIÓN-ROTACIÓN

Si se mira el modelo de frente (Fig. 57) durante un movimiento de *rotación pura*, se puede constatar que el movimiento de inclinación-rotación unívoco del raquis cervical inferior realiza una inclinación total de 25°.

Si, además, se toma una *radiografía, estrictamente de frente*, del raquis cervical en el transcurso de un *movimiento de rotación pura de la cabeza* (Fig. 58), se halla de nuevo este movimiento de inclinación que se traduce a nivel del axis en una inclinación exactamente igual a 25° sobre la vertical. De la comparación de estos dos

documentos se puede entonces deducir que en el raquis cervical existen, como ya demostraron Fick y Weber a finales del siglo XIX, movimientos de *inclinación siempre asociados a la rotación* y que, por otra parte, como manifestaron más recientemente Penning y Brugger, los movimientos de inclinación del raquis cervical inferior *los compensa el raquis cervical suboccipital* para conseguir la rotación pura y, viceversa, los movimientos del raquis cervical inferior los compensa el raquis cervical suboccipital para conseguir una inclinación pura (véase Fig. 54).

LAS COMPENSACIONES EN EL RAQUIS SUBOCCIPITAL

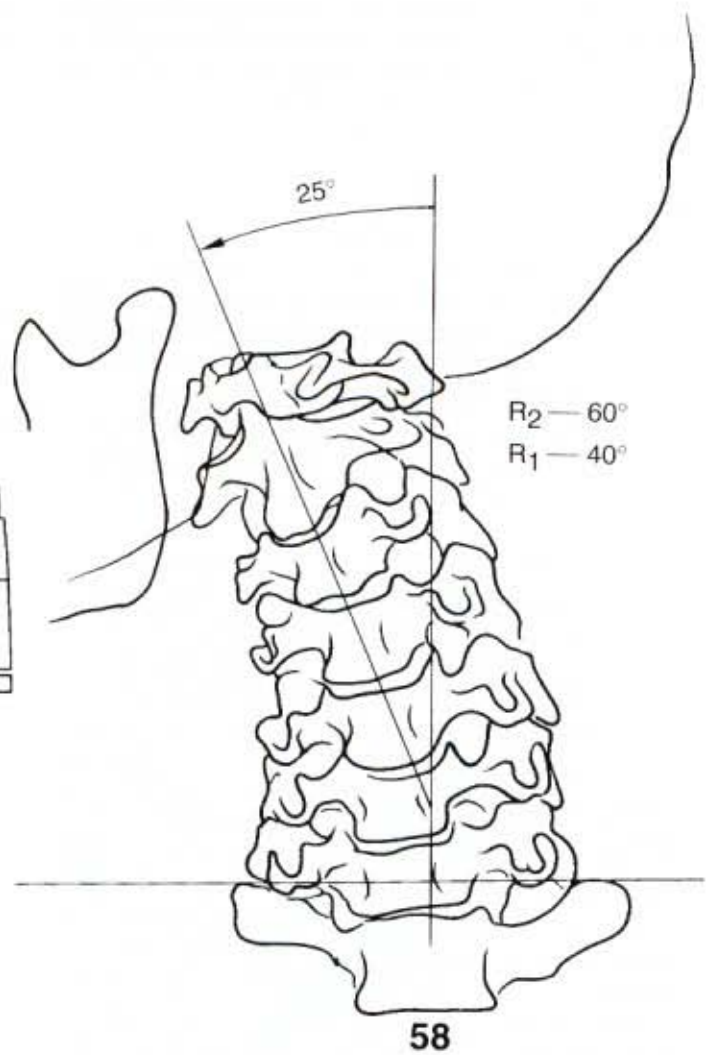
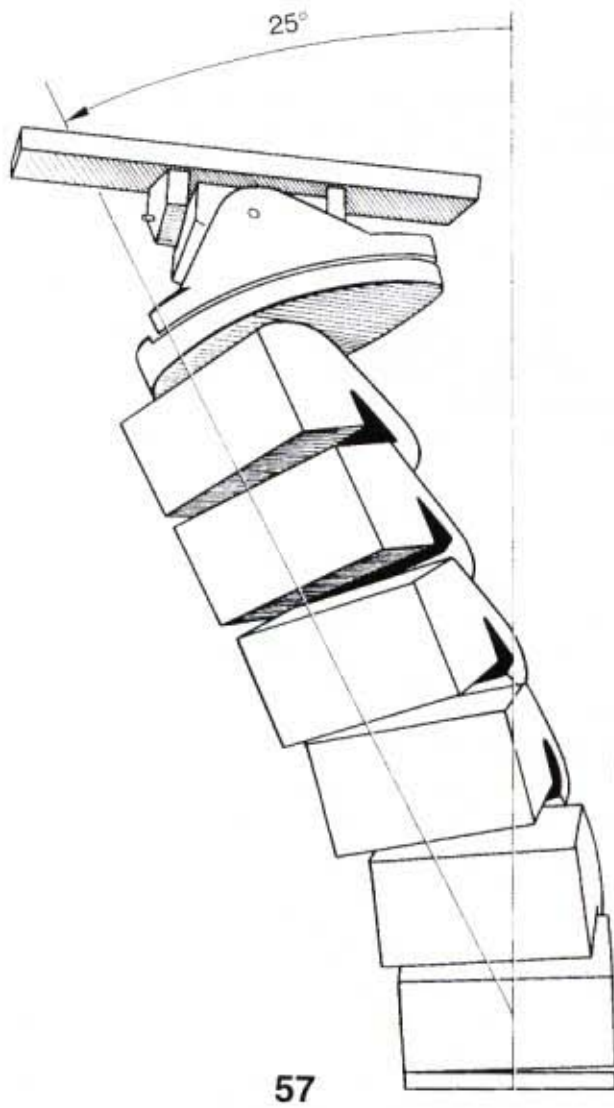
Esta vista detallada del modelo del raquis cervical (Fig. 59) en posición de **rotación pura** muestra perfectamente la constitución mecánica del raquis cervical superior, así como los componentes compensadores que éste introduce para realizar el movimiento de rotación pura.

De arriba abajo se pueden observar:

- la meseta horizontal (A) que representa la base del occipital;
- en su parte inferior, dos soportes frontales para el eje anteroposterior (4) de inclinación de la articulación occipitoatlóidea;
- este eje (4) se articula con la pieza intermedia (C), atravesada por un eje transver-

sal (3), que representa el eje de flexoextensión de la occipitoatlóidea;

- este último (3) está sostenido por dos flancos verticales (D') unidos a una meseta horizontal (D) que gira sobre la meseta (E) gracias a un eje vertical (2) que representa el eje de rotación de la occipitoatlóidea (oculto por C);
- la meseta E, equivalente funcional del atlas, está articulada con el axis (F) por un eje vertical (1) que representa a la odontoides y está materializado en este caso por un tornillo sin ajustar totalmente, lo que permite, además de los movimientos de rotación, movimientos de flexoextensión sobre la cara superior convexa del axis F.



LAS COMPENSACIONES EN EL RAQUIS SUBOCCIPITAL

(continuación)

Resumiendo, pese a que anatómicamente no se distinguen los diferentes elementos de este raquis suboccipital, se pueden localizar perfectamente los *equivalentes funcionales*:

- el axis F con su odontoides: eje 1;
- el atlas E, que se articula con la odontoides y la cara superior del axis;
- el occipital A, que corona un conjunto funcional de tres ejes perpendiculares entre sí, los de la articulación atlodoaxoidea: eje de rotación (2), eje de flexoextensión (3) y el eje de inclinación (4). Estos dos últimos forman entre sí un sistema de cardán.

Una vez descritos los elementos del raquis suboccipital, se procede a exponer su funcionamiento: para obtener la rotación pura, una vez el raquis cervical inferior haya efectuado su movimiento de inclinación-rotación, la cadena suboccipital, con tres ejes y tres grados de libertad, debe realizar **tres componentes**:

- un componente de *rotación hacia la derecha*, en torno a los ejes 1 y 2, que prolonga la del raquis cervical inferior y se realiza en gran parte en la articulación atlodoaxoidea (ángulo $\hat{a}$) y en menor medida en la articulación occipitoatlodoidea (ángulo $\hat{b}$);
- una *extensión* en torno al eje 3 de un ángulo $\hat{c}$ que compensa la flexión que aparecería a causa de la rotación pura hacia la derecha sobre el eje 1;
- y, por último, un ligero componente de *contrainclinación* de ángulo $\hat{d}$ en torno al eje 4; de hecho, la mayor parte de la inclinación del raquis cervical inferior ya se ha neutralizado gracias a la extensión en torno al eje 3.

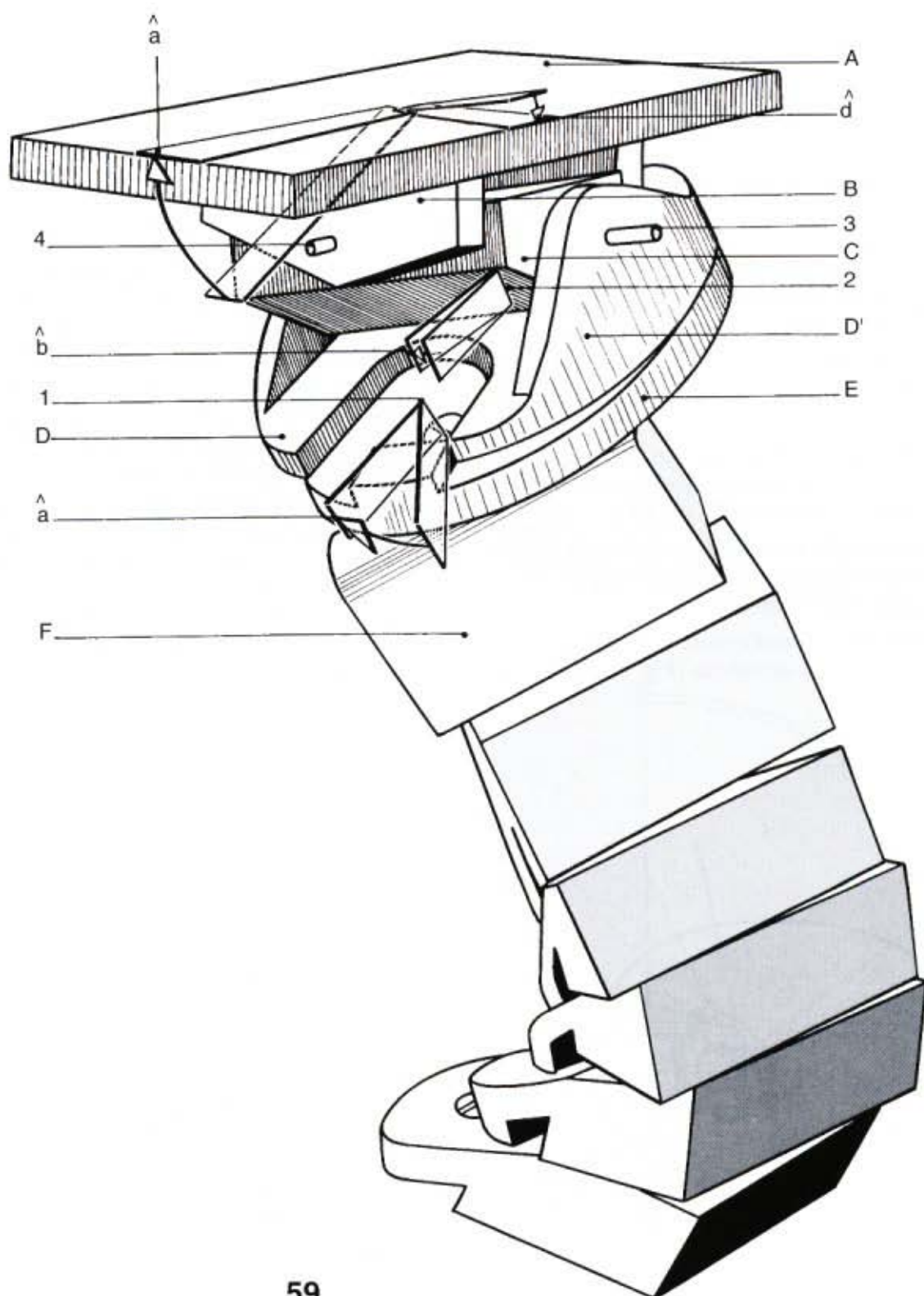
Anatómicamente, los movimientos se efectúan en el raquis suboccipital gracias a la acción de los *pequeños músculos suboccipitales* (véase pág. 234) que se podrían denominar **músculos “nonio”**, ya que su función principal es la de ajustar de *forma precisa* los componentes compensatorios a fin de neutralizar los movimientos no deseados y hacer que aparezca en su estado puro el componente deseado. Así, existe una notable analogía entre los músculos “nonio” y los cohetes “nonio” que, debido a su acción calculada con exactitud, permiten controlar la *posición* de un vehículo espacial en relación a puntos fijos de referencia.

Durante el movimiento de **rotación pura** de la cabeza hacia la derecha (Fig. 59), la rotación adicional del raquis suboccipital hacia la derecha está asegurada por la acción de los músculos *oblicuo mayor, recto anterior del lado derecho*, y por el *oblicuo menor izquierdo*. Todos ellos son, a la vez, extensores, por lo tanto, realizan simultáneamente la extensión descrita anteriormente. La contrainclinación hacia la izquierda se obtiene a través del *oblicuo menor, del recto lateral izquierdo* y del *recto anterior menor izquierdo*. La acción flexora de estos dos últimos músculos está constituida por el componente extensor de los precedentes.

Durante el movimiento de **inclinación pura** de la cabeza hacia la derecha (Fig. 54), el componente de *contrarrotación hacia la izquierda* se obtiene mediante la contracción de los músculos *oblicuo mayor, rectos posteriores mayor y menor del lado izquierdo, la inclinación adicional hacia la derecha* por la acción de los músculos *rectos posteriores mayor y menor del lado derecho y por el oblicuo menor derecho*. Por último, el componente de extensión de estos músculos, así como la extensión en el raquis cervical inferior y la que aparecería por la contrarrotación pura hacia la izquierda están compuestas por los músculos flexores: *recto anterior y recto anterior menor derechos, y recto lateral derecho*.

De este modo, este modelo mecánico permite comprender la relación anatómica y funcional entre:

- por una parte, el **raquis cervical inferior**, dotado de *movimiento de enrollamiento o de torsión*, que asocia inclinación, rotación, extensión, y está provisto de músculos largos, oblicuos hacia abajo, hacia fuera y hacia atrás, tales como el esplenio del cuello, dorsal largo, transversal del cuello, sacrolumbar, angular del omóplato, y, en menor grado, los escalenos; todos estos músculos están dispuestos de forma idónea para realizar este movimiento unívoco;
- por otra parte, el raquis cervical superior, que constituye una *cadena articular de tres ejes y tres grados de libertad*, activada, entre otros, por la acción de los pequeños músculos suboccipitales, **músculos “nonio”**, ya que su contracción antagonista-sinérgica logra, eliminando en las articulaciones suboccipitales los componentes no deseados procedentes del raquis cervical inferior, que aparezca únicamente el movimiento deseado.



AMPLITUD ARTICULAR EN EL RAQUIS CERVICAL

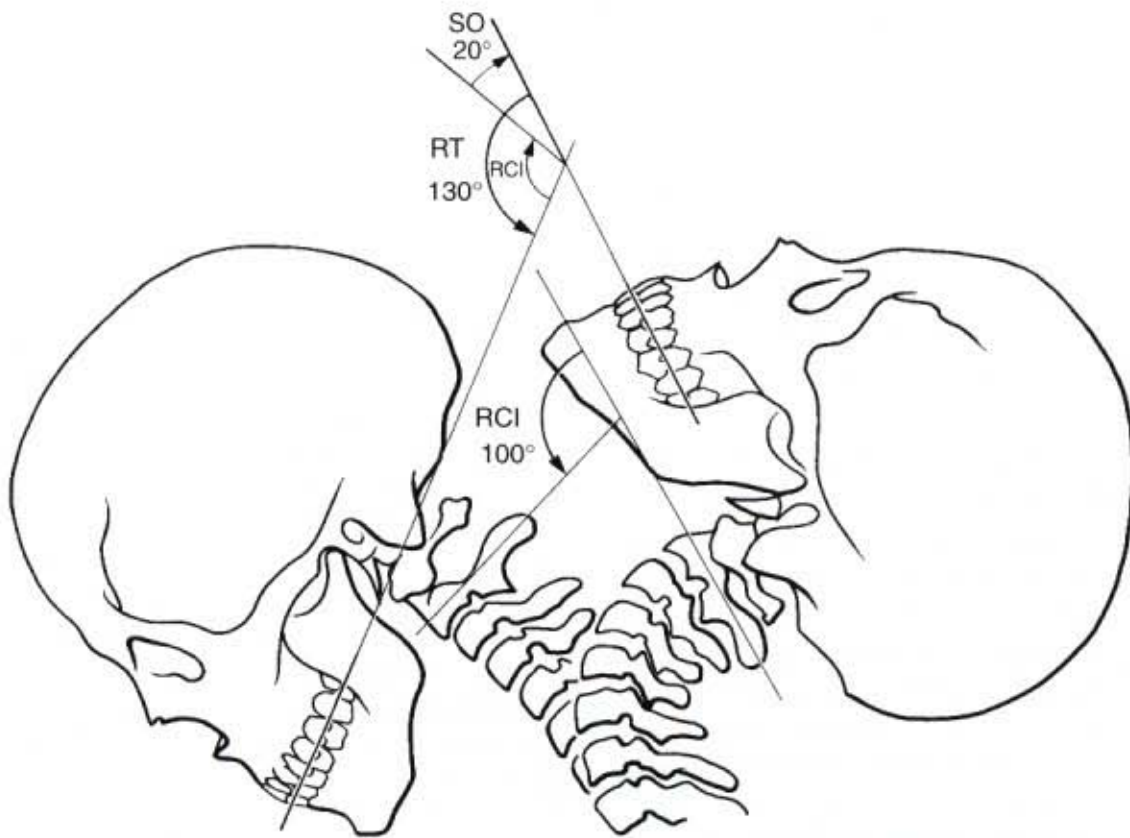
La comparación de *radiografías de perfil* durante los movimientos extremos de **flexoextensión** (Fig. 60) permite conocer:

- la amplitud total de flexoextensión del *raquis cervical inferior* (RCI = de 100 a 110°);
- la amplitud total de flexoextensión del *conjunto del raquis cervical* en relación al plano masticador (RT = 130°);
- una simple resta permite deducir la amplitud de flexoextensión en el *raquis suboccipital* (SO = 20 a 30°).

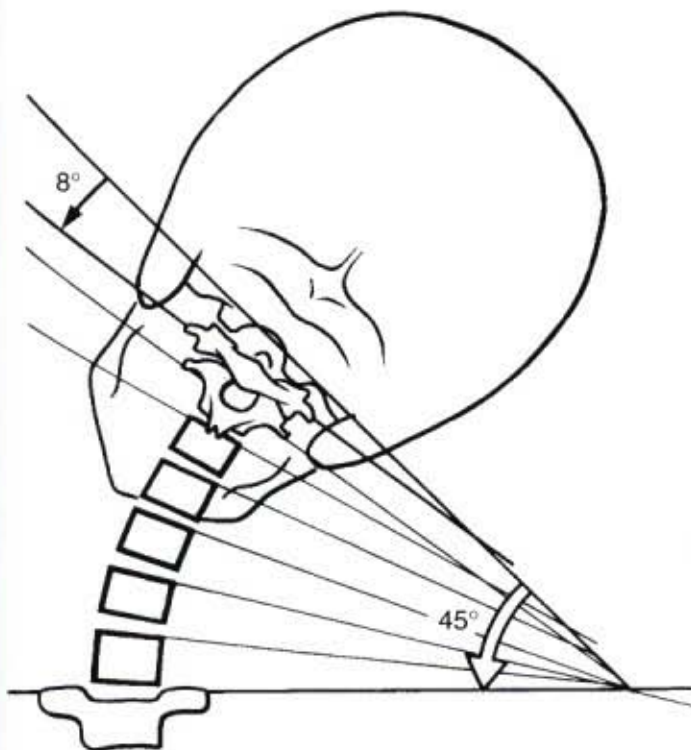
Asimismo, en *radiografías de frente* tomadas con inclinación de cabeza (Fig. 61), se puede

apreciar la amplitud total de **inclinación**, que es, aproximadamente, de unos 45°. Además, trazando la línea que une las dos apófisis transversas del atlas, por una parte, y, por otra, la línea que une la base de las apófisis mastoides, se haya, aproximadamente, una amplitud de 8° en la inclinación lateral del raquis suboccipital; es decir, *únicamente en la articulación occipitoatloidea*.

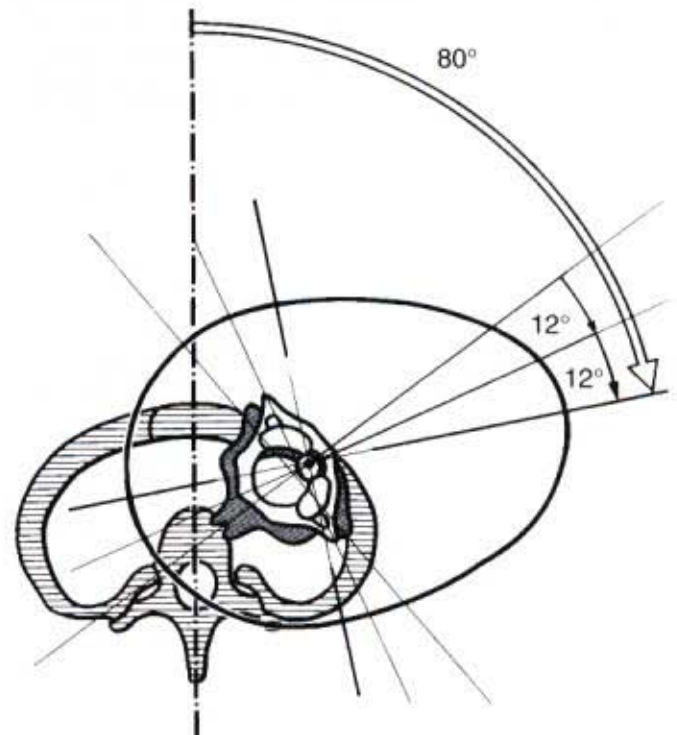
La amplitud de **rotación** es más difícil de apreciar, sobre todo, en lo que concierne a las rotaciones elementales (Fig. 62). La rotación total de la cabeza es de 80 a 90° a cada lado. En lo relacionado a esta amplitud, se atribuyen 12° a la *articulación occipitoatloidea* y otros tantos a la *articulación atloidoaxoidea*.



60



61



62

EQUILIBRIO DE LA CABEZA SOBRE EL RAQUIS CERVICAL

La cabeza está en equilibrio (Fig. 63) *cuan-do los ojos están en la horizontal*. En esta posición, el *plano masticador* (PM), representado por un cartón apretado entre los dientes, también es horizontal, así como el *plano auriculonasal* (AN), que pasa por el borde superior del conducto auditivo externo y por la espina nasal.

La cabeza en conjunto constituye una *palanca de interapoyo*:

- el *punto de apoyo* O se sitúa en los cóndilos occipitales;
- la *resistencia* G se lleva a cabo ejerciendo el peso de la cabeza contra su centro de gravedad localizado cerca de la silla turca;
- la *potencia* F está constituida por la fuerza de los músculos de la nuca que, en todo momento, deben contrarrestar el peso de la cabeza que tiende a hacerla caer hacia delante.

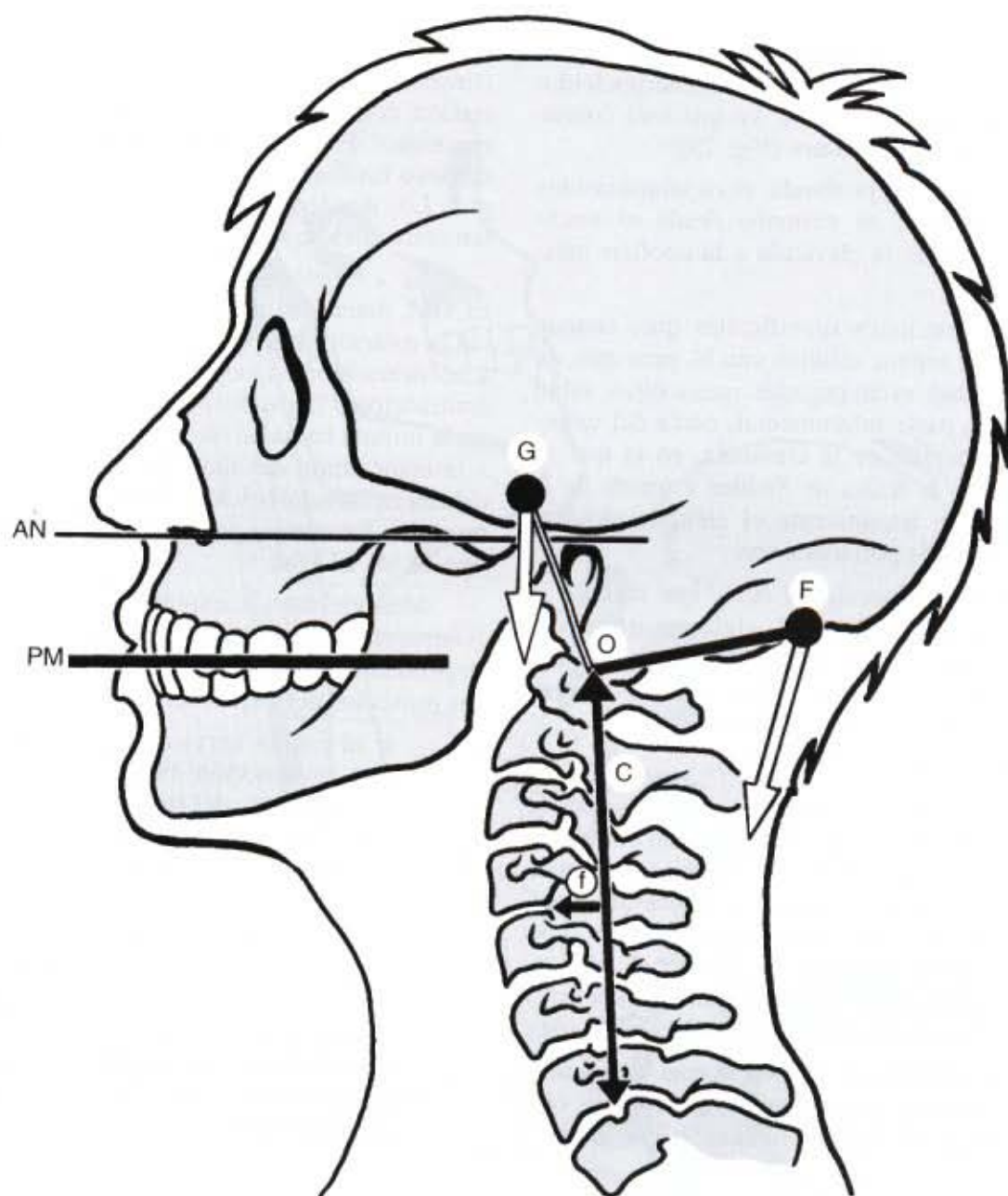
Esta situación anterior del centro de gravedad de la cabeza explica la relativa potencia de los músculos posteriores de la nuca respecto a los músculos flexores del cuello. De hecho, los *extensores luchan contra la gravedad*, mientras que en el caso de los flexores la misma los refuer-

za. Esto explica también que existe un tono permanente de los músculos de la nuca que se opone a la caída de la cabeza hacia adelante: cuando, en el transcurso del sueño en sedestación, este tono disminuye, el mentón cae sobre el esternón.

El raquis cervical no es rectilíneo: presenta una curva cóncava hacia atrás o **lordosis cervical** que se caracteriza:

- por *su cuerda* (C), recta, que se extiende desde los cóndilos occipitales a las escotaduras posteroinferiores de la séptima vértebra cervical;
- y por *su flecha* (f), perpendicular, trazada desde la escotadura posteroinferior de la cuarta cervical a la cuerda.

Cuanto mayor sea la lordosis cervical, más se acentuará la flecha; sin embargo, ésta será nula si el raquis cervical es rectilíneo, e incluso puede ser negativa cuando éste, en flexión, sea cóncavo hacia delante. En cambio, la cuerda es, normalmente, más corta que la longitud desarrollada por el raquis cervical, y sólo es igual a ésta longitud desarrollada en un único caso: cuando el raquis cervical es rectilíneo. He aquí un *índice cervical* similar al índice de Delmas, del que ya se habló en el primer capítulo (pág. 22).



CONSTITUCIÓN Y ACCIÓN DEL MÚSCULO ESTERNOCLEIDOMASTOIDEO

El músculo esternocleidomastoideo debería denominarse por ser más correcto esternocleido-occipitomastoideo (ECOM), ya que está constituido por **cuatro porciones** (Fig. 75):

- una porción profunda, el *cleidomastoideo* (Cm), que se extiende desde el tercio interno de la clavícula a la apófisis mastoides;
- tres porciones superficiales que, cuando se las separa, dibujan una N, pero que, en realidad, están pegadas unas a otras, salvo en la parte inferomedial, cerca del extremo medial de la clavícula, en la que se forma la fosita de Sédilot a través de la cual se transparenta el cleidomastoideo. Estas tres porciones son:
 - la *cleidooccipital* (Co), que recubre la mayor parte del cleidomastoideo y cuyas inserciones se extienden por detrás, alejadas, sobre la línea curva superior del occipital;
 - la *esternoccipital* (Eo);
 - y la *esternomastoidea* (Em); ambos se insertan mediante un tendón común en el borde superior del manubrio esternal. El esternoccipital se une a las inserciones del cleidooccipital en la línea curva superior; en cuanto al esternomastoideo, se fija en el borde superior y borde anterior de la apófisis mastoides.

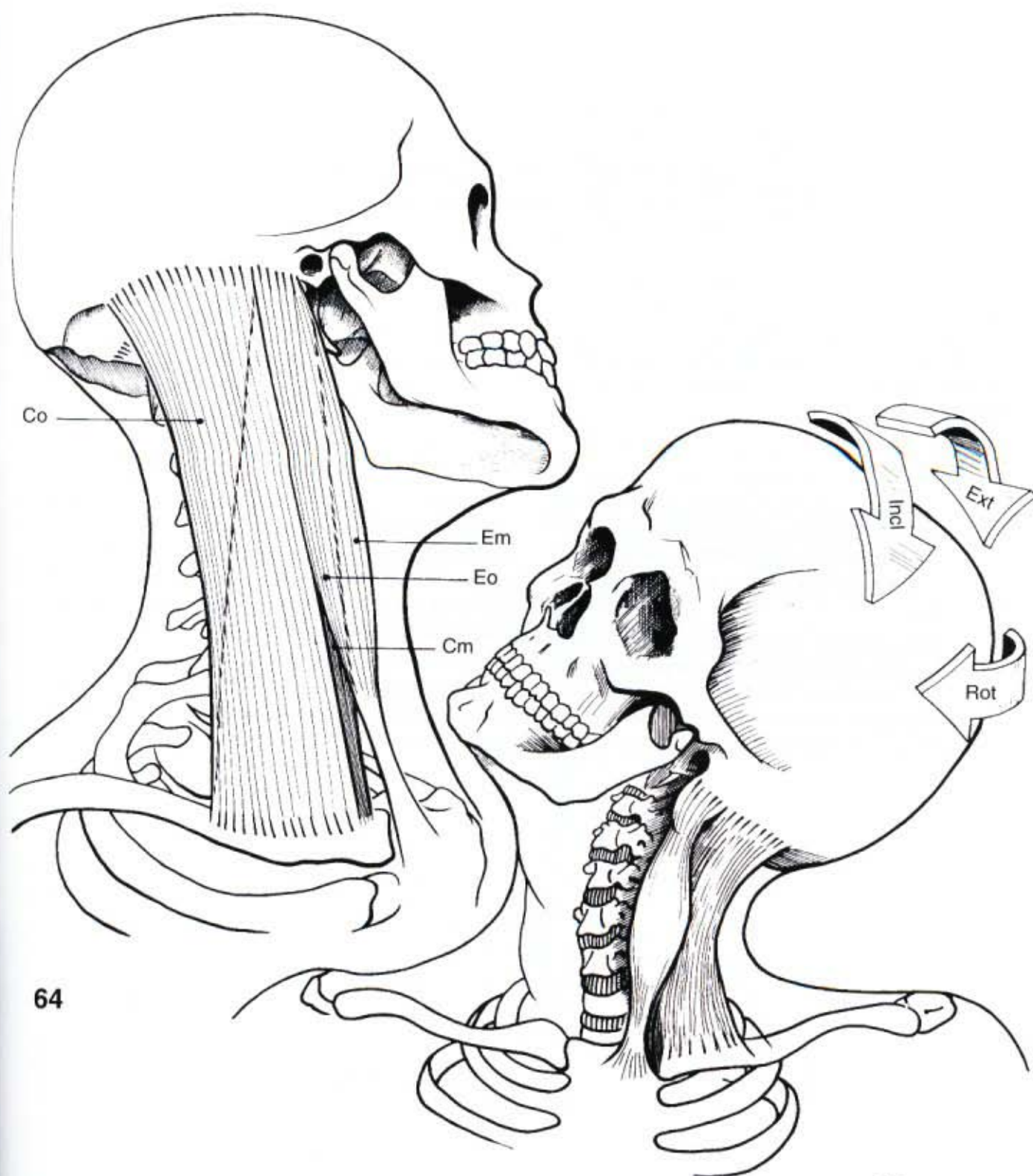
En conjunto, el ECOM forma una ancha banda muscular, que se extiende sobre la cara anterolateral del cuello, oblicua hacia abajo y

hacia delante, cuya parte más prominente está constituida, hacia abajo y hacia delante, por el tendón común al esternoccipital y al esternomastoideo. Estos dos músculos forman un cuerpo carnoso fusiforme perfectamente visible bajo la piel. Los dos tendones derecho e izquierdo limitan entre sí el hueco o fosita supraesternal.

La *contracción unilateral* (Fig. 65) del ECOM, determina un triple movimiento que asocia la rotación de la cabeza hacia el lado opuesto a su contracción, la inclinación hacia el lado de su contracción y la extensión. Este movimiento dirige la mirada hacia arriba y hacia el lado opuesto a la contracción del músculo. Esta actitud de la cabeza es característica de la *tortícolis congénita*, que, con frecuencia, se debe al acortamiento de uno de los ECOM.

Más adelante, se expondrán los efectos de la *contracción simultánea* de los dos ECOM, que dependen del estado de contracción del resto de los músculos del raquis cervical:

- si el raquis cervical permanece *flexible*, esta contracción bilateral conlleva una *hiperlordosis del raquis cervical con una extensión* de la cabeza y una flexión del mismo sobre el raquis dorsal (véase Fig. 92);
- si, por el contrario, el raquis cervical se torna *rígido* y rectilíneo debido a la contracción de los músculos prevertebrales, la contracción simultánea de los ECOM conlleva la *flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal y una flexión de la cabeza hacia adelante* (véase Fig. 97).



64

65

LOS MÚSCULOS PREVERTEBRALES: EL LARGO DEL CUELLO

El músculo largo del cuello (lc) es *el más profundo de los músculos prevertebrales* (Fig. 66) y se extiende por la cara anterior del raquis cervical, desde el arco anterior del atlas hasta la tercera vértebra dorsal. Los anatomistas distinguen tres porciones:

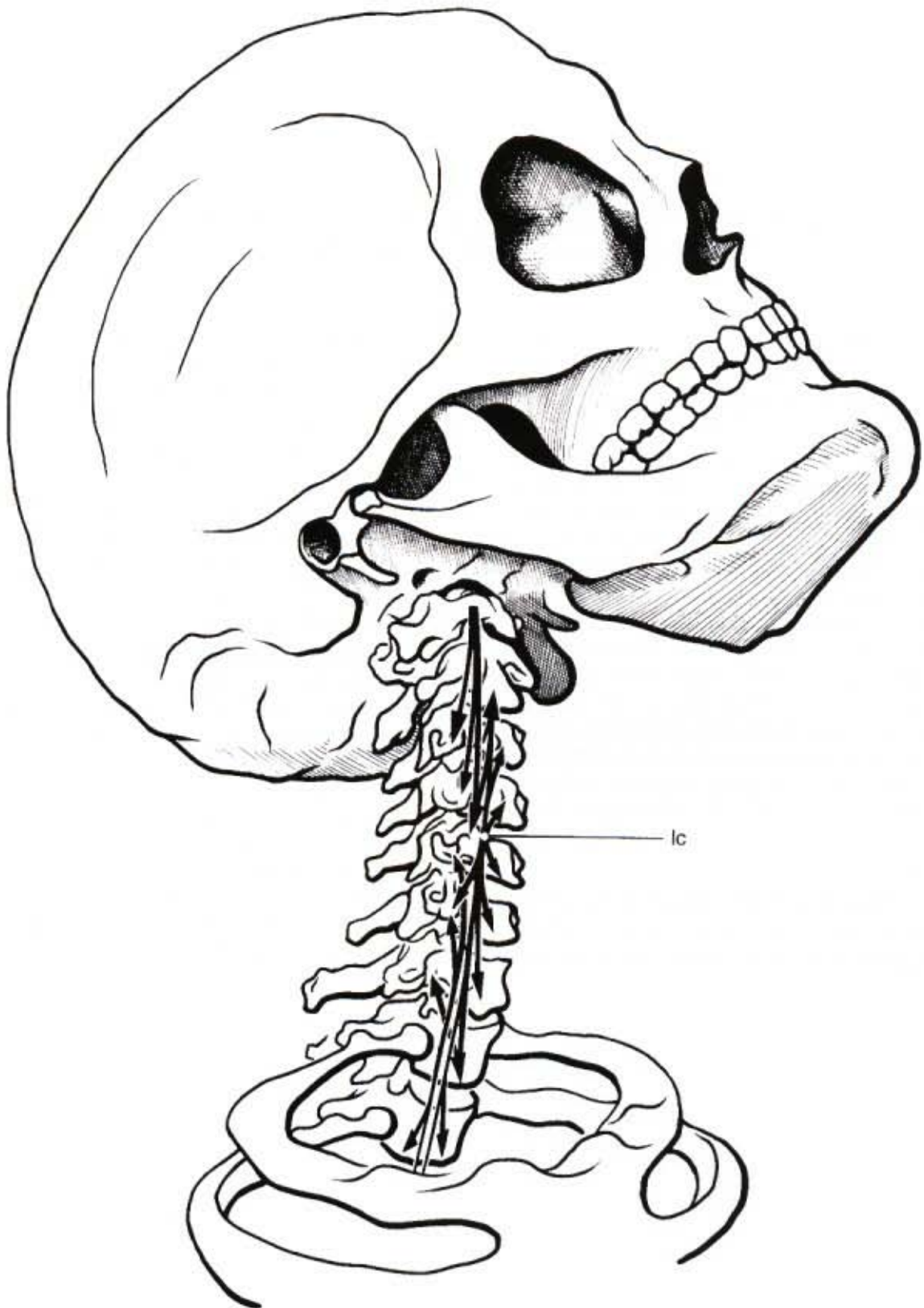
- una *porción oblicua descendente*, que se origina en el tubérculo anterior del atlas y se inserta a través de tres o cuatro digitaciones en el tubérculo anterior de la apófisis transversa de la tercera, cuarta, quinta y sexta vértebras cervicales;
- una *porción oblicua ascendente* que se origina en el cuerpo de la segunda y tercera vértebras dorsales para insertarse mediante tres o cuatro digitaciones en el tubérculo anterior de la apófisis transversa

de la cuarta, quinta, sexta y séptima vértebras cervicales;

- y, por último, una *porción longitudinal* localizada por dentro de las dos precedentes y algo hacia fuera de la línea media y que se inserta en los cuerpos vertebrales de las tres primeras dorsales y de las seis últimas cervicales.

Por lo tanto, el músculo largo del cuello cubre, a ambos lados de la línea media, la totalidad de la cara anterior del raquis cervical. Su *contracción bilateral y simétrica* endereza la lordosis cervical y acarrea una flexión del cuello. De este modo, desempeña un papel relevante en la estática del raquis cervical.

Su *contracción unilateral* determina una flexión del raquis y una inclinación hacia el lado de su contracción.



LOS MÚSCULOS PREVERTEBRALES: LOS RECTOS ANTERIORES MAYOR Y MENOR DE LA CABEZA Y EL RECTO LATERAL

Estos tres músculos están situados en la parte superior del raquis cervical (Fig. 67).

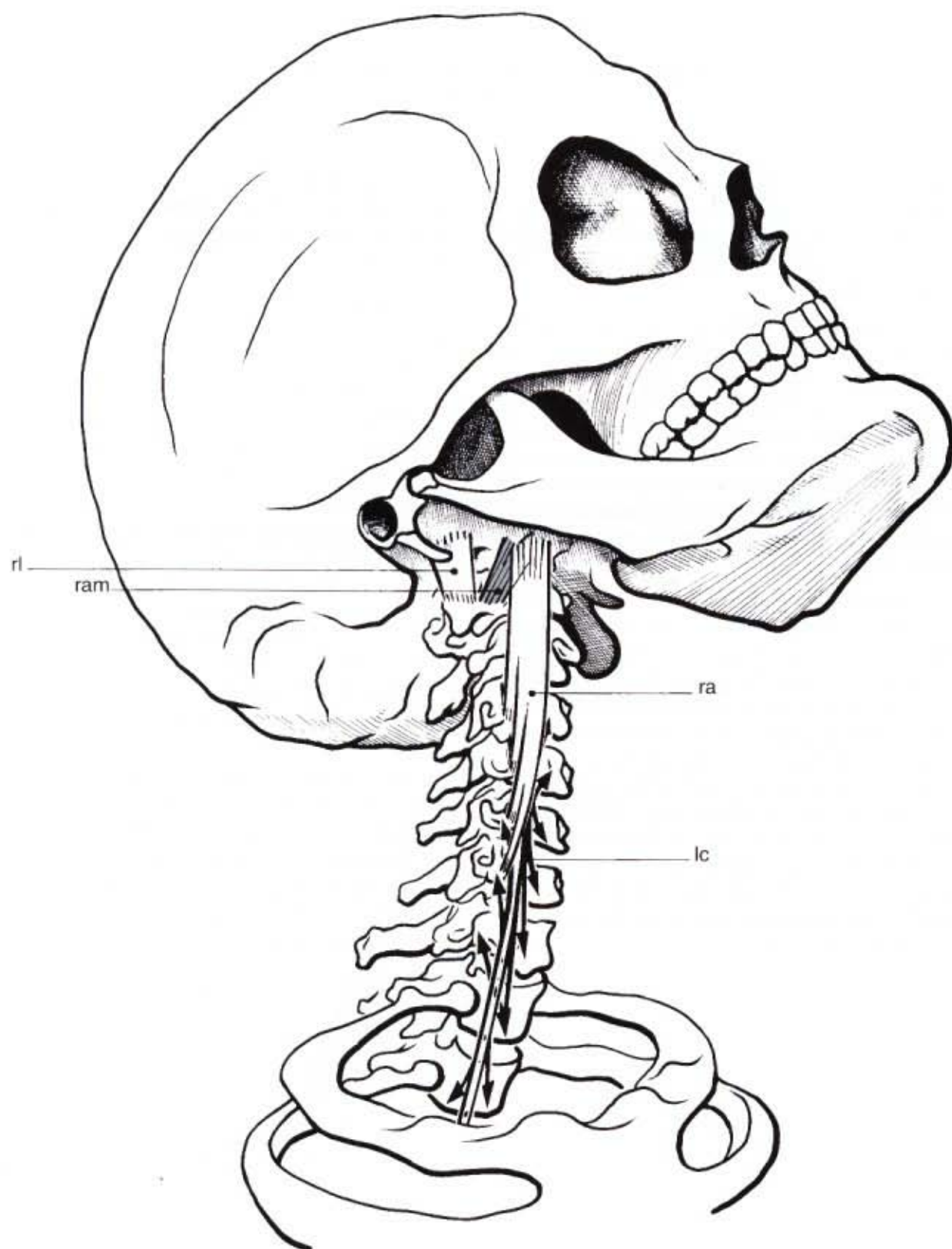
El **recto anterior mayor de la cabeza** (ra) es, de los tres, el más próximo a la línea media; contacta con su homólogo opuesto y se fija en la cara inferior de la apófisis basilar por delante del agujero occipital; además, recubre la parte superior del músculo largo del cuello (lc) y termina mediante tendones distintos en cada uno de los tubérculos anteriores de la tercera, cuarta, quinta y sexta apófisis transversas cervicales. Es el motor del raquis cervical suboccipital y de la parte superior del raquis cervical inferior. La *contracción simultánea* de los dos músculos rectos anteriores determina la *flexión de la cabeza* sobre el raquis cervical y el enderezamiento de la lordosis de la parte superior del mismo. La *contracción unilateral* determina la *flexión y la inclinación* de la cabeza hacia el lado de su contracción.

El **recto anterior menor de la cabeza** (ram) se sitúa por detrás y por fuera del precedente y se extiende entre la apófisis basilar occipital y la

cara anterior de la masa lateral del atlas hasta el tubérculo anterior de su apófisis transversa. Su dirección es oblicua hacia abajo y hacia fuera.

La *contracción simultánea* de los dos músculos homólogos determina la *flexión* de la cabeza sobre el raquis cervical a nivel de la articulación occipitoatloidea. Su *contracción unilateral* determina un triple movimiento de *flexión, rotación e inclinación hacia el lado de su contracción*. Estos movimientos se efectúan en la articulación occipitoatloidea.

El **músculo recto lateral** (rl) es el más superior de los músculos intertransversos; se inserta por arriba en la apófisis yugular del occipital y por abajo en el tubérculo anterior de la apófisis transversa del atlas. Se localiza por fuera del recto anterior menor y recubre la cara anterior de la articulación occipitoatloidea. Su *contracción bilateral* determina la *flexión* de la cabeza sobre el raquis cervical; y su *contracción unilateral* una ligera *inclinación hacia el lado de su contracción*. Estos dos movimientos tienen lugar en la articulación occipitoatloidea.



LOS MÚSCULOS PREVERTEBRALES: LOS ESCALENOS

Los músculos escalenos son tres y se extienden sobre la cara anterolateral del raquis cervical a modo de verdaderas *maromas musculares* (Fig. 68); unen las apófisis transversas cervicales a la primera y segunda costillas.

El **escaleno anterior** (ea), triangular de vértice inferior, se fija a través de cuatro tendones en los tubérculos anteriores de la tercera, cuarta, quinta y sexta apófisis transversas cervicales; sus fibras musculares convergen en un tendón que se inserta en el tubérculo de Lisfranc en la cara superior del extremo anterior de la primera costilla. La dirección general del cuerpo muscular del escaleno anterior es oblicuo hacia abajo, hacia delante y hacia fuera.

El **escaleno medio** (em), situado por detrás y en contacto con el escaleno anterior, se fija por arriba mediante seis lengüetas tendinosas en las apófisis transversas de las seis últimas vértebras cervicales, a la altura de los tubérculos anteriores y en el reborde externo de la corredera transversa de la segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta cervicales y en la transversa de la séptima. El cuerpo muscular, plano de delante atrás, triangular de vértice inferior, se dirige oblicuamente hacia abajo, hacia fuera y ligeramente hacia delante para finalizar en la cara superior de la primera costilla, inmediatamente por detrás de la corredera de la arteria subclavia.

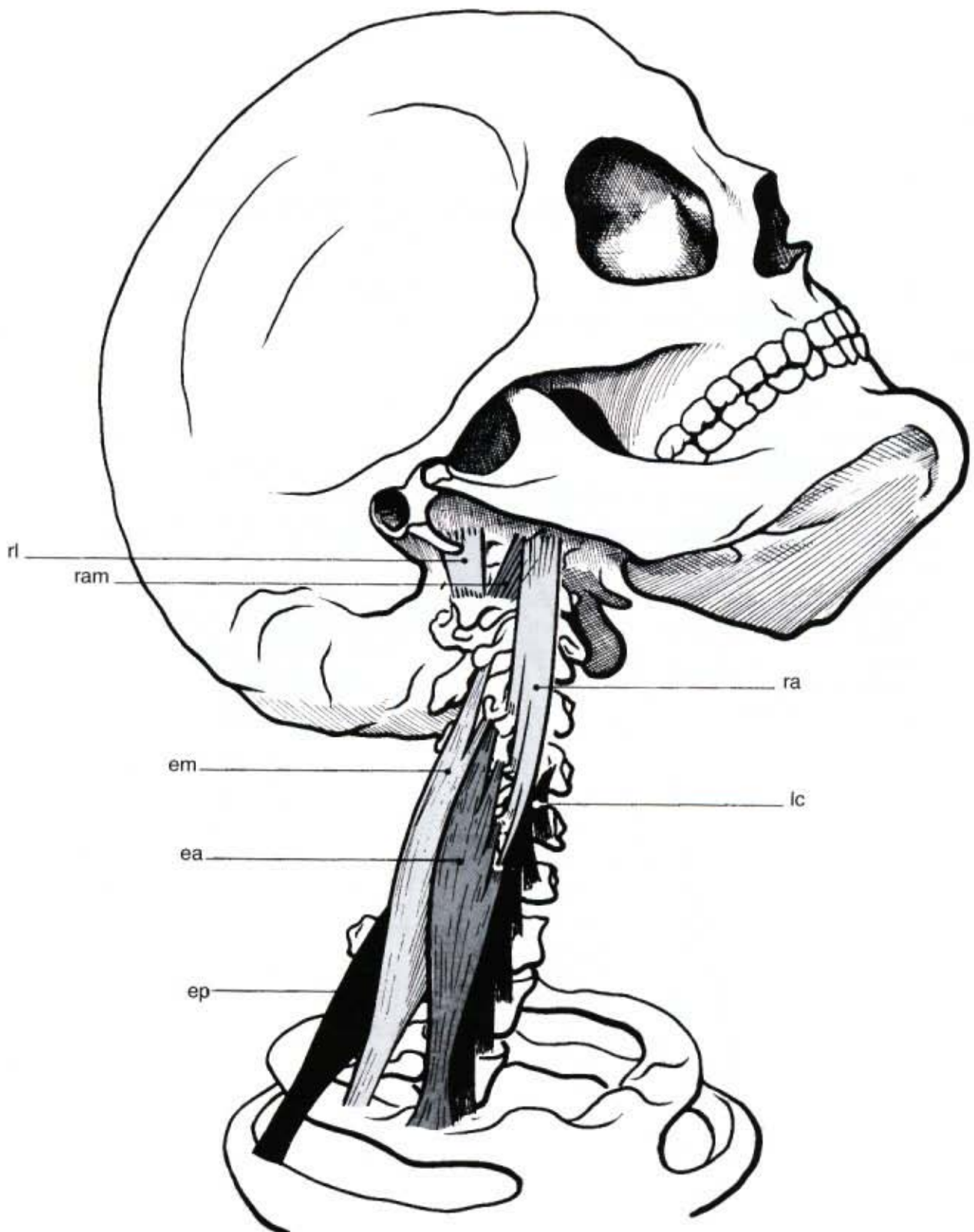
El **escaleno posterior** (ep) se localiza por detrás de los dos precedentes; se inserta por arriba a través de tres lengüetas tendinosas en los tubérculos posteriores de las transversas de la cuarta, quinta y sexta cervicales. Su cuerpo carnoso, plano transversalmente, se sitúa por fuera y por detrás del escaleno medio, con el que casi se confunde. Se inserta mediante un tendón plano en el borde superior y en la cara externa de la segunda costilla.

Entre los escalenos anterior y medio pasan las *ramas de origen del plexo braquial y la arteria subclavia*.

La *contracción simétrica de los escalenos* determina la *flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal* y una *hiperlordosis*, a condición de que el citado raquis cervical *no esté rígido* por la contracción del músculo largo del cuello; ya que, de lo contrario, la contracción simétrica de los escalenos determina *únicamente la flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal* (véase Fig. 93).

La *contracción unilateral de los escalenos* determina la *inclinación* (Fig. 70) y la *rotación* del raquis hacia el lado de la contracción.

Además, los escalenos son músculos accesorios de la inspiración, cuando, tomando como punto fijo sus inserciones cervicales, elevan las dos primeras costillas.



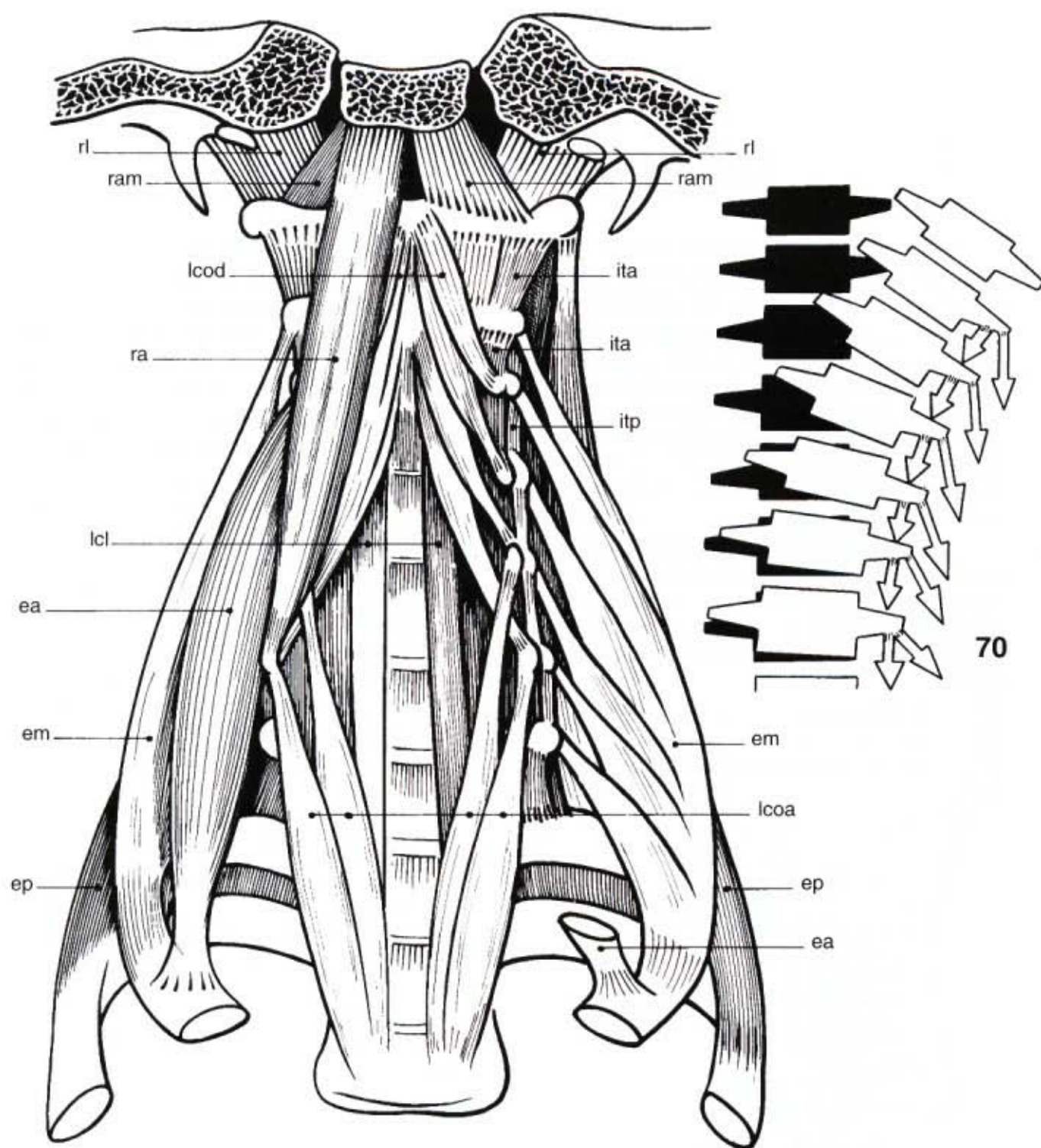
LOS MÚSCULOS PREVERTEBRALES EN CONJUNTO

Un esquema de frente tomado de Testut (Fig. 69) permite situar la **totalidad de los músculos prevertebrales**:

- el músculo *largo del cuello* con su haz longitudinal (lcl), sus haces oblicuos ascendentes (lcoa) y sus haces oblicuos descendentes (lcod);
- el *recto anterior mayor* de la cabeza (ra);
- el *recto anterior menor* de la cabeza (ram);
- el *recto lateral* (rl);
- los músculos intertransversos, que están divididos en dos planos: los músculos *intertransversos anteriores* (ita) y los músculos *intertransversos posteriores* (itp).

La acción de estos músculos intertransversos sólo determina la inclinación del raquis hacia el lado de su contracción (Fig. 70); esta acción está reforzada por la contracción unilateral de los músculos escalenos:

- el *escaleno anterior* (ea), dibujado entero sólo en la mitad derecha; mientras que en la mitad izquierda no está representado más que su tendón, lo que permite mostrar el *escaleno medio* (em);
- en cuanto al *escaleno posterior* (ep), sólo sobresale del escaleno medio en su parte más inferior, cuando se inserta en la segunda costilla.



LA FLEXIÓN DE LA CABEZA Y EL CUELLO

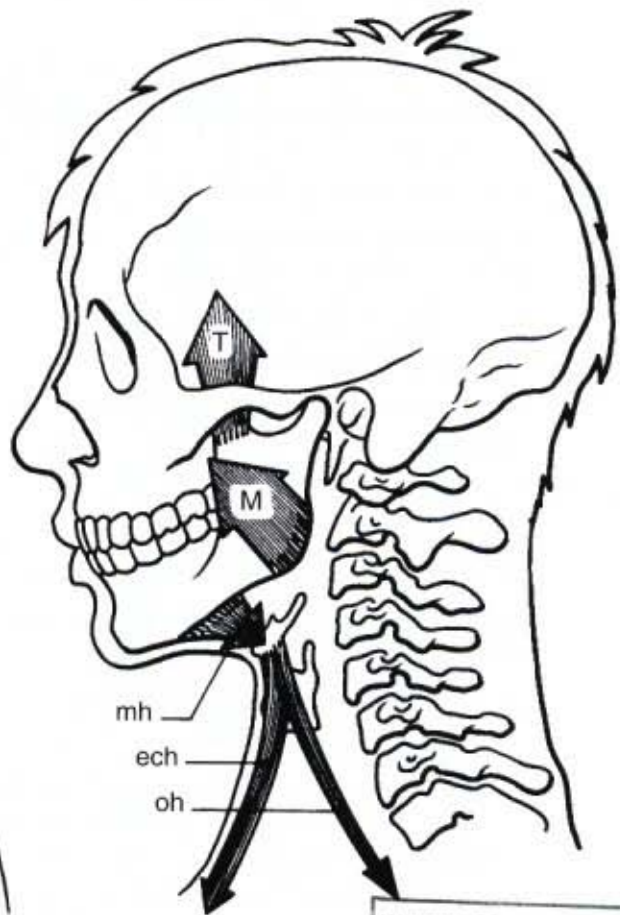
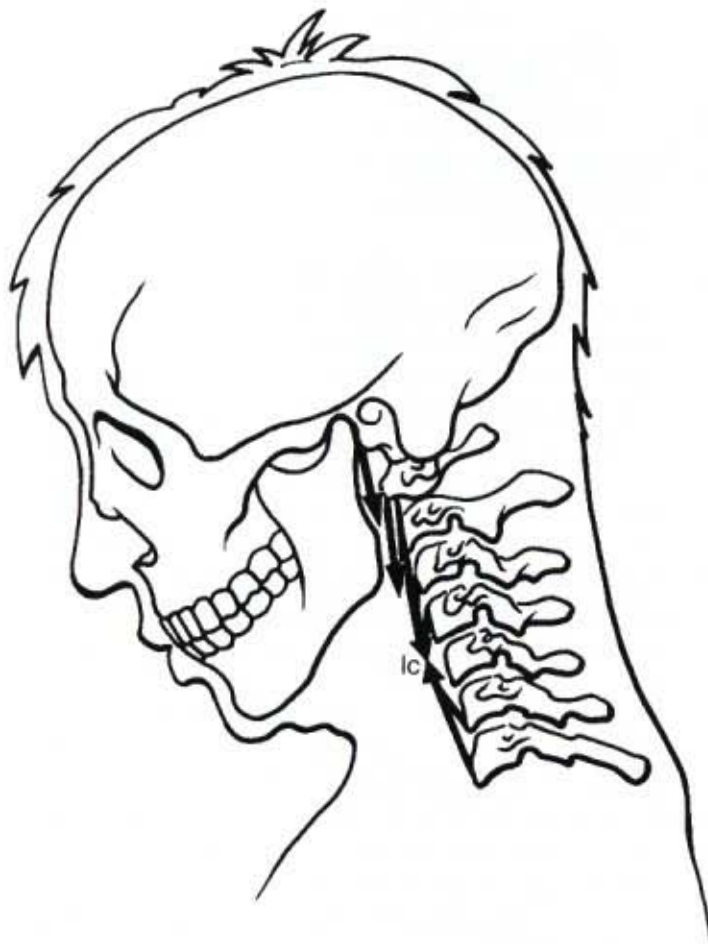
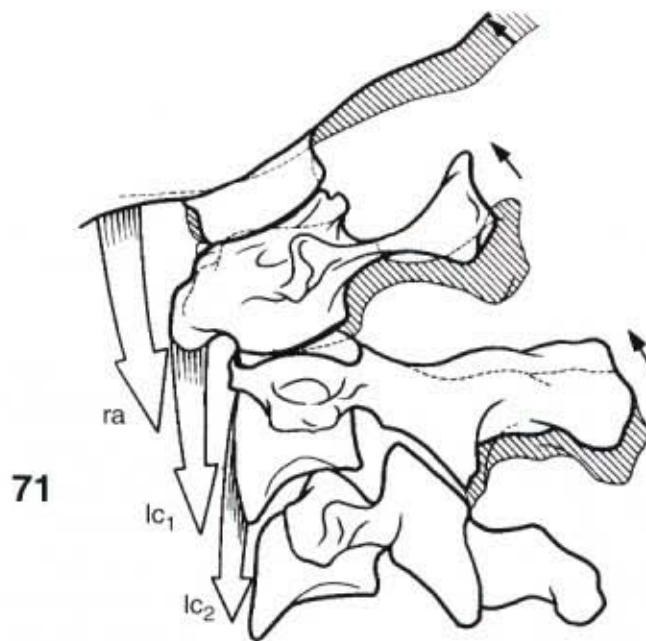
La flexión de la cabeza sobre el raquis cervical y la flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal dependen de los músculos anteriores.

En el raquis cervical superior (Fig. 71) los músculos rectos anteriores menor y mayor (ra) determinan una flexión en la articulación occipitotatloidea. El músculo largo del cuello (lc₁ y lc₂) y el recto anterior mayor determinan la *flexión* de las articulaciones subyacentes y, hecho importante, el largo del cuello determina el enderezamiento y la *rectificación del raquis cervical* (Fig. 72).

A distancia del raquis cervical, y por tanto dotados de un mayor brazo de palanca, los *músculos anteriores del cuello* (Fig. 73) actúan como potentes flexores de la cabeza y del raquis cervical. Se trata de los músculos **supra e infrahioides**:

- el *milohioideo* (mh) y el vientre anterior del digástrico (sin representar aquí) que unen el maxilar inferior al hueso hioides;

- los *músculos infrahioides*: tirohioideo, esternocleidohioideo (ech), esternotiroides (sin representar aquí) y omohioideo (oh). La contracción simultánea de estos músculos determina el descenso de la mandíbula inferior; *aunque cuando ésta está bloqueada contra la mandíbula superior* por la contracción simultánea de los *músculos masticadores*, como el masetero (M) y el temporal (T), la contracción de los músculos supra e infrahioides determina la *flexión de la cabeza sobre el raquis cervical* y la *flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal*, al mismo tiempo que un *enderezamiento de la lordosis cervical*. Por lo tanto, estos músculos desempeñan un papel primordial en la estática del raquis cervical.



LOS MÚSCULOS DE LA NUCA

Antes de estudiar la fisiología de los músculos de la nuca es indispensable entender correctamente la disposición mediante un corte en perspectiva (Fig. 74): en este caso se trata de una vista posteroderecha de la nuca, cuyos músculos superficiales se han resecado en parte a fin de poder ver los diferentes planos.

La zona de la nuca se compone de *cuatro planos musculares superpuestos*. De la profundidad a la superficie se puede observar:

- el **plano profundo**, directamente aplicado a los huesos y articulaciones, contiene:
 - los pequeños músculos motores del raquis suboccipital, que se extienden entre el occipital, el atlas y el axis:
 - el *recto posterior mayor* de la cabeza (1);
 - el *recto posterior menor* de la cabeza (2);
 - los *oblicuos mayor* (3) y *menor* (4);
 - la porción cervical del *transversoespinoso* (5);
 - los músculos *interespinosos* (6);
- el **plano de los complejos**, resecado en parte, contiene dos músculos:
 - el *complejo mayor* (7);
 - el *complejo menor* (8);

En el mismo plano, más hacia fuera, se sitúan:

- el *transverso del cuello*;
- el *dorsal largo*;
- y la *parte superior del sacrolumbar* (11);
- el **plano del esplenio y del angular**, también resecado en parte, comprende:
 - el esplenio, dividido en dos partes:
 - el *esplenio de la cabeza* (9);
 - y el *esplenio del cuello* (10), una de cuyas digitaciones de inserción en el tubérculo posterior de la tercera apófisis transversa se ha respetado (10'); las otras dos que se insertan en el tubércu-

lo posterior de la primera y de la segunda transversa se han seccionado;

- el *angular del omóplato* (12);

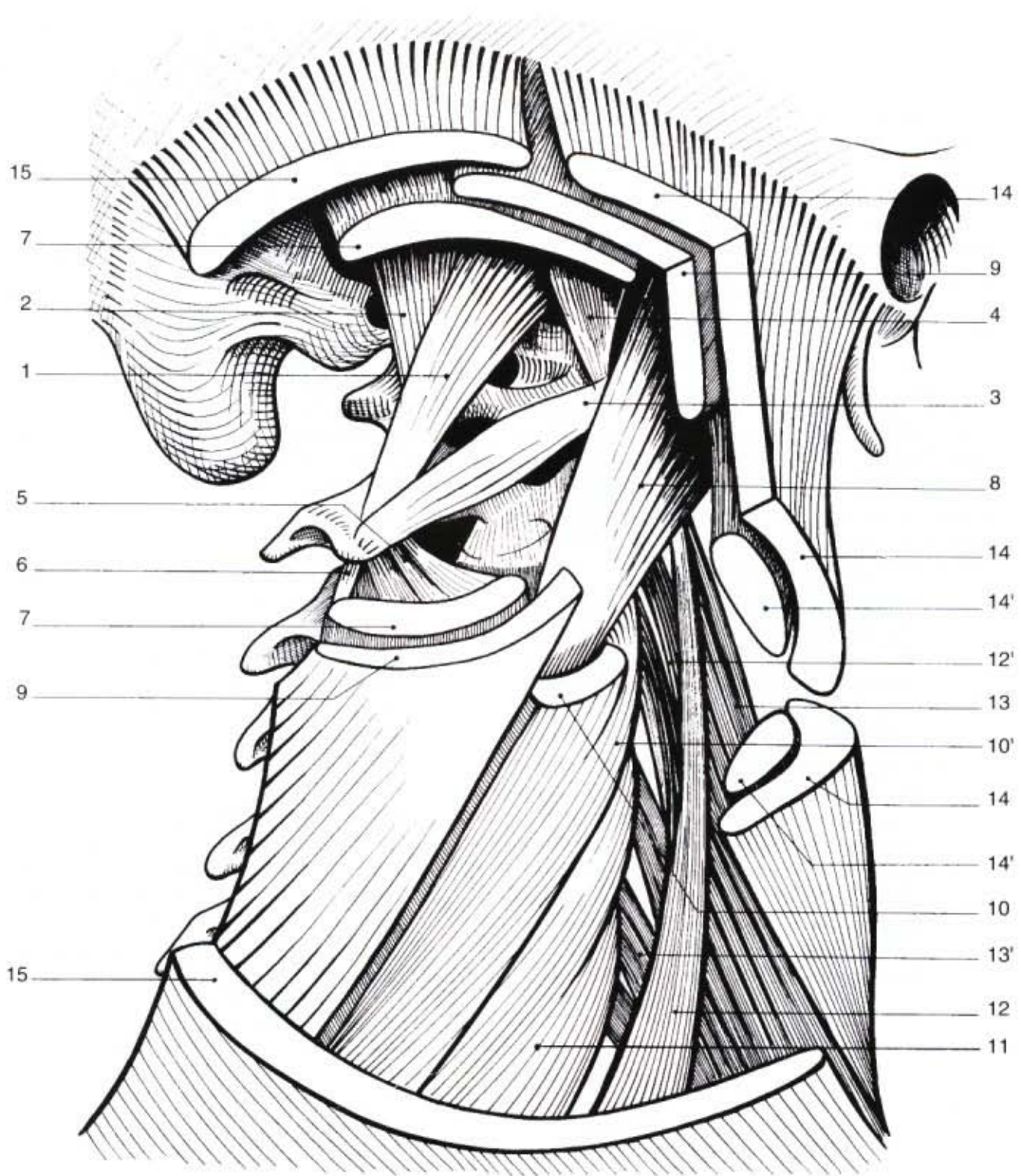
Estos músculos están estrechamente adosados a los del plano profundo, en cuyo alrededor se enrollan como si se tratara de una polea (tesis de Florent), de modo que su contracción posee un importante *componente de rotación*;

- el **plano superficial** comporta:

- esencialmente el *trapezio* (15), que en esta figura se ha resecado casi totalmente;
- el *esternocleidooccipitomastoideo*, que sólo forma parte de la región de la nuca en su porción posterosuperior. Aquí se ha representado parcialmente resecado para así mostrar sus *porciones superficiales* (14) y su *porción profunda cleidomastoidea* (14').

En el fondo de la región comprendida entre los intersticios musculares, se pueden apreciar las inserciones superiores de los *escalenos medio y posterior* (13).

Resumiendo, aparte los músculos del plano profundo, la mayor parte de los músculos de la nuca son oblicuos hacia abajo, hacia dentro y hacia atrás, están adosados al plano profundo y determinan simultáneamente la *extensión*, la *rotación* y la *inclinación hacia el lado de su contracción*, es decir, exactamente *los tres componentes del movimiento mixto del raquis cervical inferior en torno a los ejes oblicuos* (véase pág. 204). En cambio, la capa superficial contiene músculos de dirección cruzada respecto a los planos intermedios; o sea, oblicua hacia abajo, hacia delante y hacia fuera y que, esta vez, no actúan directamente sobre el raquis cervical inferior, sino sobre el cráneo y el raquis suboccipital, en cuyo nivel determinan, como los de los planos subyacentes, la extensión y la inclinación hacia el lado de su contracción, *aunque con una rotación hacia el lado opuesto*. De este modo, son a la vez sinergistas y antagonistas de los músculos del plano profundo, a los que completan funcionalmente.



LOS MÚSCULOS SUBOCCIPITALES

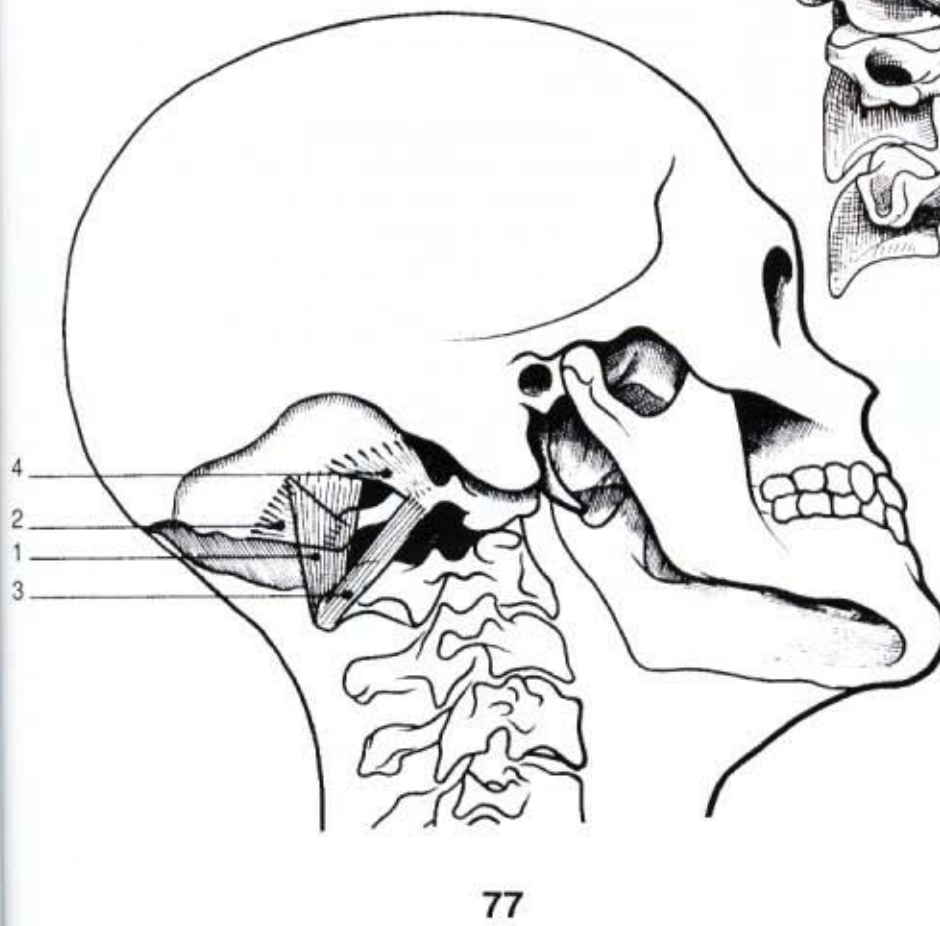
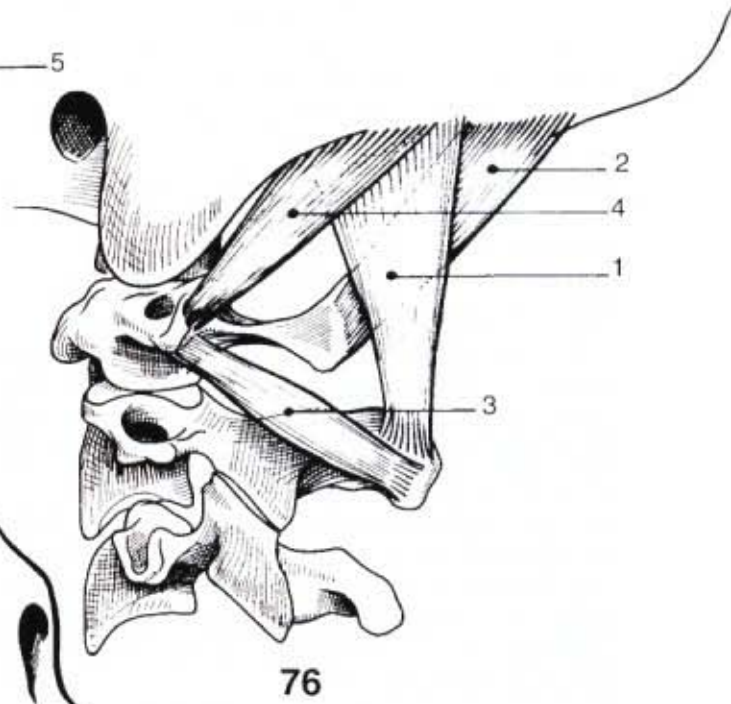
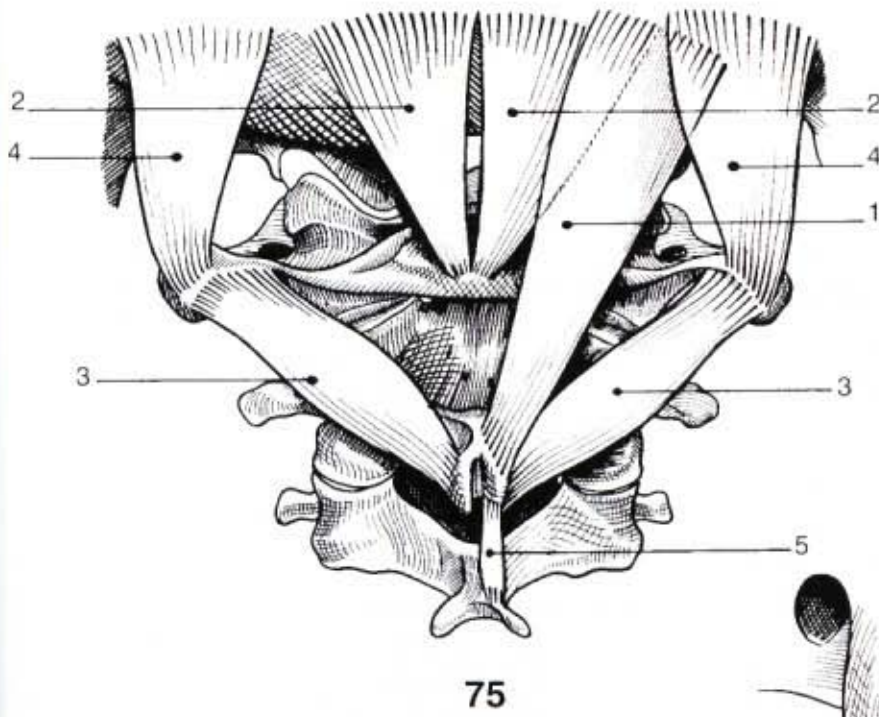
Habitualmente apenas se presta atención a la fisiología de los pequeños músculos suboccipitales; esto se debe al hecho de que no se la considera un complemento de la fisiología del raquis cervical inferior. En realidad, el papel de estos **músculos "nonio"** es capital en la actitud de la cabeza, para acentuar los componentes deseados o eliminar los componentes no deseados, a partir del movimiento unívoco del raquis cervical inferior.

Antes de abordar su fisiología conviene repasar su disposición anatómica *asimilando correctamente su dirección en el espacio*. Para ello es preciso considerarlos no sólo en una vista posterior (Fig. 75), sino también en una vista externa (Fig. 76), así como en una vista en perspectiva posteroderecha e inferior (Fig. 77). De este modo se puede observar:

- el **recto posterior mayor de la cabeza** (1), músculo triangular de base superior, se extiende desde la apófisis espinosa del axis hasta la línea curva inferior del occipital. Su dirección es oblicua hacia arriba y ligeramente hacia fuera y hacia atrás;
- el **recto posterior menor de la cabeza** (2), también plano y triangular, más corto y más profundo que el precedente, situado inmediatamente por fuera de la línea media, se extiende desde el tubérculo posterior del atlas, sobre su arco posterior, hasta el tercio interno de la línea curva occipital inferior. Su dirección es oblicua hacia arriba, ligeramente hacia fuera y

más directamente hacia atrás que el recto posterior mayor. Esto se debe al hecho de que el arco posterior del atlas es más profundo que la apófisis espinosa del axis;

- el **oblicuo mayor de la cabeza** (3), músculo alargado, grueso y fusiforme, situado por encima y por fuera del recto mayor, se extiende desde la apófisis espinosa del axis a la cara inferior y borde posterior de la apófisis transversa del atlas. Su dirección es oblicua hacia arriba, hacia fuera y *hacia delante*. Por lo tanto, está cruzada en el espacio en relación a los músculos precedentes, y en particular en lo que respecta al recto posterior menor de la cabeza;
- el **oblicuo menor de la cabeza** (4), músculo corto, plano y triangular, situado por detrás de la articulación occipitoatloidea, se extiende desde la apófisis transversa del atlas al tercio externo de la línea curva inferior del occipital. Su dirección es oblicua hacia arriba y *hacia atrás*. Prácticamente, está situado en el plano sagital, ya que no se dirige hacia fuera. Su dirección es paralela a la del recto posterior menor y perpendicular a la del oblicuo mayor;
- los **músculos interespinosos** (5) están situados a ambos lados de la línea media, entre las apófisis espinosas cervicales, por debajo del axis; de este modo, los músculos rectos posteriores mayor y menor son equivalentes de los músculos interespinosos.



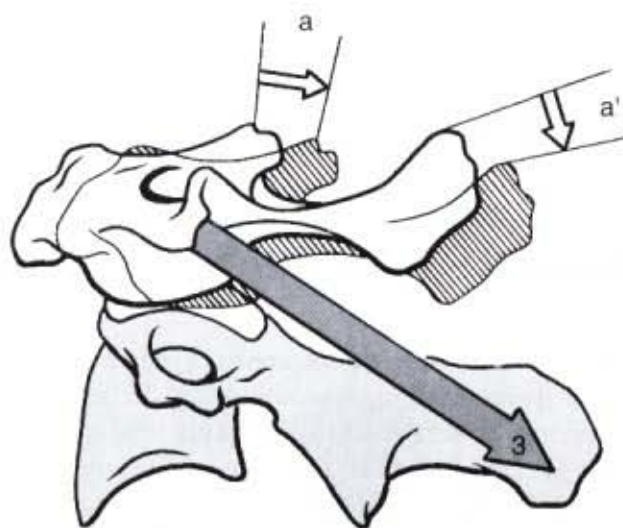
ACCIÓN DE LOS MÚSCULOS SUBOCCIPITALES: INCLINACIÓN Y EXTENSIÓN

Por su disposición, el **oblicuo mayor** de la cabeza, desempeña un *papel importante tanto en la estática como en la dinámica de la articulación atloidoaxoidea*. De hecho, una vista de perfil (Fig. 78) muestra que al llevar hacia atrás las apófisis transversas del atlas, este músculo determina, cuando los dos oblicuos mayores se contraen simétricamente, un *movimiento de retroceso y de extensión del atlas sobre el axis*, extensión que puede medirse en radiografías de perfil por el ángulo $\hat{a}$ en las masas laterales del atlas, o por el ángulo $\hat{a}'$ en su arco posterior. Una vista superior (Fig. 79) muestra con claridad el movimiento de retroceso (r) determinado por la *contracción simétrica* de los dos músculos oblicuos, que, como la cuerda de un arco, propulsan el axis hacia delante y por reacción del atlas hacia atrás. *De este modo se descarga el ligamento transverso*, que asegura la contención pasiva de la apófisis odontoides y le impide luxarse hacia atrás: los dos oblicuos mayores actúan simultáneamente de modo que desempeñan un papel esencial en el comportamiento dinámico de la articulación atloidoaxoidea.

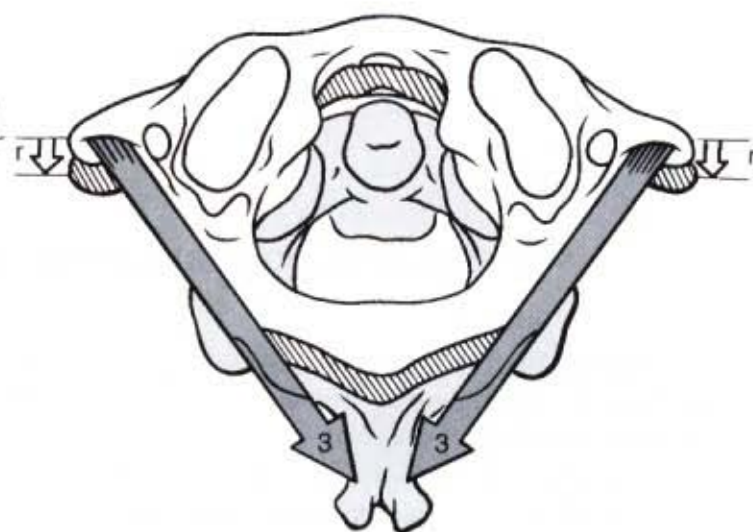
La **contracción unilateral de los cuatro músculos posteriores suboccipitales** (Fig. 80)

determina *la inclinación* de la cabeza (flecha y) hacia el lado de su contracción, por movilización en la articulación occipitoatloidea. Este ángulo de inclinación $\hat{i}$ también se puede medir por el ángulo $\hat{i}'$ comprendido entre la línea horizontal de las apófisis transversas del atlas y la línea oblicua de las apófisis mastoides. Ciertamente, el *oblicuo menor* (4) cuya contracción acarrea el alargamiento (e) de su homólogo opuesto es el más eficaz de los músculos de la inclinación. El oblicuo menor toma como punto fijo la apófisis transversa del atlas, estabilizada a su vez por la contracción del oblicuo mayor (3); el recto mayor (1) es menos eficaz que el oblicuo menor y el recto menor apenas lo es debido a su proximidad a la línea media.

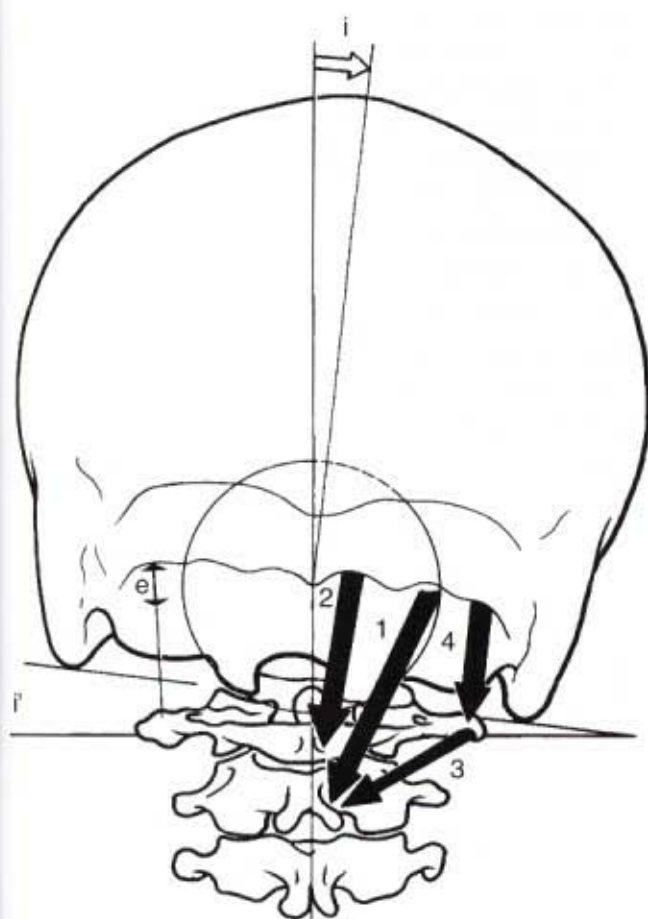
La **contracción simultánea y bilateral de los músculos posteriores suboccipitales** (Fig. 81) determina *la extensión* de la cabeza sobre el raquis cervical superior: esta extensión tiene lugar en la articulación occipitoatloidea gracias a la contracción del oblicuo posterior menor (2) y del oblicuo menor (4) y en la articulación atloidoaxoidea merced a la contracción del recto posterior mayor (1) y del oblicuo mayor (3) (Fig. 78).



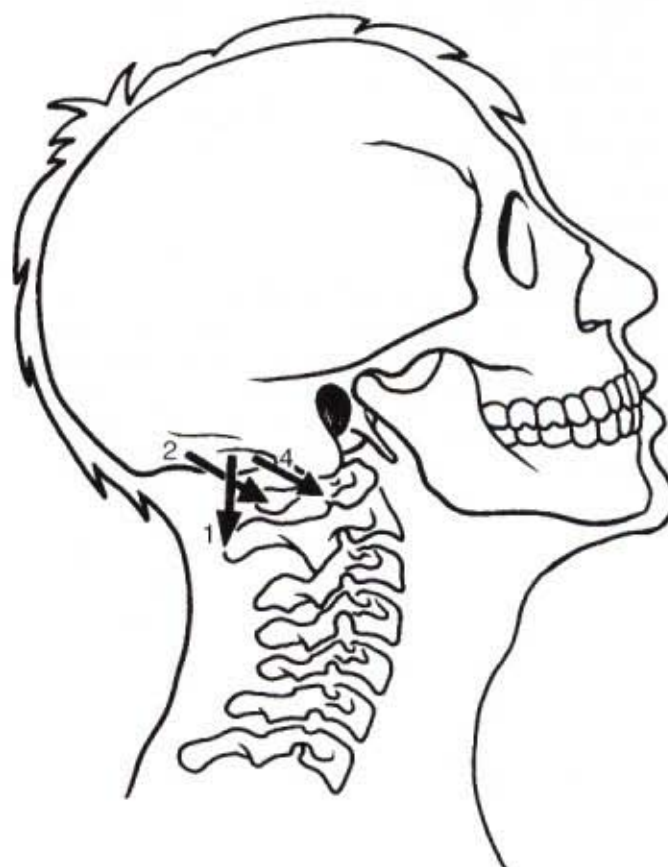
78



79



80



81

ACCIÓN ROTADORA DE LOS MÚSCULOS SUBOCCIPITALES

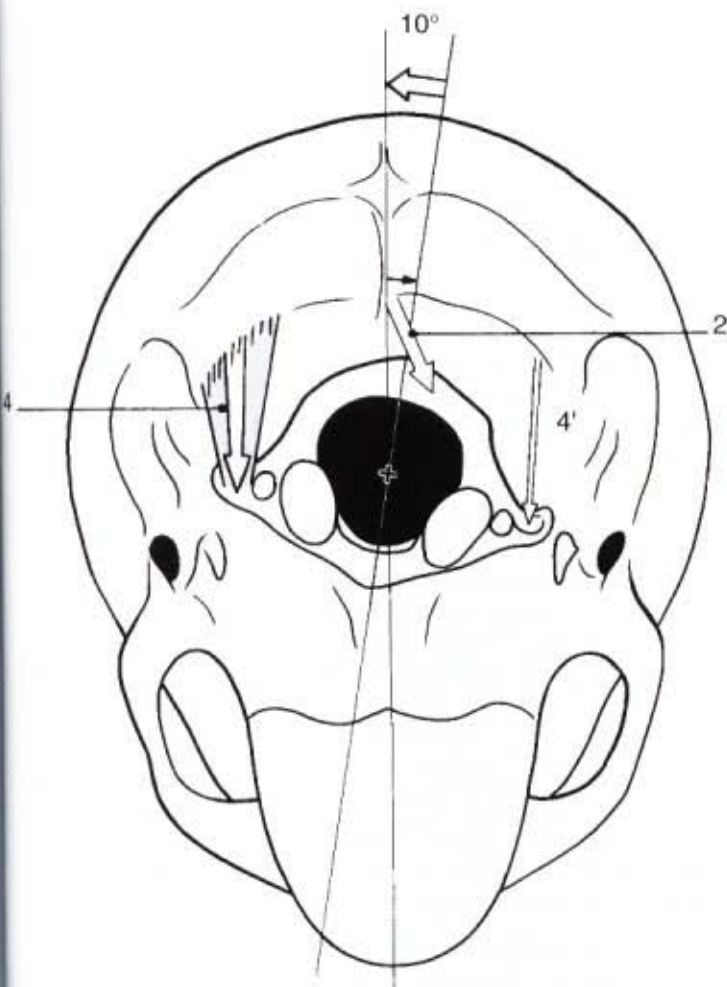
Además de sus acciones de extensión y de inclinación, los músculos suboccipitales están *dotados de una acción rotadora sobre la cabeza.*

Considerando en primer lugar el tramo suboccipital, es decir, la **articulación occipitoatloidea**. En una vista inferior (Fig. 82), aparece con claridad que la contracción del músculo oblicuo menor (4) determina una rotación de la cabeza del orden de una decena de grados *hacia el lado opuesto a su contracción*; en el ejemplo que se ilustra aquí, la contracción del oblicuo menor izquierdo determina la rotación de la cabeza hacia la derecha; en este caso se puede observar cómo se tensa de forma pasiva el oblicuo menor derecho (4') y el oblicuo menor posterior (2), de modo que aseguran el retorno de la cabeza a la posición neutra.

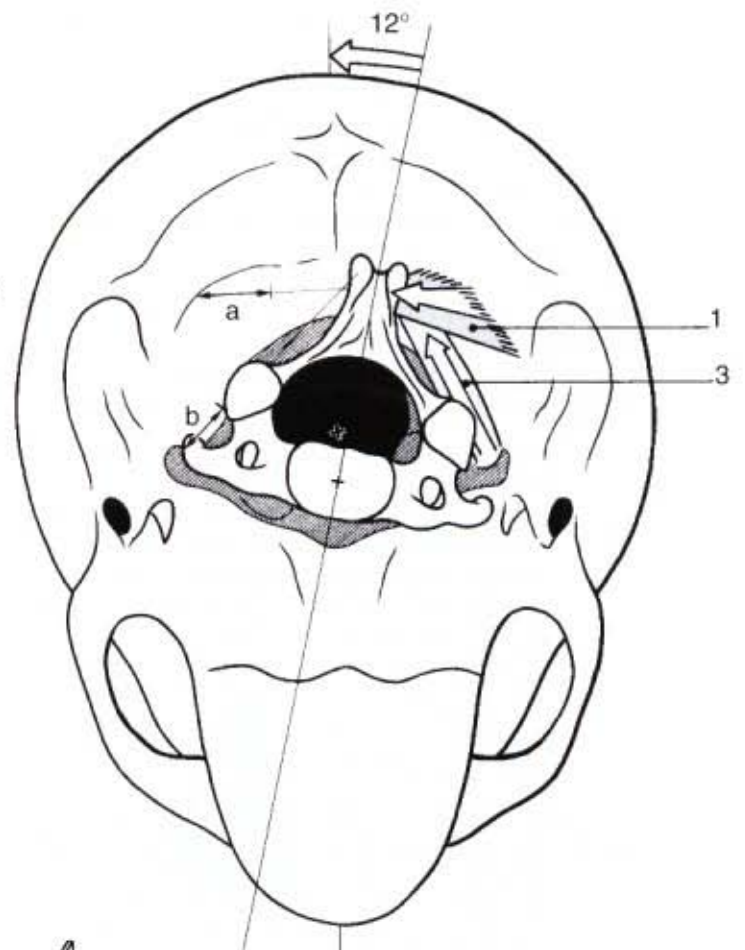
Considerando ahora el tramo subyacente, el de la **articulación atloidoaxoidea**. En una vista inferior (Fig. 83), el axis aparece de color claro sobre el atlas de color gris. Se puede constatar que la contracción de los músculos recto posterior mayor (1) y oblicuo mayor (3) determinan una rotación de la cabeza del orden de una docena de

grados *hacia el lado de su contracción*. En el ejemplo ilustrado aquí, la contracción del recto anterior mayor derecho (1) determina una rotación de la cabeza hacia la derecha, en la occipitoatloidea y la atloidoaxoidea a la vez. En este caso, el recto mayor izquierdo se alarga una longitud *a* que asegura el retorno de la cabeza a su posición neutra; la contracción del oblicuo mayor derecho (3) determina la rotación de la cabeza hacia la derecha en la articulación atloidoaxoidea. Una vista en perspectiva (Fig. 84), muestra cómo la contracción del recto mayor del lado derecho, que se extiende diagonalmente entre la espinosa del axis y la transversa derecha del atlas, hace girar a este último hacia la derecha, a la par que alarga el recto mayor izquierdo (Fig. 83) una longitud *b* (músculo de regreso).

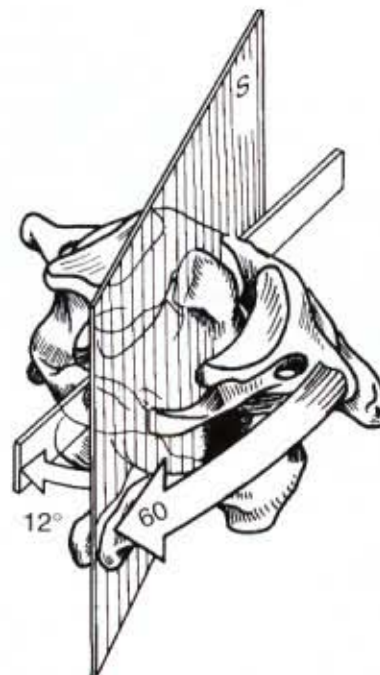
Una vez asimiladas todas las acciones de los músculos suboccipitales, se puede estudiar la página 214 para comprender mejor su papel en la anulación de los componentes no deseados de inclinación o de rotación en el transcurso de los movimientos puros de la cabeza.



82



83



84

LOS MÚSCULOS DE LA NUCA: EL PRIMER Y EL CUARTO PLANOS

El **plano profundo** de los músculos de la nuca a nivel del raquis cervical superior está constituido por los *músculos suboccipitales* descritos con anterioridad; en el raquis cervical inferior por los *músculos transversoespinosos*. Dispuestos contra el plano óseo, en la corredera formada por las apófisis espinosas, las láminas y las apófisis transversas, estos músculos están formados por *lengüetas musculares* que se recubren entre sí *a modo de tejas*. Existe pues, a cada lado de la línea de las espinosas un transversoespinoso que ocupa la corredera vertebral desde el axis al sacro. La disposición de las laminillas musculares (Fig. 85) se ha interpretado de diversas formas según autores:

- en la *descripción clásica de Trolard*, las fibras musculares que se originan en las apófisis espinosas y en las láminas de las cuatro vértebras suprayacentes convergen en la apófisis transversa de la quinta vértebra: en este esquema (T), se puede observar la disposición del primer sistema laminar completo que termina en la sexta apófisis transversa cervical y recubre los sistemas laminares incompletos que convergen en la quinta, cuarta, y tercera apófisis transversas cervicales;
- en una *descripción más actual de Winckler*, los haces musculares tienen una disposición inversa (W): de la lámina y de la espinosa de la vértebra más craneal parten cuatro lengüetas musculares que finalizan en las transversas de las cuatro vértebras subyacentes. En el esquema se ha representado el sistema laminar más craneal que parte del axis y que recubre en mayor o menor grado los sistemas laminares subyacentes.

Estas dos concepciones son dos formas distintas de describir una misma realidad, según se parta de la inserción superior o de la inferior. Sea como fuere, dado que la dirección de las fibras musculares es siempre *oblicua hacia abajo, hacia fuera y ligeramente hacia delante*, la contracción del transversoespinoso determina:

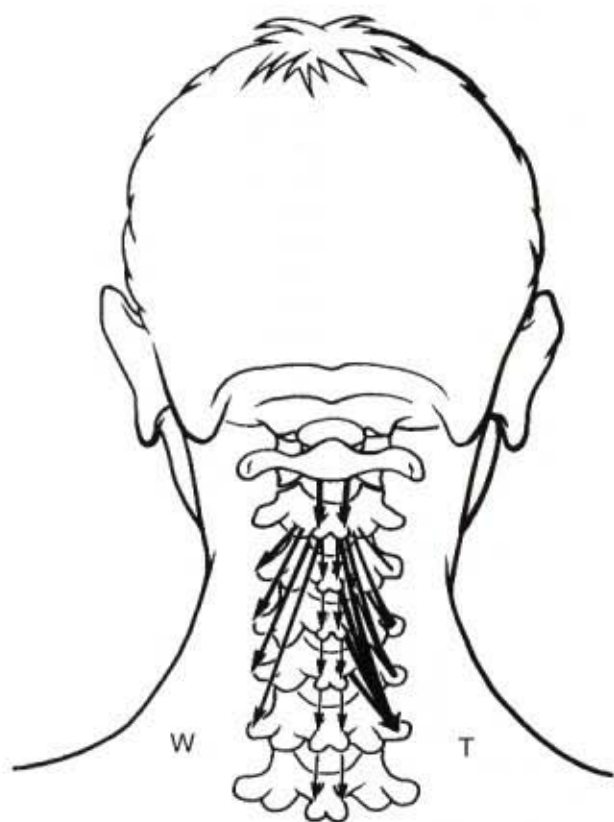
- cuando es *bilateral y simétrica*, una extensión del raquis cervical y una hiperlordosis. Se trata del músculo *erector del raquis cervical*;
- cuando es *asimétrica o unilateral*, la extensión, la inclinación hacia el lado de su contracción y la *rotación del raquis hacia el lado opuesto*. Por lo tanto, *esta acción sobre el raquis se asemeja a la del ECOM sobre la*

cabeza. Así, el transversoespinoso es sinergista del ECOM, pero mientras que el primero actúa de manera segmentaria en cada uno de los tramos del raquis cervical, el segundo, cuyas fibras tienen una dirección general parecida a la del transversoespinoso, actúa sobre la totalidad del raquis cervical en cuyos extremos se inserta, mediante dos brazos de palanca sumamente importantes.

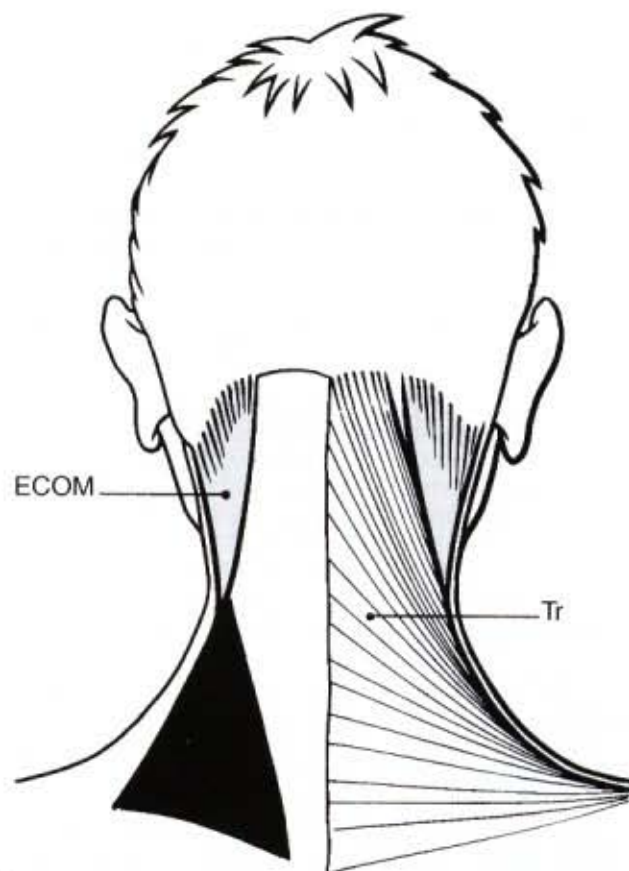
El **plano superficial** de los músculos de la nuca (Fig. 86) está constituido por el trapecio (Tr), cuyas fibras, dispuestas en abanico, parten de una línea continua que ocupa, por una parte, el tercio interno de la línea curva superior del occipital, y por otra, las apófisis espinosas hasta la décima dorsal y el ligamento cervical posterior. A partir de esta línea de inserción continua, las fibras más craneales descienden oblicuamente hacia abajo, hacia fuera y hacia delante y se fijan en el tercio externo de la clavícula, en el acromion y en la espina del omoplato. De este modo, *el contorno de la parte inferior del cuello* está constituido por la *curva envolvente* de las direcciones sucesivas de las fibras del trapecio. Éste último, desempeña un papel primordial en la motricidad de la cintura escapular (véase tomo I); pero cuando toma como punto fijo la cintura escapular, actúa de manera importante sobre el raquis cervical y sobre la cabeza:

- la *contracción bilateral simétrica de los trapecios* determina una *extensión del raquis cervical y de la cabeza con acentuación de la lordosis cervical*; cuanto está extensión se ve contrarrestada por la acción de los antagonistas anteriores del raquis cervical, el trapecio desempeña una función de sostén de modo que estabiliza todo el raquis cervical;
- la *contracción unilateral o asimétrica del trapecio* (Fig. 87: vista dorsal y contracción del trapecio izquierdo) determina una *extensión de la cabeza y del raquis cervical con hiperlordosis, una inclinación hacia el lado de la contracción y una rotación de la cabeza hacia el lado opuesto*. El trapecio es pues sinergista del ECOM homolateral.

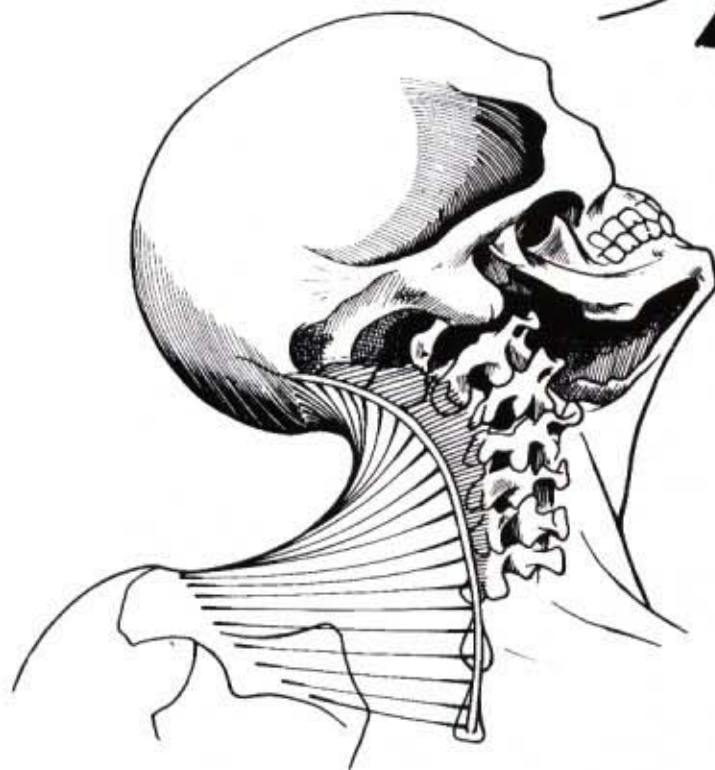
En la parte superoexterna de la nuca (Fig. 86) aparece el extremo superior del ECOM. Por consiguiente, *el contorno externo de la parte superior de la nuca* está constituido por la *curva envolvente de las diferentes direcciones sucesivas de las fibras musculares del ECOM retorcido sobre su eje*.



85



86



87

LOS MÚSCULOS DE LA NUCA: EL SEGUNDO Y EL TERCER PLANO

Por debajo del trapecio se haya el **tercer plano muscular** (Fig. 88) constituido por el esplenio y el angular.

El **esplenio** desciende hasta la región dorsal y se inserta en las seis últimas espinosas cervicales, el ligamento cervical posterior, las cuatro primeras espinosas dorsales y el ligamento interespinoso; sus fibras se dirigen oblicuamente hacia abajo, hacia fuera y hacia delante, enrollándose en los músculos del plano profundo, para acabar con dos porciones distintas:

- una porción cefálica que forma el *esplenio de la cabeza* (9) y que se inserta en el occipital, por debajo del ECOM en la mitad externa de la línea curva occipital superior y en la mastoides. Recubre de manera incompleta los dos complexos, que se localizan en el triángulo formado por el borde interno de los dos esplenios;
- una porción cervical que forma el *esplenio del cuello* (10) que se ha representado en el lado izquierdo en sus conexiones con el esplenio de la cabeza, y en el lado derecho aislado para mostrar como se enrolla sobre sí mismo, así como las lengüetas terminales que van a insertarse sobre las apófisis transversas del atlas, del axis y de la tercera cervical.

La *contracción bilateral y simétrica* del esplenio determina una extensión de la cabeza y del raquis con *hiperlordosis*.

La *contracción asimétrica o unilateral* del esplenio determina una extensión, una *inclinación* y una *rotación* hacia el lado de su contracción, es decir, en el sentido del *movimiento unívoco* del raquis cervical inferior.

El **angular de la escápula** (12) se sitúa por fuera del *esplenio del cuello* y posee con éste inserciones superiores comunes sobre las apófisis transversas de las cuatro primeras cervicales. Su cuerpo muscular plano se *enrolla gracias al mismo movimiento que el del esplenio*, aunque se separa rápidamente para dirigirse oblicuamente *hacia abajo y ligeramente hacia fuera* y fijarse sobre el omóplato. Cuando toma como punto fijo el raquis cervical, el angular determina una *elevación del omóplato* (véase tomo I). En cambio, cuando el omóplato está fijo, se convierte en motor del raquis cervical.

Su *contracción bilateral y simétrica* determina una *extensión del raquis cervical con hiperlordosis*. Cuando los antagonistas no permiten llevar a cabo esta extensión, actúa como sostén estabilizando lateralmente el raquis cervical.

Su *contracción unilateral o asimétrica* conlleva, como en el caso del esplenio del cuello, una extensión con inclinación y rotación hacia el lado de su contracción y, por lo tanto, en el sentido del movimiento unívoco del raquis cervical inferior.

El **segundo plano muscular**, situado directamente sobre el plano más profundo (Fig. 89), está constituido por los dos complexos y por el dorsal largo, el transverso del cuello y la parte superior de la masa lumbosacra.

El **complejo mayor** (7) situado inmediatamente por fuera de la línea media, forma una banda muscular vertical, interrumpida por una intersección aponeurótica que le ha valido la denominación de "digástrico de la nuca". El complejo

mayor se fija por abajo en las transversas de las seis primeras vértebras dorsales, en la base de las transversas de las cuatro últimas cervicales y en las espinosas de la séptima cervical y de la primera dorsal. Su cuerpo muscular, *grueso y redondeado*, recubre el transverso y *termina de rellenar la corredera vertebral*, está separado de su homólogo por el ligamento cervical posterior. Los dos esplenios se encajan en la convexidad del complejo mayor y éste finaliza en la concha occipital, por fuera de la cresta occipital externa y entre las dos líneas curvas.

La *contracción simétrica y bilateral* del complejo mayor determina la *extensión de la cabeza y del raquis cervical con hiperlordosis*; su *contracción asimétrica o unilateral* determina una *extensión de la cabeza asociada a una ligera inclinación* hacia el lado de su contracción.

El **complejo menor** (8), situado por fuera del precedente, largo y delgado, se dirige *hacia arriba y ligeramente hacia fuera* fijándose por abajo en la base de las transversas de las cuatro últimas cervicales y de la primera dorsal y, por arriba, en el vértice y borde posterior de la mastoides. Su cuerpo muscular está *retorcido sobre sí mismo* ya que sus fibras más caudales terminan siendo las más internas por arriba, mientras que las más craneales en el origen cervical son las más externas sobre la mastoides.

Su *contracción bilateral y simétrica* determina la *extensión de la cabeza*; cuando esta extensión se ve contrarrestada por la acción de los antagonistas anteriores, el complejo menor estabiliza lateralmente la cabeza, a modo de cable de sostén invertido.

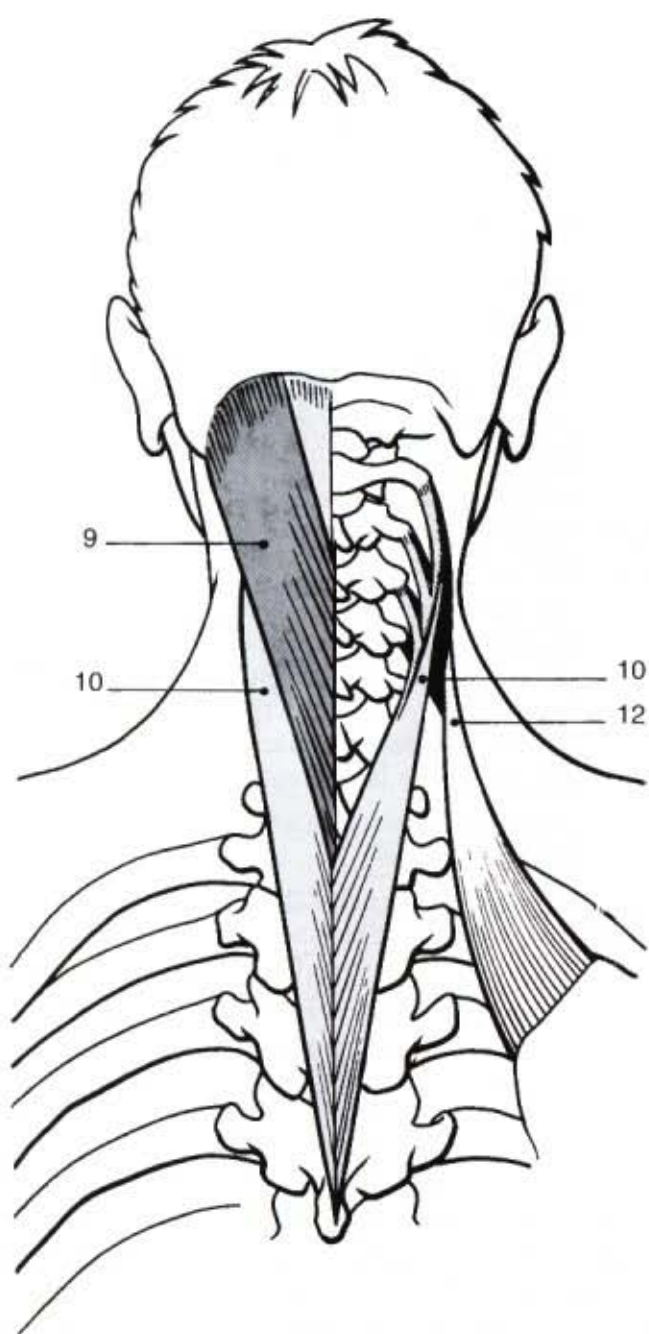
Su *contracción unilateral o asimétrica* determina la *extensión asociada a la inclinación* del mismo lado, más acentuada que en el complejo mayor y, además, una rotación homóloga.

El **transverso del cuello** (11), largo y delgado, está situado por fuera del complejo menor y se inserta por arriba en el vértice de las cinco últimas transversas cervicales y, por abajo, en el vértice de las transversas de las cinco primeras dorsales. Las fibras más internas son las más cortas entre C₇ y D₁. Las externas son las más largas y unen de C₇ a D₁.

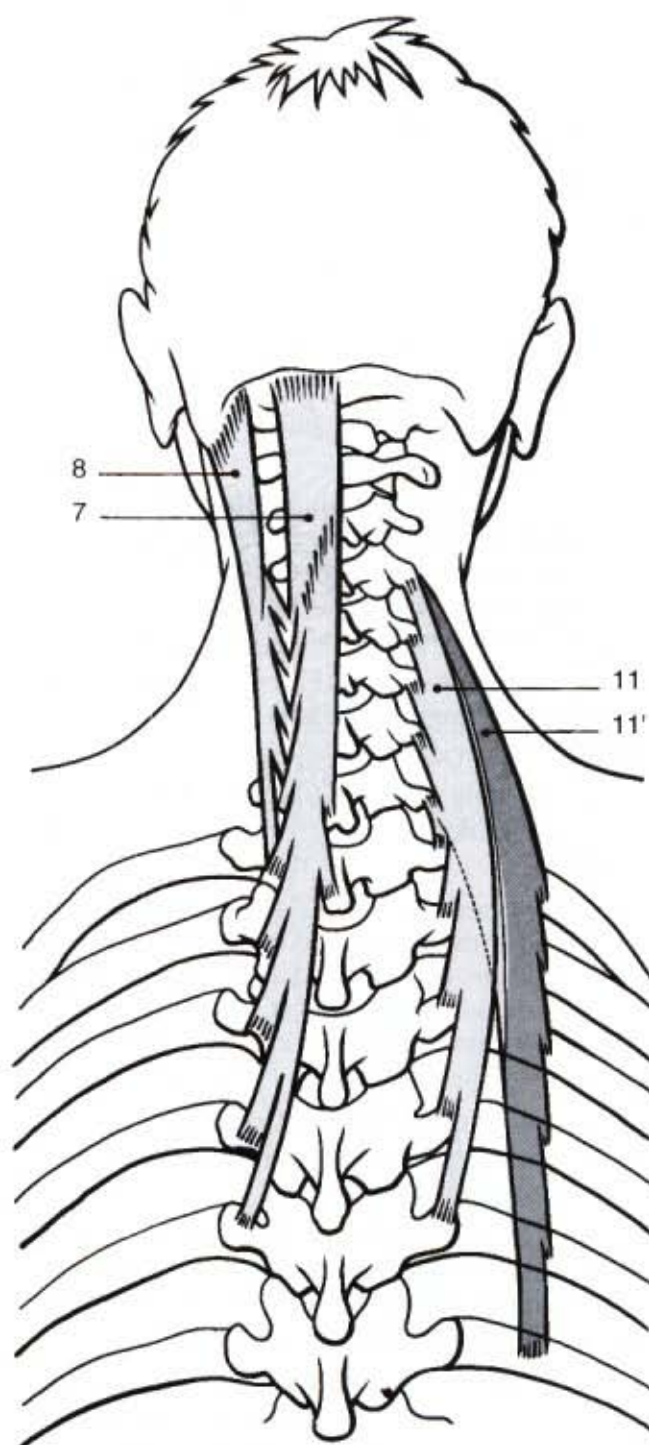
La *contracción simétrica* de los dos transversos determina la *extensión del raquis cervical inferior*. Cuando esta extensión se ve contrarrestada por la acción de los antagonistas, los transversos actúan de sostén.

La *contracción unilateral o asimétrica* de un transverso determina la *extensión y una inclinación homolateral*.

El **dorsal largo** forma parte de los músculos de la nuca por sus inserciones más craneales sobre las últimas transversas cervicales. Por otra parte, se confunde, en mayor o menor grado, con la **porción cervical del músculo sacrolumbar** (11') que, originándose en el borde superior de las seis primeras costillas, finaliza junto con el transverso del cuello en el tubérculo posterior de las cinco últimas transversas. Sus acciones son parecidas a las del transverso; además, la porción cervical del sacrolumbar desempeña la función de sostén muscular del raquis cervical inferior y de elevador de las seis primeras costillas (véase pág. 150).



88



89

LA EXTENSIÓN DEL RAQUIS CERVICAL POR LOS MÚSCULOS DE LA NUCA

Todos los músculos de la nuca *son extensores del raquis cervical y de la cabeza*, pero, según su disposición, se pueden clasificar en tres grupos: el **primer grupo** (Fig. 90) contiene todos los músculos que se insertan en el raquis cervical a la altura de las apófisis transversas y que se dirigen oblicuamente *hacia abajo y hacia atrás* hasta la región dorsal; se trata de:

- el *esplenio del cuello* (10);
- el *transverso del cuello* y la porción cervical del *sacrolumbar* (11);
- el *angular del omóplato* (12).

Estos músculos son extensores del raquis cervical, cuya lordosis aumentan; su contracción unilateral determina, además, la inclinación y la rotación hacia el lado de su contracción; son los *músculos motores del movimiento unívoco del raquis cervical inferior* (véase pág. 214).

El **segundo grupo** (Fig. 91) comprende los músculos de dirección oblicua hacia abajo y hacia delante:

- por una parte, el *transversoespinoso* (5), músculo propio del raquis cervical inferior;
- por otra, los músculos que unen el occipital al raquis cervical inferior: el *complejo mayor* (7), el *complejo menor* (8), el *esplenio de la cabeza*, que aunque no se ha representado en este esquema, forma parte de este grupo;
- por último, los músculos suboccipitales sin representar en este esquema (véanse págs. 234, 236 y 238).

Todos estos músculos extienden el raquis cervical, cuya lordosis *aumentan y extienden la cabeza* sobre el raquis cervical debido a sus inserciones directas en el occipital.

Finalmente, un **tercer grupo** de músculos que *pasan a modo de puente* por encima del raquis cervical, en el que no toman ninguna inser-

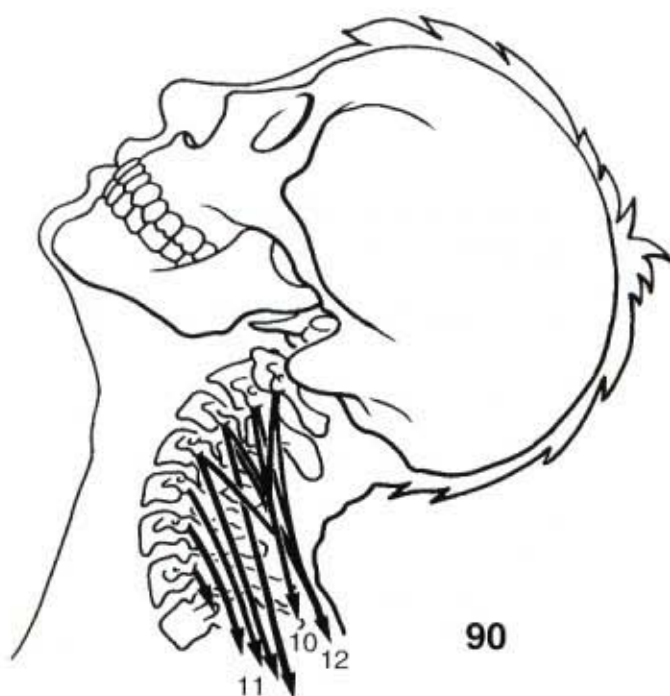
ción. De este modo, unen directamente el occipital y la mastoide a la cintura escapular. Se trata de:

- por una parte, el *trapecio* (Fig. 91, 15);
- por otra, el ECOM (Fig. 92), sistema diagonal que cruza la dirección del raquis cervical y cuya contracción bilateral y simétrica tiene tres consecuencias: la extensión de la cabeza sobre el raquis cervical (1), la flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal (2), y la extensión del raquis cervical sobre sí mismo con hiperlordosis (3).

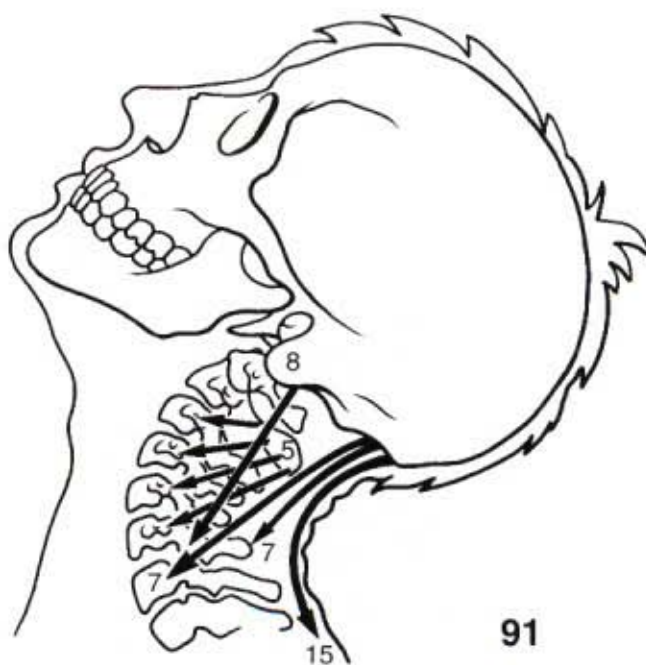
La **estática del raquis cervical sobre el plano sagital** (Fig. 93) depende pues de un equilibrio dinámico permanente entre:

- por una parte, la acción extensora de los *músculos de la nuca*: *esplenio* (E), *transverso del cuello*, *sacrolumbar* y *dorsal largo* (DL) y *trapecio* (Tr). Todos ellos forman cuerdas parciales o totales en la concavidad de la lordosis cervical;
- por otra, los *músculos anteriores y antero-externos*:
 - el *largo del cuello* (lc), que es flexor y endereza la lordosis cervical;
 - los *escalenos* (ES) que flexionan el raquis cervical sobre el raquis dorsal, aunque tienden a determinar una hiperlordosis cervical si su acción no se ve compensada por el largo del cuello y por los músculos supra e infrahioides (véase Fig. 73).

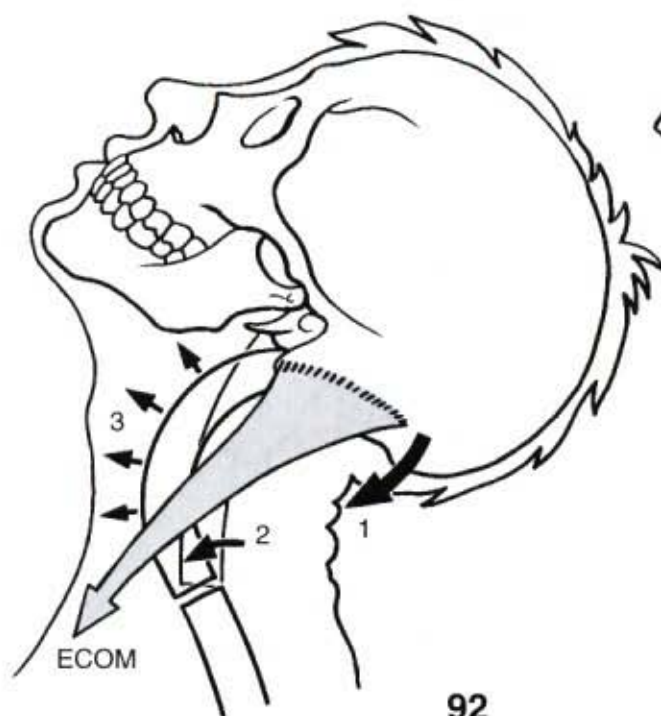
La contracción simultánea de todos estos grupos musculares determina una rectificación del raquis cervical en su posición media. De este modo, estos músculos se comportan como cables de sostén situados en el plano sagital y en los planos oblicuos; desempeñan un papel primordial en el *equilibrio de la cabeza* y el *transporte de cargas* sobre la misma.



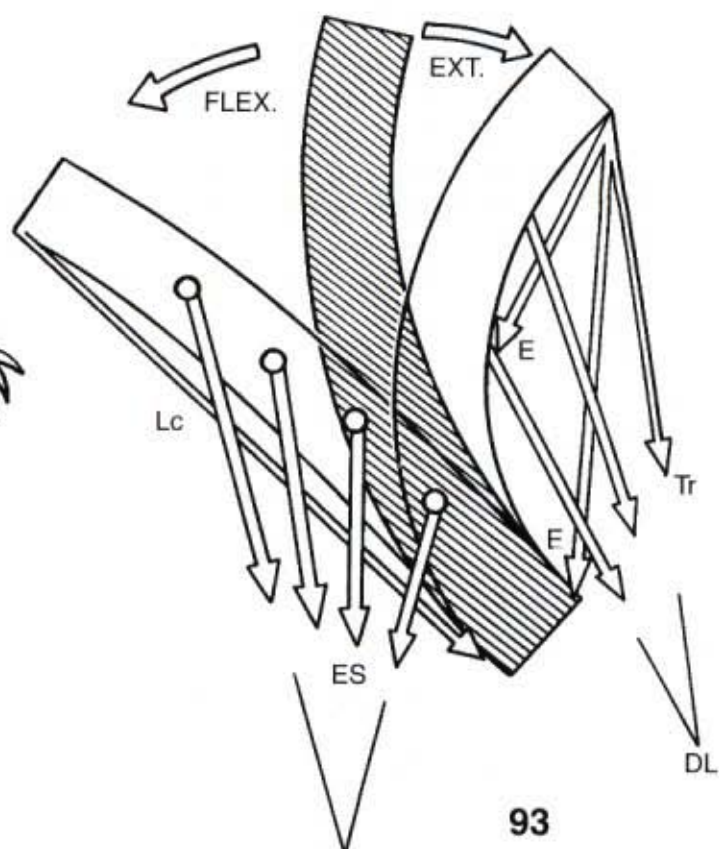
90



91



92



93

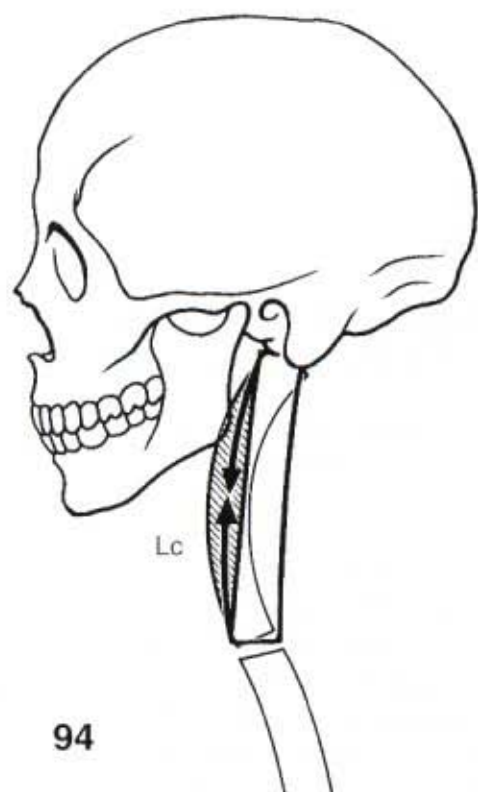
SINERGIA-ANTAGONISMO DE LOS MÚSCULOS PREVERTEBRALES Y DEL ESTERNOCLEIDOMASTOIDEO

Como se ha podido ver con anterioridad (Fig. 92), los esternocleidomastoideos no pueden, cuando se contraen de manera aislada, actuar eficazmente para mantener el equilibrio de la cabeza y la estática del raquis cervical. Para ello, es necesaria la ayuda de los músculos sinergistas-antagonistas, que previamente enderezarán la lordosis cervical (Fig. 94). Se trata de:

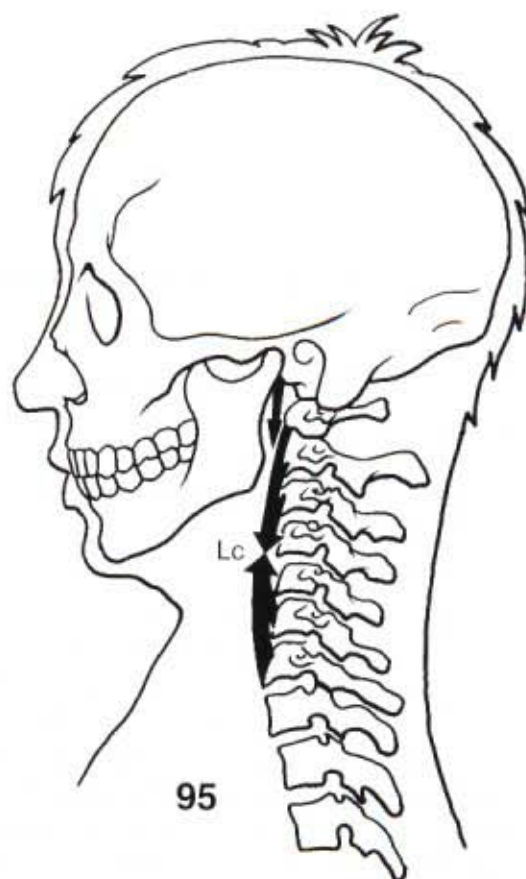
- esencialmente, el *largo del cuello* (Lc), situado inmediatamente por delante de los cuerpos vertebrales;
- los *músculos flexores de la cabeza sobre el raquis cervical* (Fig. 95) situados en el tramo suboccipital: rectos anteriores de la cabeza mayor y menor y recto lateral;
- por otra parte, los *músculos supra e infrahioideos* actúan a distancia sobre un

gran brazo de palanca situado por delante del raquis cervical, a condición de que la contracción de los músculos masticadores bloquee el maxilar inferior sobre el maxilar superior.

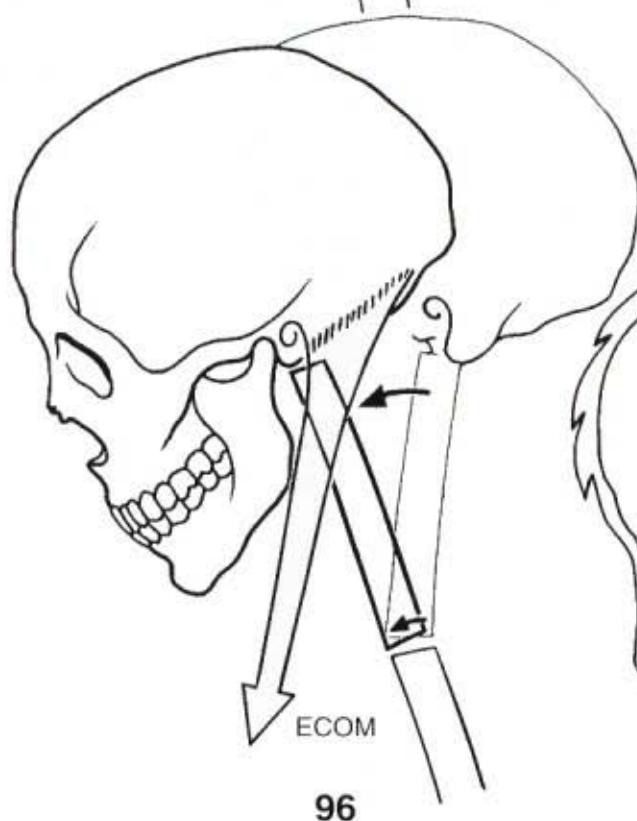
A partir del momento en que se rectifica el raquis cervical, la lordosis enderezada (Fig. 96) y la extensión de la cabeza sobre el raquis cervical impedida por los músculos suboccipitales anteriores y los supra e infrahioideos, la contracción simultánea de los dos ECOM (Fig. 97) determina la *flexión del raquis cervical sobre el raquis dorsal*. Por lo tanto, existen nexos de antagonismo-sinergia entre los ECOM por una parte, y por otra, los músculos prevertebrales bien en contacto con el raquis, bien a distancia por delante del mismo.



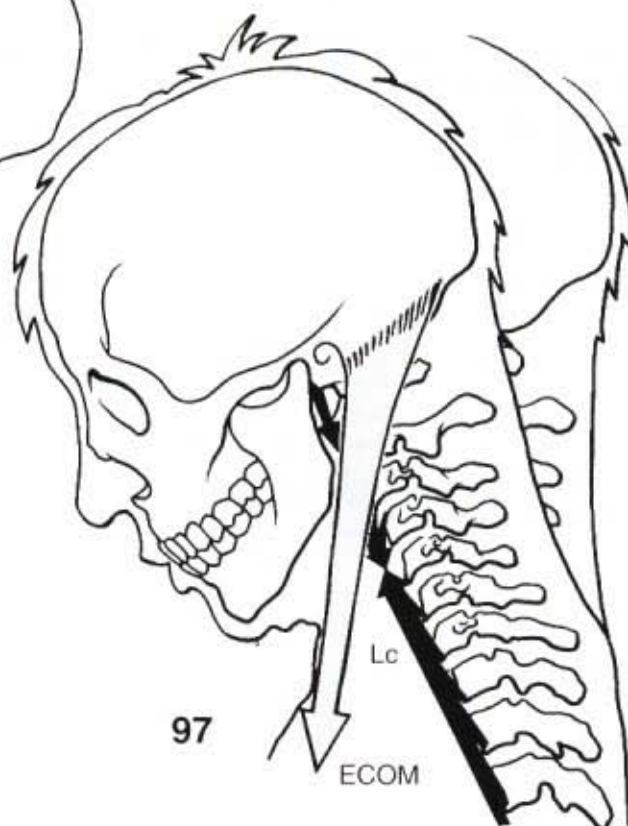
94



95



96



97

LAS AMPLITUDES GLOBALES DEL RAQUIS CERVICAL

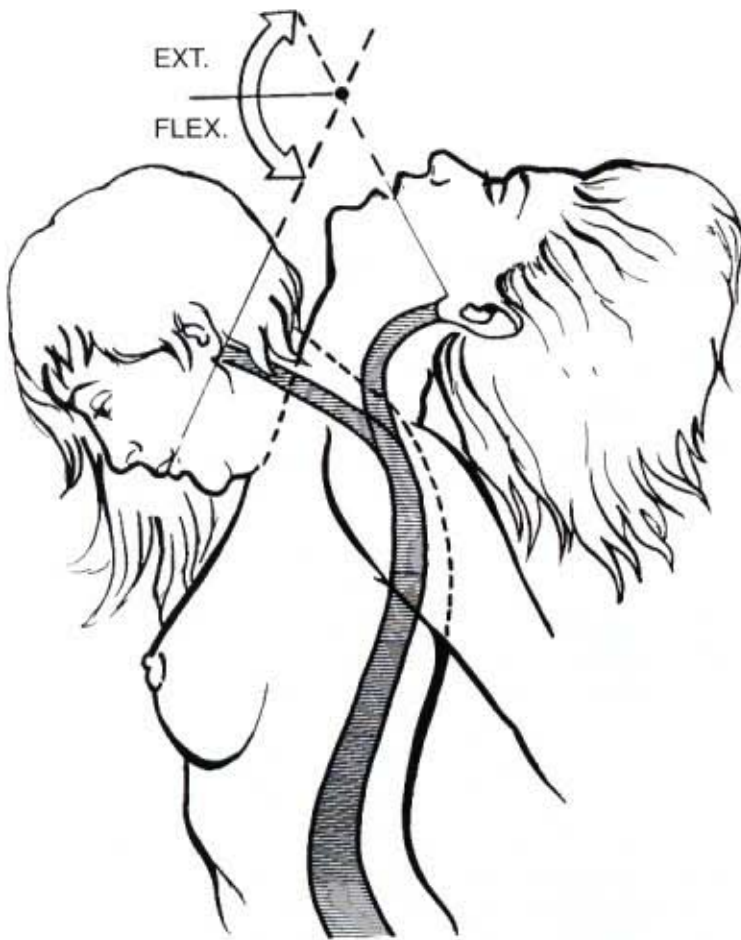
¿Cómo se pueden medir de forma práctica las amplitudes del raquis cervical? En el caso de la flexoextensión y la inclinación se puede llevar a cabo de manera precisa en radiografías de perfil y de frente, pero en el caso de las rotaciones es mucho más difícil.

También se pueden utilizar puntos de referencia exteriores. En la **flexoextensión** (Fig. 98), el punto de referencia es el *plano masticatorio*, que, en posición neutra, es horizontal. Por lo tanto, la extensión será el ángulo abierto por arriba, formado por el plano masticador y la horizontal, la flexión será el ángulo abierto por abajo, entre el plano masticador y la horizontal. Las amplitudes ya se han definido con anterioridad.

Para medir la **inclinación** (Fig. 100), se tomará en cuenta el ángulo formado por dos líneas, por una parte, la *línea de las clavículas*, y por otra, la *línea de los ojos*.

Se puede conseguir una medición más exacta de la flexoextensión y de la inclinación utilizando un *goniómetro de burbuja* que se fijará en el cráneo, bien en el plano sagital para medir la flexoextensión, bien en el plano frontal para medir la inclinación.

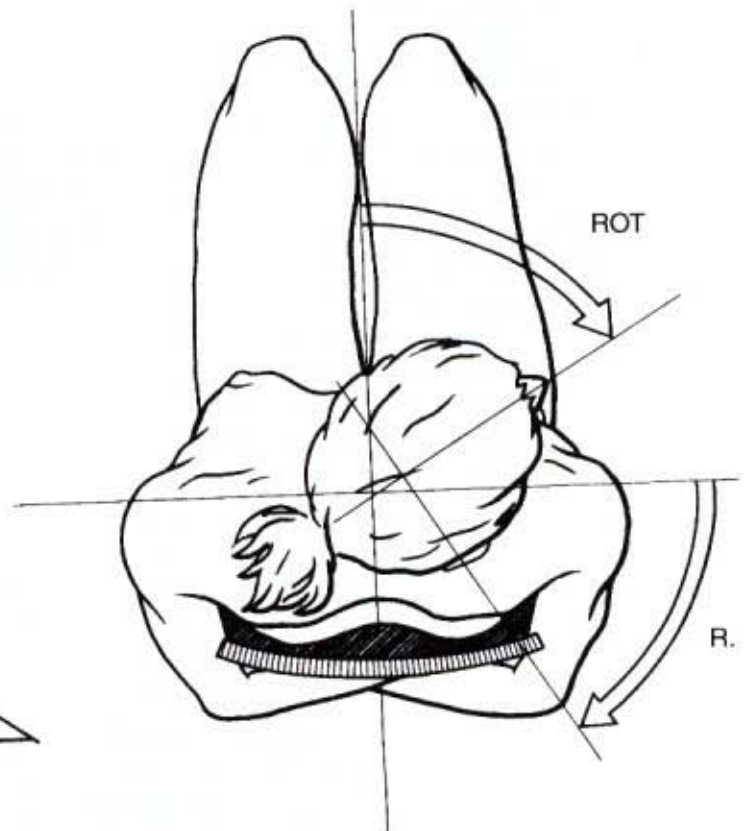
La medición de la **rotación** de la cabeza y del cuello (Fig. 99) se puede realizar con el sujeto sentado en una silla e inmovilizando correctamente su cintura escapular. Se tomará en cuenta entonces como referencia la línea de los hombros, y la rotación se medirá bien por el ángulo (R) formado por esta línea de referencia y el plano frontal que pasa por las orejas, bien por el ángulo (ROT) formado por el plano sagital de la cabeza con el plano sagital del cuerpo. Se puede efectuar una medición más precisa con el individuo en decúbito supino sobre un plano duro y horizontal, con un goniómetro de burbuja fijo en la frente en el plano transversal.



98



100



99

NEXOS ENTRE EL EJE NERVIOSO Y EL RAQUIS CERVICAL

El sistema nervioso cerebroespinal se encuentra dentro de la caja craneal y del canal raquídeo. En el raquis cervical, *el canal raquídeo protege el bulbo*, que sale del cráneo por el agujero occipital, y la *medula cervical*, que emite las raíces del plexo cervical y del plexo braquial. Por lo tanto, el bulbo y la medula cervical contraen estrechos nexos con elementos muy móviles del raquis cervical, sobre todo a nivel del raquis suboccipital en una **zona de transición mecánica** muy específica (Fig. 101). De hecho, desde su salida por el agujero occipital, el bulbo, prolongado por la medula (M), se sitúa *por detrás y entre los dos cóndilos occipitales*, que constituyen, a este nivel, los dos puntos de apoyo del cráneo sobre la columna cervical. Ahora bien, entre los cóndilos occipitales y la tercera vértebra cervical, el atlas y el axis van a distribuir el peso de la cabeza entre tres columnas, soportado en principio por dos columnas (C y C'). Estas tres columnas, que se prolongan a lo largo de todo el raquis, son:

- la *columna principal de los cuerpos vertebrales* (CV), situada por delante de la medula;
- y de las *dos columnillas laterales de las apófisis articulares* (A y A'), situadas a ambos lados de la médula.

La división de las líneas de fuerza se efectúa a nivel del axis, que, de este modo, *representa un verdadero distribuidor de fuerzas* entre el cráneo y el atlas, por una parte, y el resto de la columna cervical, por otra. De hecho (Fig. 102), las fuerzas que soportan cada uno de los cóndilos occipitales (CC) se dividen en dos:

- por una parte, hacia delante y hacia dentro, las *principales fuerzas estáticas* recaen sobre los *cuerpos vertebrales* (CV) a través del cuerpo del axis;
- por otra, las *fuerzas dinámicas* recaen sobre la *columna de las articulares* (A), hacia atrás y hacia fuera, a través del pedículo vertebral del axis y la apófisis articular inferior situada debajo del arco posterior del axis.

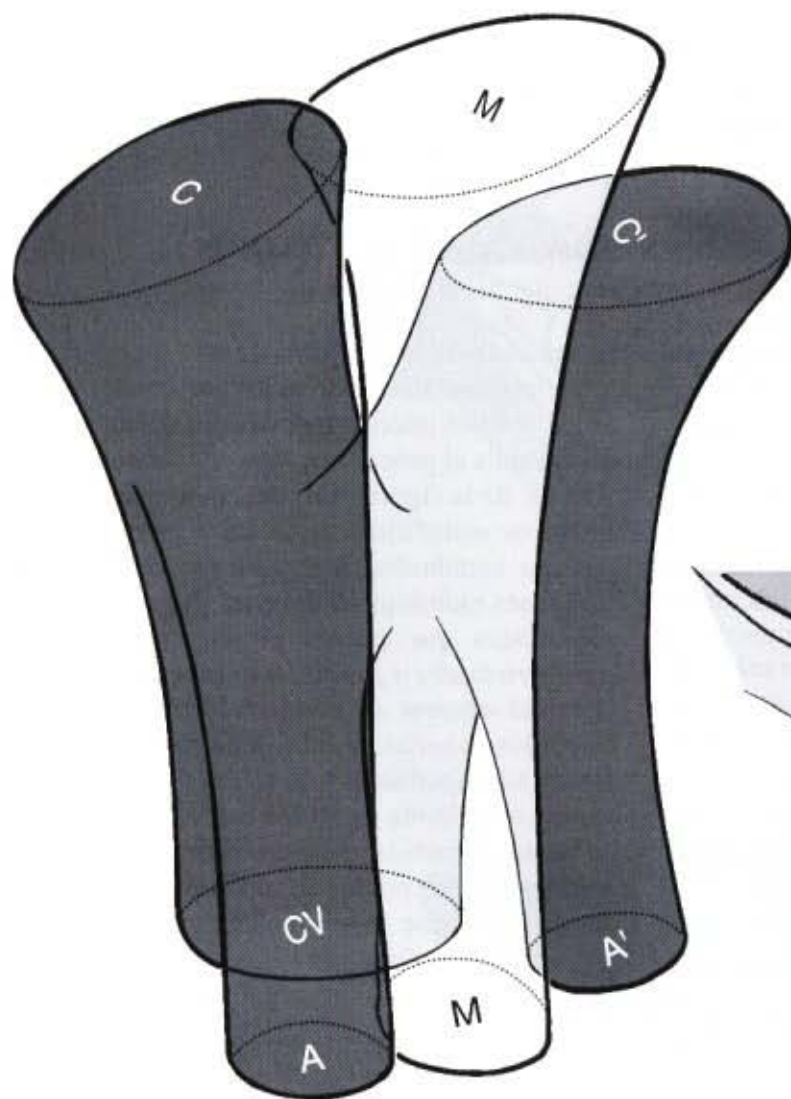
Por lo tanto, esta zona suboccipital representa, a la vez, el pivote, el punto más móvil del

raquis cervical, y el lugar más solicitado mecánicamente. Lo que equivale a reconocer la importancia de los elementos de unión ligamentosa y de los factores óseos de estabilidad, de los que el principal es la *apófisis odontoides*; una fractura de la base de la odontoides produce la completa inestabilidad del atlas sobre el axis, que puede así bascular hacia atrás, o lo que es peor, hacia delante, verdadera luxación anterior del atlas sobre el axis con la consiguiente compresión del bulbo y muerte inmediata.

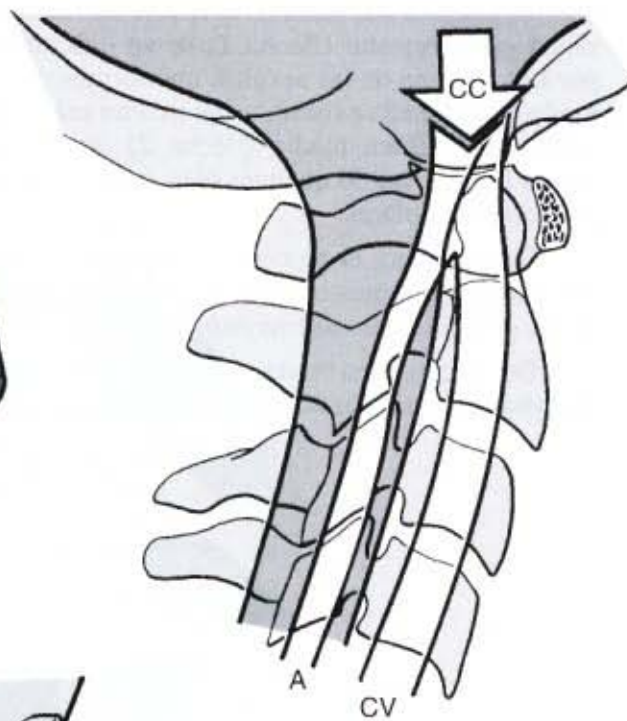
Otro elemento muy importante de la estabilidad del atlas sobre el axis es el *ligamento transversal*, cuya ruptura acarrea la luxación anterior del atlas sobre el axis, permaneciendo la odontoides en el sitio y comprimiendo y lesionando gravemente el bulbo. De nuevo se da una muerte súbita. No obstante, las rupturas del ligamento transversal no son tan frecuentes como las fracturas de la odontoides.

En el **tramo cervical inferior**, el punto más solicitado se localiza entre C₅ y C₆. Es en este nivel donde más frecuentemente se producen luxaciones anteriores de C₅ y C₆, con las articulares inferiores de C₅ enganchadas en las articulares superiores de C₆ (Fig. 103). En esta posición, la medula está comprimida entre el arco posterior de C₅ y el ángulo posterosuperior del cuerpo de C₆. Dependiendo del nivel, la compresión medular provoca bien una paraplejía, bien una tetraplejía, que puede ser rápidamente mortal.

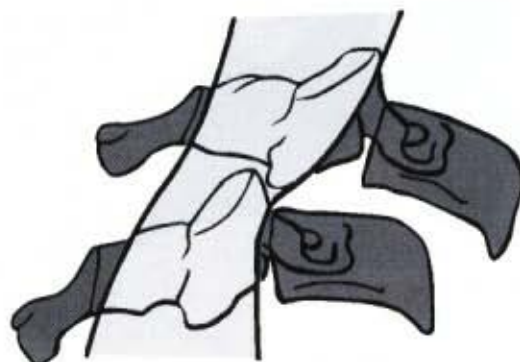
Es obvio, que todas estas lesiones que crean una gran inestabilidad en el raquis, pueden agravarse por *manipulaciones inadecuadas durante el manejo y transporte de los heridos*, y en particular, se puede entender que cualquier movimiento de flexión del raquis cervical y de flexión de la cabeza sobre el raquis cervical puede empeorar la compresión del bulbo o de la medula. Por lo tanto, al recoger un herido en accidente de circulación, por ejemplo, uno de los socorristas debe desempeñar como tarea única y primordial *mantener la cabeza en el eje del raquis*, así como extenderla ligeramente para evitar desplazamientos de una eventual fractura, ya sea en el tramo occipital o por debajo del mismo.



101



102



103

NEXOS ENTRE LAS RAÍCES CERVICALES Y EL RAQUIS

Se acaban de exponer los importantes nexos entre el raquis cervical y el bulbo y la medula.

De cada tramo del raquis cervical salen las *raíces de los nervios cervicales por los agujeros de conjunción*. Estas raíces pueden resultar afectadas por *procesos patológicos* (Fig. 104): las hernias discales son raras en el raquis cervical; su salida posterolateral (flecha 1) se ve dificultada por la presencia de las apófisis unciformes de tal modo que, cuando existen, están mucho más próximas de la línea media (flecha 2) que en la región lumbar, por lo que más bien acarrearán compresiones medulares.

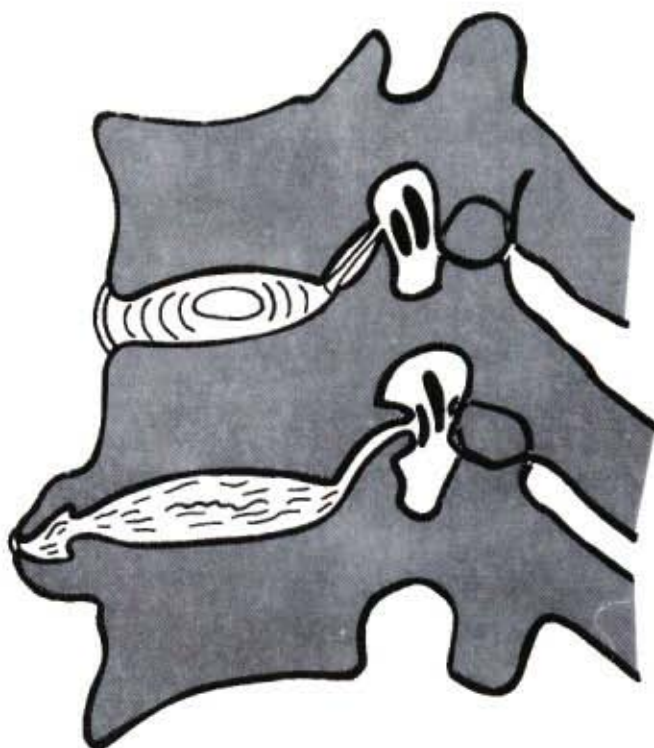
Sin embargo, el proceso de compresión más frecuente en el raquis cervical se debe a la *artrosis de las articulaciones uncovertebrales* (flecha 3).

De hecho, una vista de perfil (Fig. 105) muestra los estrechos nexos de las raíces cervica-

les saliendo de los agujeros de conjunción con las articulaciones interapofisarias por detrás, y a las articulaciones uncovertebrales por delante. Cuando se inicia el proceso de la cervicoartrosis (parte inferior de la figura), se pueden apreciar no sólo los picos osteofíticos en la parte anterior de las mesetas vertebrales, sino, sobre todo, en las proyecciones radiológicas oblicuas, las *vegetaciones osteofíticas que parten de las articulaciones uncovertebrales y forman una prominencia en el área del agujero de conjunción*. Asimismo, los osteofitos avanzan por atrás a partir de la *articulación interapofisaria* y la raíz cervical puede así verse comprimida entre los osteofitos anteriores de punto de partida uncovertebral y los osteofitos posteriores de punto de partida articular. Así puede explicarse la sintomatología radicular de las cervicoartrosis.



104



105



La gran aventura del raquis

Fue en el agua, dulce o salada, donde los seres vivos se comenzaron a estructurar rígida, partiendo de seres blandos como las medusas. Antaño podían elegir entre una estructura externa rígida, el exoesqueleto de los crustáceos y una armadura interna, el endoesqueleto propio de los peces. El cuerpo de los antepasados de los peces estaba constituido por un eje flexible, que se fragmentó en piezas articuladas: así, aparecieron los vertebrados. Al principio, las ondulaciones de un cuerpo flexible, cilíndrico o plano, permitían los desplazamientos en el medio líquido. Pero las estructuras se fueron perfeccionando con la aparición de dos pares de apéndices: las aletas anteriores y posteriores. Cuando los peces empezaron a colonizar la tierra, aparecieron los primeros terápodos, cuyas aletas se convirtieron en patas y, posteriormente, en miembros que hemos heredado, articulados con la columna vertebral a través de las cinturas. Pero la aventura no terminó ahí, ya que un día estos cuadrúpedos se irguieron sobre sus patas traseras, surgiendo, en consecuencia, los primates y luego el hombre. Todas estas transformaciones modificaron profundamente el eje del cuerpo, el raquis.

Esta columna vertebral, que en los cuadrúpedos era horizontal y estaba sujeta por sus dos extremos por un par de miembros, se convierte en vertical, reposa sobre una pelvis incompletamente erguida y ahora soporta no sólo el peso del cuerpo sino el de la cabeza y miembros superiores unidos a la cintura escapular.

Esto explica tanto la aparición de las curvas raquídeas como la fragilidad de este edificio sometido a grandes contratiempos, y en particular en su punto de unión con lo que le sirve de cimientos, la pelvis. El raquis lumbar, zona de transición entre la cuadrupedia y la verticalidad, es el punto más débil, centro de la mayoría de los problemas del hombre. El raquis dorsal sólo le sirve de eje al tórax, estructura motora del aparato respiratorio. En cuanto al raquis cervical, es la "joya" de esta estructura, puesto que de su flexibilidad depende la orientación de la cabeza, que protege los principales órganos de los sentidos de la vista, el oído, el olfato, que se coordinan para localizar las presas, identificar los peligros...

La comprensión del funcionamiento de esta estructura tan relevante desprende una curiosidad que el lector no puede ignorar.

