

INSTRUCCIÓN ORTOPÉDICA DE POSGRADO

El hombro: una nueva visión de su evolución

JOSÉ M. ROTELLA, JOSÉ URPI, MARTÍN HEREDIA y CLAUDIO BRAHIM

Traumatología del Norte

Introducción

En la evolución de los homínidos, probablemente la región que más cambios ha sufrido es la cintura escapular, en especial, la articulación glenohumeral.

Nos propusimos recorrer el camino inverso, viendo el hombro desde el punto de vista de otras ciencias para llegar a una interpretación de la anatomía actual y su biomecánica, y poder entender mejor estos cambios y por qué sucedieron.

El objetivo de este trabajo es demostrar que la cavidad glenoidea tiene características muy particulares, no diferenciadas hasta ahora, y explicar el papel de cada una de esas partes en las etapas del movimiento escapulo humeral.

En la articulación glenohumeral identificamos dos zonas: una superior y otra inferior, cada una de las cuales cumple funciones diferentes en los movimientos básicos, pero se complementan en los movimientos complejos.

Poder determinar que el hombro tiene partes de distintos orígenes, tanto filogénica como embriológicamente, nos ayuda a entender las diferencias anatómicas y, por ende, a comprender mejor la biomecánica. Encontrar que la inervación también está segmentada nos ayuda a comprender la fisiología y, con ello, a mejorar la interpretación clínica, lo que influye directamente en las conductas terapéuticas en esa región.

Este cambio de visión de la articulación fue el resultado de investigaciones bibliográficas provenientes de fuentes alejadas de la práctica médica diaria, como la filogenia y la embriología, correlacionándolas con los hallazgos del laboratorio de anatomía normal, anatomía comparada y biomecánica humana.

Recibido el 16-6-2009.

Correspondencia:

Dr. JOSÉ URPI

joseurpi@hotmail.com

El hombro desde la filogenia

La glena es el resultado de la fusión de dos huesos (al igual que el cotilo que son tres): el coronoide y la escápula; ambos de origen filogenético y embrionario diferente. El superior, el coronoide, proviene del exoesqueleto, al igual que la clavícula y el cráneo; de ahí que su osificación es intramembranosa, mientras que el inferior, la escápula, proviene del endoesqueleto, como la mayoría de los huesos del cuerpo humano y su osificación es del tejido endocondral (Fig. 1).^{10,11}

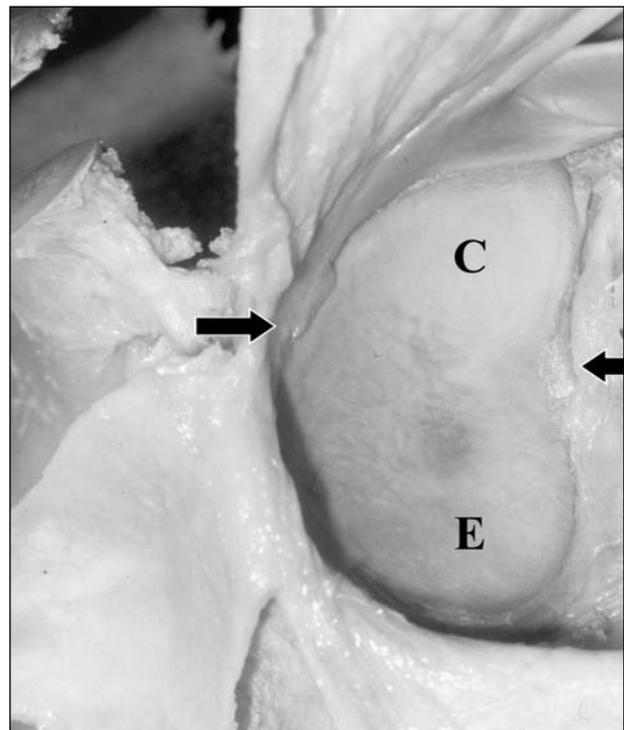


Figura 1. Origen del hueso: la glena actual es la fusión de dos huesos, que por su ubicación y función en la evolución tienen un origen diferente: coracoides (C) y escapular (E).

En la descripción anatómica de la glena actual se pueden determinar claramente dos sectores: la porción superior (Fig. 1 “C”), que se forma con el aporte del coronoides; y una parte inferior (Fig. 1 “E”) originada en la escápula. Durante la evolución ambos se fusionaron y conformaron la glena actual, pero conservaron características y funciones diferentes.

El tejido mesenquimático que forma cada una de estas partes tiene un origen embrionario diferente; esto implica que todos los elementos que se insertan y rodean (cápsula, ligamentos, rodetes, tendones, etc.) cada parte de la articulación provienen del mismo origen embrionario, lo cual explica las diferencias funcionales en la mitad superior e inferior de la glena (Fig. 2).¹¹

La cintura pelviana está formada por tres huesos: el ilion, el isquion y el pubis, cuyo origen es endocondral.

Sin embargo, la cintura pectoral tiene un claro doble origen: está formada por huesos dérmicos y endocondrales. Los huesos dérmicos involucionaron y los elementos endocondrales asumieron un papel principal.²³

La anatomía comparada nos permite estudiar la evolución de la cintura escapular.^{12,15,19,20}

Así, es posible ver con claridad la unión de los dos huesos y cómo los elementos óseos cambiaron de forma y de tamaño según los requerimientos funcionales (Figs. 3 a 6).¹⁸

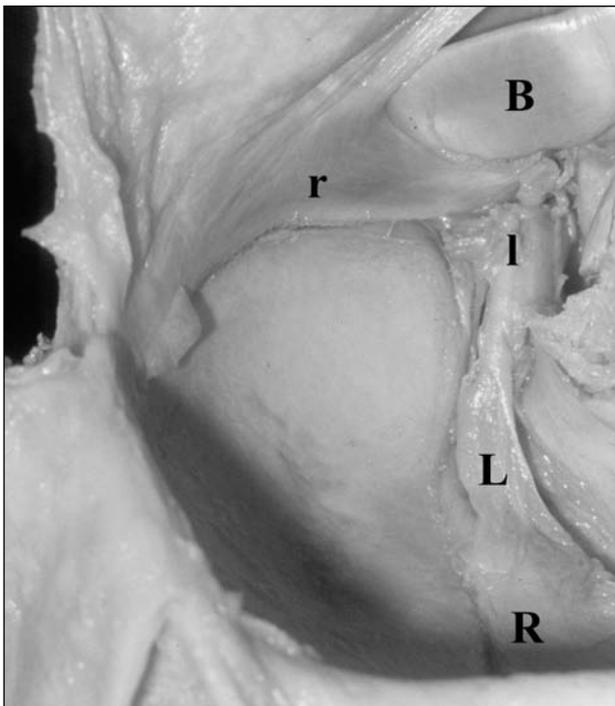


Figura 2. Origen de las partes blandas periarticulares. B: inserción supraglenoidea del tendón del bíceps; r: rodete suelto “meniscoideo”; R: rodete “firme” inserción ósea; l: ligamento superior, laxo con muchas variantes anatómicas; L: ligamento inferior, “muy firme” (complejo glenohumeral inferior).

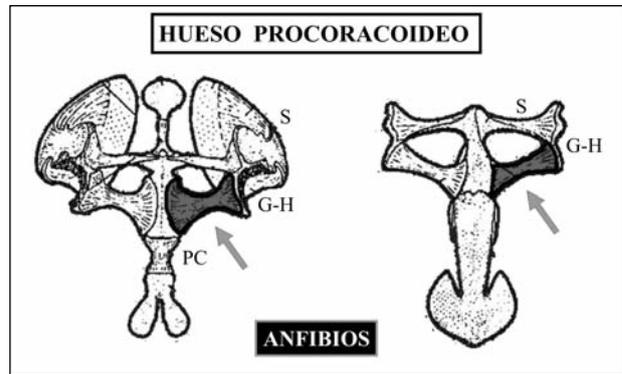


Figura 3. En los anfibios, el hueso procoracoideo (PC) desempeña un papel muy importante en su localización anterior en la articulación proximal, tanto en la estabilidad y unión con el eje axial, como en la función de la articulación glenohumeral (G-H); S: hueso escapular.

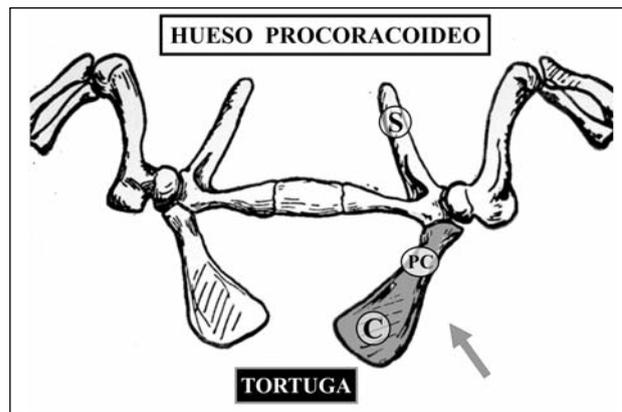


Figura 4. La ubicación anteroinferior y el volumen del hueso procoracoideo (PC) ofrecen mayor base a las inserciones musculares. De ahí podemos interpretar el papel funcional y biomecánico que tenía. S: hueso escapular.¹⁸

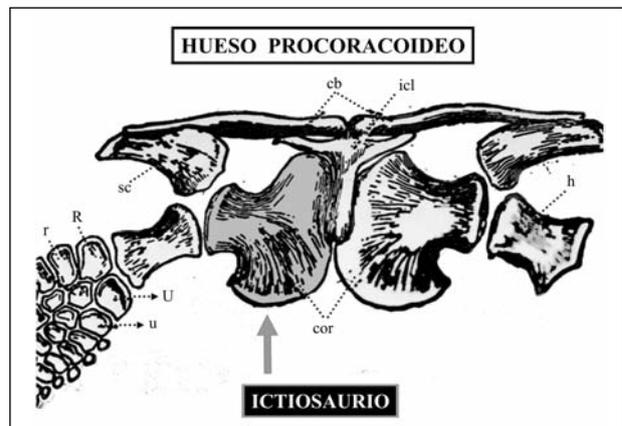


Figura 5. En todas las series, el hueso procoracoideo (cor) aporta una gran zona de fusión a la articulación glenohumeral; estaba en una ubicación anteroinferior, para resolver las necesidades funcionales antes de la migración de los elementos de la cintura escapular de anterior a posterior en el tórax. Esto lleva implícita la liberación de los elementos óseos y del eje axial anterior, quedando como único elemento la clavícula.

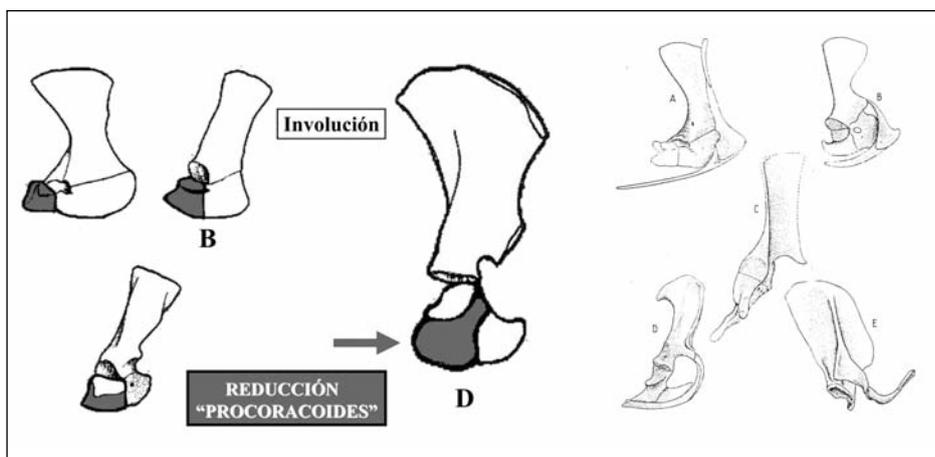


Figura 6. Varios cambios sucedieron en la cintura escapular (no así en la cintura pelviana): se liberó del eje axial tanto anterior como posterior; el tronco cambió su forma de cilíndrico a ovoideo; la escápula migró de adelante a atrás, etc.¹³

Cuando cambiaron las necesidades funcionales y bio-mecánicas de la cintura escapular y, entonces, de la articulación glenohumeral, se redujo el volumen de la zona superior para evitar que sea una limitante importante anterior (involucionó) y la zona inferior comenzó a cumplir un papel predominante, por lo que aumentó su tamaño y permitió la inserción de los músculos de acuerdo con las nuevas necesidades funcionales (evolució) (Fig. 7).

Al modificarse la función de la articulación glenohumeral y comenzar a aparecer la abducción, la parte anterior articular, hueso procoracoideo, comenzó un proceso de involución, pero mantuvo su papel estabilizador anterior de la cintura escapular; por eso la apófisis coracoidea, al reducir su tamaño, mantiene las inserciones ligamentarias y tendinosas y se transforma en un gran "núcleo de ensamble de fuerzas" reteniendo las inserciones que este hueso tenía (Fig. 8).

Con los requerimientos de una mejor abducción y para poder mejorar la "cupla abductora" aparecen los músculos supraespinoso e infraespinoso; el deltoides aleja hacia la diáfisis humeral su inserción distal. El acromion aumenta de tamaño (evoluciona), se hace más grande y más anterior; "arrastra" consigo al músculo deltoides y su inervación hacia adelante. Ello permite entender el recorrido tan particular de su inervación, que nace del tronco posterior del plexo braquial y luego gira por la axila para llegar al deltoides desde atrás, cuando hubiera sido más fácil inervarlo al músculo deltoides desde adelante (Fig. 9).⁷

Y, finalmente, se agranda el hueso escapular debido a las migraciones musculares, dentro del marco de las nuevas adaptaciones funcionales. Por ello el índice infraespinoso (la porción de la escápula por debajo de la espina donde aumentan las ramas musculares) aumentó: para tener una buena base de inserción a los músculos (redondo mayor, menor, subescapular) (Fig. 10).

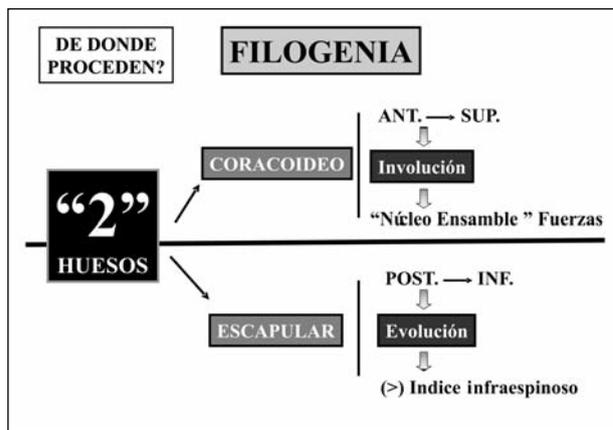


Figura 7. Esquema ilustrativo del origen de la glena actual a partir de dos huesos anteriores filogenéticamente: el coracoideo y el escapular.

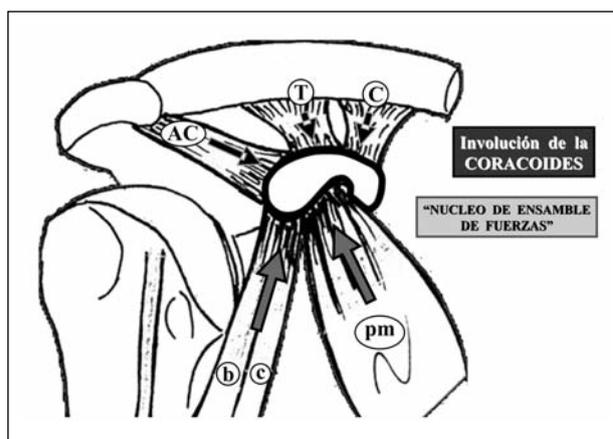


Figura 8. Involución del hueso coronoideo. Mantiene las inserciones que filogénicamente tenía: AC: ligamento acromioclavicular; T: ligamento trapezoideo; C: ligamento coronoideo; b: porción corta del bíceps; c: coracobraquial; pm: pectoral menor.

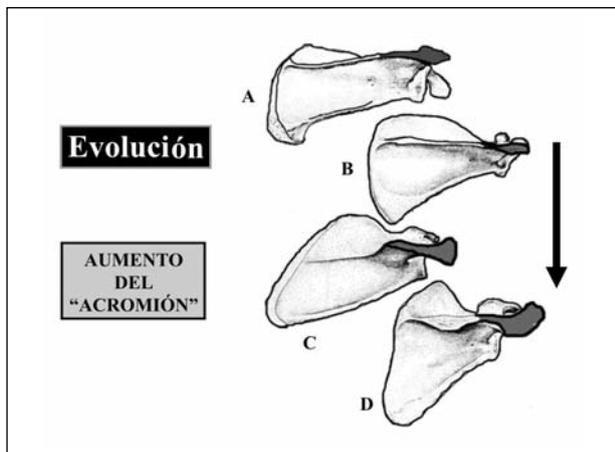


Figura 9. Evolución del acromion: por la necesidad de mejorar la “palanca abductora”; el deltoides se fue desplazando hacia anterior, por lo que aumentó el acromion.

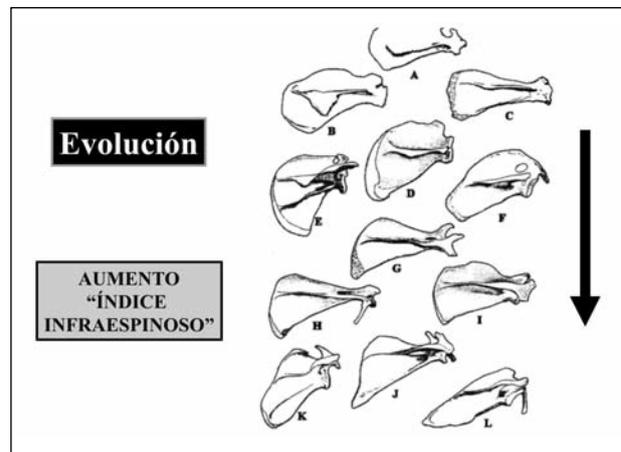


Figura 10. Evolución del hueso escapular. Al “liberarse la escápula del tórax” para tener estabilidad, traslado y aumento músculos; para ello necesitó aumentar sus zonas de inserción en el hueso.

El hombro visto desde la embriología

Para estudiar cómo se formó cada elemento realizamos en nuestro laboratorio disecciones en fetos frescos de 7 a 10 semanas de gestación.

Se ve claramente la unión de las porciones óseas de distinto origen mesenquimático (Figs. 11 a 14).

Lo más importante es seguir el origen y la formación de los elementos articulares y periarticulares.

Cuando se produce la “cavitación” en el mesénquima para dar lugar al “espacio articular”, es el mismo mesénquima embrionario el que forma tanto el hueso como los tejidos blandos periarticulares.¹⁴⁻²⁷⁻³⁰⁻³⁸

Cada uno de ellos tiene un origen mesenquimático diferente, tanto en la región superior como en la inferior y, por ende, todos los elementos blandos y periarticulares (cápsula, rodete, tendones, ligamentos, etc.).

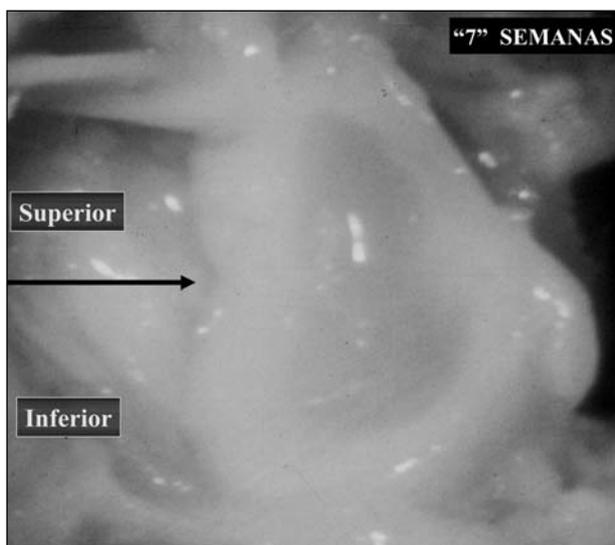


Figura 11. En las disecciones anatómicas de fetos (7 semanas) se puede ver la unión de los dos huesos, el coracoideo (superior) y el escapular (inferior); el punto de unión de ambos es, por delante, a nivel del espacio de los rotadores y, por detrás, a nivel de la base de la espina del omóplato.

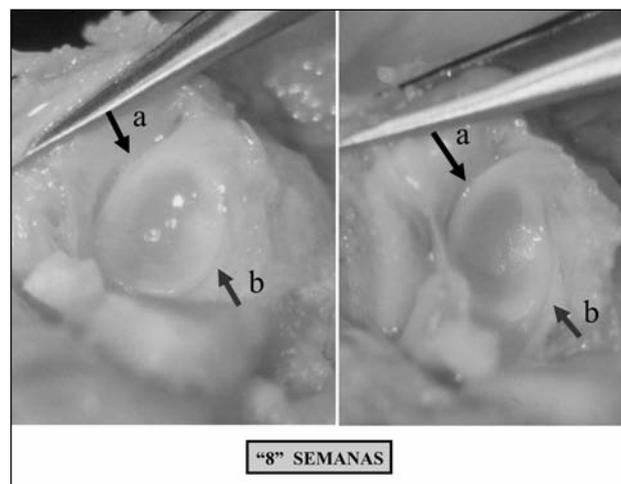


Figura 12. Los tejidos que rodean las articulaciones (meniscos, ligamentos, capsular, tendones) tienen el mismo origen embrionario porque proceden del mismo mesénquima que los formó. Como se puede ver en las disecciones de fetos (8 semanas) las inserciones del labrum capsular están sueltas, en el ángulo superior de la articulación (como un menisco) (a), mientras que en la parte inferior está firmemente adherido al hueso (como un rodete) (b).

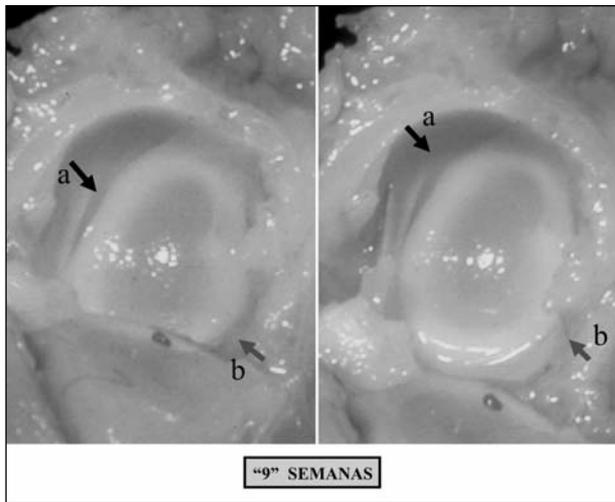


Figura 13. En el feto de 9 semanas se hace más evidente este origen embrionario diferente; y que también desempeña un papel funcional diferente; de ahí su morfología y que las inserciones óseas del rodete capsular sean firmes en la mitad inferior (b) y sueltas en la mitad superior (a).

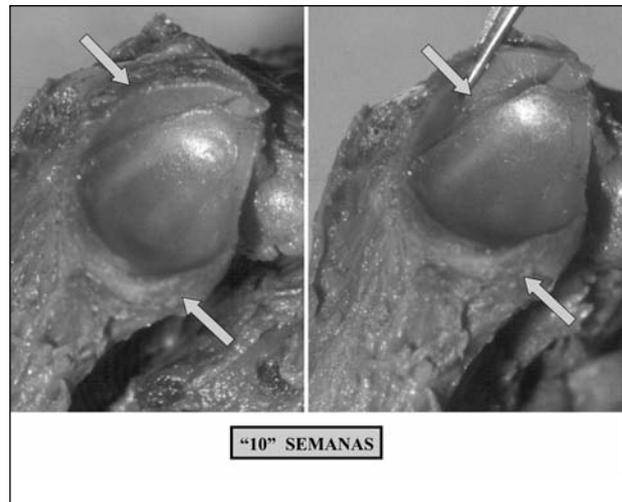


Figura 14. En el feto de 10 semanas continúan las claras diferencias en las regiones superior e inferior; en las inserciones de rodete en la parte posterosuperior “suelto” y la “firme inserción” en la región inferior, especialmente en la zona anteroinferior.

El hombro desde el punto de vista de la osificación

La osificación en la mitad superior es intramembranosa y su núcleo de osificación se sitúa en la coracoides. Este tipo de osificación es el resabio filogenético del exoesqueleto (como el cráneo y la clavícula).⁹

La mitad inferior tiene una osificación endocondral y su núcleo de osificación es el escapular (Figs. 15 y 16).

Esta diferenciación nos permitió suponer hipotéticamente y, luego confirmar, que en patologías como la disostosis cleidocraneana, en la que el comportamiento es

el desarrollo del esqueleto, se debería encontrar la agenesia de la parte superior de la glena y de la apófisis coracoidea. Lo pudimos constatar en un paciente de nuestra serie, con lo cual proponemos agregar un componente a la denominación, que quedaría entonces como síndrome de disostosis cleidocraneana-glenoidea.

Anatomía

En nuestras disecciones anatómicas se nota claramente la diferencia entre las dos mitades; el punto de unión es

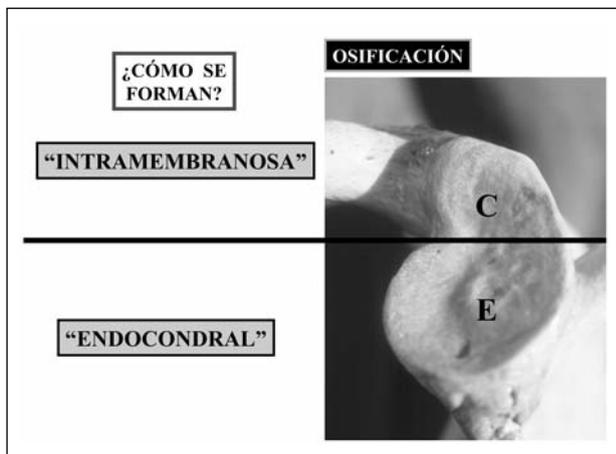


Figura 15. En la formación de la glena la parte superior y la inferior tienen un origen diferente. C: hueso coracoideo; E: hueso escapular.

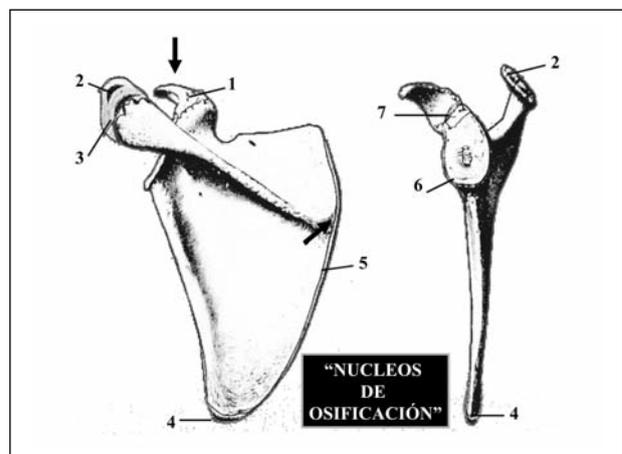


Figura 16. Núcleos de osificación. Se ve claramente la zona de unión del núcleo coracoideo (7) y el hueso escapular (6) (de Gray).

por adelante entre las horas 2-3 (en el “espacio de los rotadores”) y por atrás, a nivel de la base de la espina del omóplato.⁴⁻⁶⁻¹⁶

La “fóvea” central es una zona donde el espesor del cartílago articular es menor y por eso su color es diferente (menor requerimiento funcional); el espesor del cartílago es mayor hacia abajo, zona de mayor utilidad en el movimiento glenohumeral (Fig. 17).

En la vista de perfil, se evidencia aún más la unión de los dos huesos: superior (coracoideo) e inferior (escapular) (Fig. 18).¹⁷

Interpretación artrocinemática de la “nueva” visión del hombro

Cuando pretendemos interpretar los movimientos articulares, es muy importante comprender las morfologías

de las superficies articulares porque son las que condicionan el movimiento de estas.

“La disminución de los radios de curvatura en la morfología de la superficie articular es para inducir un movimiento en ese sentido” (Fig. 19).

La concavidad de la superficie hembra es para favorecer los movimientos “convergentes” en el movimiento del macho sobre la hembra (Figs. 20).²⁶

La parte anteroinferior de la glena presenta una disminución del radio de curvatura que, lógicamente, se incrementa con el rodete, que se suma a la disminución del radio de curvatura de la parte inferior de la epífisis humeral. Entendemos que los giros automáticos a los que están condenadas las articulaciones se deben a los cambios de radio de curvatura de sus superficies (Fig. 21). Cualquier lesión de estos lleva implícita una alteración de estas rotaciones conjuntas y, por lo tanto, inestabilidades.

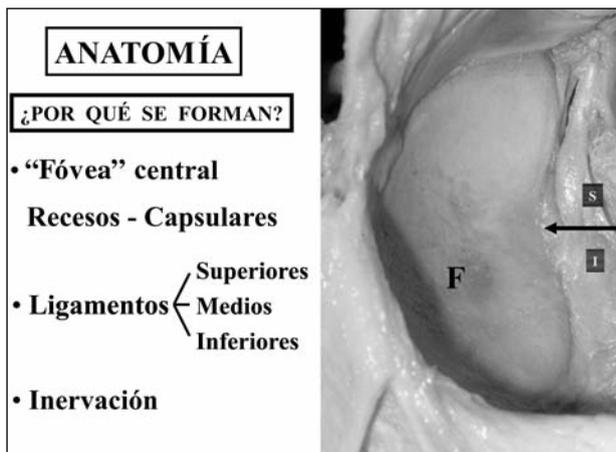


Figura 17. Fóvea (F) central, zona de menor espesor del cartílago articular. Ligamentos superiores (S) zona de muchas variantes anatómicas; ligamentos inferiores (I) muy homogéneos y compactos.

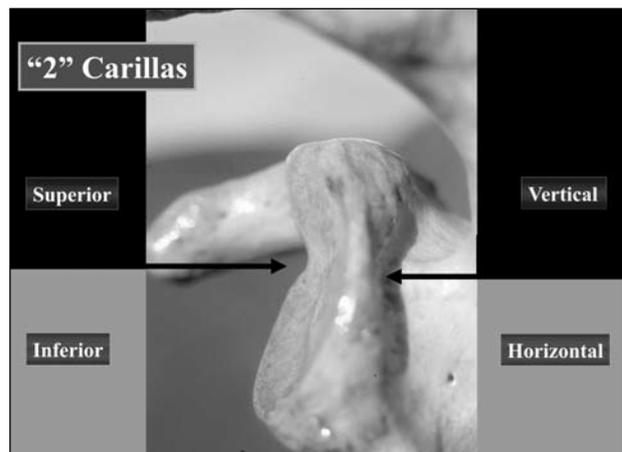


Figura 18. Cuando se examina la pieza ósea, se ve con claridad la unión de la parte superior (con la coracoides) y la parte inferior a nivel de la base de la espina. También se evidencia la forma plana de la parte superior, en contraste con la forma cóncava de la parte inferior, con un menor radio de curvatura, lo que favorece la rotación conjunta en el movimiento glenohumeral.

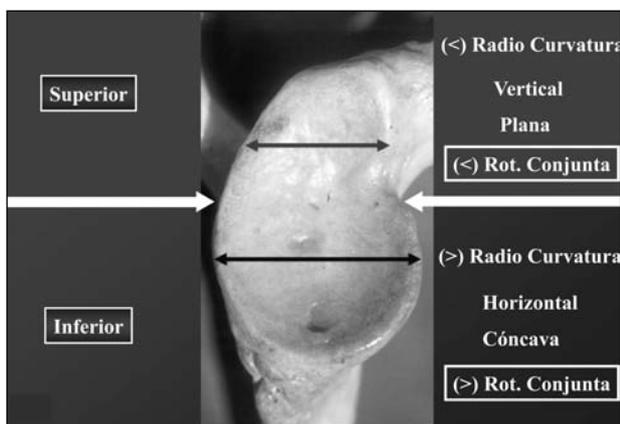


Figura 19. La mitad superior es más plana para evitar inducir un movimiento diadocal, que produciría una rotación conjunta automática; por eso los movimientos hacia adelante y atrás del hombro se realizan casi sin rotación. Cualquier abducción o aducción del hombro alejaría o acercaría de la línea media del miembro del cuerpo, donde deben realizar las funciones básicas (alimentación, higiene). La mitad inferior es más cóncava para inducir un movimiento diadocal, que produce rotación conjunta; por eso los movimientos de abducción llevan consigo un movimiento de rotación externa automática.

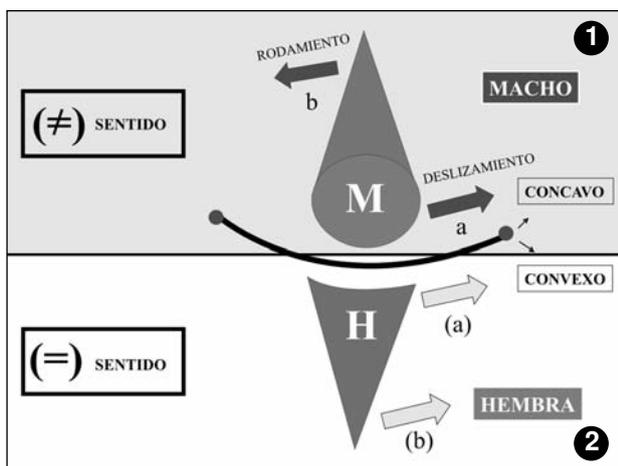


Figura 20. A1. Cuando un “macho”(M) (convexo) se mueve sobre una “hembra” (cóncavo), el deslizamiento (a) y el rodamiento (b) se hacen en sentido contrario. **2.** Cuando una “hembra” (H) (cóncavo) se mueve sobre un “macho” (convexo) el deslizamiento (a) y el rodamiento (b) se hacen en el mismo sentido.

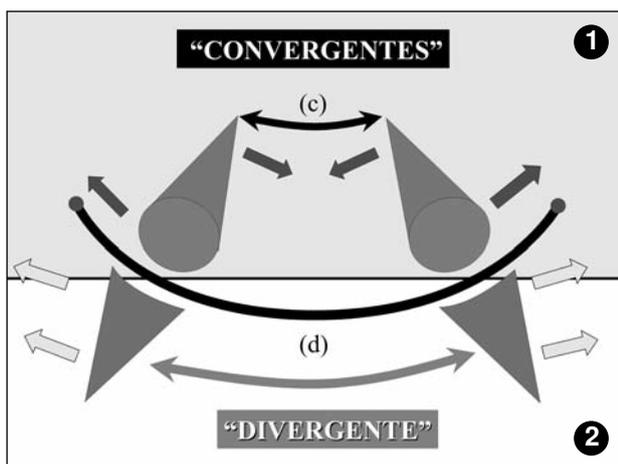


Figura 20. B1. Los movimientos sobre diferentes formas de superficies articulares son para lograr algunas ventajas biomecánicas. Cuando el “macho” se mueve, su eje cervical será siempre “convergente” y el recorrido será “corto” (c). **2.** Cuando una “hembra” se mueve, su eje será siempre “divergente” y el recorrido será “largo” (d). Al cambiar la morfología de la superficie articular se logra “con la misma distancia de superficie articular, diferentes desplazamientos de la epífisis”.

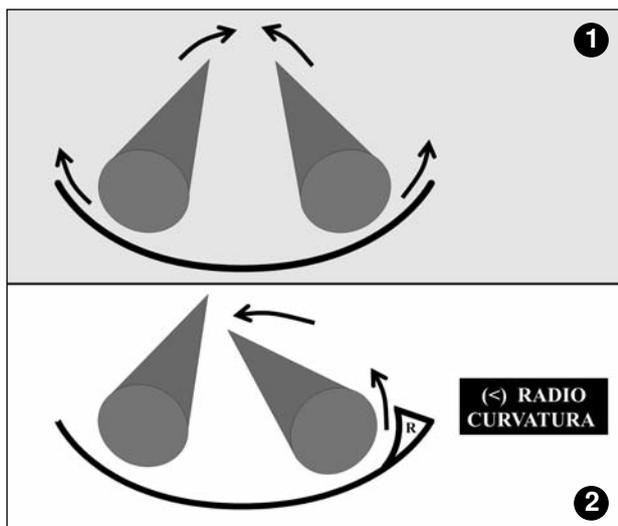


Figura 20.C1. Movimiento de un “macho” (convexo) sobre una superficie “hembra” (cóncava) donde los movimientos de rodamiento y desplazamiento se realizan en diferentes sentidos. **2.** Cuando interponemos un “rodete” (R) en la superficie articular cóncava, se “disminuye más el radio de curvatura”, con lo que se logra un diferente “movimiento diadocal”.

Cuando miramos el “óvalo de movimiento del hombro” es evidente que es igual a la forma en “coma” de la glena, pero “invertida” (Figs. 22 y 23). Podríamos inferir varias deducciones:

- Equivale al movimiento de la cabeza humeral sobre la superficie de la glena.

- El “ovoide de movimiento” tiene esa forma y abarca esa superficie porque es la amplitud de movimiento que necesita el miembro superior para sus funciones básicas.

Entonces, ¿la forma de la glena estaría dada por la función del miembro superior, o fueron la función del miembro

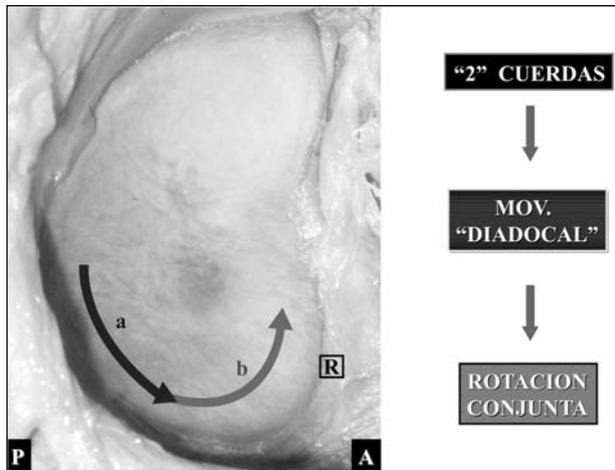


Figura 21. Dos cuerdas sucesivas (a-b) sobre una superficie ovoide producen un movimiento diadocal. Esto sucede porque la primera parte del movimiento (a) es el primer "balanceo cordado"; cuando el movimiento transcurre por el segundo "balanceo cordado" (b), se produce una rotación conjunta automática en el sentido de la rotación externa (movimiento diadocal). El "rodete" (R) firmemente adherido al reborde óseo en la mitad inferior de la glena disminuye aún más el radio de curvatura de la superficie hembra, lo que aumenta el giro en el movimiento diadocal (B).

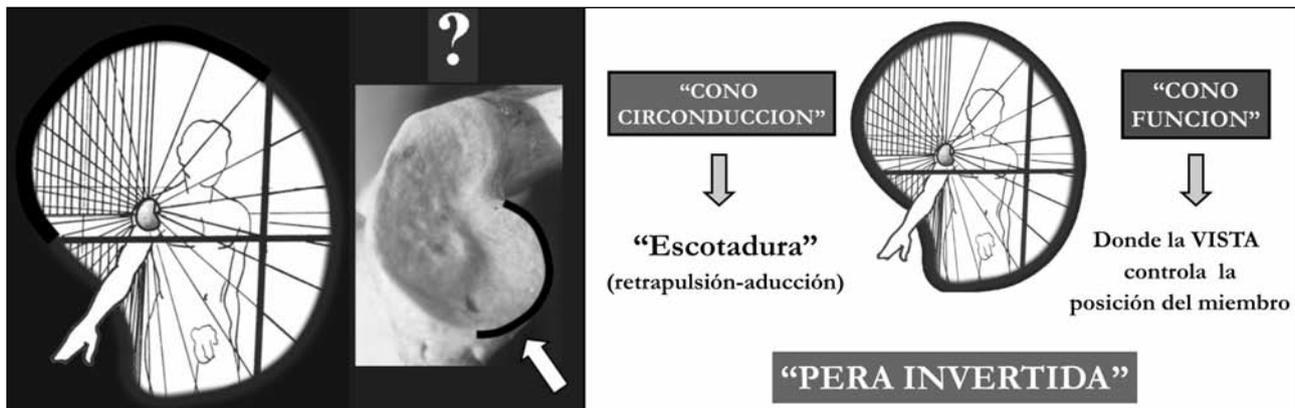


Figura 22. Cuando realizamos el movimiento de circunducción, el miembro superior describe un "cono irregular en el espacio", teniendo como vértice la articulación glenohumeral. La irregularidad se debe a la restricción del movimiento en la retropulsión-aducción; esta "impronta" en el cono de movimiento coincide con la "impronta" que presenta la glena en la parte anterior de su mitad superior.²²

bro y sus necesidades las que indujeron la involución de la coracoides?

La retropulsión del miembro superior de 45° a 50° es la que usaría la región anterior de la mitad superior de la glena. La glena tiene forma de "coma" (más chica arriba y adelante), puesto que no se necesita más retropulsión, ya que está lejos del campo de la visión. También existe como limitación que el miembro superior toca con el tronco; por lo tanto, necesita la flexión del codo para tocar la parte posterior del tronco.³¹

La glena tiene esta forma de "coma" por la función del miembro superior.

Entendemos que la morfología está determinada por la función.

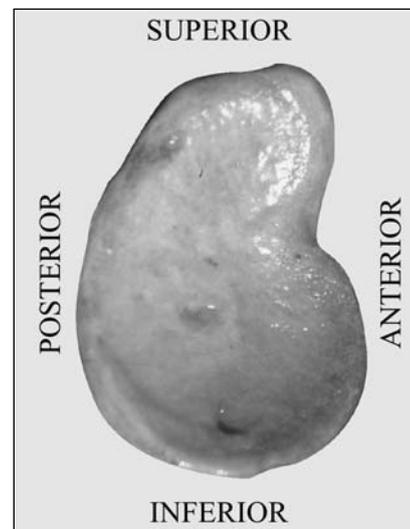


Figura 23. La mitad superior de la glena involución (en la filogenia) porque funcionalmente perdió su importancia. Esto explica su forma de "coma".

Desarrollo y evolución del húmero

Estudiar las articulaciones a través de la evolución nos permite entender el porqué de las “irregularidades” que tienen los huesos. Estos se perfeccionaron con el tiempo y permitieron los movimientos que hoy tiene el hombro (tuberosidades, cuellos, ángulos, rotaciones, esfericidad, radios de curvatura, rotación conjunta).

Los animales primitivos (reptiles y anfibios) carecían de prominencias óseas de inserción muscular en la cabeza del húmero; sus músculos anteriores (o ventrales) y posteriores (o dorsales) van del tronco a la diáfisis humeral. Esto se debe a que estos cuadrúpedos, con los miembros “horizontales” con respecto al tronco, los únicos movimientos que necesitaban en el hombro para la locomoción eran la flexión y la extensión (antepulsión-retropulsión). En el codo se producían los movimientos de giro; de ahí el mayor tamaño y la existencia de grandes apófisis para inserción de los músculos (Fig. 24).³⁷

En el estudio de la morfología del húmero saltan a la vista la importancia y el volumen de la epífisis distal del húmero y, por lo tanto, podemos intuir el papel sustancial que cumplía el codo en la función del miembro. Cuando se evolucionó en la locomoción y los miembros se colocaron por debajo del tronco, el hombro comenzó a tener mayor desplazamiento y mayor complejidad en estos movimientos, razón por la cual aparecieron inserciones musculares en las protuberancias óseas en las epífisis o próximas a ellas (Fig. 25).

Se desarrolla lo que denominamos “sistema amplificador de movimiento”: cuando más cerca de la epífisis se insertan los músculos, menor será su excursión y, con pequeños movimientos angulares proximales se logran grandes desplazamientos distales del miembro, lo que se traduce en un ahorro energético (Fig. 26).

También se producen modificaciones en la morfología de los huesos que favorecen los movimientos de los segmentos óseos:

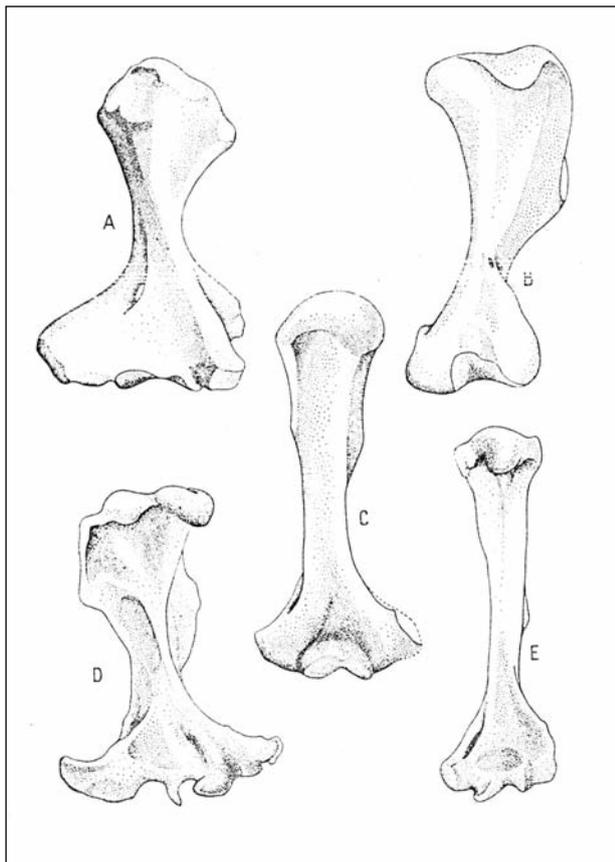


Figura 24. Cuando se estudia la morfología del húmero se notan la importancia y el volumen de la epífisis distal del húmero (codo) y la sencillez y escasa prominencia ósea de la epífisis proximal (hombro). Se puede deducir la importancia que tenía el codo en la función del miembro superior y la limitada participación y movilidad del hombro.

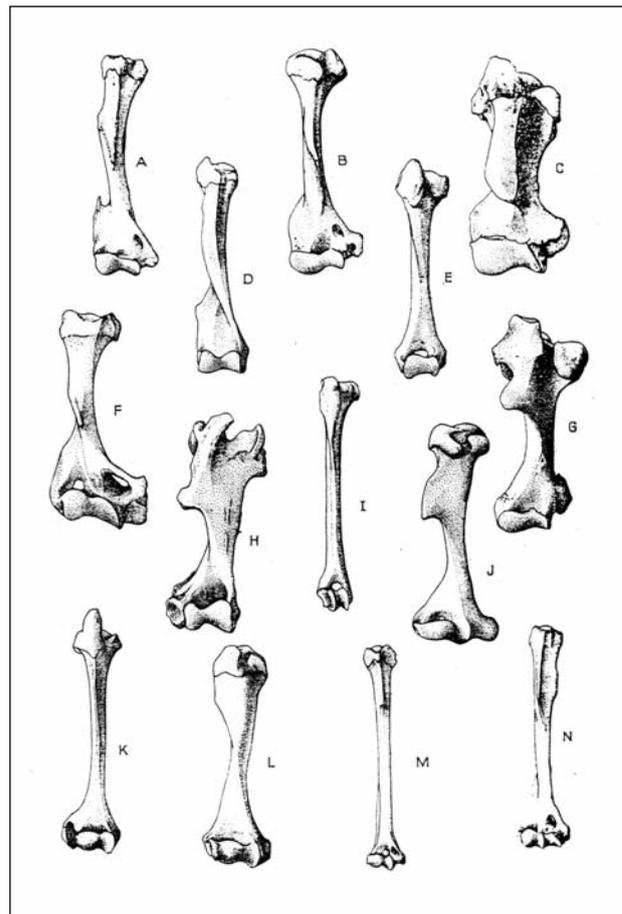


Figura 25. En los mamíferos, comienza a cobrar importancia la “epífisis proximal” del húmero y el incremento de las prominencias óseas para inserciones musculares, lo que obliga a pensar en el incremento de la función del hombro.

- Para tener cierto grado de rotación, aparecen los “cuellos” en las epífisis. Al “descentrar la epífisis” del eje de la diáfisis, todos los movimientos proximales se traducen a distal, entrando y saliendo del miembro en los planos del espacio (Fig. 27). En los animales primitivos, las epífisis están en el mismo eje que la diáfisis (“centrados”); entonces, cualquier movimiento rotacional proximal (como ambos se encuentran en el mismo eje) produce la misma rotación en el segmento distal. Esto se debe a que los animales primitivos no necesitaban rotaciones en la locomoción; podríamos decir que hasta les eran perjudiciales.
- La longitud del cuello responde a un fin funcional. Cuanto más cerca del centro de rotación articular se inserte el músculo motor, más rápido será el movimiento; por lo tanto, en el tren superior los cuellos son cortos (Fig. 28). Cuanto más largo es el cuello, o sea, cuanto más separada esté la epífisis de la diáfisis, mayor será el movimiento distal del miembro.

La inserción de los músculos en el “ángulo cervico-diafisario” es un punto “estratégico” que ofrece ventajas biomecánicas:

- Cuando surge el “cuello” aparece el ángulo cervico-diafisario. Cualquier músculo que se inserte próximo al ángulo producirá, con pequeñas contracciones, grandes desplazamientos distales del segmento óseo.
- Cuanto más cerca estén las inserciones de los músculos en el “cuello” (eje cervico-diafisario) menor será la distancia de excursión tendinosa. La contracción de estos músculos logra un mayor desplazamiento distal del miembro en el mismo tiempo. Se obtiene una distancia o desplazamiento mayor, con menor excursión tendinosa y, por ende, rapidez del movimiento. Para conseguir estos movimientos, el músculo no tiene que acortarse tanto y puede tener menor volumen y, así, menor gasto energético, lo cual representa una ventaja fisiológica.

En los reptiles y animales primitivos, el “cuello” o ángulo cervico-diafisario era largo. Esto respondía a que su fin era separar el miembro del cuerpo. Más tarde, al mejorar la bipedestación, el tren superior, al no apoyar, pudo reducir el cuello; por ese motivo el cuello del húmero es más corto que el del fémur. Su acortamiento favorecía aún más la posibilidad de aproximarlos a la línea media del cuerpo y por eso su longitud es menor.

También los cuellos obligan o permiten que los músculos proximales que se insertan en su base alejen sus inserciones del centro de rotación de la epífisis; esto modificó la función muscular, en especial para los movimientos de rotación y abducción.⁸



Figura 26. Protuberancias óseas para la incisión proximal de los músculos.



Figura 27. Epífisis descentrada con respecto al eje de la diáfisis.



Figura 28. Húmero proximal con cuello corto, para aumentar la velocidad del movimiento.

Otro elemento importante para tener en cuenta son los grados del ángulo de unión entre el cuello y la diáfisis (ángulo cérvico-diafisario). Los animales primitivos, además de un cuello largo, tenían un ángulo cérvico-diafisario cercano a los 90°. Cuando no fue necesario el apoyo del miembro en el suelo, este ángulo aumentó, con lo cual se aproximó aún más el miembro a la línea media del cuerpo. El cuello permitía sacar el miembro de la línea media (Fig. 29).

Luego aparecerá el “ángulo de declinación” o sea la retroversión, en el plano anteroposterior. Esto surge como una especialización de estos giros del cuello. Busca favorecer ciertos movimientos en el espacio. En los mamíferos corredores, las patas se mueven en arcos elípticos laterales al cuerpo (Fig. 30). En el miembro superior, apa-



Figura 29. Ángulo cérvico-diafisario.



Figura 30. Ángulo de retroversión de la cabeza humeral.

rece con la bipedestación; el húmero tiene “retroversión” para facilitar la apertura del miembro, con la abducción y rotación externa y favorecer la rotación conjunta. Con esta función se obtiene mejor prensión del miembro superior en el espacio (Figs. 31 a 34).

Los ángulos de “inclinación” y “declinación” se desarrollaron para favorecer ciertos movimientos y deben estudiarse en el contexto de la articulación como “un todo”.

Todas las articulaciones del miembro se encuentran “encadenadas” o “ligadas” entre sí, de modo que pueden moverse (p. ej., todas las del miembro) en la misma dirección y al mismo tiempo. Esto permite entender las inserciones proximales de la porción larga del bíceps y del tríceps, que encadenan la articulación proximal en la flexión y la extensión.

Todo está ejecutado para el ahorro biomecánico, lo que también se entiende si pensamos que cada segmento del miembro superior se desarrolló en la evolución como “módulos” en los que cada uno tiene flexión y extensión, según las necesidades requeridas para ese segmento.²

Los rotadores externos se insertan en el húmero por “encima” del centro de rotación de la cabeza. Palanca de primer grado: menor fuerza, menor excursión muscular; músculos cortos a favor de la rotación conjunta (Fig. 35).

Salvo el deltoides, no existe ningún músculo de rotación externa que se inserte en la diáfisis.

Los rotadores internos se insertan en el húmero por “abajo” del centro de rotación de la cabeza. Palanca de segundo grado: mayor fuerza, mayor excursión muscular; músculos más largos (pectoral mayor, dorsal ancho, redondo mayor).

Artrocinemática del hombro actual

Con el objetivo de establecer los patrones de movimiento se efectuaron estudios de los radios de curvatura de la epífisis proximal del húmero. Sobre material cadavérico fresco⁵ se realizaron mediciones de la esfericidad y los radios de curvaturas en los planos superior, inferior, anterior, posterior, etc. Cada uno de estos planos se dividió en 3 1/3 con el objeto de evidenciar y estandarizar las diferencias de esfericidad (Figs. 36 y 37).

Partiendo del principio que dice: “La disminución del radio de curvatura en una región determinada de la epífisis favorece el movimiento hacia ese lado”, el estudio de la morfología de las epífisis nos permitirá “conocer los patrones de movimiento” que tiene la articulación glenohumeral.

La disminución de los radios de curvatura tiene una función clara: inducir patrones de movimiento (Fig. 38).

Rotación externa automática

Al observar la esfericidad de la cabeza humeral salta a la vista la disminución del radio de curvatura en su parte

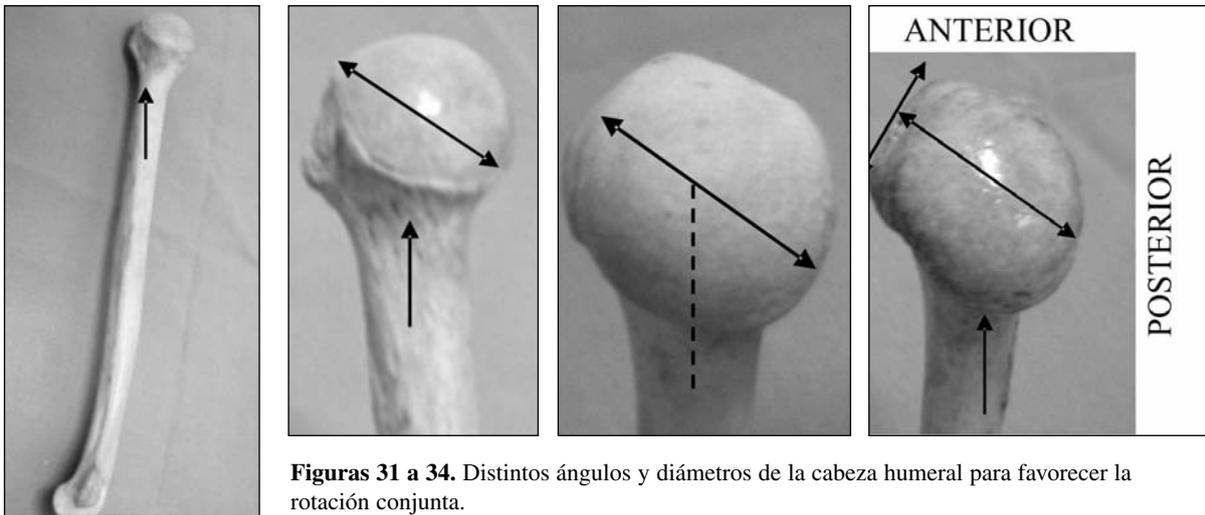


Figura 35. Inserción de rotador externo por encima del centro de rotación de la cabeza humeral.

posteroinferior. Esto es lo que favorece la rotación externa y abducción automática cuando se produce la abducción (Fig. 39).

Rotación conjunta automática

Si se pretende favorecer la abducción, se debe producir una suave rotación exterior en este movimiento; para ello es necesaria una disminución del radio de curvatura en la región posteroinferior de la diáfisis.

Esta diferencia de los radios de curvatura, sobre la epífisis, favorece los movimientos didocales, por la sucesión de dos cuerdas (a-b). Esto produce un incremento de la rotación conjunta automática (Fig. 40).²⁵

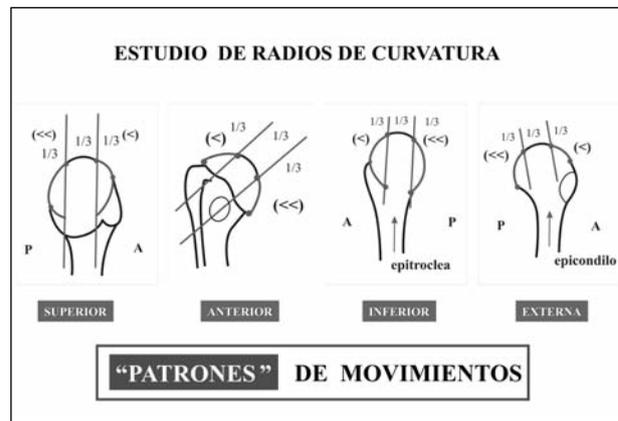


Figura 36. Artrocinemática: diferentes radios de curvatura.

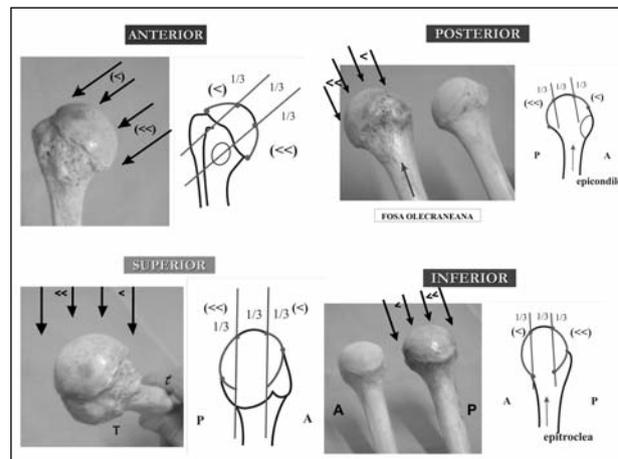


Figura 37. Sobre preparados anatómicos formolizados⁵ se realizaron las mediciones de los radios de curvatura. Las primeras mediciones muestran que la disminución de los radios de curvatura en los tercios inferiores, tanto en el plano anterior como en el posterior, es la más acentuada. Esto favorecería, sin duda, las rotaciones internas y externas del hombro en el movimiento de abducción.

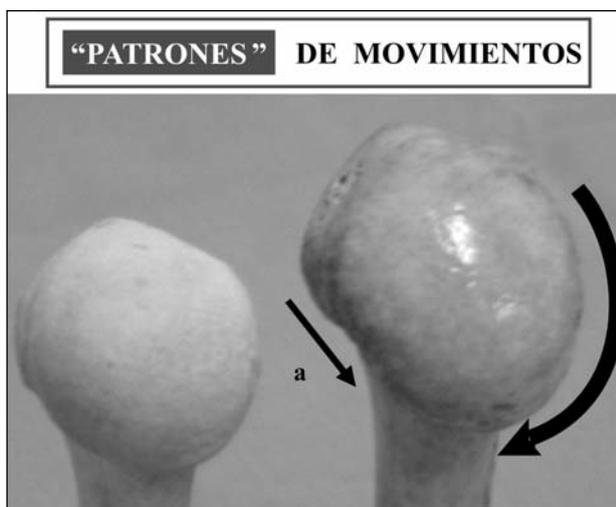


Figura 38. Preparados formolizados. En la vista posterior de una epífisis ósea se pone en evidencia esta disminución del radio de curvatura, que se incrementa aún más en la parte posteroinferior (a), lo que lógicamente se transforma en un elemento facilitador de la rotación externa de la articulación glenohumeral en el movimiento de abducción.

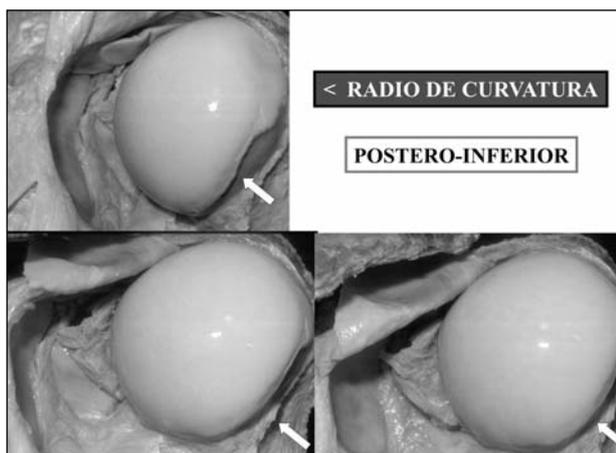


Figura 39. Preparados frescos. Rotación externa y abducción automática: cuando estudiamos la esfericidad de la epífisis humeral notamos que existen zonas con disminución de los radios de curvatura; especialmente en la región posteroinferior (flecha).

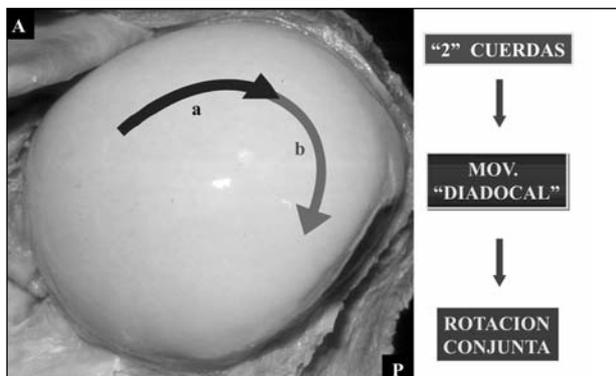


Figura 40. En esta imagen se aprecia claramente los dos radios de curvatura de la cabeza humeral.

Los movimientos que interpretamos que sucederán en la articulación por la disminución del radio de curvatura en una zona están relacionados directamente con los estabilizadores capsuloligamentarios en la zona opuesta.

Curvatura posteroinferior-ligamentos automáticos

En los preparados anatómicos frescos, se pone en evidencia la disminución del radio de curvatura posteroinferior de la epífisis y, en contrapartida, en el plano anterior, los complejos ligamentarios diseñados para estabilizar dicho movimiento (Fig. 41).²⁸⁻²⁹

La disminución del radio de curvatura en la región posteroinferior de la epífisis, que induce y favorece la abducción-rotación externa, es estabilizada estratégicamente desde el plano anterior por el complejo cápsulo-ligamentario que conocemos como G-H inferior con sus refuerzos y espesamientos (Fig. 42).¹⁻³⁻²¹⁻²⁴

Como resultado de estos estudios de la morfología de la epífisis se puede inferir que las diferencias de los radios de curvaturas son para inducir un movimiento y que los complejos cápsulo-ligamentarios se encuentran “estratégicamente” ubicados en el plano opuesto para estabilizar dichos movimientos (Fig. 43).

Los movimientos de la articulación pueden ser automáticos (sin gastos energéticos) y son producidos por las variaciones de los radios de curvatura, que por estas morfologías articulares determinan patrones de movimiento. Los ligamentos que estabilizan estos patrones se ubican de manera estratégica. Por ejemplo, el patrón de movimiento de abducción y rotación externa automático, que se produce en la glena anteroinferior –y por la disminución del radio de curvatura posteroinferior de la epífisis humeral– tiene que ser estabilizado desde adelante por el complejo glenoideo-anteroinferior. Podríamos decir que el hombro en el movimiento de abducción “rota atrás y se estabiliza desde adelante” (Fig. 44).

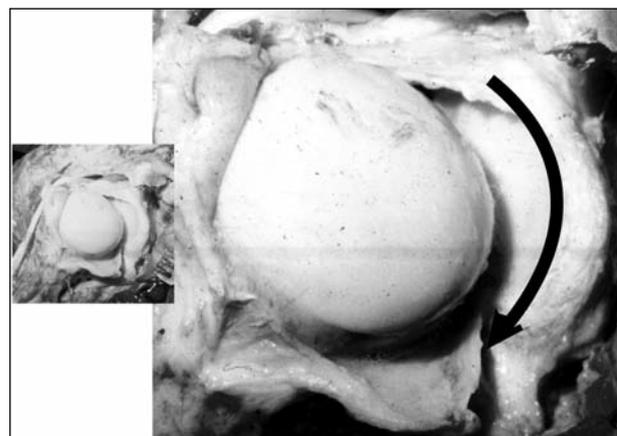


Figura 41. La misma vista posterior en un preparado fresco, donde se evidencian las mismas disminuciones de los radios de curvatura.

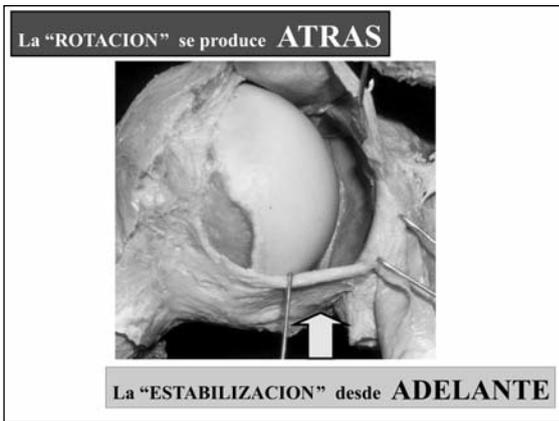


Figura 42. En este preparado (señalado por la flecha) se observa el complejo cápsulo-ligamentario inferior.

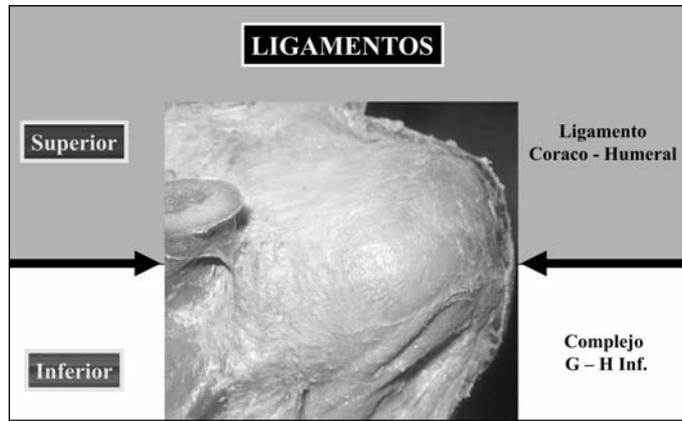


Figura 43. La zona superior estabilizada por el complejo coraco-humeral y, la zona inferior, por el complejo glenohumeral inferior.



Figura 44. También es posible entender el papel diferente de cada una de estas zonas y cómo los ligamentos están diagramados estratégicamente para estabilizar dichos movimientos.³¹⁻³²⁻³³⁻³⁵⁻³⁶⁻⁴⁰

Inervación

La inervación de la articulación glenohumeral no se puede estudiar si no se entiende primero la evolución filogenética y funcional que determinó las modificaciones anatómicas y biomecánicas del miembro superior (Fig. 45).

Cuando la escápula migró desde anterior a la región posterior del tronco, arrastró consigo todos los músculos y sus nervios.

Por ello, sus músculos posteriores no están inervados por nervios posteriores sino por ramas anteriores del plexo braquial (Figs. 46 a 49).⁵⁻³⁹

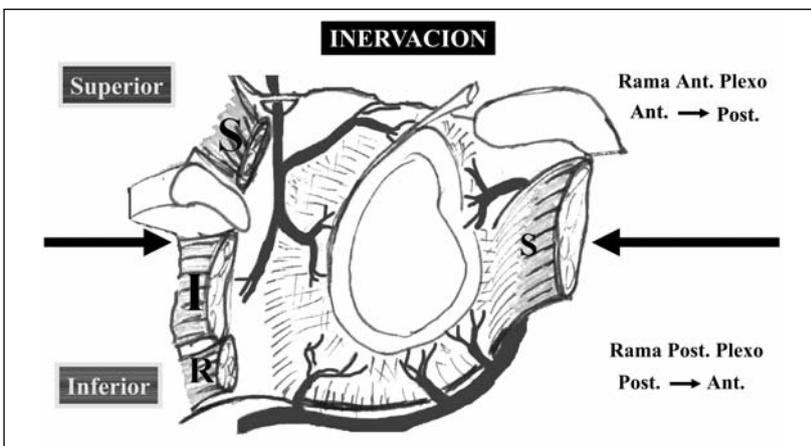


Figura 45. La inervación de la articulación glenohumeral no se puede estudiar si no se conoce primero la evolución filogenética y biomecánica que determinó la función del tren superior.

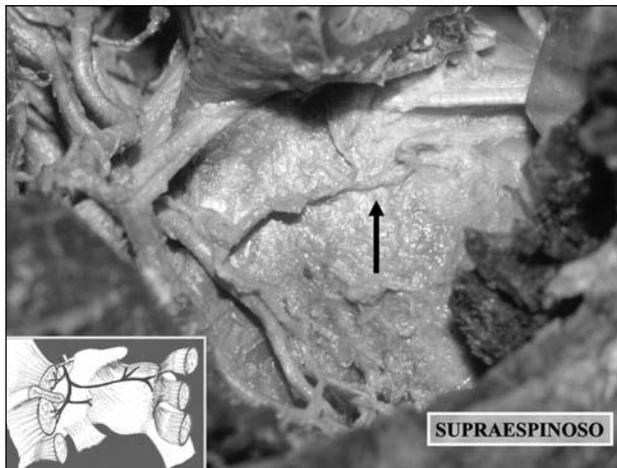


Figura 46. La parte superior de la articulación GH está inervada generalmente por ramas capsulares y el nervio supraescapular; por la evolución entendemos que pese a que es un nervio que viene desde posterior, su rama emerge de anterior en el plexo braquial.

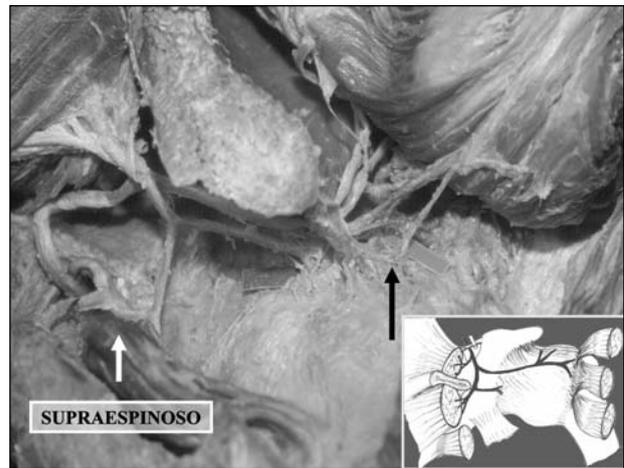


Figura 47. En su recorrido desde posterior, inerva primero el músculo supraespinoso y la cápsula posterosuperior; luego continúa su recorrido, pasa por debajo del cuello de la espina, para inervar el músculo infraespinoso y la cápsula posteroinferior.

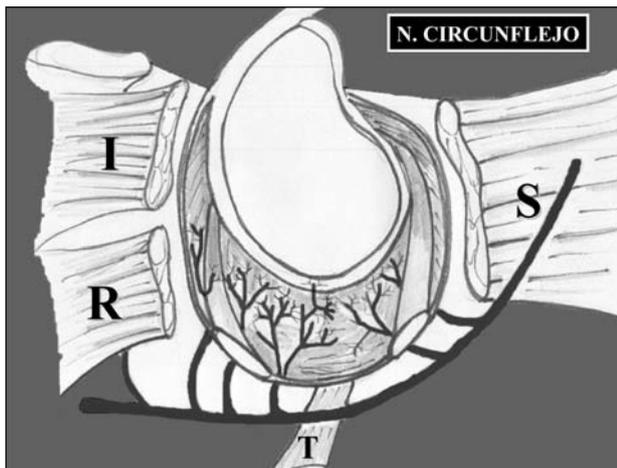


Figura 48. La parte inferior de la articulación GH está inervada por ramas capsulares del nervio circunflejo; por la evolución podemos entender que cuando evolucionó el acromion, llevó consigo al músculo del deltoides y este arrastró hacia anterior el nervio circunflejo. Emerge del tronco posterior del plexo braquial por pertenecer al complejo supinoextensor.

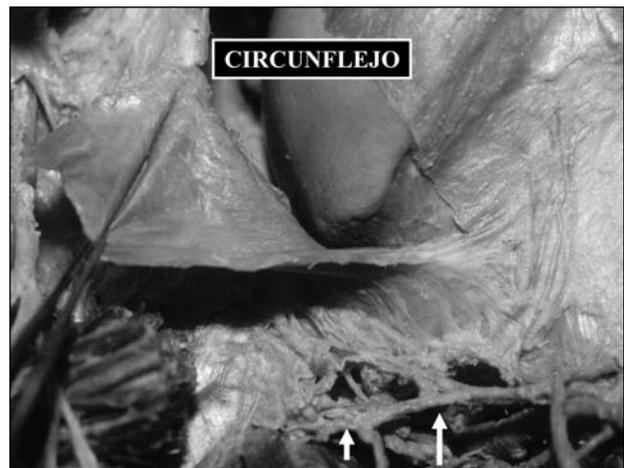


Figura 49. En su recorrido por axilar desde posterior hacia anterior emite numerosas ramas capsulares.

Relación entre las formas de la glena y los movimientos

En la mitad superior se producen los movimientos que no deben tener rotación conjunta automática, lo cual justifica su morfología plana.

En la mitad inferior de la articulación glenohumeral se producen los movimientos de abducción y de rotación. Cabe suponer que se incorporaron en la evolución cuando esos movimientos fueron necesarios (Fig. 50).

Cuando se estudió la morfología de los huesos y la relación entre las epífisis y las diáfisis se determinaron dos tipos: los simétricos: cuando están en el mismo eje; los asimétricos: cuando no están en el mismo eje; con la presencia de un ángulo cervico-diafisario. Todos estos recursos más retroversiones son sistemas de aumentación para optimizar los movimientos. Los músculos que mueven estos sistemas son de vientre muscular pequeño y corto, y sus inserciones son justo en el ángulo cervico-diafisario. Así, con pequeñas excursiones musculares se pueden

obtener grandes desplazamientos de las diáfisis (a su segmento de miembro). Cuanto más proximal sea la asimetría epifisodiafisaria y más largo sea el segmento distal (miembro), mayor desplazamiento distal se logrará con menores excursiones articulares, movidos por pequeños músculos insertados en el troquin y el troquíter.

La potenciación que produce la presencia de dos curvas sucesivas sobre superficies ovoides enfrentadas (macho-hembra) favorece los giros y rotaciones de la articulación en estudio (glenohumeral). Las rotaciones conjuntas son automáticas y pueden ser anuladas por acciones musculares voluntarias (Figs. 51 y 52).³⁴

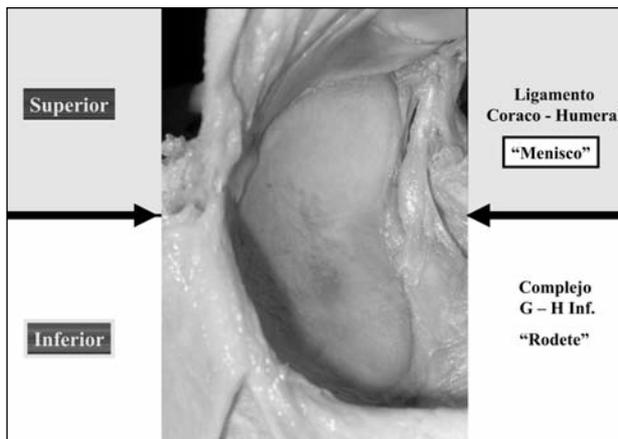


Figura 50. Luego de haber estudiado la filogenia se pueden entender las diferencias anatómicas de la mitad superior e inferior. Los ligamentos y el rodete tienen inserciones diferentes en la mitad superior e inferior porque cumplen funciones diferentes.

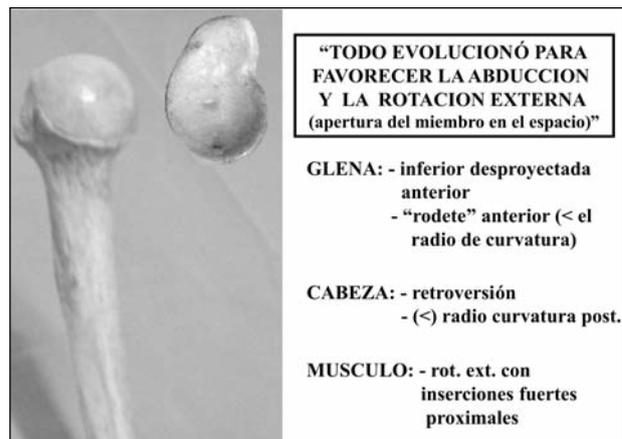


Figura 51. Véase cómo las formas y los deseos están hechos para favorecer la abducción y la rotación externa.

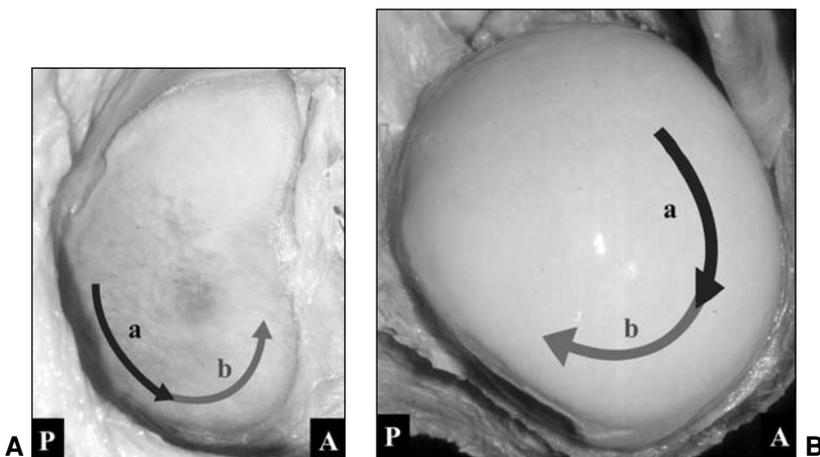


Figura 52. A. Vista de la glena. Se ilustra la disminución de los radios de curvatura en la zona anteroinferior de la glena. Obsérvese la presencia del rodete cápsulo-ligamentario que aumenta aún más dicho incremento (movimiento diadocal a-b). **B.** Vista de la epífisis humeral. Disminución de los radios de curvatura de la región posteroinferior.

Conclusiones

Cuando se estudia una articulación se deben tener en cuenta todos los elementos y factores que influyen en su función. Es difícil, o un error, tratar de estudiar o interpretar una función en forma aislada porque se desarrolla y funciona en conjunto.

La glena se forma de dos huesos, el corocoides y el escapular, que tienen origen, osificación y función diferentes.

El coranoides involucionó, el escapular evolucionó y se trasladaron hacia atrás, hacia la espalda, arrastrando consigo los nervios y los vasos.

La coronoides, en su involución, retuvo todas sus inserciones y se transformó en un “gran núcleo de ensamble de fuerzas”, en la parte anterior de la cintura escapular.

La forma de la superficie articular de la mitad superior es casi plana y la mitad inferior es cóncava; tienen esta morfología para lograr un “movimiento diadocal” que favorece la “rotación conjunta” en los movimientos del hombro.

La morfología del húmero fue cambiando, el cuello descentró la epífisis transformándola en un eje asimétrico y logró así un "sistema amplificador del movimiento".

La "naturaleza induce movimientos" cambiando los radios de curvatura de la epífisis. Las articulaciones deben estudiarse de adentro hacia afuera para poder

entender los movimientos que se modificaron con la evolución.

Los ligamentos están diagramados para estabilizar estos movimientos.

El rodete disminuye aún más los radios de curvatura, que incrementan la rotación conjunta.

Bibliografía

1. **Basmajian JV, Kington CM.** Factors preventing downward dislocation of the adductor joint. *J Bone Joint Surg Am* 1959;41:1182-86.
2. **Basmajian JV.** *Muscles alive*. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1967.
3. **Bechtol CO.** Biomechanics of the shoulder. *Clin Orthop* 1980;146:37-41.
4. **Bigliani LU, Kelkar R, Flatow EL,** et al. Glenohumeral stability. Biomechanical properties of passive and active stabilizers. *Clin Orthop* 1996;330:13-30.
5. **Brookers M.** The blood supply of irregular and flat bones. In Brookes M (ed): *Blood supply of the bone*. New York: Appleton-Century-Crofts; 1971. pp. 47-66.
6. **Burkart AC, Debski RE.** Anatomic and function of the glenohumeral ligaments in anterior shoulder instability. *Clin Orthop* 2002;400:32-9.
7. **Carlson BM.** *Embriología humana y Biología del desarrollo*. Mosby-Harcour; 2000.
8. **De luca CJ, Forrest WJ.** Force analysis of individual muscles acting simultaneously on the shoulder joint during isometric abduction. *J Biomech* 1073;6:385.
9. **DePalma AF.** *Surgery of the shoulder*, 3th ed. Philadelphia: JB Lippincott; 1983.
10. **Gardner E, Gray DJ.** Prenatal development of the human shoulder and acromioclavicular joints. *Am J Anat* 1953;92:219-76.
11. **Gilbert SF.** *Biología del desarrollo*. 7.^a ed. Editorial Médica Panamericana; 2005.
12. **Goslow GE Jr; Dial KP, Jenkins FA, Jr.** The avian shoulder. An experimental approach. *Amer Zool* 1989;29:287-301.
13. **Grasse PP.** *Traité de Zoologie*. Masson et éditeurs. París; 1951. Tomo XVI.
14. **Gray.** *Anatomía*. 38.^a ed. Churchill Livingstone; 1998.
15. **Hildebrand M.** *Anatomía y embriología de los vertebrados*. Editorial Limusa; 1991.
16. **Inman VT, Saunders JB, Abbott LC.** Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg* 1994;26:1-30.
17. **Itroi E, Morrey BF, An KN.** Scapular inclination and inferior stability of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 1992;1:131.
18. **Jenkins FA.** The functional anatomy and evolution of the humero-ulnar articulation. *Am J Anat* 1973;137:281-97.
19. **Jenkins Farish A Jr, Goslow GE Jr.** The functional anatomy of the shoulder of the savannah monitor lizard (*Varanus exanthematicus*). *J Morphol* 1983;15(2):195-216.
20. **Jobe FW, Moynes DR, Tiboire, Perry J.** An EMG analysis of the shoulder in pitching: A second report. *Am J Sports Med* 1984;12:218-20.
21. **Kapadji TA.** *Cuadernos de fisiología articular*. 3.^a ed. Toray-Masso; 1977.
22. **Kardong K.** *Vertebrados: Anatomía comparada, función, evolución*. 2.^a ed. McGraw-Hill-Interamericana; 1999.
23. **Lucas DB.** Biomechanics of the shoulder joint. *Arch Surg* 1973;107.
24. **Mac Conaill MA.** (1953) The movements of bones and joints. *J Bone Joint Surg* 1953;35-B;290-97.
25. **Matsen FA.** Biomechanics of the shoulder. In Frankel VH, Nordin M (eds). *Basic biomechanics of the skeletal system*. Philadelphia: Lea & Febiger; 1980.
26. **Moore KL.** *The developing human*. Philadelphia: WB Saunders; 1982.
27. **Nobuhara K.** *Its function and clinical aspects?* Tokio: Igaku-Shoin; 1987.
28. **O'Brien SJ, Neves MC, Arnoczky SP,** et al. The anatomy and histology of the inferior glenohumeral ligament complex of the shoulder. *Am J Sports Med* 1990;18:449-56.

29. **O’Rahilly Rand Gardner E.** The timing and sequence of events in the development of the limbs in the human embryo. *Anat Embryol (Berl)* 1975; 148:1-23.
30. **Perry J.** Biomechanics of the shoulder. In Rowe C (ed). *The shoulder*. New York: Churchill Livingstone; 1988.
31. **Poppen NK, Walker PS.** Forces at the glenohumeral joint in abduction. *Clin Orthop* 1978;135:165-70.
32. **Poppen NK, Walker PS.** Normal and abnormal motion of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am* 1976;58:195.
33. **Rockwood.** Editorial: Mc Graw-Hill Interamericana; 2000.
34. **Sahra AK.** Dynamic stability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop Scand* 1971;42:491.
35. **Sahra AK.** The classic mechanism of shoulder movements and a plea for the recognition of “zero position” of glenohumeral joint. *Clin Orthop* 1983;173:3-10.
36. **Shubin NM, Alberch P.** A morphogenetic approach to the origin and basic organization of the tetrapod lim. *Evol Biol* 1986;20:319-87.
37. **Streeter W.** *Developmental horizons in human embryology*. Carnegie Institute Series on Embryology 1949;33:151.
38. **Sunderland SS.** *Nerves and nerve injuries*, 2nd ed. New York: Churchill Livingstone; 1978.
39. **Turkel SJ, Panio MW, Marshall JL, Girgis FG.** Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. *J Bone Joint Surg Am* 1981;63:1208-17.
40. **Young JZ.** *La vida de los vertebrados*. Barcelona: Omega; 1971.