

# Biomecánica de la cintura escapular

Alonso Calvo, J.; Navarro Navarro, R.; Ruiz Caballero, J.A.; Jiménez Díaz, J.F.; Brito Ojeda, E.  
Hospital Universitario Insular de Gran Canaria

## Introducción

La cintura escapular es el complejo articular de más movilidad del organismo, con sus tres ejes de trabajo y sus tres grados de movilidad. Se compone de tres articulaciones verdaderas: esternocostoclavicular (10% de participación, acromioclavicular (40 % de participación), escapulohumeral (50% de participación), y de un espacio de deslizamiento escapulotorácico. Es curioso el hecho de que la porción de esfera en la que pueden desplazarse las dos manos corresponde casi exactamente a la que es visible con el simple movimiento de los ojos con la cabeza inmóvil.

El complejo articular de la cintura escapular necesita para su funcionamiento 19 músculos—obre un total de 54 músculos en el miembro superior. Estos 19 músculos actúan bajo la forma de 25 pares de rotaciones que aseguran el movimiento y la estabilidad en los planos del espacio. Los músculos periarticulares tienen un papel preponderante. Según Bonnel, podemos considerar a la cintura escapular como un verdadero "músculo", Y no como una articulación propiamente dicha.

## Anatomía funcional

### Complejo óseo

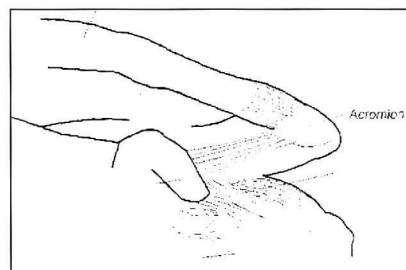
Los tres elementos óseos, húmero, clavícula e escápula, en sí mismos, son inestables por su discordancia con las superficies articulares de contacto y su tamaño reducido como son la cavidad glenoidea de 6 cm cuadrados, la acromioclavicular de 3 cm cuadrados y la esternocla-

vicular de cuatro cm cuadrados. Todo ello favorece la inestabilidad rotatoria tridimensional.

La clavícula es un hueso de unión con el esqueleto axial, muy delgado, que mantiene la distancia entre las superficies articulares más límites. El omoplato está incorporado al esqueleto axial a través del ángulo superoexterno con las articulaciones acromioclavicular y escapulohumeral. La terminología anatómica sólo distingue los desplazamientos articulares con el movimiento de flexión—extensión, abducción—aducción, elevación—descenso y rotación externa e interna. De hecho, sobre el plano puramente mecánico todos movimientos tienen como sustrato mecánico el de la rotación.

### Articulación esternocostoclavicular

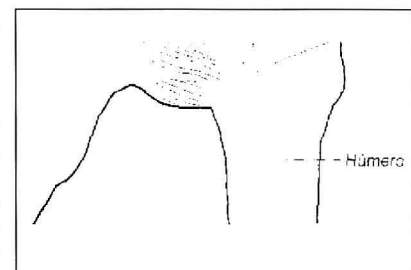
Esta articulación es el único elemento de unión articular del miembro superior al esqueleto axial. La superficie articular de la clavícula, por su parte inferior se prolonga con el primer cartílago costal, constituyendo la articulación esternocostoclavicular. Un fibrocartílago intraarticular se interpone aumentando la estabilidad. La cápsula articular es gruesa y está formada por los ligamentos esternoclavicular anterior, posterior e interclavicular.



El ligamento costoclavicular, extrínseco a la cápsula, es el medio de contención más eficaz. Los movimientos articulares son de elevación—descenso con una amplitud de 8 a 10 cm, y por otra parte de retroimpulsión—antepulsión. La asociación de estos movimientos conduce a una rotación combinada por los músculos trapecio, deltoides, pectoral mayor, subclavicular, y en una mínima proporción, el esternodeidomastoideo. El ligamento costoclavicular es el freno de la elevación, y a su vez el ligamento interclavicular frena el descenso.

### Articulación acromioclavicular

Es una articulación flexible, donde las superficies articulares en contacto por la mitad inferior están separadas de la mitad superior por un croissant prismático o por un menisco completo. Este menisco está sólidamente anclado al acromion y más débilmente a la clavícula. La forma y sobre todo la orientación de las superficies articulares están destinadas a impedir el desplazamiento hacia abajo de la clavícula (frecuencia de luxaciones superiores). La continuidad entre la articulación esternoclavicular y escapulohumeral se realiza en un ángulo de 90°. La presencia de la articulación acromioclavicular permite una



transmisión flexible de las sollicitudes y evita que el omoplato sea propulsado lejos de la caja torácica en no plano horizontal. La estabilidad está asegurada accesoriamente por la cápsula y reforzada por el ligamento acromioclavicular. Los ligamentos principales son extrínsecos:

1. Ligamento trapezoide, grueso v cuadrado, situado en el plano frontal, se inserta sobre la mitad o el tercio posterior de la apófisis coracoide. Se dirige hacia arriba y afuera para terminar en el extremo externo de la clavícula.
2. Ligamento conoideo, triangular, menos poderoso pero más vertical que el anterior, se dirige hacia dentro en el plano sagital y se inserta en el borde interno de la apófisis coracoide, detrás del ligamento trapezoide y en la cara inferior de la clavícula.

Los ligamentos trapezoide y conoideo limitan los movimientos del omoplato que aseguran el acoplamiento mecánico.

Estos ligamentos coracoclaviculares internos y externos no son un engrosamiento de la aponeurosis claviculopectoral con la que en ocasiones se confunde.

La articulación acromioclavicular desempeña un papel importante en la elevación anterior y posterior del brazo, en cambio en la abducción su participación disminuye siendo las variaciones angulares diferentes. Los diferentes estudios dinámicos han demostrado dos hechos importantes:

1. La activación de la articulación acromioclavicular, se acompaña de un movimiento de apertura y cierre del ángulo omoclavicular, durante la propulsión o retropropulsión del hombro: Éstos son los movimientos de pequeña extensión que limitan los ligamentos conoideo y trapezoide.
2. La articulación acromioclavicular es la sede de los movimientos de rotación axial de la clavícula en el pliegue articular meniscoclavicular.

Inman explica la posibilidad de rotación axial gracias a la forma en "S". Así, los movimientos de elevación y descenso están controlados

por la tensión del ligamento acromioclavicular, y los movimientos de rotación axial de la clavícula por los ligamentos coracoclaviculares.

A esta articulación acromioclavicular se ancla la unión sindesmótica coracoide-clavicular.

La cara interior de la clavícula entra en contacto con la apófisis coracoide, en el curso de ciertos movimientos de la cintura escapular, deslizándose una sobre la otra.

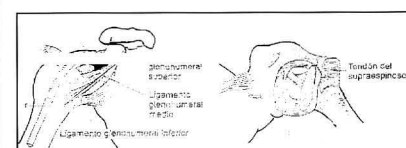
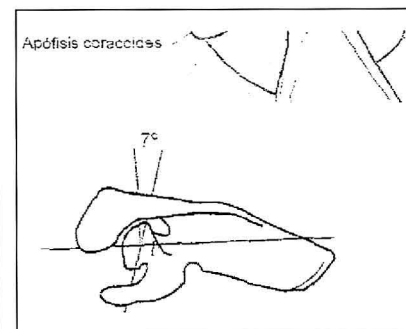
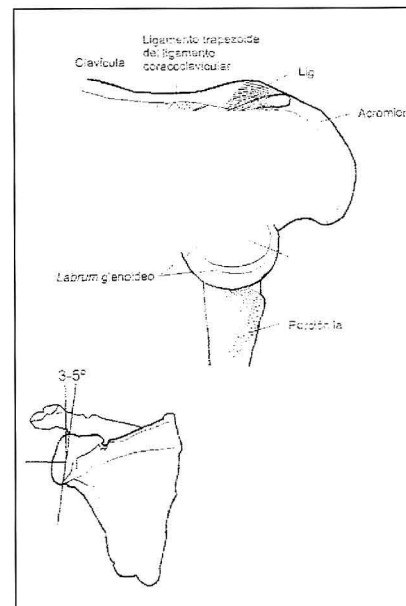
En cuanto a las acciones musculares el trapecio tiende a aplicar el acromion sobre la clavícula reforzando el contacto ente las superficies articulares. El pectoral mayor y el subclavicular tienden a placar la clavícula sobre el acromion. El esternocleidomastoideo abre las superficies articulares al elevar la clavícula. El dorsal ancho y el serrato anterior actúan indirectamente en el mantenimiento de la unión de las superficies articulares.

#### Articulación escapulohumeral

Es una articulación enartrosis con una superficie esférica humeral y una cavidad glenoidea recubierta de cartilago que la vuelve plana, participa en un 50% en la movilidad total del hombro. La cabeza humeral representa el tercio de una esfera en la cual, sobre el plano mecánico, los tres ejes de trabajo responderán a tres grados de libertad articular. La superficie cartilaginosa de la cabeza humeral presenta un ángulo entre 150 y 160°, y el valor angular glenoideo es de 60°. La orientación en retroversión de 30 a 40°; asegura un mínimo de estabilidad anteroposterior, limitando los riesgos de luxación. La cavidad glenoidea del omoplato presenta una inclinación hacia arriba y adentro de unos 5° y una retroversión de 7°. Dicha cavidad al ser casi plana favorece la amplitud de los movimientos. Las superficies articulares son discordantes y existe un fibrocartilago de ensanchamiento o rodete glenoideo en el perímetro de la cavidad glenoidea que aumenta la congruencia articular. Los ligamentos glenohumerales están formados por tres fascículos:

1. Ligamento glenohumeral superior. Se extiende desde el rodete glenoideo en la parte interna, hasta el cuello anatómico por fuera (foseta de Welter).

2. Ligamento glenohumeral medio. Se extiende desde la parte media del reborde y del rodete glenoideo hasta el borde interno del troquín. Entre el ligamento superior y el medio se sitúa el foramen de Weitbrecht, que comunica la bolsa del subescapular con la cavidad articular



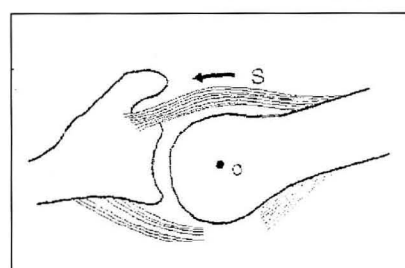
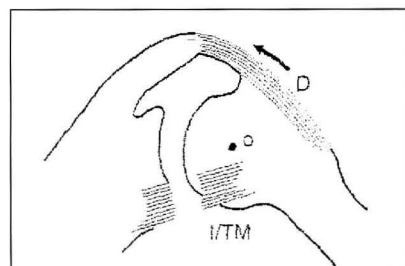
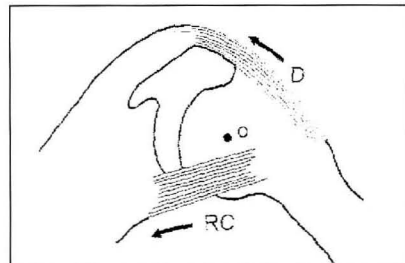
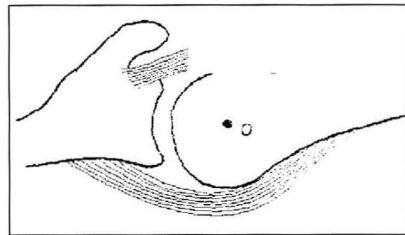
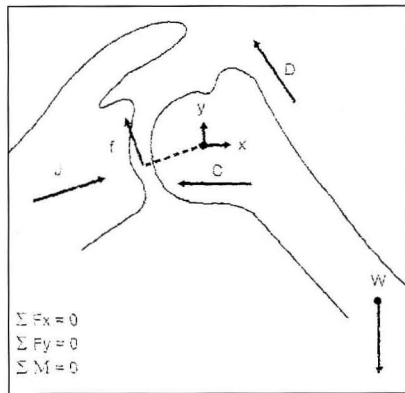
#### **Cinética**

La articulación escapulohumeral carece de una estabilidad intrínseca propia, por lo que necesita el concurso de las partes blandas como la cápsula articular, el labrum glenoideo, los ligamentos glenohumerales y los músculos.

Un mismo músculo durante su trayecto puede tener diferentes acciones, por lo que es difícil calcular las fuerzas generales e individuales de cada músculo.

Por ello es preciso simplificar el efecto de las fuerzas presentes y extrapolarlo al cuerpo humano.

Una lesión del supraespinoso causa una alteración de las fuerzas de compresión y un aumento de las fuerzas de deslizamiento, con



un vector resultante que obliga a la cabeza humeral a desplazarse próximamente. Este hecho es importante en las artroplastias de hombro, en relación con el aflojamiento del componente glenoideo. Se ha calculado que la máxima fuerza de compresión en abducción a 90° es 10 veces el peso de la extremidad, y que la máxima fuerza de la cofia de los rotadores a 60° de abducción es igual a nueve veces el peso de la extremidad.

En cuanto a la rotación interna y externa, se ha demostrado que la eficacia muscular y la estabilidad articular es superior con el brazo en rotación externa que en rotación interna. Las fuerzas en rotación externa son similares a las generadas en posición neutra, pero con una resultante más centrada en la cavidad glenoidea, por la acción predominante de compresión del deltoides. Las fuerzas en rotación interna son mayores que en posición neutra y rotación, externa, la resultante se desplaza más proximalmente por el predominio de la acción deslizante del deltoides. La fuerza resultante articular a 90° de abducción es el doble que en rotación externa, lo cual puede demostrarse si se solicita al sujeto que ponga los dos brazos en abducción a 90°, pero uno en rotación interna y el otro en rotación externa. El brazo en rotación interna se cansará más rápidamente y dolerá antes.

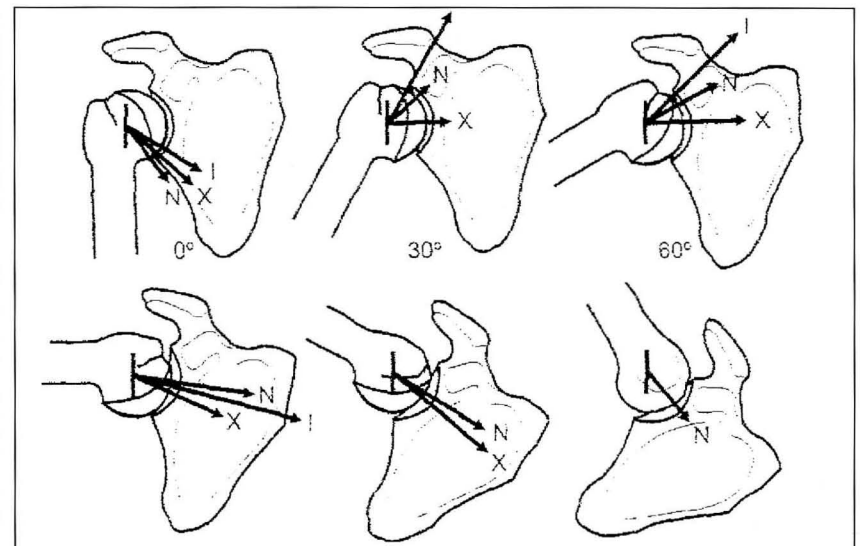
La dirección de la fuerza de reacción articular varía sucesivamente

cuando cambia la posición del hombro. A 0° de abducción la cabeza humeral es empujada hacia abajo con tendencia a subluxarse inferiormente. De 30 a 60°, la fuerza resultante se sitúa cerca del reborde glenoideo superior, con tendencia a subluxarse proximalmente. Y por encima de 60°, la cabeza humeral se encuentra perfectamente centrada dentro de la cavidad glenoidea.

### Cinemática

El movimiento global del hombro en el espacio describe según Gonon un cono irregular de base distal y vértice proximal, en el que participan las articulaciones esternoclavicular, escapulotorácica, acromioclavicular, y la bóveda subacromiodeltoidea.

Para Bonnel, la apófisis coracoides es un núcleo central esencial de estabilización de carácter mixto, estático y dinámico, del complejo o articular de la cintura escapular. En ella se insertan 4 uniones ligamentosas (ligamentos conoideos, trapezoide, acromiocracoides, coracohumeral) y 3 inserciones musculares (pectoral menor, coracobraquial y la porción corva del bíceps). Los elementos estáticos serían: clavícula, la cual está limitada en su amplitud por los ligamentos trapezoide y conoideo que se insertan en el borde superior de la apófisis coracoides. Hacia dentro se encuentra el ligamento coracoclavicular, que



completa de forma pasiva la estabilidad de la clavícula, y el ligamento acromiocracóideo, el cual tiene una doble función: por una parte participa en la estabilización de la cabeza humeral durante la abducción en forma de tope elástico; y por otra neutraliza las solicitudes de tracción a que se encuentran sometidos la espina del omoplato y el acromión, por parte del músculo trapecio. El húmero es el tercer elemento unido a la apófisis coracoides mediante el ligamento coracohumeral, el cual suspende el húmero y limita el movimiento de rotación externa. Los elementos dinámicos están formados por el único músculo anterior del omoplato, el pectoral menor, que se inserta en la apófisis coracoides, y evita la apertura del ángulo escapulotorácico. Por detrás, le ayuda el serrato anterior. La apófisis coracoides suspende de forma activa al húmero con el músculo coracobraquial y la porción corta del bíceps.

## Análisis del movimiento

### *Abducción*

El movimiento de abducción, cuya conservación es fundamental en la función de todo el miembro superior, consiste en la separación del brazo del tronco hasta los 90°; a partir de 90° el brazo se acerca de nuevo al eje del cuerpo. El arco de movimiento es de 180°. Si nos referimos a la abducción estricta, debe considerarse a aquélla realizada con una orientación del brazo hacia delante de alrededor de 30°, debido a la orientación de la glena. En la abducción del brazo intervienen todos los componentes de la cintura escapular. La articulación escapulohumeral participa sobre todo de 0° a 90° (incluso hasta 110° si el movimiento es en el plano de la escápula), de 50 a 60° corresponde al espacio de deslizamiento escapulotorácico, de 20 a 30° corresponde a la columna vertebral. También participan en el movimiento de abducción las articulaciones acromioclavicular y esternoclavicular. Articulación escapulohumeral. La abducción de 0 a 90° del húmero es un movimiento

complejo en el que participan todas las estructuras de estabilidad y movilidad. La amplitud del movimiento de la articulación glenohumeral es de 90° y puede alcanzar los 120° al producirse una rotación externa del húmero de 90°, lo que permite que el troquíter pase por debajo del acromion y pueda aproximarse el brazo a la cabeza. Por el contrario, cuando se eleva el brazo en la rotación interna, el troquíter choca con el ligamento acromiocracóideo, de forma que el movimiento de abducción queda limitado a 60°. El movimiento de rotación escapular proporciona los 60° restantes de abducción.

Estructuras musculoligamentosas. Es necesaria la acción combinada de varios músculos, para conseguir la movilidad armónica articular. La mayoría de veces, la acción muscular es motora y de estabilidad. La acción motora suele deberse a la acción combinada de parejas musculares. La estabilidad articular depende de formaciones capsuloligamentosas y sobre todo de los músculos periarticulares.

Durante la abducción, se tensan los ligamentos glenohumeral medio e inferior, los

cuales limitan la rotación del húmero sobre el omoplato a 90°. Esta limitación desaparece al colocar el brazo en el plano de la escápula, debido a la relajación de los ligamentos mencionados, y el resultado es una amplitud de movimiento de 120°.

La abducción activa no es una contracción aislada del deltoides (en la parálisis del nervio circunflejo existe abducción), pero sí que es el músculo abductor más importante del húmero. El supraespinoso y el deltoides inician el movimiento. Desde el punto de vista funcional, pueden distinguirse siete porciones:

1. Fascículo anterior, representa las porciones I y n.
2. Fascículo medio, representa la porción III.
3. Fascículo posterior, representa las porciones IV a VII.

Al realizar la abducción, las porciones inmediatamente abductoras son la parte externa de la porción n y las porciones III y IV. Cuando

se inicia el movimiento, las porciones I y V son aductoras y se transforman en abductoras cuando la abducción alcanza una cierta amplitud. Las porciones VI y VII permanecen como aductoras durante todo el movimiento.

Todo ello se debe a que las fibras musculares que durante el movimiento se sitúan por fuera del eje del movimiento son abductoras, y las situadas por dentro son aductoras.

Debe tenerse en cuenta que si sólo actuase el deltoides provocaría un ascenso de la cabeza humeral debido a la desproporción entre cabeza y glena. Para oponerse a este ascenso, intervienen dos elementos: uno activo, el músculo supraespinoso (provoca coaptación de la cabeza humeral, frenando su ascenso), y otro pasivo, la bóveda osteoligamentosa acromiocracóidea, considerada por algunos autores, como una articulación subacromial. El deltoides actúa desde el inicio del movimiento sinérgicamente con los músculos de la cofia de los rotadores, ya que sin la fuerza de descenso de la cabeza humeral realizada por los rotadores cortos (subescapular, infraespinoso y redondo menor), no podría realizarse la abducción. De esta forma se permite a la cabeza humeral elevarse sin pivotar y no tropezar con la bóveda acromioclavicular.

Ritmo escapulohumeral. El movimiento de la articulación glenohumeral se acompaña de un movimiento sincrónico de las articulaciones adyacentes, en especial de la escapulotorácica, a la cual está estrechamente unida por una continuidad muscular que transmite las sollicitaciones mecánicas. Los músculos coracobraquial y la porción corta del bíceps están en continuidad con el pectoral menor; el músculo redondo menor está en continuidad con el romboides, y la unión muscular deltoides-supraespinoso-angular (elevador) del omoplato, forman todos ellos el rombo estodinámico del omoplato. El deltoides por su fascículo anterior se continúa con el pectoral mayor, y por su fascículo posterior con el trapecio. La finalidad de estas disposiciones mus-



culares es la de asegurar la unión mecánica entre el órgano efector del miembro superior y el esqueleto axial mediante huesos intermedios inestables como el omoplato y la clavícula.

### Aducción

El movimiento de aducción no puede realizarse ni en el plano de la escápula ni en el plano frontal estricto. Si tenemos en cuenta los 30° de orientación de la glena, es posible realizar una aducción del húmero de 45°, pero asociada a una antepulsión.

Estructuras musculoligamentosas. Intervienen varios músculos: el redondo mayor, el dorsal ancho, el pectoral mayor (porción esternal), el romboides, el tríceps braquial y el subescapular. Pero parece ser que dos pares de grupos musculares son los más importantes. Redondo mayor-romboides. El ángulo inferior de la escápula es elevado y dirigido hacia dentro por el romboides, produciendo un pivote de la escápula, que orienta hacia abajo la cavidad glenoidea. El redondo mayor se comporta como aductor si se considera su anclaje sobre el omoplato, pero si su anclaje es considerado sobre el húmero, eleva la escápula y orienta así la glena hacia lo alto.

Partiendo de una posición de abducción, la capacidad de aducción del hombro depende del dorsal ancho, redondo mayor y porción esternal del pectoral mayor. Si la abducción es mayor de 90°, intervienen también el deltoides posterior, coracobraquial, subescapular y porción corta del bíceps.

Según Bonnel, el movimiento de aducción verdadero se produce en la acción de trepar, donde se necesita a la vez fuerza y desplazamiento de gran amplitud, lo cual realiza el dorsal ancho, con la ayuda de la porción larga del tríceps evitando la luxación de la cabeza humeral. En esta acción participan músculos largos y potentes como el pectoral mayor y dorsal ancho. La fijación del omoplato es el primer tiempo de la aducción, a través de la con-

tracción simultánea del trapecio, romboides, angular del omoplato, pectoral menor y subclavicular. Una vez el omoplato está fijado, el brazo puede dirigirse hacia el tórax gracias a la acción de los músculos: redondo menor, pectoral mayor, infraespinoso y subescapular. Para evitar una luxación inferior de la cabeza humeral, los músculos superiores del húmero, deltoides, porción corta del bíceps, coracobraquial y porción larga del tríceps, actúan como pares musculares de rotación para volver a centrar la cabeza humeral.

### **Plano sagital**

#### Retropulsión (extensión) y Antepulsión (flexión)

La elevación del húmero en un plano perpendicular a la escápula, se llama flexión o antepulsión.

La retropulsión o extensión se produce al llevar hacia atrás el húmero en un plano perpendicular a la escápula. Estos movimientos se realizan básicamente a dos niveles: escapulohumeral, y en el conjunto acromioclavicular, esternoclavicular y espacio de deslizamiento escapulotorácico.

#### Antepulsión

Articulación escapulohumeral-espacio de deslizamiento escapulotorácico-articulación esternocostoclavicular. Si la amplitud global del movimiento alcanza 180°, los grados de participación en el movimiento de flexión del hombro corresponden de 80 a 100° a la articulación escapulohumeral, 60° a la escapulotorácica, y alrededor de 40° a la columna vertebral. La participación de estas articulaciones no es sucesiva, sino simultánea y de forma armoniosa. Hasta los 60° de flexión, el omoplato busca una posición de equilibrio.

#### Retropulsión

Cintura escapular-articulación escapulohumeral. Durante el movimiento de retropulsión, se constata

esencialmente una aducción de la escápula en el plano frontal, pivotando ligeramente hacia abajo, pero sobre todo hacia dentro. En la extensión la amplitud del movimiento se reparte entre 25 a 30° en la escapulohumeral, de 10 a 15° en la escapulotorácica, y 10° en la columna vertebral. Estas etapas se superponen al realizar el movimiento.

Estructuras musculoligamentosas. Los músculos motores a nivel escapulohumeral son, básicamente, redondo mayor, fascículo posterior del deltoides (de la porción IV a la VII) y el gran dorsal. También actúa el redondo menor.

En la cintura escapular intervienen los músculos aductores de la escápula en el curso de la retropulsión: romboides, fascículo medio del trapecio y dorsal ancho.

### **Plano horizontal**

#### Rotación externa

Articulación escapulohumeral-cintura escapular. En la cintura escapular, durante la rotación externa se observa una aducción de la escápula. Si consideramos la posición de referencia (abducción de 0°), la amplitud de movimiento es de 80° para la rotación externa. La amplitud global de la rotación externa puede incrementarse hasta 85°, gracias a una rotación homolateral de la columna vertebral. El movimiento se reparte entre 25 a 35° en la articulación escapulohumeral, de 20 a 35° en la escapulotorácica, y unos 25° en la inclinación de la columna vertebral. En el plano frontal hay 70° de rotación externa. A los 90°, en el plano sagital (flexión- antepulsión) la rotación externa se reduce a 15-20°.

Estructuras musculoligamentosas. La rotación externa está realizada básicamente por dos grupos musculares: el infraespinoso y el redondo menor. El infraespinoso es activo durante toda la rotación externa, en cambio el redondo menor sólo lo es a partir de 30° de rotación externa. El deltoides también es rotador externo entre Oy

30°. Al mismo tiempo que se realiza el movimiento de rotación externa, los músculos rotadores internos se tensan frenando el movimiento, y lo mismo ocurre con las formaciones ligamentosas: ligamentos glenohumerales y coracohumerales (cuando el brazo cuelga al lado del tronco).

Debido a la discordancia articular, existe un riesgo de luxación posterior o inestabilidad posterior. Para evitar esta eventualidad, los músculos anteriores, subescapular y

pectoral mayor, favorecen el retracción de la cabeza humeral.

Los estabilizadores escapulares durante la rotación externa son el supraespinoso, la porción superior del trapecio, el serrato anterior, el bíceps y el deltoides a partir de 30°.

#### Rotación interna

Cintura escapular-articulación escapulo humeral. En la cintura escapular se observa una abducción de la escápula cuando se produce la ro-

tación interna. En la posición de referencia (abducción de 0°) la rotación interna es de 110° gracias a la rotación contralateral de la columna vertebral, lo que permite la posición de la mano en el dorso. A la articulación escapulo humeral corresponden 80° y a la escapulotorácica de 10 a 20°. Esta amplitud disminuye de manera progresiva en abducción, existiendo en el plano frontal sólo 30°. En el plano sagital a 90° (flexión-antepulsión), la rotación interna se mantiene de 120 a 130°.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Basmajian, J.V.; De Luca, C.J. *Muscles Alive*, 5ª edición. Baltimore, Maryland: Williams and Wilkins, 1985.
2. Morrey, F.M.; Kai-Nan, A. *Biomechanics of the shoulder*. Chap 6.
3. Nobuhara, K. *The shoulder: Its function and clinical aspects*. Tokyo: Igaku-Shoin, 1987.
4. Proubasta, I.; Gil Mur, J.; Planell, J.A. *Fundamentos de biomecánica y biomaterials*. Madrid: 5, Ergon, 1997.
5. Gonon, G.P.; Carret, J.P.; Dimmet, J.; Fischer, L.P. *Étude cinématique des articulations de l'épaule*. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT, nº 22. Biomécanique générale.