

Complejo Articular del Hombro: Biomecánica

Joints complex of the shoulder: Biomechanics

Nelson Arvelo D'Freitas*

Nelson Arvelo D'Freitas. **Complejo Articular del Hombro: Biomecánica.** Universidad Central de Venezuela, Facultad de Medicina. Instituto Anatómico «José Izquierdo». Laboratorio de Investigaciones Neuroanatómicas y Embriológicas. Universidad Central de Venezuela. Revista de la Sociedad Venezolana de Ciencias Morfológicas. 2013; 19: 12-22.

RESUMEN

El propósito de esta comunicación es realizar un enfoque biomecánico del complejo articular del hombro, donde intervienen una serie de articulaciones que funcionalmente actúan juntas con la finalidad de proporcionar una amplitud de movimientos, cuyo fin último corresponde al eslabón terminal del miembro superior: la mano.

Estas articulaciones han sido organizadas en dos grupos: a) Cíngulo pectoral con dos articulaciones anatómicas, la esternocostoclavicular y la acromioclavicular y una articulación fisiológica la escapulo-torácica. b) Articulaciones del hombro, que comprende una articulación fisiológica la subdeltoidea y una articulación anatómica, la glenohumeral. De cada articulación se realiza una descripción de sus componentes articulares, de sus ejes, grados de libertad, planos de movimiento y las fuerzas motoras que actúan.

Palabras Clave: Complejo articular, hombro, biomecánica

SUMMARY

The aim of the present work is to focus on the complex joint of the shoulder, these joints act together in order to give amplitude to the movement of the upper limb, whose last link is the hand.

These joints have being organized into two groups: a) Pectoral cingulum that comprises two anatomical joints, the Sternumcostoclavicular joint, and the acromiun-clavicle joint, and a physiological joint the scapule- thoracic joint. b) Joints of the shoulder girdle, that comprises a physiological joint the sub deltooids, and an anatomical one the glenohumeralis. A description is made out of each joint, including the axes, the motion planes, and the driving forces acting on every movement.

Key Words: shoulder joint, biomechanics

RECIBIDO: 15-07-2013. ACEPTADO: 22-07-2013

El hecho de que la especie humana haya desarrollado la posición bípeda, ha significado la liberación de los ahora miembros superiores, de las funciones de sostenimiento y traslación. Por ello su extremo libre, la mano, puede dedicarse a funciones de reconocimiento y manipulación de los objetos y necesariamente, a la ejecución de movimientos más variados y delicados que simplemente los que cumplen la función de soporte⁽¹⁾.

Los miembros superiores del cuerpo humano constituyen más o menos, el 10% del total de la masa corporal. Estos pequeños segmentos de masa corporal, sin embargo, tienen una función muy importante desde el punto de vista físico, que separa a los humanos del resto del mundo animal: la mano. Estas funciones finas y gruesas de la mano dependen de la estabilidad y, movilidad proporcionada por varias articulaciones: Complejo articular del hombro⁽²⁾. Por otro lado, en las articulaciones espaciales (tridimensionales), los extremos óseos pueden cambiar de plano y en lugar de dibujar una superficie, son capaces de recorrer una esfera. Estos movimientos sólo son posibles, si se considera la participación de varias articulaciones al mismo tiempo, para desempeñar una función común: complejos articulares⁽³⁾. Partiendo de los comentarios anteriores se hará un abordaje de las diferentes articulaciones que conforman el complejo articular del hombro, haciendo hincapié más en los aspectos biomecánicos que en los anatómicos.

COMPLEJO ARTICULAR DEL HOMBRO

Para producir los movimientos necesarios para el normal funcionamiento del hombro, existe el compromiso de cinco articulaciones con sus componentes asociados, que actuando en forma conjunta producen más movilidad de lo que podría permitir una articulación por si sola. Desde el punto de vista óseo, el complejo articular del hombro (CAH) está compuesto por las siguientes estructuras óseas: la clavícula, la escápula u omoplato y

* Profesor Titular. Jefe del Departamento de Ciencias Morfológicas. Escuela de Medicina «Luis Razetti». Universidad Central de Venezuela.

el húmero, y unidas por una serie de articulaciones que conforman una identidad funcional⁽²⁾. La articulación esternocostoclavicular, es la única que conecta el CAH con el esqueleto axil^(1,4). La escápula y la clavícula conforman el cingulo pectoral y para mantener su integridad ésta depende más de los músculos que de las estructuras articulares. Esta forma de construcción provee una relación en la estabilidad dinámica y gran movilidad al CAH al mismo tiempo.

Los tres elementos óseos: húmero, clavícula, 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 centímetros cuadrados, la articulación acromioclavicular de tres centímetros cuadrados y la esternocostoclavicular de 4 centímetros cuadrados. Todo ello favorece la inestabilidad rotatoria tridimensional⁽⁵⁾.

Resulta oportuno aclarar que algunos autores, al referirse al CAH hablan de cintura escapular. Viladot⁽⁵⁾ señala que la cintura escapular es el complejo articular de más movilidad del organismo, con sus tres ejes de trabajo y sus tres grados de movilidad. Para Prentice⁽⁶⁾, la cintura escapular es una compleja serie de articulaciones y uniones, que se combinan en un complicado patrón de deslizamiento, oscilación y rotación, para producir un movimiento coordinado y posicionar el miembro superior en un gran número de posiciones dentro del espacio. Jimenez L⁽⁷⁾, propone el término: complejo escapular, donde se debe tener en cuenta una serie de consideraciones y la definición de una normal función. El movimiento coordinado entre el brazo y la escápula, de acuerdo con la unión proximal al tronco se introdujo por Codman en su trabajo clásico «el Hombro», el cual definió el movimiento sincrónico del brazo como Ritmo Escapulohumeral. Estas consideraciones de ritmo en todo el complejo escápulo humeral son fundamentales en cualquier actividad laboral ó deportiva y por tanto, se debe estudiar y analizar este complejo desde su función anatómica y biomecánica.

En la presente comunicación se emplea el criterio establecido por Kapandji⁽⁸⁾, y más recientemente por Jimenez-Castellano⁽⁹⁾ de utilizar el término Complejo Articular del Hombro, donde intervienen cinco articulaciones. En este complejo, la estabilidad ha sido sacrificada en aras de la movilidad y justifica los amplios movimientos que posee. Igualmente es importante mencionar, lo señalado en una comunicación anterior⁽¹⁰⁾

donde se considera la existencia de articulaciones verdaderas o anatómicas y articulaciones falsas o fisiológicas, con lo cual se establece el concepto de superficies articulares.

Las articulaciones del CAH pueden ser agrupadas en dos componentes^(8,9):

I. Articulaciones del cingulo pectoral:

1. Articulación escapulotorácica: Fisiológica, principal
2. Articulación acromioclavicular: Anatómica, accesoria
3. Articulación esternocostoclavicular: Anatómica, accesoria

II. Articulaciones del hombro:

1. Articulación subdeltoidea: Fisiológica, accesoria
 2. Articulación glenohumeral: Anatómica, principal
- En la práctica los dos grupos funcionan simultáneamente según proporciones variables en el trascurso de los movimientos. De modo que se puede afirmar que las cinco articulaciones del CAH funcionan simultáneamente y en proporciones variables de un grupo a otro. Desde el punto de vista funcional, son indisociables los movimientos del cingulo pectoral de los movimientos de las articulaciones del hombro⁽¹⁾. Hai, mencionado por Acero⁽²⁾ resume las funciones biomecánicas del CAH con los factores de:
- a. Unir la extremidad superior al esqueleto axil dependiente de la posición del brazo y del control de los músculos rotadores
 - b. Proveer una movilidad extensiva del brazo en el espacio
 - c. Proveer una estabilidad a las maniobras del codo y de la mano a los movimientos de fuerza

CINGULO PECTORAL (CINTURA ESCAPULAR)

Acero⁽²⁾ lo denomina la faja del hombro, que actúa como un soporte fijo y móvil para los movimientos del húmero, por su parte Garcia-Porrero⁽³⁾ habla de la plataforma cleidoescapular.

Para permitir el anclaje del miembro superior al esqueleto axil se disponen de dos huesos^(9,11): la clavícula por delante y la escápula u omoplato por detrás, las cuales se articulan para formar la articulación acromioclavicular. Ambos huesos se disponen formando una horquilla de vértice lateral, acoplada a la porción superolateral del tórax y que constituye la denominada cintura escapular o cingulo pectoral, que por medio de la escápula se articula

con el esqueleto del brazo representado por el húmero. Por su parte, la escápula proporciona un punto de inserción a muchos músculos, alguno de los cuales aseguran el cíngulo pectoral al tórax, mientras que otros controlan la posición de las extremidades superiores. La clavícula actúa sobre todo como puntal que soporta y mantiene las extremidades superiores alejadas del tronco⁽¹¹⁾. En resumen, se tiene que en el cíngulo pectoral, la clavícula y el omoplato se unen entre sí por medio de la articulación acromioclavicular. Por su otro extremo, el medial o esternal, la clavícula participa en la articulación esternocostoclavicular. Se trata del único punto de anclaje óseo del miembro superior al esqueleto axil. La fijación de la escápula, a este esqueleto axil, se realiza por medio, en palabras de Guillen del Castillo⁽¹⁾: de una «articulación muscular», que no es más que la articulación escapulotorácica, en la que se establece un plano de deslizamiento entre dos músculos. Estas tres articulaciones; acromioclavicular, esternocostoclavicular y escapulotorácica, independientemente de permitir cada una de ellas diferentes patrones de movilidad, forman en conjunto un complejo articular cuya significación funcional es producir desplazamientos de la escápula, que habitualmente potencian los movimientos de la articulación glenohumeral⁽³⁾.

Articulación Acromioclavicular

Se interpone entre la articulación esternocostoclavicular y la articulación glenohumeral. Une la extremidad lateral de la clavícula al borde medial del acromion, a este nivel la superficie articular ubicada en su borde anteromedial, está orientada hacia arriba, delante y adentro, mientras que la superficie articular de la clavícula está orientada hacia abajo, atrás y afuera. La inclinación de estas superficies articulares varían de una persona a otra⁽²⁾ y dado el tamaño y el contorno de las mismas, es considerada incongruente. Ahora bien, la forma y sobre todo la orientación de las superficies articulares, está destinada a impedir el desplazamiento hacia abajo de la clavícula⁽⁵⁾. En un tercio de las personas, se encuentra un disco articular^(5,12) que separa las superficies articulares en forma parcial, anclado sólidamente al acromion y más débilmente a la clavícula.

La estabilidad de esta articulación, está asegurada en formas accesoria por la cápsula articular y los ligamento acromioclaviculares⁽⁵⁾, la unión anatómica y funcional

esta asegurada por la unión coracoclavicular⁽⁶⁾: los ligamentos trapezoide y conoide, los cuales son ligamentos extrínsecos, el ligamento trapezoide se encuentra ubicado en el plano coronal y el ligamento conoide en el plano sagital. Ambos ligamentos limitan los movimientos del omoplato y aseguran el acoplamiento mecánico, así como la estabilidad vertical.

Consecuente con una comunicación anterior⁽¹⁰⁾ la articulación acromioclavicular desde el punto de vista biomecánico se clasifica:

- a. **Sinovial:** Posee membrana sinovial
- b. Número de superficies articulares: **Simple**, presenta dos superficies articulares, la faceta acromial de la clavícula y la faceta clavicular del acromion⁽³⁾
- c. **No compleja:** Ya que la mayoría de las veces, no hay la presencia de un fibrocartilago o disco articular
- d. Forma de las superficies articulares: **Plana**, en relación a la descripción realizada anteriormente
- e. Grados de libertad: **Uni axial**, presenta un solo grado de libertad, caracterizado por movimientos de desplazamiento

Esta articulación, está sometida a elevadas cargas transmitidas desde la musculatura del esqueleto axil a la extremidad superior. Su función primaria, es mantener la relación entre la clavícula y el omoplato en las primeras fases de elevación de la extremidad superior y permitirle al omoplato un rango de rotación adicional sobre el esqueleto axil (tórax) en las etapas finales de elevación de la extremidad superior. Igualmente permite una transmisión flexible de las solicitudes y evita que el omoplato sea propulsado lejos del tórax en un plano horizontal⁽⁵⁾.

Articulación Escapulotorácica

Contribuyendo a formar parte del complejo osteoarticular del cíngulo pectoral, es preciso incluir una articulación falsa o fisiológica⁽¹⁾ que se establece entre la cara anterior de la escápula y la pared torácica⁽⁹⁾, que en realidad es un espacio de deslizamiento entre las partes blandas que recubren a una y otra superficies óseas. Es la denominada articulación escapulotorácica, que aunque no es una verdadera articulación, sí contribuye a ampliar la movilidad del hombro. Kapandji⁽⁸⁾ en su célebre tratado de fisiología articular, y mencionado en otras comunicaciones^(13,14) señala que esta articulación está formada por dos planos de deslizamiento:

1) Omoserrática:

- a. Por detrás y por fuera el omoplato recubierto por el músculo subescapular
- b. Por delante y por dentro el músculo serrato anterior

2) Parietoserrática:

- a. Por dentro y por delante la pared torácica (músculos, costillas)
- b. Por detrás y por fuera el músculo serrato anterior

Esta articulación fisiológica, no puede actuar sin el concurso de las otras dos articulaciones del cingulo pectoral, a las que mecánicamente está unida⁽¹³⁾. Se le señalan^(8,12,14) los siguientes movimientos:

- 1. Traslación vertical:** corresponde a los movimientos de elevación y descenso.
- 2. Traslación horizontal o lateral:** relacionado con los movimientos de anteposición y retroposición.
- 3. Basculación o rotación:** que puede ser medial o lateral

Estos movimientos están asociados a la articulación acromioclavicular y fundamentalmente a la articulación esternocostoclavicular donde serán descritos.

Articulación Esternocostoclavicular

Es el único elemento de unión articular de la extremidad superior al esqueleto axial⁽⁵⁾. Esta articulación es la base de operaciones de la escápula (omoplato), debido a que es la única unión estructural con el resto del cuerpo y, sus movimientos inevitablemente producen movimientos de la escápula⁽²⁾.

Las superficies articulares están constituidas por el extremo esternal de la clavícula, la escotadura clavicular del manubrio esternal y el cartílago de la primera costilla^(2,12). La superficie esternal de la clavícula longitudinalmente convexa y transversalmente cóncava⁽¹⁴⁾, es mucho mayor que la del esternón y por su parte inferior se prolonga con el primer cartílago costal⁽⁵⁾. La escotadura clavicular del esternón, es cóncava en sentido longitudinal y cóncava en sentido transverso, pero las superficies articulares son incongruentes^(2,14).

Entre las superficies articulares, está presente un disco articular o fibrocartílago plano que representa el vestigio de una pieza del esternón, el epiesternón, presente en otros mamíferos⁽³⁾. La morfología del disco es muy variable, pero se puede describir en él un borde circunferencial de unión a la cápsula fibrosa articular y dos extremos, uno superior que se inserta en la clavícula por encima de

la superficie articular y otro inferior que se une al primer cartílago costal. Funcionalmente aumenta la congruencia de las superficies articulares y amortigua las fuerzas que actúan sobre la articulación, evitando que se produzcan lujaciones^(3,5). El disco articular, divide la articulación en dos partes: la mayor, superior y lateralmente y la menor, inferior y medial^(9,12) con funciones diferentes, el compartimento superior está relacionado con los movimientos de traslación vertical que corresponden a movimientos de elevación y descenso en el plano vertical, y el compartimento inferior relacionado con los movimientos de traslación horizontal que se corresponde a los movimientos de anteposición y retroposición realizados en el plano horizontal⁽¹⁵⁾.

En relación a los medios de unión, aparte de la cápsula articular se han descrito los siguientes ligamentos: ligamento interclavicular o ligamento yugal⁽³⁾, los ligamentos esternoclaviculares anterior y posterior, los cuales resisten tracciones anteriores y posteriores, el ligamento costoclavicular o romboideo⁽¹⁵⁾, llamado por algunos autores el fulcro⁽¹⁶⁾, extrínseco a la cápsula y que constituye el medio de contención más eficaz⁽⁵⁾.

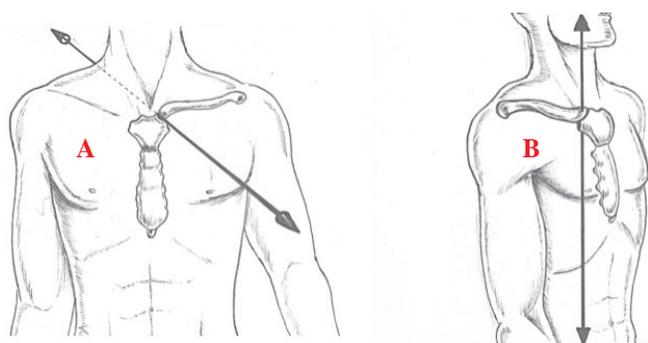
La clasificación biomecánica de esta articulación⁽¹⁰⁾:

- a. Sinovial:** Presencia de una membrana sinovial
- b. Número de superficies articulares: Compuesta,** presenta tres superficies articulares, el extremo esternal (medial) de la clavícula, la escotadura clavicular esternal y el cartílago de la primera costilla
- c. Compleja:** Debido a la presencia de un disco articular
- d. Formas de las superficies articulares: Encaje recíproco** o en silla de montar
- e. Grados de libertad:** Se considera **biaxial** por presentar dos grados de libertad

Los movimientos que se producen en la articulación esternocostoclavicular y los desplazamientos de la articulación acromioclavicular, están siempre asociados con movimientos de la escápula^(3,12). Dempster, mencionado por Castillo⁽¹⁷⁾ le señala seis acciones: Elevación, descenso, anteposición, retroposición, rotación superior e inferior, lo cual no se justifica, ya que un mismo movimiento lo fracciona. En líneas anteriores se indicó, que la articulación esternocostoclavicular posee dos grados de libertad^(5,8), elevación y descenso, anteposición y retroposición, la asociación de estos dos movimientos conduce a una rotación combinada.

Estos dos movimientos se realizan mediante dos ejes:

1. Eje horizontal, donde el plano de movimiento es vertical, corresponde a los movimientos de elevación y descenso (Figura 1A)
2. Eje vertical, donde el plano de movimiento es horizontal, corresponde a los movimientos de anteposición y retroposición (Figura 1B)

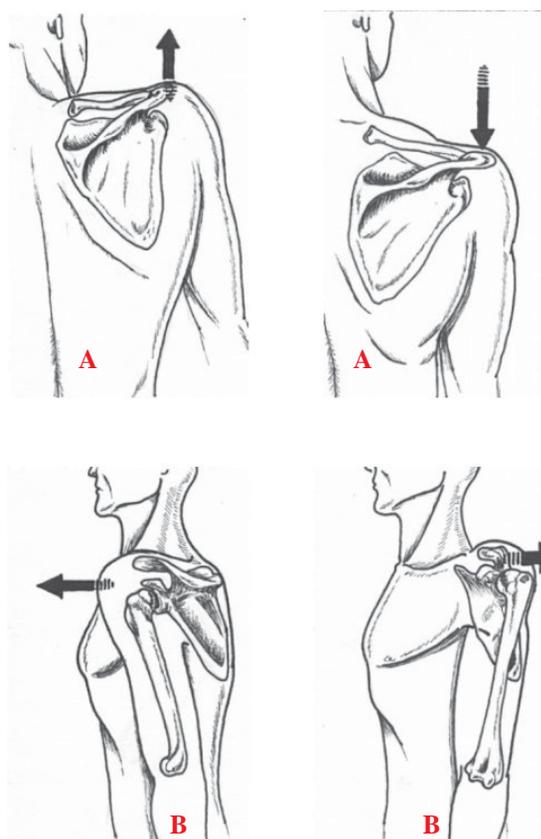


FIGURAN° 1
Articulación esternocostoclavicular. Ejes.
A: Eje horizontal. B: Eje vertical

En la elevación (Figura 2A) y desde un punto de vista artrocinemático, intrínsecamente en la articulación hay un deslizamiento caudal opuesto al descenso, con rodamiento craneal⁽¹⁸⁾. La escápula asciende deslizando sobre la pared torácica (encogimiento de hombros). El mayor desplazamiento tiene lugar en la articulación esternocostoclavicular y se frena por la tensión del ligamento costoclavicular. En la articulación acromioclavicular, sólo hay un pequeño desplazamiento⁽³⁾. Las fuerzas motoras son la porción descendente (superior) del músculo trapecio y el músculo elevador de la escápula. No implica movimiento de la articulación glenohumeral⁽¹²⁾.

En el descenso, movimiento opuesto a la elevación (Figura 2A) y considerando la artrocinemática, hay un deslizamiento craneal y un rodamiento caudal⁽¹⁴⁾, el cual se frena por la acción de los ligamentos interclavicular y esternoclavicular anterior, igualmente con el choque de la clavícula con la primera costilla. Con respecto a las fuerzas motoras, en condiciones de reposo y en posición bípeda, se realiza por la acción de la gravedad. Cuando requiere la participación activa muscular, interviene el segmento ascendente (inferior) del músculo trapecio y el músculo pectoral menor⁽⁸⁾. Igualmente no implica movimiento de la articulación glenohumeral⁽¹²⁾.

En la anteposición (Figura 2B) la artrocinemática señala que ocurre un rodamiento y un deslizamiento anterior⁽¹⁴⁾, donde se desplazan hacia adelante la escápula



FIGURAN° 2
Articulación esternocostoclavicular. Movimientos.
A: Elevación-descenso. B: Anteposición-retroposición

y el extremo lateral de la clavícula, mientras que el extremo medial de la clavícula se desplaza ligeramente hacia adentro. El movimiento se frena por la acción de los ligamentos esternoclavicular anterior, las fibras posteriores del costoclavicular y los ligamentos coracoclaviculares⁽³⁾. Como fuerzas motoras de éste movimiento intervienen los músculos serrato anterior y pectoral mayor.

En la retroposición (Figura 2B), movimiento opuesto al anterior, la artrocinemática señala que ocurre un rodamiento y deslizamiento posterior^(14,18), donde el hombro se desplaza hacia atrás y la escápula se aproxima a la línea media. Las fuerzas motoras principales están representadas por el segmento medio del músculo trapecio y el músculo romboides, los frenos son el ligamento esternoclavicular posterior y las fibras anteriores del costoclavicular⁽³⁾.

En las rotaciones o balanceos denominados también campaneos⁽¹⁹⁾ la artrocinemática indica que ocurre un

spin o giro^(14,18). Estos movimientos se realizan según un eje anteroposterior que atraviesa la escápula por el centro y que implica necesariamente la realización de movimientos en las articulaciones acromioclavicular y esternocostoclavicular, de ahí que se considere en conjunto el cingulo pectoral.

La rotación lateral (hacia adelante) del cingulo pectoral, es un movimiento complejo donde el ángulo inferior de la escápula se mueve lateralmente (hacia afuera) en torno a la pared torácica⁽¹¹⁾, mientras que la acción de puntal de la clavícula a través de la articulación esternocostoclavicular, permite la elevación del extremo acromial de la misma y concomitantemente de la escápula⁽¹²⁾, éste movimiento está asociado con un grado de elevación del húmero⁽³⁾. La rotación medial (hacia atrás) del cingulo pectoral, hace volver la escápula a su posición en reposo desde la rotación lateral⁽¹¹⁾, ésta rotación opuesta o de regreso se efectúa por lo general por la acción de la gravedad y el húmero desciende. La rotación lateral se realiza por la acción combinada del músculo trapecio y la parte inferior del músculo serrato anterior, mientras que en la rotación medial, cuando se realiza contra resistencia, intervienen los músculos pectoral menor, romboides y el elevador de la escápula.

ARTICULACIONES DEL HOMBRO

A este nivel, se encuentran dos articulaciones, una articulación de tipo fisiológica y accesoria; la articulación subdeltoidea y otra de tipo anatómico y principal, la articulación glenohumeral.

Articulación Subdeltoidea (subacromial)

Es una falsa articulación, como la articulación escapulotorácica, toda vez que está formada por el espacio de deslizamiento que se produce entre la cara inferior del músculo que se localiza en el hombro, el deltoides y el plano muscular subyacente, constituido por la musculatura rotadora del hombro, en más íntimo contacto con la articulación glenohumeral⁽⁹⁾. En este espacio se localiza una bolsa serosa de deslizamiento que contribuye a la movilidad del hombro⁽¹⁵⁾. Está mecánicamente unida a la articulación glenohumeral, cualquier movimiento en ésta implica un movimiento en la articulación subdeltoidea^(7,8,13).

Articulación Glenohumeral

Durante más de 100 años, los movimientos del hombro han sido de interés y controversia⁽¹⁷⁾. Debido a su gran

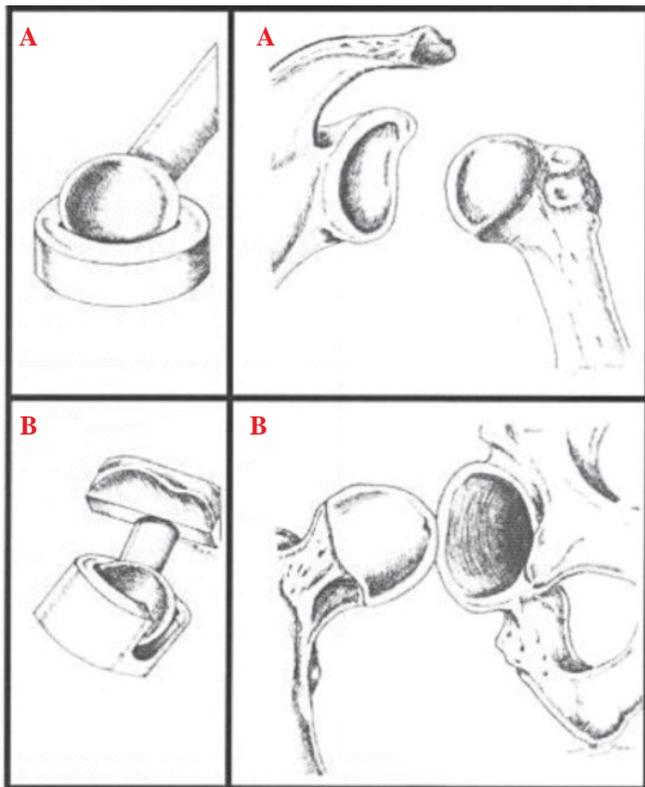
movilidad e inestabilidad intrínsecas, el hombro es la articulación del cuerpo más vulnerable a las lesiones. Se le exige gran amplitud de movimiento, así como velocidad y fuerza⁽¹⁶⁾. La naturaleza no concibió al ser humano, para que realizara actividades por encima de la cabeza y por tanto, no sorprende que esta articulación sea propensa a una variedad de lesiones, generadas por las tensiones que soportan huesos, superficies condrales y tejidos blandos⁽¹⁶⁾.

La articulación glenohumeral, en relación a sus superficies articulares, consta de una esfera multiaxial y una fosa articular. Los huesos implicados son la cabeza humeral más o menos esférica y, la poca profunda fosa glenoidea de la escápula, lo cual permite una capacidad de movimiento muy considerable, pero que reduce la seguridad de la articulación⁽¹²⁾. Las superficies articulares son curvas de forma recíproca, y de hecho no son secciones de verdaderas esferas, sino ovoides. Como la convexidad del húmero (cabeza) es mayor que la concavidad glenoidea, sólo parte de aquella puede estar en contacto con la fosa en cualquier posición de la articulación y, el resto de su superficie articular lo está con la cara interna de la cápsula articular⁽¹²⁾.

El movimiento de la articulación glenohumeral, se efectúa a manera de una acción neuromuscular compleja, con los movimientos permitidos para una articulación incongruente. La cabeza del húmero es una superficie redonda y convexa, que se desliza sobre un gran arco de la fosa glenoidea cóncava y poco profunda⁽⁷⁾. Para comprender mejor cómo es ésta incongruente articulación, se debe conocer cómo son las superficies articulares:

- a) Cabeza humeral hacia arriba, dentro y atrás, su eje forma con el eje diafisario un ángulo de 130-135 grados llamado ángulo de inclinación^(3,7,20).
- b) Cavidad glenoidea de la escápula, cuya superficie es menor a la cabeza humeral, orientada hacia fuera, delante y ligeramente hacia arriba, cóncava en ambos sentidos (vertical y transversal, pero su concavidad es irregular⁽²⁰⁾).

Si se compara la articulación glenohumeral, con otra articulación esférica o esferoidea, como la articulación coxofemoral (Figura 3), en una representación comparativa biomecánica y anatómica, se puede observar que la articulación coxofemoral, es congruente y estable (menor amplitud de movimientos), mientras que la articulación glenohumeral es no congruente y menos estable (mayor amplitud de movimientos).



FIGURANº 3

Representación anatómica y biomecánica. A: Articulación glenohumeral. B: Articulación coxofemoral

Esta articulación presenta un anillo fibrocartilaginoso, el Labrum Glenoideo^(6,14,20), el cual se aplica sobre el contorno de la cavidad glenoidea y que aumenta su profundidad, mejorando así la congruencia de las superficies articulares. Hertz, mencionado por Castillo⁽¹⁷⁾, midió la superficie glenoidea con y sin labrum, y concluyó que su adhesión es del 33% y 25% respectivamente.

En relación a los medios de unión, presenta una cápsula articular que presenta la forma de un manguito fibroso muy laxo, el cual permite una separación de hasta 2-3 centímetros, se le describe una inserción proximal, escapular y una inserción distal, humeral⁽²⁰⁾. Hay la presencia de unos ligamentos estabilizadores pasivos: coracohumeral y los ligamentos glenohumerales superior, medio e inferior. Estos ligamentos, junto con la cápsula articular, el labrum glenoideo y la presión negativa, constituyen elementos estabilizadores pasivos de la articulación. Estructuralmente esta articulación es débil, ya que toda su resistencia de sostén, es proporcionada

por los músculos que la rodean y no de su conformación ósea, ni de la presencia de ligamentos fuertes⁽¹²⁾. Estos músculos constituyen los elementos estabilizadores activos⁽¹⁴⁾:

1. Manguito rotador del hombro
2. Tendón caput longus músculo bíceps braquial
3. Tendón caput longus músculo tríceps braquial

El manguito rotador del hombro, es un término anatómico dado a un conjunto de músculos que proporcionan estabilidad al hombro⁽¹⁾, todos estos músculos están conectados a la cabeza humeral, y su importancia estriba en mantener la cabeza humeral dentro de la fosa glenoidea de la escápula. Estos músculos son el supraespinoso, infraespinoso, teres (redondo) menor y el subescapular⁽²⁰⁾. Durante el movimiento, el manguito rotador desempeña un papel importante como elemento estabilizador activo para mantener la coaptación de las superficies articulares⁽³⁾. La íntima presencia de éstos músculos, hace necesaria la existencia de bolsas serosas periarticulares que están comunicadas con la sinovial para facilitar el deslizamiento de los planos musculares⁽¹⁾.

En la estabilización de la cabeza humeral, existen dos elementos importantes: los caput longus (porción larga) de los músculos bíceps braquial y tríceps braquial⁽⁵⁾. Con respecto al caput longus del bíceps braquial, el cual tiene un trayecto intra-articular con su propia vaina sinovial, tenemos: a) En la posición de reposo con el brazo a lo largo del cuerpo su función es la de descender la cabeza humeral, oponiéndose a la acción de ascenso del caput brevis del mismo bíceps braquial, b) A 90 grados de abducción, su función es de coaptación máxima junto con la porción caput brevis. En relación al caput longus del tríceps braquial: a) En posición de cero grados y con el brazo a lo largo del cuerpo, la contracción muscular eleva la cabeza humeral, acción que es contrarrestada por los músculos latissimus dorsi y teres menor, b) A 90 grados de abducción su acción es de coaptación⁽⁵⁾. En general, la estabilidad de la articulación glenohumeral es mínima, permitiendo así la máxima movilidad y facilitando la prensión con el extremo distal del miembro superior⁽¹⁴⁾.

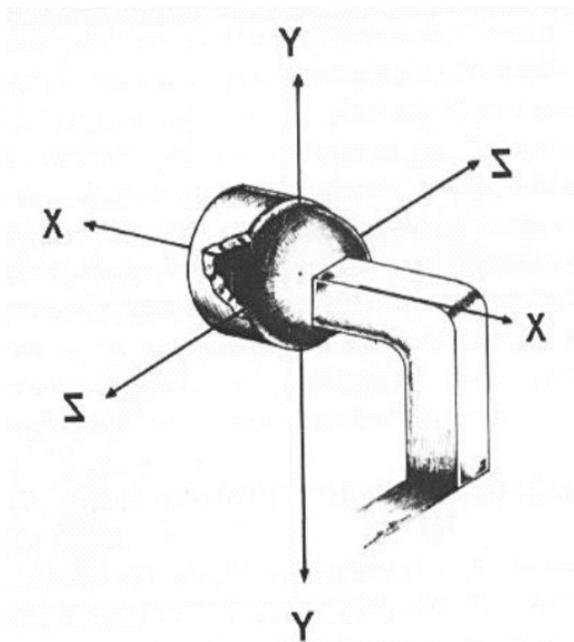
La articulación glenohumeral, desde el punto de vista biomecánico se clasifica⁽¹⁰⁾:

- a. **Sinovial**: Presencia de una membrana sinovial
- b. Número de superficies articulares: **Simple**, dos superficies articulares descritas anteriormente
- c. **Compleja**: Presencia del labrum glenoideo

d. Forma de las superficies articulares: **Esférica** o esferoidea

e. Grados de libertad: Se considera una articulación **multiaxial** por presentar tres grados de libertad

Esta articulación, es la que tiene mayor amplitud de movimientos del cuerpo humano y con sus tres grados de libertad permite orientar al miembro superior en relación a los tres planos del espacio formando tres ejes ^(8,13,20) (Figura 4):



FIGURANº 4. Articulación glenohumeral. Ejes. Eje X-X (Eje transversal). Eje Z-Z (Eje anteroposterior). Eje Y-Y (Eje vertical)

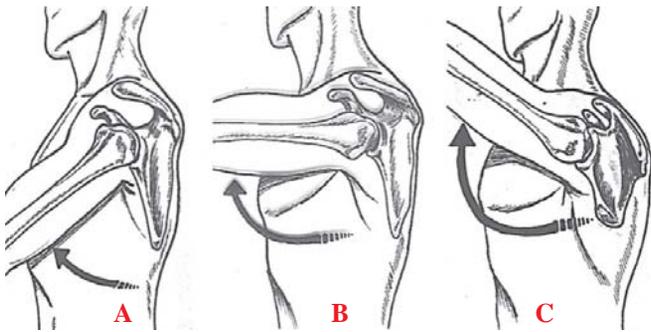
1. Eje transversal (Figura 4 eje X-X), incluido en el plano frontal el cual permite los movimientos de antepulsión y retro pulsión que se realizan en el plano sagital.
2. Eje anteroposterior (Figura 4 eje Z-Z), incluido en el plano sagital el cual permite los movimientos de abducción y aducción los cuales se realizan en el plano frontal.
3. Eje longitudinal del húmero, el cual permite los movimientos de rotación medial y lateral. Es fundamental mencionar un eje vertical, el cual está determinado por la intersección del plano frontal y sagital que permite los movimientos de flexión-extensión, realizados en el plano horizontal con el brazo en abducción de 90 grados (Figura 4 eje Y-Y).

Antes de comentar el movimiento de antepulsión-retropulsión, es necesario realizar el siguiente comentario: si se parte del principio que la flexión, es un movimiento que generalmente ocurre en el plano sagital, reduciendo el ángulo de la articulación y que aproxima el eslabón distal al eslabón proximal, y que en el movimiento de extensión ocurre todo lo contrario, donde los dos eslabones se alejan^(1,4), no es correcto en la articulación glenohumeral referirse a este movimiento como flexión-extensión, debido a que no cumple con la definición del término, lo correcto entonces es referirse a este movimiento que ocurre en el plano sagital como antepulsión-retropulsión^(1,19,21,22).

En el movimiento de antepulsión que lleva el miembro superior hacia adelante⁽¹⁹⁾ ocurre un giro en el mismo sentido del movimiento: anterior^(14,18). A causa de la no alineación del eje de la cabeza articular del húmero en relación con el eje mayor de su cuerpo, los movimientos de antepulsión y de retro pulsión del hueso van acompañados por giros casi puros de la cabeza en relación con la fosa glenoidea. Los restantes movimientos posibles de la articulación se forman por una infinita variedad de balanceos cardinales o arqueados o sucesiones de éstos^(12,18) (osteocinemática).

El movimiento de antepulsión consta de tres fases⁽⁸⁾: Una primera fase (Figura 5A) que va de cero a 60 grados, donde solo interviene la articulación glenohumeral. En esta fase los músculos motores son la porción clavicular del músculo pectoral mayor, el segmento anterior del músculo deltoides y el músculo coracobraquial. El músculo bíceps braquial participa como estabilizador de la cabeza humeral⁽³⁾. La segunda fase de la antepulsión va de cero a 120 grados (Figura 5B), en esta fase interviene aparte de la articulación glenohumeral, el cingulo pectoral. Los músculos motores están representados por el segmento superior del trapecio y el serrato anterior. La tercera fase va de 120 a 180 grados (Figura 5C) donde aparte de la articulación glenohumeral y del cingulo pectoral, existe una inclinación del tronco.

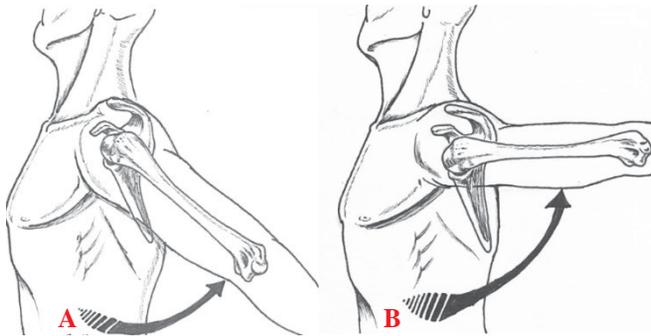
En el movimiento de retro pulsión que lleva el miembro superior hacia atrás⁽¹⁹⁾ igualmente ocurre un giro en el mismo sentido del movimiento: posterior^(14,18). Se pueden distinguir dos fases, una primera fase inicial partiendo de la posición anatómica donde solo interviene la articulación glenohumeral que va de cero a 60 grados (Figura 6A). Aquí las fuerzas motoras están representadas por el caput longus del músculo tríceps braquial y el segmento



FIGURAN° 5. Articulación glenohumeral. Movimiento de antepulsión. A: Fase I. B: Fase II. C: Fase III

posterior del músculo deltoides. Una segunda fase que puede llegar a los 90 grados (Figura 6B) donde además interviene el cingulo pectoral, las fuerzas motoras están representadas por el músculo latissimus dorsi, el segmento medio del músculo trapecio y el músculo teres mayor.

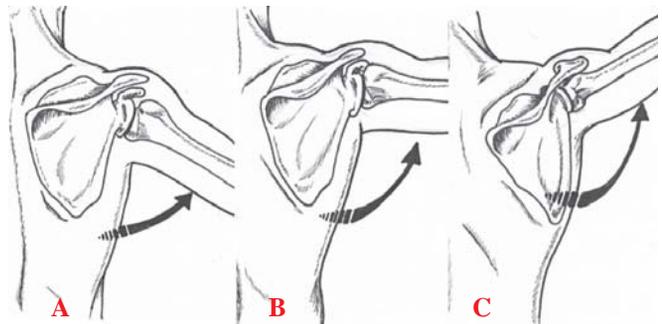
En la abducción de la articulación glenohumeral considerando la artrocinemática⁽¹⁸⁾ ocurre un deslizamiento opuesto y un rodamiento en el mismo sentido: caudal⁽¹⁴⁾. Sin embargo se ha señalado que de cero a 60 grados ocurre fundamentalmente un rodamiento, y que a partir de los 60 grados un deslizamiento⁽¹⁵⁾, ahora bien, si en la abducción no hubiese deslizamiento solo rodamiento, se alcanzarían únicamente 22 grados, ya que la cabeza humeral contactaría pronto con el acromion, el húmero rota enteramente de forma automática⁽¹⁴⁾.



FIGURAN° 6. Articulación glenohumeral. Movimiento de retropulsión. A: Fase I. B: Fase II.

Para el movimiento siempre activo de la abducción se han descrito tres fases^(8,15,17,20). Una primera fase que va de cero a 60 grados (Figura 7 A) donde solamente participa la articulación glenohumeral y cuyas fuerzas motoras, están representadas por los músculos deltoides

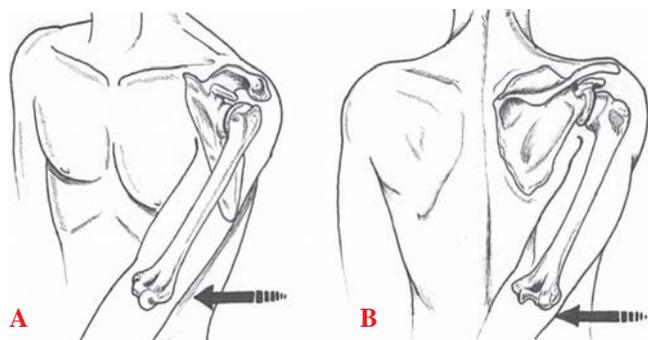
y supraespinoso. Una segunda fase de 60 grados a 90-120 grados (Figura 7B), donde además de la articulación glenohumeral participa el cingulo pectoral, y los músculos involucrados en esta fase son el trapecio y el serrato anterior. Se describe una tercera fase que va de 120 a 180 grados, donde además de la articulación glenohumeral y el cingulo pectoral participa el raquis donde la contracción de los músculos espinales del lado opuesto produce una inclinación lateral del raquis del mismo lado^(5,8,15,17) (Figura 7C). En la abducción bilateral (ambos miembros superiores), se produce una hiperlordosis lumbar^(5,8). Castillo⁽¹⁷⁾ al referirse al movimiento de abducción realiza dos observaciones interesantes: a) A partir de los 90 grados, la abducción aproxima el miembro superior al plano de simetría del cuerpo, convirtiéndose en sentido estricto en una aducción. b) La posición final de abducción de 180 grados también puede alcanzarse con un movimiento de antepulsión de 180 grados.



FIGURAN° 7. Articulación glenohumeral. Movimiento de abducción. A: Fase I. B: Fase II. C: Fase III

La abducción a primera vista parece sencilla, es la consecuencia de la acción de los músculos deltoides y supraespinoso^(7,8). En relación al músculo deltoides los estudios electromiográficos han demostrado, que sus diferentes segmentos entran sucesivamente en acción a medida que progresa la abducción. El músculo deltoides activo desde el principio de la abducción, puede efectuarla por si solo hasta su amplitud total. Para el músculo supraespinoso, se han propuesto dos funciones: a) El músculo actuaría como un iniciador del movimiento, para colocar el húmero en posición adecuada para que actúe el músculo deltoides; b) Tendría un papel estabilizador en el movimiento manteniendo la cabeza humeral en contacto con la fosa glenoidea, para evitar el movimiento no deseado de traslación de la cabeza humeral debido a la posición del eje del movimiento⁽³⁾.

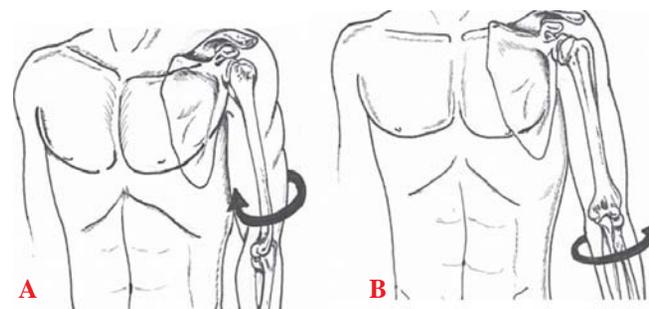
El movimiento de aducción en el plano frontal, a partir de la posición anatómica resulta mecánicamente imposible debido a la presencia del esqueleto axil. A partir de cualquier posición del miembro superior en abducción es factible, siendo generalmente un movimiento pasivo por efecto de la gravedad hasta la posición anatómica⁽⁸⁾. Sin embargo a partir de esta posición (anatómica) es factible realizar el movimiento de aducción, llamada forzada que puede ser anterior o posterior (Figura 8), que va acompañada si es anterior de antepulsión, y si es posterior de retropulsión. En ambas situaciones hay participación del cingulo pectoral a través de una traslación horizontal. En resumen se tiene que la aducción forzada anterior tiene antepulsión de la articulación glenohumeral y anteposición del cingulo pectoral. La aducción forzada posterior, tiene retropulsión de la articulación glenohumeral y retroposición del cingulo pectoral. Las fuerzas motoras están representadas por los músculos teres mayor, latissimus dorsi, pectoral mayor y romboides.



FIGURANº 8. Articulación glenohumeral. Movimiento de aducción forzada. A: Anterior. B: Posterior.

El movimiento de rotación, el cual se realiza sobre el eje longitudinal del húmero, puede hacerse en cualquier posición del hombro^(8,17). Consta de una rotación lateral y otra medial (Figura 9). Al considerar la artrocinemática se aprecia que en la rotación lateral, ocurre un deslizamiento opuesto (anterior) y una rotación en el mismo sentido del movimiento (posterior). En la rotación medial ocurre todo lo contrario, un deslizamiento posterior y una rotación anterior^(14,18). La amplitud de la rotación lateral es aproximadamente de 80 grados y la de la rotación medial es de 100 grados⁽²⁰⁾. La pronosupinación del antebrazo exagera este movimiento⁽⁸⁾. Las fuerzas motoras en la rotación medial son los músculos pectoral mayor,

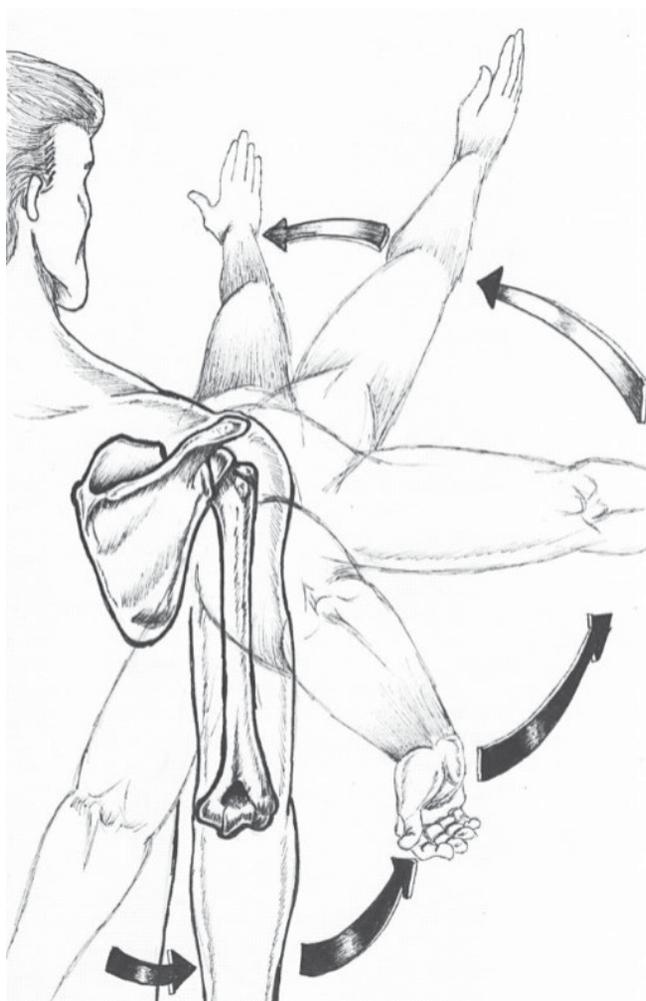
latissimus dorsi, teres mayor, segmento anterior del deltoides y el subescapular, mientras que en la rotación lateral las fuerzas motoras son los músculos teres menor, infraespinoso y el segmento posterior del deltoides^(3,11). En el eje vertical se realizan los movimientos de flexión y extensión en un plano horizontal⁽⁸⁾, donde en la flexión el eslabón del brazo se aproxima al esqueleto axil, mientras que en la extensión sucede todo lo contrario. Hay dos aspectos importantes que deben ser considerados al describir este movimiento: a) Para realizarlo el brazo debe estar en abducción de 90 grados; b) Interviene el cingulo pectoral con un movimiento de traslación horizontal (anteposición-retropulsión). En consecuencia en la flexión horizontal, se tiene brazo en abducción y cingulo pectoral en anteposición. Las fuerzas motoras son:



FIGURANº 9. Articulación glenohumeral. Movimiento de rotación. A: Medial. B: Lateral.

- a) Abducción articulación glenohumeral: Músculo deltoides y supraespinoso
 - b) Flexión horizontal articulación glenohumeral: Músculos deltoides, subescapular, pectoral mayor y pectoral menor
 - c) Anteposición cingulo pectoral: Músculos serrato anterior y pectoral mayor.
- En la extensión horizontal se tiene brazo en abducción y cingulo pectoral en retroposición. Las fuerzas motoras son:
- a) Abducción articulación glenohumeral: Músculos deltoides y supraespinoso
 - b) Extensión horizontal articulación glenohumeral: Músculos deltoides, teres mayor, teres menor y latissimus dorsi.
 - c) Retroposición cingulo pectoral: Músculos trapecio y romboides.

El movimiento de circunducción combina los movimientos elementales en torno a tres ejes (Figura 10).



**FIGURA N° 10. Articulación glenohumeral.
Movimiento de circunducción.**

El extremo inferior del húmero describe en el espacio la base de un cono, cuyo vértice está en la cabeza del hueso, éste cono irregular se denomina cono de circunducción^(8,11,19). Dicho cono delimita en la esfera un sector de accesibilidad en cuyo interior, la mano puede coger objetos sin desplazamiento del tronco. El cingulo pectoral exagera este movimiento. La base del cono recorre los distintos sectores del espacio determinado por los planos de referencia, sagital: antepulsión-retropulsión, frontal: abducción-aducción, horizontal: flexión-extensión horizontal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Guillen del Catillo M.L.** Bases biológicas y fisiológicas del movimiento humano. Edit. Panamericana. 2002
2. **Acero J.** Fundamentos biomecánicos de los movimientos del complejo del hombro (on line). Disponible en <http://publicación05.unipamplona.edu.co> 2009
3. **García-Porrero J.A. Hurle J.M.** Anatomía humana. Edit. McGraw-Hill Interamericana. 2005
4. **Marieb E.N.** Anatomía y fisiología humana. Edit. Pearson Education. 2009
5. **Viladot A.** Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Edit. Springer. 2001
6. **Prentice W.** Técnicas de rehabilitación en la medicina deportiva. Edit. Paidotribo. 2001
7. **Jiménez A.I.** Biomecánica del complejo escápulo humeral y sus implicaciones en el tratamiento fisioterápico (on line). Disponible en *Fisioterapia* 2001;23 (monográfico 1):2-8
8. **Kapandji A.I.** Fisiología articular: Tomo I MIEMBRO SUPERIOR. Edit. Panamericana. 1988
9. **Jiménez-Castellano J.** Anatomía humana general. Edit. Universidad de Sevilla. 2007
10. **Arvelo N.** Clasificación biomecánica de las articulaciones. *Rev. Soc. Vzlna Ciencias Morf.* 2002;8:21-27
11. **Palastanga N. Field D.** Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento. Edit Paidotribo. 2000
12. **Warwick R. Williams P.L.** Gray Anatomía; tomo I. Edit. Salvat. 1985
13. **Batista M.** Hombro (on line). Disponible en <http://www.slideshare.net/mayerlis/hombro-1> 2010
14. Cinesiología y biomecánica del hombro (on line). Disponible en www.foroswebgratis.com 2010
15. **Hernández D.** Articulaciones del hombro (on line). Disponible en <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion-bio/temas> 2013
16. **Sherry E. Wilson E.F.** Manual Oxford de medicina deportiva. Edit. Panamericana. 2002
17. **Castillo F.** Biomecánica: miembro superior. Cintura escapular (on line). Disponible en <http://www.slideshare.net/fisioterapeuta54/biomecanica> 2012
18. **Arvelo N.** Cinemática articular. *Rev. Soc. Vzlna Ciencias Morf.* 2012; 18: 15-20
19. **Eruditos** (on line). Disponible en <http://www.eruditos.net/mediawiki/index> 2010
20. **Arévalo A.** Anatomía y biomecánica del miembro superior (hombro) (on line). Disponible en <http://es.scribd.com> 2009
21. Sin título (on line). Disponible en <http://www.imaios.com> 2012
22. Sin título (on line). Disponible en <http://www.vitonica.com> 2012