

Estudio descriptivo del desplazamiento anteroposterior del agromion en el movimiento de abducción del hombro en tres grupos de edad

J. BECEIRO¹, I. MIRALLES², X. MARSAL¹, R. CASTRO, R.C. MIRALLES⁴

¹Laboratorio de biomecánica clínica. Facultad de medicina y Ciencias de la salud. Universidad Rovira i Virgili, Reus, España.

²Profesor colaborador de la Unidad de Fisioterapia, Facultad de medicina y Ciencias de la salud, Universidad Rovira i Virgili, Reus, España.

³Universidad Autónoma de Chile.

⁴Universidad Rovira i Virgili, Reus. Hospital Universitario Sant Joan, Reus, España.

Introducción

La abducción del hombro no es un movimiento sencillo, sino que se trata de una acción de gran complejidad, llevada a cabo por diversas estructuras articulares y musculares. Permite alejar el brazo del eje medio del cuerpo en el plano frontal.

La principal articulación es la glenohumeral, sin embargo, para el movimiento de abducción (ABD a partir de ahora), es necesaria la participación del resto de las articulaciones (22).

La pseudoarticulación escapulotorácica permite ampliar el rango articular para la ABD en todos los planos (5). Se denomina pseudoarticulación porque, si bien se realizan una serie de movimientos entre la pared torácica y la cara anterior de la escápula, no existe ningún tipo de unión entre ellas.

Los movimientos de desplazamiento lateral de la escápula hacia medial sobre la pared torácica, sitúan a ésta en un plano más frontal y orientan la glenoides hacia fuera, contribuyendo a aumentar la movilidad del hombro. Así, cuando se abduce 180°, un tercio de este movimiento corre a cargo de la escapulotorácica, y el resto en la glenohumeral, simultáneamente (12).

Al carecer de los medios de unión de una articulación sinovial, esta pseudoarticulación no va a sufrir procesos degenerativos y permitirá compensar los posibles déficits de movilidad más fácilmente (14).

Esto es importante a la hora de evaluar la ABD del hombro cuando existen alteraciones patológicas, donde es frecuente encontrar una escapulotorácica más móvil en detrimento de una glenohumeral con la movilidad disminuida (25, 16).

La escápula presenta un ángulo de 30° con respecto al plano frontal (12, 21, 22) y se desplaza hacia atrás y medial entre los 0 y 90° de abducción donde la glenoides tiende a orientarse hacia atrás 10° (12).

Esta ubicación normal de la escápula se ve alterada con la hipercifosis dorsal (22), típico patrón en los ancianos, lo cual provoca que el mecanismo de abducción se asemeje a la flexión anterior ya que el ángulo de la escápula se encuentra aumentado con respecto al plano frontal (17).

El acromion es una eminencia ósea (prolongación anterior y lateral de la espina). Se encuentra superficial (subcutáneo) (21), por lo tanto es fácil de ubicar y palpar.

Desde el punto de vista de las acciones musculares y del juego articular, la abducción a partir de la posición anatómica pasa por tres estadios: de 0 a 90° puede efectuarse únicamente en la escapulohumeral, donde deltoides y supraespinoso forman un par funcional, de 90 a 150°, escapulotorácica, donde el par funcional está formado por la acción del serrato mayor y trapecio y de 150 a 180°, además de la participación de ambas, la inclinación del lado opuesto del tronco (12, 22). Durante todo el rango de abducción y para que la cabeza del húmero no pueda luxarse hacia arriba ni hacia fuera actúan de forma conjunta los rotadores (infraespinoso, subescapular, redondo menor) y el bíceps corto. La resultante descendiente

Correspondencia:

Laboratorio de biomecánica clínica.
Facultad de medicina y Ciencias de la salud,
Universidad Rovira i Virgili, Reus, España.
bmc_clinica@yahoo.es

de los rotadores crea junto a la elevación del deltoides, un par rotador que origina la abducción. La fuerza máxima de los rotadores es óptima a los 60° de abducción (12).

La edad y la ocupación del individuo influyen en el desarrollo de procesos degenerativos articulares (19, 25), que afectaran principalmente la articulación glenohumeral. El hecho de que necesite de una gran cantidad de estabilizadores pasivos y activos que participan de manera sincrónica en todos los movimientos del hombro y dado su complejo mecanismo de funcionamiento, junto con el amplio rango de movimiento, predispone a generar lesiones progresivas en los sistemas estabilizadores determinadas por el grado de carga al que se le exponga (14, 19, 22, 25).

Muchos de los análisis que se realizan para observar la biomecánica del hombro están enfocados a definir parámetros puramente físicos y a mejorar los softwares de análisis, a veces, poco relacionados directamente con la clínica (3, 15). No hemos encontrado estudios relevantes que hablen de la relación entre movimiento escapular durante la ABD del hombro y la clínica en función de la edad; sería importante observarlo dada la importancia de la escápula en el movimiento del complejo articular del hombro

Sabemos que el acromion se mueve hacia posterior durante el movimiento de abducción del hombro (7). Cuantificar este movimiento en diferentes grupos de edad observando diferentes grados del rango total de abducción, nos permitirá:

- Obtener valores de referencia de la movilidad del acromion durante el gesto de ABD de una población sana según la edad mediante el análisis con videofotogrametría en 3D (prueba no invasiva).
- Conocer las diferencias entre los grupos de edad.

- Hacer una exhaustiva descripción de los rangos donde se acentúe esta diferencia

- De manera secundaria, relacionar el desplazamiento anteroposterior con los otros movimientos (lateralización, y ascenso y descenso) en aquellos puntos de interés, nos permitirá tener la visión tridimensional del comportamiento del acromion.

- Dar una herramienta objetiva para los terapeutas que trabajen de modo conservador y quieran evaluar sus objetivos, tratamientos y resultados obtenidos ya que la naturaleza no invasiva de la herramienta de recogida de datos así lo permite.

- Posteriormente, se podría realizar el estudio con una población afecta de patología subacromial.

Lo expuesto nos lleva a plantear la siguiente hipótesis; *«el movimiento de posterización del acromion durante la abducción del hombro se podría ver aumentado en ancianos al compararlos con individuos jóvenes.»*

Se pretende cuantificar analíticamente el movimiento del acromion en el plano trasnversal en función de la edad y del grado de abducción en una muestra de 75 individuos sanos.

Materiales y métodos

Se inició el estudio con una muestra de n= 211, de edades comprendidas entre 18 y 85 años.

La recogida de datos inicial permitía verificar que el voluntario se adecuaba a los criterios de inclusión y exclusión del estudio (según la tabla 1) y clasificarlos según el grupo de edad (tabla 2).

Se excluyeron las franjas de edad 36-44 y 56-69 para obtener una mejor definición de la muestra.

Posteriormente, voluntario e investigador firmaban el consentimiento informado.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
<ul style="list-style-type: none">-Intervención quirúrgica en el hombro de estudio o torácica.-Diagnóstico de patología aguda o crónica localizada en el hombro de estudio.-Diagnóstico de neoplasia.-Accidente cerebrovascular con secuelas motoras o neurológicas-Presencia de dolor, agudo o crónico, en el hombro de estudio-Edad inferior a 18 años-Estar bajo los efectos de drogas u otros estupefacientes

Tabla 1. Criterios de exclusión

El método utilizado para la recogida de la muestra ha sido el análisis tridimensional del movimiento mediante videofotogrametría tridimensional (Sistema Orthobio®).

Antes de iniciar la filmación del movimiento de ABD, el voluntario era entrenado para la correcta realización del mismo. Se utilizaron marcadores reflectantes colocados sobre acromion y epicóndilo para identificar el segmento húmero y sobre la espinosa de C₇, tal y como se muestra en la figura 1.

El marcador de C₇ nos permite detectar el movimiento lateral del tronco al realizar la ABD. Otros estudios utilizan el movimiento bilateral para

disminuir esta compensación, pero en nuestro caso no fue posible por las características del equipo radiológico.

Se utilizó un cubo de 0,125m³ (0,50m) de arista como sistema de referencia para la filmación del movimiento de ABD.

La filmación se realizó de forma simultánea con dos cámaras digitales (SONY DCR-TRV 14E^a) a una velocidad de obturación de 1/250 y a una frecuencia de muestreo de 50 fotogramas por segundo. Las cámaras, separadas entre si 162 cm y a 176 de altura cada una, fueron colocadas a 40° entre ellas; el uso de angulaciones superiores entre cámaras, aunque recomendado por otros autores

JOVEN	ADULTO	ANCIANO
18-35 años	45-55 años	70-85 años

Tabla 2. Grupos de estudio según la edad



Figura 1. Marcadores reflectantes

(15) suponía la pérdida de visión de los marcadores durante la secuencia del movimiento, con la consecuente pérdida de información.

Para sincronizar las cámaras se utilizó un sistema de leds externo detectable por ambas en el momento de la captura, proceso previo y necesario para el análisis. Incorporaba además, un sistema acústico de aviso del inicio de la ABD para el voluntario.

Una vez filmado y capturada la imagen de ambas cámaras, se pasaba a realizar la digitalización de forma automática por un proceso de rastreo obteniendo una imagen tridimensional del movimiento mediante el sistema de análisis Orthobio^a (4). Se analizaron entre 200 y 400 fotogramas por gesto filmado.

La muestra inicial se redujo a $n = 75$ ya que se eliminaron todas aquellas filmaciones donde la digitalización no fue automática en más de 20 fotogramas, disminuyendo así los errores secundarios a la digitalización manual.

Resultados

Los datos relativos a la evolución de la posición del acromion (comportamiento de un punto sobre el eje de las x respecto al centro de coordenadas) se obtuvieron mediante el software de análisis Orthobio Mac. Posteriormente, los resultados fueron tratados con el paquete estadístico SPSS (v.13).

El descriptivo de la muestra nos indicó una mayor participación al estudio por parte de las mujeres (57,3 %) y unas edades medias representadas en la tabla 3.

Se observó si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos de edad en cuanto al movimiento que realizaba el acromion en los segmentos: inicial - 30°, 30 - 60°, 60 - 90°, 90 - 120°, 120 - 150° y 150° hasta el final del rango de abducción. Esta división del movimiento ya ha sido utilizado por Graichen et al (6) para comparar la curva de desplazamiento del acromion.

En el primer segmento no se han hallado datos significativos; existe semejanza entre el movimiento de cada uno de los grupos para llegar a abducir el brazo hasta los 30°.

En el segundo segmento (30 - 60°), la diferencia inter-grupos es significativa (0.019; $p < 0.05$ de significación).

Las medias de desplazamiento del acromion (en mm.) de cada uno de los grupos están identificadas en la tabla 4. La diferencia entre los miembros de cada grupo para este rango no fue significativa, lo que indica que el grupo era homogéneo (Tabla 4).

El rango entre el mínimo y el máximo es mayor en el grupo de adulto que en el de adulto mayor y jóvenes; pero si observamos los límites (tanto el inferior como el superior) vemos que se confirma que a mayor edad, existe un mayor movimiento.

EDAD	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Jóven	25	26,08	4,609	,922	24,18	27,98	20	35
Adulto	25	51,96	4,920	,984	49,93	53,99	45	60
Adulto mayor	25	77,48	4,224	,845	75,74	79,22	71	85
Total	75	51,84	21,606	2,495	46,87	56,81	20	85

Tabla 3. Descriptivos (Anova) de la muestra por grupos de edad

En la franja de movimiento siguiente (60 – 90°) hallamos diferencias estadísticamente significativas en los tres planos de movimiento del acromion entre el joven y el adulto mayor y en el movimiento de posterización (eje x) entre los tres grupos (Tabla 5).

En el rango de ABD 90 – 120° hallamos una disminución de la muestra en el grupo de adultos (n=24) y adulto mayor (n=21); esto nos indica que 1 adulto y 4 mayores no llegaron a los 120°.

Hallamos diferencias significativas entre joven - adulto mayor y entre adulto – adulto mayor en el movimiento de anteroposterización del acromion.

En el movimiento de lateralización (plano frontal) del acromion, hallamos diferencias significativas entre joven – adulto y entre joven – adulto mayor, no existiéndolas entre los dos tipos de adultos.

En cuanto a la cantidad de movimiento sigue confirmando la hipótesis; a mayor edad, mayor movimiento antero-posterior y lateral del acromion (Tablas 6 y 7).

En el segmento de 120 – 150° de ABD pudimos analizar a 38 individuos (jóvenes, n = 18; adultos, n = 10 y adulto mayor, n = 10). El 49,33% fue excluido de la muestra en este rango por no llegar a los 150°.

Las diferencias entre los grupos fueron significativas en el eje de las x (0,008; p<0,05), concretamente entre joven - adulto mayor (0,014; p<0,05) y entre adulto - adulto mayor (0,031; p<0,05), pero no entre jóvenes y adultos.

El 50,67% finalizaron el movimiento de ABD entre los 150 y los 180°.

Fijándonos en el rango total de abducción y sólo en el movimiento de posterización del acromion,

	Media	Desv. típica	Error típico	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
Jóvenes	11,42	5,18	1,03	9,28	13,56	2,16	20,52
Adultos	14,48	8,33	1,66	11,05	17,92	1,37	42,92
Adulto Mayor	17,18	7,26	1,45	14,19	20,18	4,06	30,56
Total	14,36	7,34	0,85	12,67	16,05	1,37	42,92

Tabla 4. Descriptivo (Anova) del movimiento del acromion (en mm.) para los tres grupos de edad en el eje de las x. Rango 30 – 60°

Eje de las x: 60 – 90°		Error típico	Significación
Jóvenes	Adultos	3,5205	0,037
	Adulto Mayor	3,5205	0,000
Adultos	Jóvenes	3,5205	0,037
	Adulto Mayor	3,5205	0,040
Adulto Mayor	Jóvenes	3,5205	0,000
	Adultos	3,5205	0,040
Eje de las y: 60 – 90°		Error típico	Significación
Jóvenes	Adulto Mayor	3,0319198	0,000
Eje de las z: 60 – 90°		Error típico	Significación
Jóvenes	Adulto Mayor	3,3159735	0,017

Tabla 5. Comparaciones múltiples (Schiffé). Nivel de significación: p<0.05

las diferencias son significativas al comparar el grupo de adulto mayor con los otros dos grupos; no son significativas las diferencias entre el grupo de jóvenes y adultos tal y como indica la siguiente tabla (Tabla 8).

Se extrajo la siguiente gráfica correspondiente a la trayectoria del acromion en función de los grados de abducción. Se añadieron los datos de la abducción máxima con la intención de tener conocimiento del movimiento medio del acromion

en este último rango ya que se observó un comportamiento inverso en el adulto mayor; el desplazamiento medio en el momento final de la ABD menos la diferencia de la posición media inicial en cada franja nos indicaba que en los ancianos, al final de la ABD, sucedía un movimiento de retroceso, el acromion nuevamente se anteriorizaba.

Se observa en la gráfica 1 que durante el movimiento de ABD del hombro, el acromion se desplaza posteriormente de forma secuencial en

Movimiento en el eje x; 90 - 120°		Error típico	Significación
Jóvenes	Adultos	4,6416	0,475
	Adulto Mayor	4,8078	0,000
Adultos	Jóvenes	4,6416	0,475
	Adulto Mayor	4,8078	0,004
Adulto Mayor	Jóvenes	4,6416	0,000
	Adultos	4,8078	0,004

Tabla 6. Comparaciones múltiples (Schiffé). Nivel de significación: $p < 0.05$

Movimiento en el eje y; 90 - 120°		Error típico	Significación
Jóvenes	Adultos	5,0844	0,046
	Adulto Mayor	5,2665	0,001
Adultos	Jóvenes	5,0844	0,046
	Adulto Mayor	5,3163	0,355
Adulto Mayor	Jóvenes	5,2665	0,001
	Adultos	5,3163	0,355

Tabla 7. Comparaciones múltiples (Schiffé). Nivel de significación: $p < 0.05$

Movimiento en el eje x; 150 – final de ABD		Error típico	Significación
Jóvenes	Adultos	5,4016808	0,804
	Adulto Mayor	5,4016808	0,005
Adultos	Jóvenes	5,4016808	0,804
	Adulto Mayor	5,4016808	0,017
Adulto Mayor	Jóvenes	5,4016808	0,003
	Adultos	5,4016808	0,017

Tabla 8. Comparaciones múltiples (Schiffé). Nivel de significación: $p < 0.05$

cualquier edad, con una zona inicial donde el acromion se posterioriza relativamente poco (hasta los 60°); una zona intermedia donde se produce el máximo desplazamiento (entre los 60 y 120°) y finalmente una tercera zona (+120°) donde el desplazamiento se ralentiza o incluso se invierte si tenemos en cuenta la media del total de los grados finales de abducción.

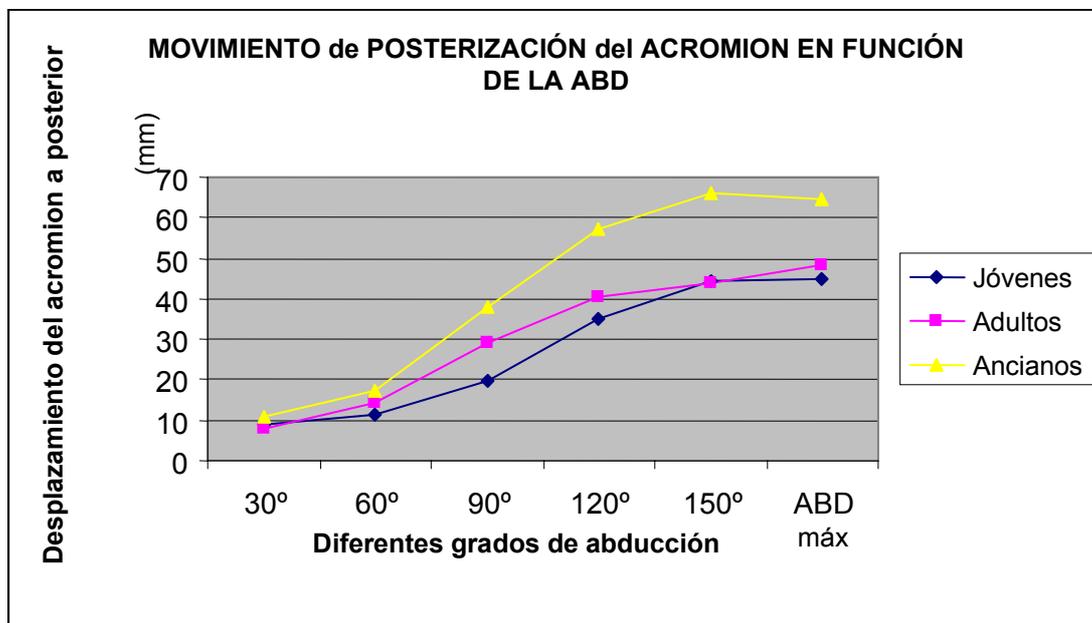
Como se intuye en la gráfica 1 y se detalla en la tabla 9, el desplazamiento posterior total medio del acromion en el grupo de jóvenes es de 44,92 mm., para el grupo de adultos es de 48.50 mm. y para el grupo de ancianos es de 64.541mm. Observándose un claro incremento de las medias de desplazamiento total.

Discusión

Los grupos de edad estudiados han sido homogéneos puesto que ninguna de las franjas de edad estudiadas mostró diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos que conformaban el grupo (intra-grupos).

Durante el movimiento de ABD del hombro, el acromion se desplaza posteriormente de forma secuencial para cualquier edad, mostrando tres zonas de la curva del desplazamiento con comportamiento diferente.

Al analizar el comportamiento entre los 30 y 60° de abducción, vemos que empiezan las diferencias significativas del movimiento del acromion hacia



Gráfica 1. Trayectoria del acromion en función de los grados de abducción

	Inicio - 30°	30 - 60°	60 - 90°	90 - 120°	120 - 150°	ABD máx
Jóvenes	9,1088541	11,421184	19,728364	34,87706	44,395583	44,92434
Adultos	7,7912962	14,485566	28,977709	40,569867	44,051832	48,50155
Ancianos	10,898373	17,185477	38,121176	57,235638	66,146441	64,41353

Tabla 9. Datos del movimiento medio (en mm) para cada franja de edad y por diferentes segmentos

posterior entre los grupos estudiados; esto puede deberse a que la actividad del músculo deltoides y supraespinoso se acompañan de forma importante de la actividad del manguito rotador y la participación en el movimiento de la articulación escapulo-torácica.

Entre los 60 y 90° observamos las diferencias más significativas en los tres planos lo que confirma que es en este rango donde la escápula comienza a rotar externamente y hacia atrás para permitir la continuación de la ABD del húmero.

Entre los 60 y 120° se produce el máximo desplazamiento hacia posterior, con medias entre 35.82 y 53.52 mm, en función de la edad.

Finalmente, la curva disminuye su pendiente observándose una inversión en el movimiento en el grupo de mayores. Este hecho es debido a que la escápula agota su posibilidad de báscula anteroposterior y existe una retracción de la cápsula posterior debido a que la hipercifosis disminuye la rotación interna del brazo.

Al observar las curvas de movimiento del acromion de cada individuo del grupo de jóvenes, vemos que éstas no tienen un comportamiento homogéneo; existe cierta rectificación durante todo el rango de ABD en el movimiento que describe el acromion sobretodo observado en el plano sagital. Este comportamiento podría deberse a la mayor libertad de movimiento que tiene el complejo del hombro en individuos jóvenes y a la constante rectificación para reproducir la ABD en el plano frontal.

Al observar las curvas de movimiento del acromion en el grupo de ancianos, vemos que éstas tienen un comportamiento más homogéneo. La función rotadora y estabilizadora del manguito rotador en los ancianos podría estar afectada por procesos degenerativos que limitarían su acción y, por lo tanto, la movilidad del complejo del hombro. En dicha degeneración, la cabeza del húmero parece quedar más cubierta por el acromion y más coaptada hacia glenoides (con tendencia al ascenso), lo que disminuiría la libertad de movimiento.

Por otro lado, la posición relativa de la escápula se ve alterada por el aumento de la cifosis dorsal aumentando ángulo de la escápula y la orientación de la glenoides respecto el plano frontal. Este fenómeno es común observarlo en ancianos; el movimiento de abducción es más parecido al de

antepulsión. Al realizar este movimiento, deben trasladar su centro de gravedad hacia posterior e inclinar la columna del lado contralateral para poder llevarlo a cabo. Este mecanismo compensatorio va a provocar que el acromion se posteriorice más que en los jóvenes.

Un porcentaje de voluntarios sanos no finalizaron el rango de movimiento de ABD a los 180° teóricos, mayoritariamente adultos mayor. Descartado el proceso patológico ya en el periodo de selección del voluntariado, esta limitación de la movilidad puede ser debida a la propia de la edad.

Conclusiones

El movimiento del acromion no presenta diferencias estadísticamente significativas en el rango de abducción hasta los 30° para los diferentes grupos de edad. Las diferencias estadísticamente significativas se inician en el rango de 30 – 60°.

Durante el movimiento de ABD del hombro, el acromion se desplaza posteriormente de forma secuencial mostrando el máximo desplazamiento entre los 60 y 120° para cualquier edad, con desplazamientos totales entre 23,45 y 40,05 mm, en función de la edad.

El desplazamiento posterior del acromion incrementa a medida que la edad del grupo es mayor.

En el segmento de 60 - 90° observamos diferencias estadísticamente significativas en cuanto al movimiento de anteroposterización entre los tres grupos. También significativas entre el grupo de jóvenes y el adulto mayor en cuanto al movimiento de ascenso y descenso (eje z) y de laterarización (eje y), por lo que podemos concluir que en este rango, posiblemente, sea donde se hallen las diferencias más importantes.

En el rango de 120-150°, las diferencias se acentúan entre jóvenes y adultos respecto al grupo del anciano mayor; entre jóvenes y adultos no son significativas.

Fijándonos en el rango total de abducción, concluimos que el movimiento del acromion en el plano sagital es en el que encontramos diferencias significativas con la edad.

Una vez descrito el movimiento del acromion en la población sana en función de la edad y grados de ABD, sería interesante continuar este estudio comparándolo con una población con alteraciones patológicas.

Bibliografía

1. **Bigliani LU, Tickett JB, Flatow EL, Soslowsky LJ, Mow VC.** The relationship of acromial architecture to rotator cuff disease. *Clin Sports Med.*, 1991; 10 (4): 823-38.
2. **Bowen MK, Warren RF.** Ligamentous control of shoulder stability based on selective cutting and static translation experiments. *Clin Sports Med.*, 1991; 10:757-782.
3. **Cappozzo A, Catani F, Della Croce U, Leardini A.** Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. *Clin Biomech.*, 1995; 10(4):171-178.
4. **Cepero E, Nerín S, Villarroya A, et al.** Adaptación del miembro inferior al caminar en desnivel. Zaragoza. *Biomecánica*. 1998; VI,10. p23-29.
5. **De Palma, AF.** *Surgery of the Shoulder*. 3rd ed. Philadelphia, J.B. Lippincott Co. 1983: 65-68.
6. **Graichen H, Hinterwimmer S, Eisenhart-Rothe R, Vogl T, Englmeier KH, Eckstein F.** Effect of abducting and adducting muscle activity on glenohumeral translation, scapular kinematics and subacromial space width in vivo. *J Biomech*, 2005; 38: 755- 760.
7. **Graichen H, Stammberger T, Bonel H, Englmeier K, Reiser M, Eckstein F.** Glenohumeral translation during active and passive elevation of the shoulder a 3D open-MRI study. *J Biomech.*, 2000; 33 (5): 609-613.
8. **Gupta S, Van der Helm FC.** Load transfer across the scapula during humeral abduction. *J Biomech.*, 2004; 37(7): 1001-9.
9. **Harryman DT, Sidles JA, Clark JM, Mcquade KJ, Gibb TD, Matsen FA.** Translation of the humeral head on the glenoid with passive glenohumeral motion. *J Bone Joint Surg.*, 1990; 72-A, 1334-1343.
10. **Itoi Eiji, Tadato Kido, Akihisa Sano, Masakazu Urayama, Kozo Sato.** Which is More Useful, the «Full Can Test» or the «Empty Can Test,» in Detecting the Torn Supraspinatus Tendon? *Am. J. sports med*, 1999; 27 (1): 65- 68.
11. **Kanatli U, Bolukbasi S, Ekin A, Ozkan M, Simsek A.** Anatomy, biomechanics, and pathophysiology of instability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2005;39 Suppl 1:4-13.
12. **Kapandji IA.** Cuadernos de Fisiología articular. Barcelona; Masson, 1991.
13. **Klein Breteler M, Spoor C W, Van der Helm F.** Measuring muscle and joint geometry parameters of a shoulder for modeling purposes. *J Biomech.*, 1999; 32: 1191 – 1197.
14. **Laursen B, Søgaard K, Sjøgaard G.** Biomechanical model predicting electromyographic activity in three shoulder muscles from 3D kinematics and external forces during cleaning work. *Clin Biomech.*, 2003; 18 (4): 287-295.
15. **Leardini A, Belvedere C, Astolfi L, Fantozzi S, Vicenconti M, Taddei F, Ensini A, Benedetti MG, Catani F.** A new software tool for 3D motion analyses of the musculo-skeletal system. *Clin Biomech.*, 2006; 21 (8): 870-9.
16. **Lee TQ, Dettling J, Sandusky MD, McMahon PJ.** Age related biomechanical properties of the glenoid–anterior band of the inferior glenohumeral ligament–humerus complex. *Clin Biomech.*, 1999; 14 (7): 471-6.
17. **Lin JJ, Hanten WP, Olson SL, Roddey TS, Soto-Quijano DA, Lim HK, Sherwood AM.** Functional activities characteristics of shoulder complex movements: Exploration with a 3-D electromagnetic measurement system. *J Rehabil Res Dev*. 2005;42 (2):199-210.
18. **Mario Comín, José Luis Peris, Jaime Prat, Ricardo Dejoz, Pedro Vera, et col.** *Biomecánica de la fractura ósea y técnicas de reparación*. Valencia: IBV, DL 1992.
19. **Meister Keith.** Injuries to the Shoulder in the Throwing Athlete. *The American Journal of Sports Medicine*. 2000; 28 (2): 265-275
20. **Miralles RC, Miralles I.** *Biomecánica Clínica de los tejidos y articulaciones*. Barcelona; Masson, 2005.
21. **Moore KL, Agur AM.** *Fundamentos de anatomía con orientación clínica*. 2ª ed. Madrid: Panamericana, 2003.
22. **Nordin M, Frankel V.** *Biomecánica Básica del sistema musculoesquelético*. 3ª ed. Madrid: McGraw-Hill, 2005.
23. **Rockwood Ch, Matsen F.** *El Hombro*. Tomo I y II, 2ª ed. Madrid: McGraw Hill, 1998.
24. **Shah NN, Diamantopoulos P.** Position of the humeral head and rotator cuff tear: an anatomical observation in cadavers. *Acta Orthop Scand.*, 2004; 75 (6): 746-9.
25. **Siivola SM, Levoska S, Latvala K, et al.** Predictive Factors for Neck and Shoulder Pain: A Longitudinal Study in Young Adults. *Spine*, 2004; 29(15):1662-9.
26. **Van der Helm FC, Pronk GM.** Three-dimensional recording and description of motions of the shoulder mechanism. *J Biomech Eng.*, 1995; 117 (1): 27-40.
27. **Viladot A.** *Lecciones básicas de Biomecánica del aparato locomotor*. Barcelona: Masson, 2004.