

정상인의 관상면에서의 관절와상완운동 및 견갑흉곽운동

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

이 용 결·임 창 무

— Abstract —

Normal Glenohumeral and Scapulothoracic Movement at the Coronal Plane

Yong Gurl Rhee, M.D., Chang Moo Yim, M.D.

Dept. of Orthopedic Surgery, School of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, Korea

We measured the glenohumeral and scapulothoracic movements during abduction of the arm in the coronal plane with radiologic analysis in the 30 shoulders of normal male adults who were without pain, limitation of motion, and history of trauma.

In the resting position, the glenoid cavity of the scapula faced somewhat superiorly in over 80 percents of the individuals, the mean superior tilting was 5.7 degrees. The mean total scapulothoracic movement was 65.8 degrees and the mean total glenohumeral movement was 106.8 degrees during abduction of arm in the coronal plane. The mean ratio of the glenohumeral movement to the scapulothoracic movement was 1.6 and this GH/ST ratio was decreased toward the extreme abduction. When the arm was abducted, external rotation of the humeral head occurred and this external rotation was increased smoothly during 0 degree through 90 degrees, but steeply above 90 degrees. The acromiohumeral interval was 10.9 mm at the resting position, and this interval decreased during the arm abduction. The superior migration of the humeral head was 3.1 mm while abducting the arm.

Our measurement of the relationships of glenohumeral and scapulothoracic movements at the coronal plane would be useful in the understandings of the biomechanics of shoulder, but further study would be required for the analysis of the three dimensional relationship because of the limitation of our two dimensional analysis.

Key Words : Shoulder, Movement, Glenohumeral and scapulothoracic

※통신저자 : 이 용 결
서울특별시 동대문구 회기동 1번지
경희대학교 의과대학 정형외과학교실

서 론

정상인의 견관절운동은 관절와상완운동, 견갑흉곽운동, 견봉하운동, 견봉쇄골운동, 흉쇄골운동등으로 구성된 복잡한 관절운동이다. 이들은 3개의 운동면과 3개의 운동축을 중심으로 자유롭게 움직이는데, 상지의 외전운동은 체간으로부터 상지가 멀어지는 운동으로 전후 운동축에 의해, 관상면에서 일어나게 된다. 엄밀히 말하면, 관상면에서 일어나는 순수한 외전은 드물지만 굴곡과 결합된 외전운동은 정상인이 수부를 경부나 안면부로 이동할 때 사용하는 가장 보편적인 운동이다. 견관절의 외전에 따른 동역학 연구는 옛부터 논란의 대상이 되었으며, 현재까지도 이들 운동에 관여하는 근육들과 관절의 기능적 상호관계의 몇 가지 부분에서는 여러가지 의견이 많다^{1,3,6,9,10}.

본 연구의 목적은 상지의 외전에 따른 견갑골과 상완골의 역학적 관계, 상완골두의 외회전 각도, 상완골두의 상방 전이 정도, 견갑골의 외회전 정도, 견봉상완간격등 복잡하고 다양한 견관절의 역학적인 관계를 측정하여 분석하는데 있었다.

연구대상 및 방법

본 연구에서는 경희 의료원 직원 및 경희 대학교 의과 대학생중 견관절에 질병및 외상의 과거력

이 없는 젊은 남자 30명의 우측 견갑부를 대상으로 하였다. 연령 분포는 21세에서 33세 까지로 평균 29세이었고, 신장 분포는 169cm에서 180cm 까지로 평균 172cm, 체중 분포는 65kg에서 80kg 까지로 평균 69kg이었다. 방사선 촬영은 전후면으로 시행되었고, 수동적 외전 위치는 0도, 30도, 60도, 90도, 120도, 150도, 최대외전 각도이었다(Fig. 1).

각각의 대상자들은 양와위 상태에서 우측 견갑부를 방사선판에 평행하게 놓고, 주관절은 신전된 상태에서 수장부는 몸의 측면을 향하고, 우측 상지는 방사선 촬영면에 평행하게 고정되었다. 대상자가 좌측으로 기우는 것을 방지하기 위해 좌측 상지도 우측 상지와 같은 위치를 유지하도록 하였다. 사용된 방사선 촬영 기계는 TOSHIBA KOX-15R이고 stationary grid가 사용되어 졌다. 사용된 필름은 KONIKA이며 10 inches × 12 inches이었다. 기본방사선촬영은 68 Kvp + 320mA 였으며 표출 시간은 0.12-0.14초이었다.

상완골의 외전에 따른 상완골과 견갑골 운동의 분석은, 먼저 견갑골 관절와의 경사도를 측정 후, 방사선 사진에 상완골의 장축과 견갑골의 관절와에 축선을 그어 측정하였다. 상완골의 선은 골간부의 내측면 중양을 지나가는 점을 연장하여 이루는 선으로하였으며, 관절와선은 오목한 관절면의 가장 상연과 하연을 통과하도록 하여 이 선들이 만나 이루는 각도를 측정하였다(Fig. 2). 이 두



Fig. 1.
Serial roentgenograms from normal subjects illustrate in abduction at the coronal plane.

선을 이용하여 상지가 외전운동을 하는 동안 관절와상완운동(glenohumeral movement; GHM) 각도와 견갑흉곽운동(scapulothoracic movement; SHM) 각도의 변화를 측정하였다. 상지의 외전에 따른 상완골의 외회전 각도 측정은 실지상완골 5개를 본 교실에서 제작한 방사선에 투과되는 플라스틱원통의 중앙에 고정시키고 연통연에 각도를 표시하여 0도에서 180도 까지 5도 간격으로 외회전시키면서 전후면상에서 촬영된 사진을 이용하였다. 5개의 실지상완골은 원위 상완의 양과를 잇는 선에 대한 후염각이 43도에서 47도사이, 상완골두의 상방 경사도가 133도에서 137도내의 골을 택하였다. 각도측정은 촬영된 실지상완골의 필름과 연구대상의 필름을 각도에 따라 대

조, 비교하여 동일되는 각도를 선택하여 그 평균값을 정하였다. 이때 상완골두의 양과와 이두건구가 기준점이 되었다. 견갑흉곽운동은 인체의 중심선에 대해 상완골이 외전함에 따라 견갑골하각이 외회전되는 거리를 측정하였다. 방사선촬영시 fluoroscopy하에 척추를 포함하여 방사선에 촬영된 흉추 극돌기의 연장선을 인체의 중심선으로 정한 후 0도 외전에서 인체의 중심선과 견갑골하각의 거리를 0mm로 정하고 각도의 변화에 따라 그 차이를 측정하였다. 상지의 외전에 따른 상완골두의 상방전위 측정은, 먼저 관절와의 상연과 하연을 연결한 선에 대한 수직선을 긋고, 이선을 기준으로 외전에 따른 상완골두 중심점의 최소거리 측정하였으며, 이때 상완골두의 중심은 원형의 형판을 이용하여 정하였다. 견봉상완간격의 변화는 상지가 외전하는 동안 견봉의 하연과 상완골두의 최상면과의 거리를 측정하였다.

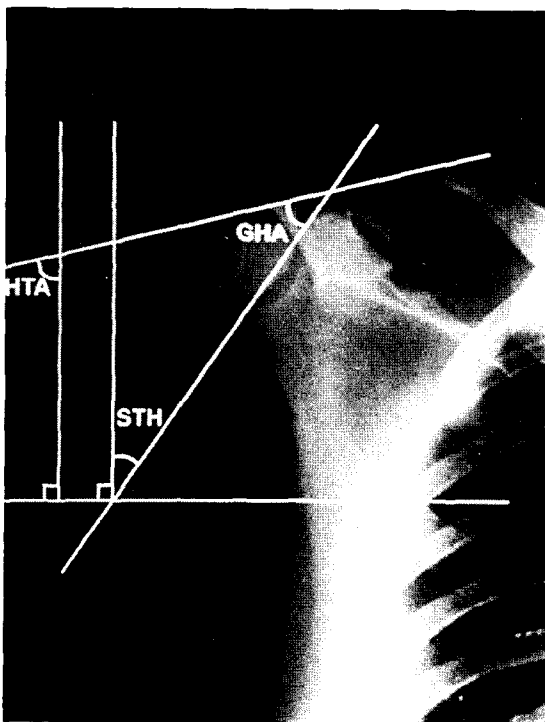


Fig. 2. This figure demonstrates the various angles during the abduction.

GHA is the angle between the long axis of humerus and glenoid line.

HTA is the angle between the axial line of humerus and a perpendicular line of the body(thorax).

STM is the movement between the axial midline of the body(thorax) and glenoid line.

결 과

외전에 따른 상완흉곽운동과 견갑흉곽운동에 따른 견갑골의 각도, 관절와상완운동에 따른 견관절의 각도를 각각의 위치에 따라 측정하였는데 (Table 1), 중립 위치에서의 체간의 중심선에 대한 견갑골 관절와의 경사도는 80%에서 평균 5.7도 상방경사를 보였다. 이 위치에서의 상지의 평균 각도는, 외전각도가 0.1도이었고 그 범위는 -2도에서 +4도이었다. 견갑골의 내측연과 인체중심선과의 이루는 각도는 평균 3.6도로 그 범위는 -5도에서 +7도로 상지의 각도보다 개개인의 차이가 컸다. 관절와상완관절의 운동은 30도의 상지각도에서 평균 14.8도, 60도에서 45.3도, 90도에서 64.2도, 120도에서 85.2도, 150도에서 94.8도, 최대외전에서 106.8도였으며, 견갑흉곽운동은 30도의 상지각도에서 평균 7.9도, 60도에서 15.2도, 90도에서 26.5도, 120도에서 40.7도, 150도에서 50.6도, 최대외전에서 65.8도로 이 두 관절와상완운동과 견갑흉곽운동을 합친 상지운동의 최대외전은 평균 172.6도를 이루고 있었다(Table 1). 상지의 외전에 따른 관절와상완운동과 견갑흉곽운동의 각도의 비율은 1.6:1로 상지가 외전시 견갑흉곽운동이 1도 일어날 때 관절와상완관절의

Table 1. The scapulothoracic and the glenohumeral angle in the seven position study

Position (degrees)	Angle	
	STA X ±SD	GHA X ±SD
0	3.6 ±1.9	3.5 ±6.6
30	7.9 ±2.7	14.8 ±6.9
60	15.2 ±2.5	45.3 ±5.7
90	26.5 ±3.1	64.2 ±8.1
120	40.7 ±4.3	85.2 ±7.6
150	50.6 ±2.8	94.8 ±6.9
MAX.	65.8 ±5.9	106.8 ±7.9

* STA : scapulothoracic angle

* GHA : glenohumeral angle

Table 2. Shoulder movement in the seven phase of abduction

degrees	STM X ±SD	GHM X ±SD	GHM/STM
0-30	4.3 ±0.9	11.3 ±1.1	2.63
30-60	7.3 ±0.8	30.5 ±2.1	4.18
60-90	11.3 ±1.2	18.9 ±1.9	1.67
90-120	14.2 ±1.3	21.0 ±2.0	1.48
120-150	9.9 ±0.7	9.6 ±0.9	0.97
150-Max	15.2 ±1.1	12.0 ±1.4	0.79

*STM : scapulothoracic movement

*GHM : glenohumeral movement

Table 3. Amount of scapular excursion and external rotation of the humerus in seven phase of abduction

degrees	SE(cm) X ±SD	ER(deg) X ±SD
0	0.0	4.3 ±0.9
30	0.2 ±0.01	15.3 ±1.2
60	1.2 ±0.05	13.3 ±1.5
90	2.1 ±0.14	15.7 ±2.3
120	2.5 ±0.09	36.7 ±1.9
150	3.7 ±0.21	56.8 ±5.2
Max	6.1 ±0.87	69.1 ±7.6

*SE : scapular excursion

*ER : external rotation

GHA / STA ratio

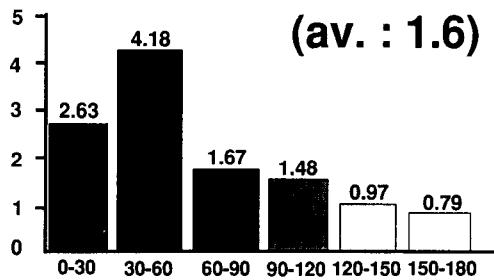


Fig. 3. The mean ratio of the glenohumeral movement to the scapulothoracic movement was 1.6 and this GH/ST ratio was decreased toward the extreme abduction.

운동은 1.6도가 일어나고 있었다. 이를 자세히 분석하면 관절와상완운동은 30도에서 60도 외전시 가장 크게 일어나고 있었으며 120도이상 외전에서는 상대적으로 적은 범위의 운동이 일어나고 있었다(Fig. 3). 이에 반해 견갑흉곽운동은 처음 60도까지의 외전에서는 적은 범위의 운동이 이루어지고 있으나 외전범위가 커지면서 이 운동은 크게 일어나 150도이상의 외전시 가장 큰 최대치를 이루고 있었다. GHM/STM 비율은 30도에서 60도사이의 외전시 4.18로 가장 컸으며 60도 외전 이후에는 서서히 감소하여 150도이상 외전시 0.79의 수치를 보였다. 특히 외전을 120도이상하

게 되면 GHM/STM 비율이 역전되어 관절와상완운동보다는 견갑흉곽운동이 더 많이 일어나고 있었다. 따라서 외전초기에는 주로 외전운동이 관절와상완관절에서 일어나고 있었으며 외전후기에는 주로 견갑흉곽운동으로 외전이 일어나지고 있음을 관찰할 수 있었으며 이러한 결과를 95%의 신뢰도로 P 값을 얻은 결과 0.036으로 의미가 있음을 나타내었다(Table 2).

상지의 외전에 따른 상완골두의 외회전의 변화는, 각각 0도에서 4.3도, 30도에서 15.3도, 60도에서 13.3, 90도에서 15.7도, 120도에서 36.7도, 150도에서 56.8도, 최대 외전 각도에서는 69.1도로(Table 3). 상지의 매 1도 외전시 상완골두의 외회전은 평균 0.4도 이었다. 0도에서 30도 사이에서는 그 변화 각도가 1도로 거의 변화가 없었으며, 외전 30도에서 60도사이에서는 8

Ext. Rot. of humerus

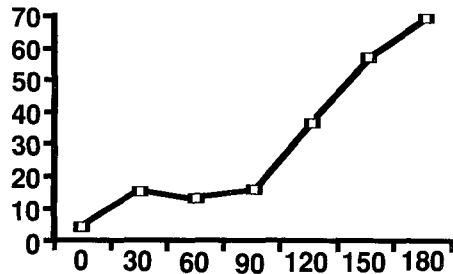


Fig. 4. The external rotation was increased smoothly during 0 degree through 90 degrees but steeply above 90 degrees.

도, 60도에서 90도사이에서는 2.4도로 완만한 외회전을 보이고 있었으나 90도이상에서는 약 20도씩 증가하여 급격한 외회전을 보였다. 따라서 상지의 외전운동시 외회전은 주로 90도이후에서 일어나고 있음을 관찰할 수 있었다(Fig. 4).

상지의 외전에 따른 견갑골하각의 이동변화는, 0도와 30도에서는 0.2cm, 60도에서 1.2cm, 90도에서 2.1cm, 120도에서 2.5cm, 150도에서 3.7cm, 최대 외전각도에서 6.1cm이었다. 각각의 각도변화에 따른 거리변화는, 견갑골은 150도에서 최대 외전 각도 사이에서 2.4cm의 가장 큰 변화를 보여 주로 외전후기에 견갑골하각의 이동이 일어남을 알 수 있었다(Table 3).

상지의 외전에 따른 상완 골두의 상방전위의 변화는 0도에서 90도까지는 0.0mm에서 3.1mm로 일정한 비율로 증가되었으며 그 이후에는 다시 일정한 비율로 감소되어 최대외전운동시 거의 상방전위가 없음을 알 수 있어, 상지가 외전하는 동안 3.1mm의 상완골두의 상방전위를 관찰할 수 있었다(Table 4).

견봉상완간격의 변화는 90도까지는 10.0mm에서 7.6mm로 서서히 감소하였고 90도 이상에서는 사진상 외전에 따른 상완골의 대결절과 견봉의 영상이 겹쳐서 그 측정이 불가 하였다(Table 4).

Table 4. Movement of superior migration of humerus and acromiohumeral interval on abduction of the arm

degrees	SM(mm) X ± SD	AHI(mm) X ± SD
0	0	10.9 ± 0.86
30	0.1 ± 0.02	9.2 ± 0.61
60	2.3 ± 0.71	8.2 ± 0.64
90	3.1 ± 0.93	7.6 ± 0.81
120	1.9 ± 0.37	
150	1.0 ± 0.05	
Max	0.2 ± 0.04	

*SM : superior migration of the humeral head

*AHI : acromiohumeral interval

고 찰

지금까지 여러 학자들은 관절와상완운동, 견갑흉곽운동, 견봉하운동, 견봉쇄골운동, 흉쇄골운동등으로 구성된 견관절운동의 다양성과 복잡성에 대해 논하여왔다^{1,3,6,9,10}. 견관절운동은 3개의 운동면과 3개의 운동축을 중심으로 자유롭게 움직이는데, 특히 상지의 외전운동은 체간으로부터 상지가 멀어지는 운동으로 전후 운동축에 의해 관상면에서 일어나는 운동이다. 이러한 상지의 외전운동은 견갑부 여러관절에 복잡하고 다양한 영향을 미친다.

Inman등⁷⁾은 상지의 외전운동은 처음 30도까지는 관절와상완관절에서 이루어지고, 나머지 외전운동은 2대 1의 비율로 관절와상완운동과 견갑흉곽운동에서 각각 이루어진다고 하였다. Freedman등⁸⁾은 다섯 위치에서의 외전운동 분석에서 관절와상완운동과 견갑흉곽운동의 평균 운동비가 3대 2임을 보고하였고, 견갑골이 매 1도 회전할때 견관절은 1.5도로 회전하였다. 각각의 각도에 따른 분석에서는 135도에서 최대외전운동시에 이 비율이 2.7도로 가장 큰 변화를 보였다고 하였다. Poppen등⁹⁾은 중립위치에서 외전운동이 처음 30도까지는 4대 1의 비율을, 외전 30도에서 최대외전각도에서는 관절와상완운동과 견갑흉곽운동이 5대4의 비율로 일어나고 있음을 보고한 바 있다. 본 연구에서는, 관절와상완운동과 견갑흉곽운동비가 1.6대 1이었으며, 상지가 처음

외전시에는 절대적으로 관절와상완관절에서 운동이 일어나다가 외전의 중간운동범위에서는 1.5:1의 비율로 관절와상완과 견갑흉곽에서 운동이 일어나고 있으며 최대외전근처에서는 이 비율이 역전되어 관절와상완보다도 견갑흉곽에서 약간 더 운동이 일어나고 있었다. 또한 상지의 외전에 따른 견갑골의 외회전 변화를 나타내는 견갑골각각의 이동정도를 분석한 바 견갑골의 각도변화와 비례하여 증가함을 알 수 있었는데, 예를 들어 견갑골의 이동과 견갑흉곽운동범위가 모두 150도에서 최대외전각사이에서 15.2도와 2.4cm로 최대 변위정도를 보이고 있었다. 이러한 결과는 상지의 외전에 따른 견갑골의 각변화와 외전정도는 밀접한 관계가 있음을 시사하였다.

상지거상에 따른 상완골두의 외회전의 원인은 상완골두와의 충돌의 방지, 상완골두의 후염각의 감소, 견관절의 안정성의 증가등 여러가지 설이 있다^{5,8}. Browne등¹¹은 이러한 회전운동을 입체적으로 각 방향에 따라 분석하였다. 상완골두는 견갑면의 전방에서 최대 거상시 약 35도 외회전하고, 견갑면에서는 31도 외회전, 견갑면의 후방에서의 최대거상시는 약 60도 내회전이 필요하다고 보고하였다. 본 연구에서는 관상면에서의 외회전 정도만이 측정되어, 상지의 최대 외전시 상완골두는 69.1도 외회전 하였고, 상지의 외전 각도 120도에서 150도 사이에서는 20.1도로 가장 크게 외회전 하여 주로 외전후기에 외회전이 많이 일어남을 알 수 있었으나 일반적인 견관절의 운동이 견갑면 전방에서 주로 일어나게 되어 추후 견갑면의 전방에서의 외회전정도를 알아 봄이 바람직하다고 사료되었다.

상지의 외전에 따른 상완골두의 이동은 견갑골 관절와와 상완골두의 관절면사이의 안정도를 나타내는 지표로 저자들마다 그 측정범위와 방법이 매우 다양하였다^{5,8,9,10,11}. Poppen등⁹은 견갑면에서 상지를 30도 간격으로 외전시, 주로 0도에서 30도사이와 30도에서 60도사이에서 3mm의 상방전위가 일어난다고 보고하였고, 이러한 결과는 상완골두의 중력위치에서 초기함몰(sagging)에 의한 것이라고 추정하였다. Howell등⁶은 상지를 외회전 상태에서 신전시 정상인에서는 상완골두가 4mm 후방 전위되는 반면에 전방 불안정성 견관절을 가진 환자는 이러한 후방전위가 없음을 판

찰하였다. 이러한 결과는 정상 견관절은 외회전 상태에서 신전시 관절낭 전방부의 긴장에 의한 현상이고, 전방 불안정성 견관절 환자는 관절낭의 전방부 이완으로 인한 긴장과 전이의 소실이 발생한다고 주장하였다. Harryman등⁸은 견갑골의 관절와는 고관절과는 반대로 관절면이 상대적으로 알아서 동력학적으로 상완골두의 전이가 가능함을 설명하였다. 이들은 견관절에서 상지의 수동적인 굴곡시 상완골두의 상방전위는 -2.89mm에서 3.27mm로 측정하였고, 견관절의 후방 관절낭의 인위적인 구축후에는 그 전위정도가 증가한다고 보고하였다. Wuelker등¹⁰은 역학적 견관절 모델을 이용한 관절의 능동적 거상시 상완골의 전위정도 측정에서 견갑골의 관절와 관절면은 상완골두의 관절면의 3분의 1로, 그 가동성이 큼을 주장하였다. 이들은 견관절을 30도에서 90도로 거상시 상완골두는 5.7mm 상방전위되고, 3.3mm 전방전위됨을 보고하였고 견관절에서 회전근개 제거후에 측정한 결과에서는 미세한 감소를 보였다고 하였다. 이들의 연구 결과를 분석해 볼 때, 견관절을 능동적으로 운동할 때와 수동적으로 움직일 때 상완골두의 상방전위의 차이는 견관절을 싸고 있는 관절낭과 여러 근육들의 상호작용이 영향을 미침을 알 수 있다. 본 연구에서는 관찰대상의 양외위에서 상지의 수동적인 외전시 상완골두의 상방전위를 측정한 것으로, 90도까지 약 3.1mm로 일정하게 일어났으며, 그 후에는 최대 외전시까지 2.9mm 하방으로 전위 되었다. 이러한 결과의 차이는 결론적으로 서로 다른 측정 방법의 결과로 사료되었다. 즉 측정방법에 따라, 견관절 자체에 미치는 힘, 주위 회전근개 또는 중력의 방향, 측정기기의 종류, 측정대상의 차이등의 다양하고 복합적인 요소의 상호작용으로 상완골의 전후 또는 상하 전위가 변화함을 시사하였다.

견봉상완간격의 측정은 주로 견관절의 회전근개의 파열시에 발생하는 상완골두의 상방전위의 정도를 표시하는 데 사용되어 왔다^{4,11}. 그러나 상완의 이동이나 전위시에 견봉상완간격의 변화값의 측정은 그 보고가 많지 않다. Flatow등²은 stereophotogrammetry를 이용하여 상완의 외전시에 변하는 견봉상완간격을 골두의 외회전 정도에 따라 측정하였다. 측정 결과, 중립위치의 11.1mm

를 시작으로 90도 까지 외전시 5.7mm로 점진적인 감소추세를 보였고 그 이상의 각도에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 90도 이상에서의 미세한 변화는 견봉의 외단과 상완골두의 대결절과의 충돌의 영향으로 설명하였다. 본 연구에서는 시초 10.9mm에서 90도까지 7.6mm로 측정되었으나 90도 이상에서는 외전에 따른 상완골 대결절과의 겹침 현상으로 그 측정이 불가능하였다. 이 같은 결과는 한편 즉 이차원적인 면에서만 측정 결과로 사료되었다. 그러나 외전에 따른 상완골두의 상방전위와 견봉상완간격의 변화의 상관관계를 살펴보면, 90도까지는 일정한 비율을 가지고 증가하지는 않지만 밀접한 관계가 있음을 시사하였다.

요 약

상지의 외전에 따른 관절와상완운동 및 견갑흉곽운동은 전체적으로 1.6:1의 비율로 일어나고 있었으며 외전초기에는 주로 관절와상완관절에서 운동이 일어나고 외전후기에는 관절와상완운동보다도 견갑흉곽운동에서 약간 더 많은 운동이 일어남을 알 수 있었다. 상지가 외전시 외회전운동은 약 70도정도가 일어나 상당히 많은 양의 외회전이 일어나고 있음을 알 수 있었으며 이 외회전운동은 외전초기에는 완만하게 일어나다 외전후기에 주로 일어나고 있음을 관찰할 수 있었다. 외전하는 동안 상완골두의 상방전위는 90도까지 3mm로 일정하게 일어나다 그 후로는 하방으로 다시 전위되어 최대외전에서는 전위의 변화가 거의 없었으며 이 전위는 견봉상완간격의 변화와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 연구는 이차원적인 견관절운동에 대한 연구로 이를 참조하여 추후 삼차원적인 입체적 분석 및 다양한 방향에서의 견관절운동에 대한 좀 더 많은 연구와 관심이 필요할 것으로 사료되었다.

REFERENCES

- 1) **Browne AO, Hoffmeyer P, An KN and Morrey BF** : Glenohumeral elevation studied in three dimensions, *J Bone Joint Surg*, 72-B:843-845, 1990.
- 2) **Flatow EL, Soslowsky LJ, Ticker JB, Pawluk RJ, Hepler M, Mow VC and Bigliani** : Excursion of the rotator cuff under the acromion: Patterns of subacromial contact. *Am J Sports Med*, 22:779-788, 1994.
- 3) **Freedman L and Munro RR** : Abduction of the arm in the scapular plane: Scapular and glenohumeral movements. *J Bone Joint Surg*, 48-A:1503-1510, 1966.
- 4) **Hamada K, Fukuda H, Mikasa M and Kobayashi Y** : Roentgenographic findings in massive rotator cuff tears: A long-term observation. *Clin Orthop*, 254:92-96, 1990.
- 5) **Harryman DT II, Sidles JA, Clark JM, McQuade KJ, Gibbs TD and Matsen FA III** : Translation of the humeral head on the glenoid with passive glenohumeral motion. *J Bone Joint Surg*, 72-A:1334-1343, 1990.
- 6) **Howell SM, Galinat BJ, Renzi AJ and Marone PJ** : Normal and abnormal mechanics of the glenohumeral joint in the horizontal plane. *J Bone Joint Surg*, 70-A:227-232, 1988.
- 7) **Inman VT** : Observations on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg*, 26:1-30, 1944.
- 8) **Jobe CM, Lanonotti JP and Linda L** : Limits imposed on glenohumeral motion by joint geometry. *J Shoulder Elbow Surg*, 281-285, 1995.
- 9) **Poppen NK and Walker PS** : Normal and abnormal motion of the shoulder. *J Bone Joint Surg*, 58-A:195-201, 1976.
- 10) **Saha AK** : Mechanics of elevation of the glenohumeral joint. *Acta Orthop Scand*, 44:668-678, 1973.
- 11) **Wuelker N, Schmotzer H, Thren K and Korell M** : Translation of the glenohumeral joint with simulated active elevation. *Clin Ortho*, 309:193-200, 1994.