

견관절의 해부학과 생역학

(Anatomy and Biomechanics of the shoulder)

고려대학교 의과대학 정형외과학교실

정 응 교

견관절은 인체의 관절 중에 가장 큰 운동범위를 나타내는 관절로 관절와 상완 관절(glenohumeral joint), 견봉 쇄골 관절(acromioclavicular joint), 흉쇄 관절(sternoclavicular joint)로 이루어져 있고, 이중 견봉 쇄골 관절과 흉쇄 관절은 견갑골과 흉곽 사이를 연결 시켜 주는 역할을 하며 견갑 흉곽 관절(scapulothoracic joint)이라 불린다¹⁾. 하지만 견관절은 고관절과 같이 안정된 골성 구조를 가지고 있지 않고 슬관절처럼 전 운동범위에서 관절이 긴장을 유지시키는 인대가 있지도 않아 상당히 불안정한 관절에 속하며 넓은 관절운동 범위를 가지면서 안정성을 유지하기 위해서는 뼈, 인대, 근육 등 여러 해부학적 구조간의 상호작용이 필수적이다^{3,28,31)}. 본문에서는 견관절의 생역학적 특징 및 이와 연관된 해부학적 특성에 대하여 논의하도록 하겠다.

견관절의 안정성 및 해부학

견관절이 가동성과 안정성간의 균형을 이루기 위한 생역학적 기전은 크게 정적 안정 기전과 동적 안정기전으로 구분 할 수 있다. 정적 안정 기전은 관절면의 경사(articular version), 관절면의 일치(articular conformity), 관절와 순(glenoid labrum), 관절 내 음압(negative intra-articular pressure), 유착력 및 응집력(adhesion-cohesion), 관절막 인대 구조(capsuloligamentous structure) 등이 있고, 동적 안정 기전은 회전근 개(rotator cuff muscles), 오목성-압력성 기전(concavity-compression), 상완 이두근 장두(long head of biceps muscle) 및 견갑골 주위 근육들의 역동적인 기능을 들 수 있다.

1. 정적 안정 기전

1) 관절면의 형태

견갑골은 중립 위치에서 흉곽에 대해 30도 전방을 향하며 관상면에서 상방으로 3도, 시상면에서 전방으로 30도 경사되어 있다^{14,16)}(Fig. 1). 대개 상완골은 경간각이 평균 130도-140도, 후염각이 평균 30도로 형성되어 있으며, 관절와는 75%에서 평균 7도 후염, 25%에서 2-10도 전염되어 있고, 5도 정도 상방으로 기울어져 있다²⁴⁾(Fig. 2). 따라서 관절와 상완 관절은 전체적으로 40도의 후방 경사를 이루고 있으며, 전방 불안정 환자에서 상완골의 후염각의 감소가 관찰되기도 하고¹³⁾, 관절와의 과도한 후

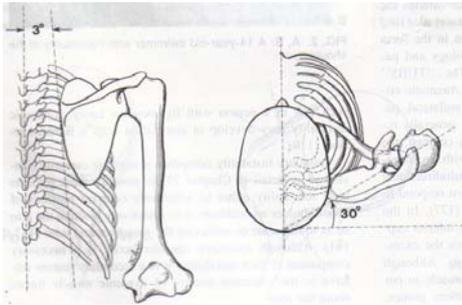


Fig. 1. Position of scapula

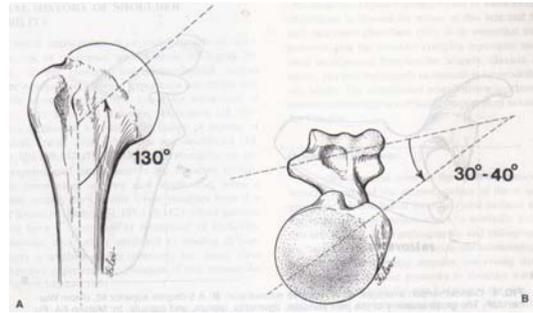


Fig. 2. Anatomy of humerus

염은 후방 불안정을 후방 불안정성을 초래할 수도 있다.

2) 관절면의 일치

관절와는 상부는 좁고 하부는 넓은 서양배 혹은 뒤집어 놓은 쉘모양을 하고 있으며 관절와의 수직 길이는 약 3.5-4 cm, 수평 길이는 2.5-3cm 로 형성되어 있다²⁷⁾. 상완골 두의 관절면은 관절와의 관절면에 3배에 해당하며 전체 상완골 두 표면적의 25-30% 만이 관절와와 접하고 있어 마치 골프공이 골프 티 위에 얹혀 있는 형상으로 불안정성을 유발하는 인자로 작용한다²³⁾. 하지만 관절와의 경우 연골이 중앙부는 얇고 주변부는 두꺼우나, 상완골 두는 그 반대여서 실제로 상완골 두와 관절와 사이의 관절면은 대개 3mm 이내로 일치하며 거의 구형의 형태를 취하고 있다²⁷⁾(Fig. 3). 또한 안정된 견관절 거상 운동시 상완골 두의 접촉점은 하방에서 후상방으로 이동하고, 관절와의 접촉점은 후방으로 이동하며 회전운동(rotation)과 평행 이동(translation)이 일어나 충분한 관절운동 각도를 형성하게 된다.

3) 관절와 순

관절와 순은 단면이 삼각형 모양을 갖은 섬유성 조직으로 관절와의 연골 가장자리에 위치한다. 관절와 순은 관절막 인대의 부착부위로서의 역할과 함께 관절면을 상하로 평균 9mm, 전후방으로 5mm

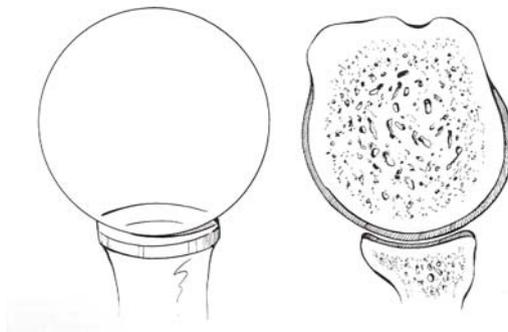


Fig. 3. Articular conformity

정도 깊게 만들어 주며, 상완골 두의 과도한 평행 이동을 제한하는 버팀목(chock block)으로 작용한다¹⁰⁾(Fig. 4).

관절와 순의 상부는 약 60% 에서 마치 슬관절의 반월상 연골판과 유사하게 관절와 연과 분리되어 있어 병적인 상태와 구별을 요하고 그 외의 부분에서는 관절와연에 견고하게 부착되어 있다. 관절와 순을 제거하면 관절와의 깊이가 50% 정도 감소하고, 전위에 대한 저항성을 20% 감소시킨다¹⁷⁾.

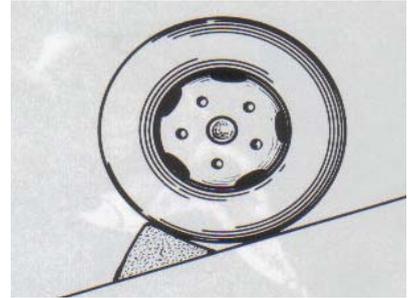


Fig. 4. Chock block effect of labrum

4) 관절 내 음압

정상 견관절에서는 간질 조직의 높은 삼투압으로 인하여 관절 내의 수분이 감소하고 이로 인하여 관절 내는 내전하여 긴장을 푼 상태에서는 42cmH₂O의 압력으로 음압이 발생되게 된다. 관절 내 음압은 견관절을 몸통에 편하게 붙인 상태에서 상완골 두의 하방 전이를 막는 중요한 역할을 하며 관절낭이나 회전근 강극의 파열로 관절 내 압력이 증가하게 되면 상완골 두의 하방 및 전, 후방 전위를 관찰할 수 있다^{7,33)}. 관절 내 음압은 견관절에 가해지는 힘과 관절 각도에 따라서 변화하게 되며^{8,12)} Inokuchi 등에 따르면 견관절이 중립위치에서 약 20도 외전시 가장 큰 음압이 측정된다고 하였다¹²⁾.

5) 유착력 및 응집력

견관절의 관절 내 활액의 양은 1ml 미만으로 활액의 점성과 분자간의 힘에 의해 유착력과 응집력이 발생한다. 응집력이란 조직의 관찰에 사용하는 슬라이드 글라스와 커버 글라스 사이에 약간의 물을 집어 넣으면 서로 떨어 지지 않는 것과 같은 성질이며 물방울이 어느 정도 가까운 위치에 있으면 어느 순간 서로 합쳐지려는 경향을 말한다. 활액의 점성이 감소하는 퇴행성 관절 질환, 관절의 접촉면이 감소하는 전위성 관절와 골절 등에서는 유착력 및 응집력이 발생하지 않는다.

6) 관절막 인대 구조

견관절의 관절낭은 매우 크고 느슨하며 상완골 두의 관절면에 비해서 약 두 배 정도의 단면적을 가지고 있으며 정상적인 견관절의 경우 약 10ml 에서 15ml 사이의 용적으로 알려져 있다. 관절막의 일부에서 비후된 부분이 있으며 이는 인대로 불리며 상, 중, 하 관절와 상완 인대 세가지로 구성되어 있다(Fig. 5).

관절와 상완 인대는 팔의 위치나 상완골에 가해지는 힘의 방향에 따라 각각 다른 부위의 인대가 작용을 하여 안정성에 기여를 하게 되며 다른 안정기전의 작용이 상대적으로 약해지는 견관절 운동의 가장 끝 단에서 가장 중요한 역할을 하게 된다²⁹⁾.

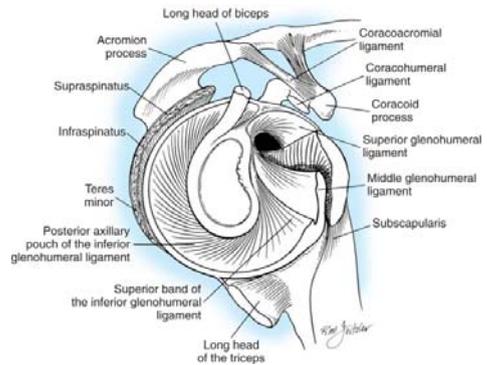


Fig. 5. Capsuloligamentous structure

(1) 오구 상완 인대, 상 관절와 상완 인대 및 회전근 간격(rotator interval)

회전근 간격은 견갑하 건의 위쪽 경계와 극상 건의 앞쪽 경계로 이루어져 있는 삼각형 모양의 섬유층으로 오구 상완 인대, 상완 이두건 장 두, 상 관절와 상완 인대가 존재한다.

오구 상완 인대는 약 1-2cm 정도 너비의 섬유성 관절 외 구조로서 오구 돌기의 기저부 및 외측연에서 기시하여 수평으로 진행하여 상완골의 이두 구 근처의 대 결절과 소 결절에 부착하고 주변의 극상 건, 견갑하 건, 관절막에 융합된다(Fig. 6). 상 관절와 상완 인대는 관절와 상완 인대 중 가장 변이가 적은 구조로 상완 이두 건 장두가 부착하는 상 관절와 결절 밑 전방 관절막에서 기시하여 상완 이두 건 장두와 평행하게 진행하다가 상완골의 소결절 전방에 부착한다³⁰⁾.

오구 상완 인대와 상 관절와 상완 인대는 견관절의 내전 위치에서 과도한 하방 전이와 외회전을 제한하며^{1,18)} 견관절이 전방 거상, 내전, 내회전 되어 있는 위치에서 후방 전이를 제한하여 상완골 두가 관절와에 위치하도록 한다.

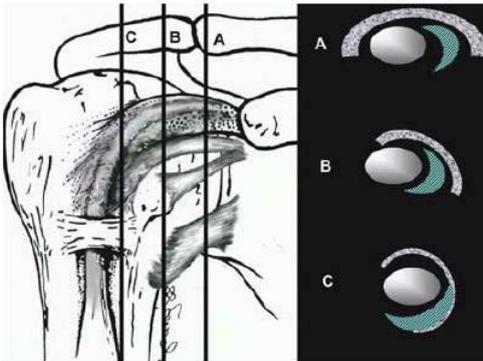


Fig. 6. CH ligament and SGHL in rotator interval

(2) 중 관절와 상완 인대

중 관절와 상완 인대는 관절와 상완 인대 중 가장 변이가 많은 인대로서 약 30% 에서는 인대가 존재하지 않는 경우도 있으며, 견관절이 60-90도 외전 및 외회전한 위치에서 상완골 두의 전방 전이를 방지하며 내전위치에서 하방 전위를 막아준다.

(3) 하 관절와 상완 인대

하 관절와 상완 인대는 관절와 순에서 기시하여 견갑하 건과 삼두건 사이를 주행하여 상완골 경부에 부착하는 구조로 전방 밴드, 후방 밴드, 액와 맹낭의 3가지 복합체로 구성되어 있다¹⁹⁾. 하 관절와 상완 인대는 주로 견관절이 외전된 위치에

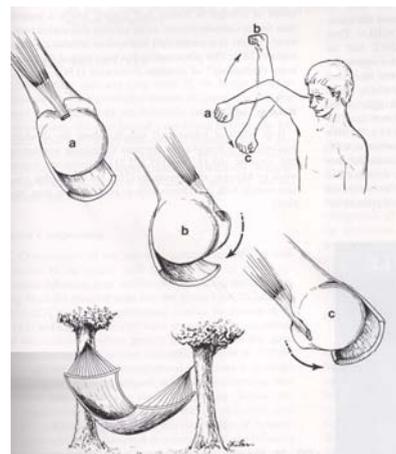


Fig. 7. Hammock effect of IGHL

서 마치 해먹과 같은 형상으로 안정성에 중요한 역할을 하게 되며, 외회전시 전방밴드가 더욱 전방으로 이동하여 전방 전위를 막아주고, 후방 밴드는 하방전위를 방지한다. 내회전시는 반대로 작용하여 견관절의 후방 및 하방 전위를 방지한다. 또한 견관절이 굴곡되면 후방 밴드가, 신전되면 전방밴드가 긴장되어 전, 후방 안정에 기여하게 된다(Fig . 7).

(4) 후방 관절막

후방 관절막은 하 관절와 상완 인대의 후방 밴드로부터 상완 이두건 장 두의 관절 내 구조까지의 견관절의 관절막 중 가장 얇은 부위로 내전, 전방 굴곡되고, 내회전 된 견관절의 후방 안정성에 기여한다고 알려져 있다³²⁾.

2. 동적 안정 기전

1) 회전근 개의 조화된 수축과 관절압박효과

회전근 개는 견관절의 안정성에 있어 정적인 역할과 동적인 역할을 모두 하고 있다. 정적인 안정성은 회전근 개의 긴장도에 의해 이루어 지고 동적인 안정성은 회전근 개가 수축을 하게 되면 상완골 두로 하여금 오목한 관절와에 대한 압축을 가해 상완골 두가 전위 되는 데 필요한 힘을 증가시키는데 이를 이를 오목성-압력성 기전이라 한다. 팔의 위치에 따른 회전근 개의 조화로운 동시 수축은 상완골 두를 관절와에 위치하도록 하는 데 중요하며²⁰⁾ 회전근 개의 비 동시성 수축이 수의적 불안정성을 유발시킬 수 있는 점을 고려할 때 관절와 상완 관절의 안정성을 유지하는 데 회전근 개의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다²²⁾.

2) 인대의 동력화(Ligament dynamization)

회전근 개와 관절막 인대 구조는 직접 연결이 되어 있어 동적 안정 기전과 정적 안정 기전 사이에 상호작용이 발생되게 된다. Clark 등⁴⁾은 견관절의 능동적 운동은 관절막과 인대를 동력화 시켜, 관절막과 인대가 상대적으로 느슨해져 있는 중간 운동 범위의 회전에서 중요한 안정화 구조물로 작용하게 한다고 하였다.

3) 견갑골 회전근

견갑 회전근으로는 승모근(trapezius m.), 능형근(rhomboides m.), 광배근(latissimus dorsi m.), 견갑거근(levator scapulae m.), 전방거근(serratus anterior) 등이 포함되며 견관절의 운동 시 상완골 두에 안정된 기저면을 제공하는 기능을 한다(Fig. 8). 견갑 회전근육의 약화나 기능 상실은 익상 견갑골(winging scapula)를 동반할 수 있으며 관절와의 경사가 감소하여 불안정성을 초래 할 수 있으며 비 출구성 충돌 증후군의 원인이 되기도 한다.

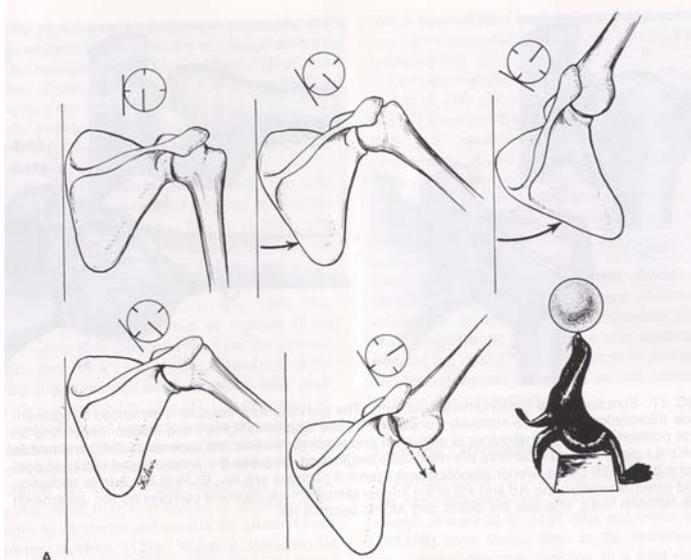


Fig. 8. Scapulothoracic motion

회전근 개와 연관된 해부학과 생역학

1. 회전근 개의 해부학

회전근 개는 전방에 견갑하건(subscapularis t.), 상방에 극상건(supraspinatus t.), 후방에 극하건(infraspinatus t.), 소 원형건(teres minor t.)으로 구성되어 있으며 견갑골의 전, 후면에서 기시하여 상완골의 대, 소결과 인접한 관절막에 함께 부착되며 어깨의 운동 외에도 회전근 간격과 액와 소강(axillary recess)쪽을 제외한 다방향의 안정성에 도움을 준다. 조직학적으로 회전근 개는 5개의 층으로 구성되어 있다³⁾(Fig. 9). 첫 번째 층은 오구 상완 인대의 침부 섬유로 구성되어 있고, 두 번째 층은 회전근 개 건의 주 구성으로 건 섬유가 상완골을 향해 평행하게 배열되어 있다. 세 번째 층은 불규칙한 건 섬유배열을 하고 있으며, 네 번째 층은 오구 쇄골 인대의 심부 층의 연장으로 피막 주위대(pericapsular band), 또는 회전색(rotator cable) 로 불리기도 하며 두 번째 층의 건 섬유와 직각으로 배열되어 건 기시부에 전달되는 힘을 분산하는 역할을 한다. 다섯 번째 층은 관절낭으로 불규칙하게 배열된 섬유를 가진다.

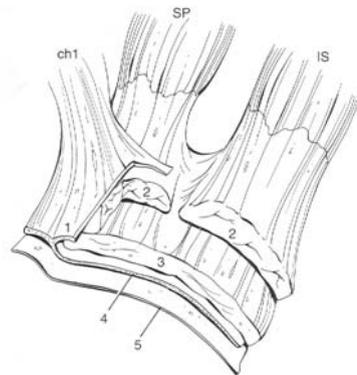


Fig. 9. Layer of rotator cuff.

회전근 개의 혈액공급은 상 견갑동맥(suprascapular a.), 전방 상완 회선 동맥(anterior circumflex humeral a.), 후방 상완 회선 동맥(posterior circumflex humeral a.), 흉견봉 동맥(thoracoacromial a.), 상 상완 동맥(suprahumeral a.), 견갑하 동맥(subscapular a.) 등이 일정하게 담당하고 있다. 이 중 후방 상완 회선 동맥과 상 견갑 동맥은 회전근 개의 후상방에 혈액을 공급하고, 전방 상방 회선 동맥은 회전근 개의 전방 및 상방을 흉견봉 동맥의 분지는 전상방 특히 극상건에 혈액을 공급한다.

2. 오구 견봉 공의 해부학

오구 견봉 공은 견봉, 오구 견봉 인대, 오구 돌기로 구성되어 있으며 견봉 하 공간의 상부 경계가 된다.

견봉의 형태에 관하여 Bigliani 등은 견봉의 시상면의 형태에 따라 견봉 하연이 평평한 I형(flat type, 17%), 완만하게 구부러진 II형(curved type, 43%), 급격하게 구부러진 III형(hooked type, 39%)으로 분류하였고 회전근 개 파열 환자의 70% 에서 III 형의 견봉을 관찰할 수 있다고 하였다(Fig. 10).

오구 견봉 인대는 견봉과 오구 돌기 사이를 연결하는 인대로 대부분 사각형(quadrangular, 48%), Y 형태(Y-shaped, 42%)를 보이고 일부에서는 넓은 띠 형태(broadbanded)를 가지고 있으며⁹⁾, 회전근 개 파열의 경우 외대가 짧고 두꺼워져 있다고 하였다²⁶⁾(Fig. 10).

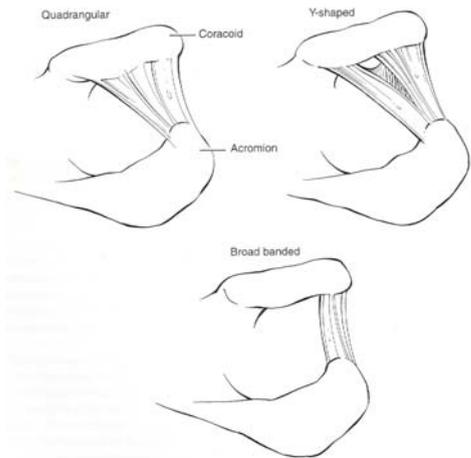


Fig. 10. Anatomical variations of CA ligament.

3. 회전근 개와 관련된 생역학

회전근 개의 기능은 다음과 같이 대별할 수 있다. 첫째, 견갑골에 대하여 상완을 회전시킨다. 둘째, 오목성-압력성 기전을 통하여 상완골 두를 견갑와로 유지시켜, 회전근 개가 정상적으로 기능을 한다면 상완골 두의 회전축은 해부학적인 골드의 중심과 2mm이내를 유지한다. 셋째, 어깨 주위의 여러 근육들 사이의 균형을 유지하는 기능을 한다. 견관절은 운동 축이 하나로 고정되어 있지 않기 때문에 특정한 운동을 위해서는 여러 근육들이 함께 작용을 해야 한다. 예를 들어 삼각근의 전방부는 견관절을 전방으로 굴곡 시키고, 내회전 시키며, 내전시킬 수 있어 순수한 전방 거상 운동을 위해서는 삼각근의 후방부와 극하근의 수축이 동반되어야 한다²⁵⁾. 이는 짝힘(force couple) 개념으로 설명이 가능한데, 하나의 근육이 수축을 하면 이와 길항 작용(antagonism)이 있는 근육이 활성화 되어 중립적인 힘을 만들어 내는 것이다. 견관절의 거상 시 삼각근이 수축을 하여 상완골 두를 상방으로 당기는 힘이 전달되면 견갑하근, 극하근, 소원형근이 수축을 하여 상완골 두를 반대 방향으로 잡아당기고, 내, 외회전의 경우에는 견갑하근과 극하근이 서로 짝힘으로 작용하여 원활한 운동이 가능하게 한다(Fig. 11.)

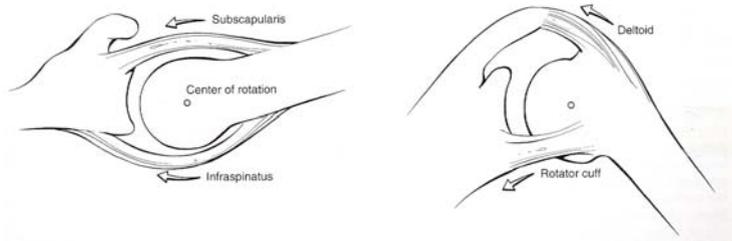


Fig. 11. Force couple.

4. 견관절의 운동학

견관절의 운동은 매우 복잡적이며 관절과 상완 관절, 견봉 쇄골 관절, 흉쇄 관절 및 견갑 흉곽 운동과 견봉하 운동 등이 유기적으로 일어나 마치 하나의 관절에서 움직이는 것 같은 양상을 나타낸다.

1) Scapulohemeral rhythm

어깨를 완전히 들기 위해서는 관절과 상완 관절 이외에 견갑골의 움직임이 동반되어야 한다. 이에 대하여 많은 생역학 적인 연구가 되고 있으며 초기에는 90도 각도까지는 관절과 상완 관절에서 90도 이상에서는 견갑 흉곽 움직임이 관여한다는 비교적 단순한 운동이 제시되었지만, 이후 관절과 상완 관절과 견갑 흉곽의 움직임이 전체 운동 각도에서 2:1의 비율로 일어난다는 결과가 보고되었다¹¹⁾. 하지만, 다른 연구에서는 어깨의 각도, 운동의 속도, 성별 등에 따라서 다양한 비율로 관절과 상완 관절과 견갑 흉곽 사이의 움직임이 있음이 밝혀 졌고, 대부분의 결과에서 30도 정도까지의 운동 초기에는 관절과 상완 관절에서 많은 움직임이 나타나고 90도 이상의 각도에서는 관절과 상완 관절과 견갑 흉곽의 움직임이 비슷하게 일어나 전체적으로는 2:1의 비율을 유지하는 것으로 이해되고 있다^{2,6,21)}. 또한 견갑골의 상하 방향의 회전 외에도 10도 정도의 전후 방향의 회전과 20도 정도의 전방 경사(tilting)가 동반되는 삼차원적인 움직임이 관여함이 보고되었다¹⁵⁾.

2) 상완골의 외회전

어깨를 완전히 거상하기 위해서는 상완골의 외회전이 필수적이다. 이는 상완골이 외회전 되면서 대결절을 후방으로 위치시켜 오구 견봉 궁 하에서 충돌되는 것을 방지하고 하방 관절막 인대 구조를 이완시켜 하방 인대의 제지 효과(checkrein effect)를 해소하기 때문이다.

3) Obligate Translation

견관절을 굴곡-신전 및 외회전-내회전 할 때 긴장되는 관절막의 반대 방향으로 상완골 두의 중심이 평행 이동하는 것을 말한다(Fig. 12). 이는 최대 관절운동 범위에서 관절막이 비대칭적으로 긴장되었을 경우 나타날 수 있으며 예를 들어 어깨를 외회전 할 경우 전방 관절막은 긴장되나 후방관절막은

이완되어 상완골 두가 후방으로 이동하는 것을 말한다. 이로 인해 회전근 개의 내적 충돌(internal impingement)이 일어나지 않으며 견관절의 전방불안정성에서는 외회전 시에도 전방 관절막이 충분히 긴장되지 못하기 때문에 상완골 두가 후방으로 이동하지 못하고 내적 충돌이 발생할 수 있다.

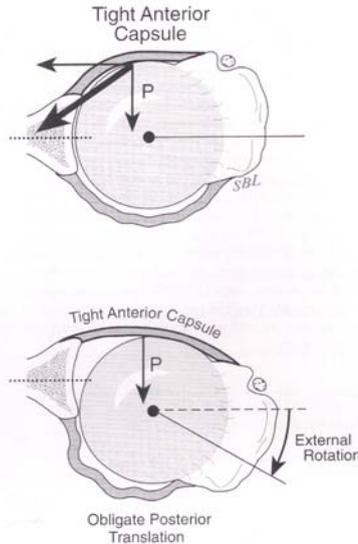


Fig. 12. Obligate translation

REFERENCES

1. Basmajian JV and Bazant FJ: Factors preventing downward dislocation of the adducted shoulder joint. An electromyographic and morphological study. J Bone Joint Surg Am, 41-A:1182-1186, 1959.
2. Bergmann G: Biomechanics and pathomechanics of the shoulder joint with reference to prosthetic joint replacement. In: Koebel R and al e ed. Shoulder Replacement. Berlin, Springer-Verlag, 1987.
3. Blasier RB, Carpenter JE and Huston LJ: Shoulder proprioception. Effect of joint laxity, joint position, and direction of motion. Orthop Rev, 23:45-50, 1994.
4. Clark J, Sidles JA and Matsen FA: The relationship of the glenohumeral joint capsule to the rotator cuff. Clin Orthop Relat Res: 29-34, 1990.
5. Clark JM and Harryman DT, 2nd: Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. J Bone Joint Surg Am, 74:713-725, 1992.
6. Doody SG, Freedman L and Waterland JC: Shoulder movements during abduction in the scapular plane. Arch Phys Med Rehabil, 51:595-604, 1970.
7. Gibb TD, Sidles JA, Harryman DT, 2nd, McQuade KJ and Matsen FA, 3rd: The effect of capsular venting on glenohumeral laxity. Clin Orthop Relat Res: 120-127, 1991.

8. Hashimoto T, Suzuki K and Nobuhara K: Dynamic analysis of intraarticular pressure in the glenohumeral joint. *J Shoulder Elbow Surg*, 4:209-218, 1995.
9. Holt EM and Allibone RO: Anatomic variants of the coracoacromial ligament. *J Shoulder Elbow Surg*, 4:370-375, 1995.
10. Howell SM and Galinat BJ: The glenoid-labral socket. A constrained articular surface. *Clin Orthop Relat Res*: 122-125, 1989.
11. Inman VT, Saunders JB and Abbott LC: Observations of the function of the shoulder joint. 1944. *Clin Orthop Relat Res*: 3-12, 1996.
12. Inokuchi W, Sanderhoff Olsen B, Sojbjerg JO and Sneppen O: The relation between the position of the glenohumeral joint and the intraarticular pressure: an experimental study. *J Shoulder Elbow Surg*, 6: 144-149, 1997.
13. Kronberg M and Brostrom LA: Humeral head retroversion in patients with unstable humeroscapular joints. *Clin Orthop Relat Res*: 207-211, 1990.
14. Laumann U: Kinesiology of the shoulder joint. In: Koebel R ed. *Shoulder Replacement*. Berlin, Springer-Verlag, 1987.
15. Laumann U: Kinesiology of the shoulder joint. In *Shoulder Replacement*. Edited by Koebel R, Berlin, Springer-Verlag, 1987.
16. Lazarus MD, Sidles JA, Harryman DT, 2nd and Matsen FA, 3rd: Effect of a chondral-labral defect on glenoid concavity and glenohumeral stability. A cadaveric model. *J Bone Joint Surg Am*, 78:94-102, 1996.
17. Lippitt S and Matsen F: Mechanisms of glenohumeral joint stability. *Clin Orthop Relat Res*: 20-28, 1993.
18. Neer CS, 2nd, Satterlee CC, Dalsey RM and Flatow EL: The anatomy and potential effects of contracture of the coracohumeral ligament. *Clin Orthop Relat Res*: 182-185, 1992.
19. O'Brien SJ, Neves MC, Arnoczky SP, et al: The anatomy and histology of the inferior glenohumeral ligament complex of the shoulder. *Am J Sports Med*, 18:449-456, 1990.
20. Poppen NK and Walker PS: Forces at the glenohumeral joint in abduction. *Clin Orthop Relat Res*: 165-170, 1978.
21. Poppen NK and Walker PS: Normal and abnormal motion of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am*, 58: 195-201, 1976.
22. Rowe CR, Pierce DS and Clark JG: Voluntary dislocation of the shoulder. A preliminary report on a clinical, electromyographic, and psychiatric study of twenty-six patients. *J Bone Joint Surg Am*, 55:445-460, 1973.
23. Rowe CR and Sakellarides HT: Factors related to recurrences of anterior dislocations of the shoulder. *Clin Orthop*, 20:40-48, 1961.
24. Saha AK: Dynamic stability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop Scand*, 42: 491-505, 1971.

25. Sharkey NA, Marder RA and Hanson PB: The entire rotator cuff contributes to elevation of the arm. *J Orthop Res*, 12:699-708, 1994.
26. Soslowky LJ, An CH, Johnston SP and Carpenter JE: Geometric and mechanical properties of the coracoacromial ligament and their relationship to rotator cuff disease. *Clin Orthop Relat Res*: 10-17, 1994.
27. Soslowky LJ, Flatow EL, Bigliani LU and Mow VC: Articular geometry of the glenohumeral joint. *Clin Orthop Relat Res*: 181-190, 1992.
28. Voight ML, Hardin JA, Blackburn TA, Tippet S and Canner GC: The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther*, 23:348-352, 1996.
29. Warner JJ and Boardman III ND: Anatomy, biomechanics, and pathophysiology of glenohumeral instability. In: Warren RF ed. *The Unstable Shoulder*. Philadelphia, Lippincott-Raven, 1999.
30. Warner JJ, Deng XH, Warren RF and Torzilli PA: Static capsuloligamentous restraints to superior-inferior translation of the glenohumeral joint. *Am J Sports Med*, 20:675-685, 1992.
31. Warner JJ, Lephart S and Fu FH: Role of proprioception in pathoetiology of shoulder instability. *Clin Orthop Relat Res*: 35-39, 1996.
32. Warren RF, Kornblatt IB and Marchand R: Static factors influencing posterior shoulder stability. *Orthop Trans*, 8:89, 1984.
33. Wulker N, Sperveslage C and Brewe F: [Passive stabilizers of the glenohumeral joint. A biomechanical study]. *Unfallchirurg*, 96:129-133, 1993.