

회전근 개 파열의 병태 생리 (Pathophysiology of the Rotator Cuff Tear)

울산대학교 의과대학 서울아산병원 정형외과학교실

전 재 명*

회전근 개 질환은 성인 어깨에 발생하는 만성적 통증의 가장 흔한 원인으로 널리 알려져 있다. 이러한 회전근 개 질환이 심각한 상태에 이르게 되면 회전근 개의 파열에 이르게 되기도 하지만 어떠한 원인 때문에 이러한 질환이 발생하며, 어떠한 과정을 거쳐서 파열에 이르게 되는지 명확히 설명하지 못하고 있으며, 근래에는 회전근 개 질환의 원인은 다양해서 한 가지로 설명하기는 어렵다고 생각하는 것이 중론이다. 거론되는 다양한 원인들은 대체적으로 회전근 개 자체의 문제에 기인하는 내부적 원인과 외부의 환경과 자극 및 힘들에서 발생하는 외부적 원인으로 대별된다. 내부적 원인에는 혈액 공급의 변화, 교원 섬유질의 변화, 국소 건 조직의 물성 변화 등이 있으며, 외부적 원인으로는 오구 견봉 궁의 형태학적 이상, 과도한 인장력, 반복적 사용, 운동 역학의 이상 등이 있다.

회전근 개 자체의 내부적 원인에는 건 자체의 혈액 순환의 문제가 가장 많이 거론되었으며, 그 이외에도 퇴행성 변화와 노화 현상 등도 중요한 병인으로 열거된다. 1934년 EA Codman은 거의 항상 회전근 개, 특히 극상건의 종지부로부터 약 1 cm 근위부 근처의 일정 부위에서 심각한 변화가 먼저 발생하는 것을 관찰하고 이 부위를 "Critical zone"이라고 이름 하였다. 그러나 어떠한

이유로 이 부위의 변화가 먼저 발생하는지는 아직 분명하지 않다. 특히 이 부위의 혈액 공급 측면에 대한 연구 보고가 많이 있었으나 아직도 논란이 있다. 회전근 개의 혈액은 전방 상완 회전 동맥, 상견갑 동맥, 견갑하 동맥, 후방 상완 회전 동맥 등을 통해서 공급되며, 소위 "Critical zone"이라고 불리는 장소는 뼈와 건을 통하여 양쪽에서 진입한 상견갑 동맥과 견갑하 동맥 분지들이 만나게 되는 점과 일치한다고 한다. Moseley 및 Goldie는 근육과 뼈에서 나오는 혈관들이 이 부위에서 망을 이루면서 혈액을 공급한다고 하였으며¹⁶⁾, Rothman 및 Parke는 이 부위가 다른 부위에 비하여 혈액 공급이 저하되어 있다고 보고하였다²¹⁾. 이에 반해 Brooks는 극상건과 극하건의 종지부 15 mm의 혈액 저하 상태는 차이가 없다고 보고하였으며⁴⁾, Iannotti¹¹⁾나 Lohr 및 Uthhoff¹⁴⁾도 혈액 순환이 저하된 증거는 없었다고 보고하였다. 이에 반하여 Rathbun 및 MacNab은 이 부위의 산소 공급이 다른 부위에 비하여 저하되는 현상이 회전근 개 질환의 원인이라고 주장하였으며, 이러한 저 산소 상태는 혈관의 분포에 기인하기 보다는 팔의 자세에 따른 현상이라고 설명하였다¹⁹⁾. 이들의 실험에 의하면 혈관에 조영제를 주입한 다음에 팔을 내전시키면 혈관 내에 조영제가 보이지 않는 반면에 팔을 외전하면

통신저자: 전 재 명

서울특별시 송파구 풍납2동 388-1

서울아산병원 정형외과학교실

Tel: 02) 3010-3941, Fax: 02) 488-7877, E-Mail: jnchun@amc.seoul.kr

조영제가 혈관을 채우는 현상이 나타났다고 보고하고 있다. 따라서 혈액 공급이 떨어진 것으로 보이는 것은 상완골 두가 극상건을 압박하여 혈액을 쥐어짜는 현상 즉 “wringing-out” 효과 때문이라고 주장하였다. 또한 Sigholm은 1 kg만 들어 올려도 견봉하 압력이 올라가 미세 순환을 차단할 만한 압력이 발생하면서 혈액 공급이 역동적으로 감소하는 현상이 발생한다고 설명하였다²³⁾. Rathbun 및 MacNab은 저 산소 상태가 반복되어 critical zone에 퇴행성 변화가 촉발되어 교원 섬유(collagen fascicles)의 분리와 분절이 나타나고 건 세포가 줄어들고 점차 건 파열이나 석회 침착으로 이행된다고 설명하였다¹⁹⁾. 견봉 들기 쪽보다 관절면 쪽의 혈액 공급이 적은 것으로 보고되고 있으며, 관절면 쪽에서 파열이 시작하는 것이 이러한 현상과 관계가 있을 것이라는 주장도 있다. 또한 관절면 쪽의 혈액 공급은 팔의 자세와는 관계없이 저하되어 있으며, 관절면 쪽이 다른 부위 보다 건의 강도가 떨어진다고 한다. 이러한 현상은 관절면 부분의 부분 층 파열이 가장 많이 발생하며 많은 파열이 이 부위에서 시작한다는 현상과 잘 설명하기 때문에 회전근 개 질환의 병인에 중요한 역할을 하는 것이라는 주장이 설득력이 있다. 그러나 Iannotti에 의하면 Laser Doppler Flowmetry를 이용하여 조사한 결과 임상적으로 충돌충후근으로 판단되었던 회전근 개에서 오히려 혈액 순환의 증거가 뚜렷하였으며, 새로운 혈관의 형성으로 파열 단단 변연부에 충혈 현상이 나타났다고 보고하였다¹¹⁾.

회전근 개의 교원 섬유는 여러 근육에서 나온 교원 섬유들이 서로 교차하며 융합하면서 배열한다. 교원 섬유는 주로 제 1형이며, endotenon에 미량의 제 3형 교원섬유가 존재한다. 퇴행성 변화, 노화, 파열 등의 변화가 있으면 제 3형의 교원 섬유가 증가한다. 건의 종지부의 건골 접합부에는 섬유 연골이 존재하며, 이 조직은 건과 연골의 특성을 동시에 가지고 있으며, 주로 제 1형의 교원 섬유로 이루어져 있으며, 연골과 같이 원형 세포와 aggrecan 같은 큰 크기의 proteoglycan 등이 높다. 특히 회전근 개는 glycosaminoglycan의 함량이 높아서 Berenson에 의하면 상완이두근 원위 종지부에 비해 2.5배라고 한다²⁾.

Glycosaminoglycan의 주요 성분은 hyaluronic acid이며 주요 proteoglycan은 aggrecan, biglycan, decorin 등으로 구성되어 있다. Berenson의 연구에 의하면 proteoglycan은 교원 섬유 다발 사이에 위치하여, 교원 섬유 다발을 분리하여 전단력을 줄이는 역할을 한다고 설명하였다²⁾. 이러한 부분은 관절 연골과 마찬가지로 압력에 저항하는 부분이며 주로 건의 종지부에 위치하며, 각각의 건에 따라 섬유 연골의 상태가 다르다고 하였다. 이러한 섬유 연골의 존재의 의미는 논란이 있어서 Refior²⁰⁾등은 퇴행성 변화 때문이라고 하였으나 Benjamin 및 Ralphs는 적응의 결과로 보기도 하였다¹⁾. 이러한 섬유 연골과 섬유 연골 세포의 양은 압력과 관련하여 변화하여 압력을 제거하면 섬유 연골의 양이 감소하며, 큰 크기의 proteoglycan 양도 감소한다고 한다. 이러한 섬유 연골의 존재는 건과 뼈의 이행부에 있기 때문에 마치 전선 코드의 이행부 역할을 하는 것과 유사하다고 분석하기도 한다(Fig. 1). 이러한 섬유 연골 부분은 인장력과 압력이 동시에 작용하는 부위라는 것을 시사한다. 이렇게 인장력과 압력이 같이 작용하면 건 조직이 점차 섬유 연골로 변화되기 쉽고, 나아가서는 파열을 유발한다고 설명하

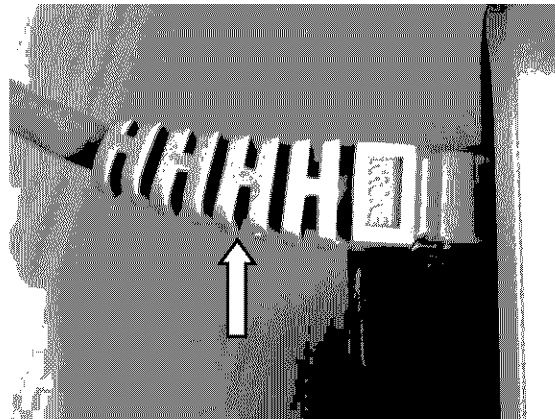


Fig. 1. Grommet of an electrical cord. The grommet (arrow) is placed around an electrical cord to prevent shearing damage to wires at the point where it enters the plug. Fibrocartilage of the tendon is similar to the grommet of an electrical cord. Both of the fibrocartilage and grommet are located between a fixed portion and mobile part.

기도 한다.

Clark 및 Harryman 등에 의하면 회전근 개는 다섯 개의 층으로 구성되어 있다고 한다⁷⁾. 이에 의하면 가장 겉에는 오구 상완 인대의 섬유에서 시작하는 섬유가 자리하며, 그 밑에 회전근 개 주요 실질부에 해당하는 섬유가 있으며, 그 다음에는 회전근 개에서 나오는 부정형의 조직이 위치하며, 그 밑에 오구 상완 인대에서 깊숙이 뻗어 나온 섬유로 이루어진 성근 조직이 회전근 개 조직과 수직으로 배열되어 있고, 마지막으로 가장 깊은 층에는 관절막 층이 자리한다. Gohlke 등은 근건 접합부에서 교원 섬유가 평행으로 배열하지만 중저부에 가까워지면서 점점 편평해지며 45도 각으로 서로 교차하는 섬유가 나타나고 여러 방향으로 섬유가 배열된다고 하였으며, 여러 층이 분명하기 때문에 이 들 사이에서 전단력이 작용하여 회전근 개 파열을 유발하는 원인으로 역할 하는 것으로 해석하였다¹⁰⁾.

Itoi에 의하면 극상건의 인장 특성은 앞부분이 가장 강하다고 보고하였으며¹²⁾, 이 부분이 주요 기능을 담당한다고 알려져 있다. 또한 Nakajima 등에 의하면 극상건의 관절면 쪽이 견봉 쪽 보다 약하다고 증명하여¹⁷⁾, 관절면 쪽의 부분 층 파열이 견봉 쪽의 부분 층 파열보다 빈발하는 원인을 설명하였다. 그러나 이러한 현상이 섬유의 배열에 따른 차이인지 구조적인 원인에 따른 차이인지는 불확실하다. 네 개의 회전근 개 중에서 파열이 발생하는 빈도는 극상건에 두드러지게 많이 발생하는 것은 널리 알려져 있으나, 어떠한 이유로 극상건이 특별히 취약한지는 뚜렷하지 않다. 다만 극상건은 상완골 두를 약 30도 각도로 감싸고 있으며, 이러한 형태는 쉬는 자세에서 더욱 심해지는 반면에 극하건 및 견갑하건은 팔의 회전 각도에 따라 다르지만 기본 방향은 비교적 직선 방향으로 진행한다(Fig. 2). 이러한 형태는 극상건이 인장력에 더욱 자주 노출되고, 따라서 파열에 특히 취약한 현상과 잘 일치한다. 또한 극상건이 파열되면 견갑하건 쪽 보다는 극하건 쪽으로 파열이 진행되기 쉬운 것도 극하건이 견갑하건 보다 인장력에 더욱 자주 노출되는 것과 관계가 있을 가능성이 있다.

외부적 요인 중에서 가장 널리 알려져 있는 것

은 오구 견봉 궁과 회전근 개의 충돌에 의해서 질환이 발생한다는 충돌설이다. Neer는 1972년 충돌 증후군이라는 설로 회전근 개 파열을 설명하면서 견봉 돌기의 앞부분, 오구 견봉 인대, 견봉 쇄골 관절의 골극 등과 회전근 개가 반복적으로 충돌하여 파열이 발생한다고 설명하였다¹⁸⁾. 그에 이어 Bigliani등이 견봉 돌기 앞부분의 형태와 회전근 개 파열이 관계가 깊다고 주장하여 널리 알려지게 되었다⁹⁾. 이에 따르면 견봉 돌기의 앞부분은 세 가지 형태로 편평형(flat type), 만곡형(curved type), 돌출형(hooked type)이 있으며, 그 중에서 특히 돌출형에서 회전근 개 전 층 파열의 빈도가 높다고 보고하였다⁹⁾. 돌출형 견봉 돌기의 경우에는 견봉 돌기가 견봉하 공간으로 지나치게 돌출되어 회전근 개와 충돌이 자주 일어나기 때문에 전층 파열이 빈발한다고 주장하였다. 오구 견봉 인대가 두꺼워 지면 견봉하 공간이 좁아져서 충돌 현상의 가능성이 높아지기 때문에 견봉 돌기에 부착하는 오구 견봉 인대의 외측 부분도 회전근 개와 충돌하는 구조로 지적되고 있다. Flatow등의 stereophotogrammetry를 이용한 연구에 의하면 오구 견봉 궁과 회전근 개의 접촉은 60도 내지 120도에서 접촉면이 가장 넓어지며, 돌출형 견봉 돌기에서는 더욱 접촉면이 증가

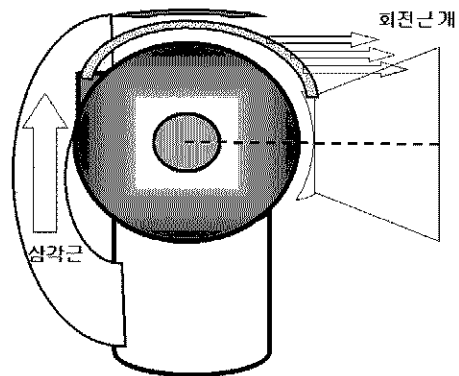


Fig. 2. Schematic drawing of the shoulder. The structure of the shoulder looks like a machine. Rotator cuff function should be cooperative with the deltoid for the forward elevation of the arm. Without the rotator cuff, there should be repetitive encroachment of the rotator cuff between the acromion and the humeral head.

하며, 광범위한 접촉은 완충 작용을 하며, 상완골 두의 상방 전위에 대한 수동적 안정 기전으로 작용한다고 밝혔다⁹⁾. 이들이 관찰한 60도 내지 120도에서 오구 견봉 궁과 견봉 돌기의 접촉면이 가장 넓어진다는 사실은 Kessel이 견봉하 공간의 문제에 따른 동통 궁(painful arc)이 60도 내지 120도 외전에서 발생한다고 지적한 견해와 일치한다¹³⁾. Soslowsky는 쥐를 통한 실험에서 bacterial collagenase를 주입하여 회전근 개의 퇴행성 변화를 유발하였으며, 이러한 변화가 기계적인 자극이 있을 경우에만 변화가 지속됨을 관찰하여 기계적인 충돌 현상과 퇴행성 변화가 복합적으로 작용하여야 병변의 변화가 진행된다고 밝혀 복합요인설을 뒷받침하였다²⁰⁾. 그러나 이러한 충돌설의 가장 큰 문제는 임상적으로 이미 널리 증명된 비수술적 운동 치료의 효과에 대한 기전을 잘 설명하지 못한다는 점에 있다.

Sharkey 및 Marder²²⁾에 의하면 외전을 할 때 회전근 개가 동시에 수축하면 삼각근의 근력이 26% 내지 36%의 감소되어도 동일한 외전이 가능하며, Thompson 등은 극상근 마비가 있으면 외전을 시작할 때 삼각근의 근력이 크게 증가한다고 보고하였다²⁵⁾. Wuelker등에 의하면 견봉 돌기의 전외측 모서리가 가장 접촉압력이 높으며, 극상근을 제거하면 압력의 8%가 감소하며, 견갑하근, 극하근, 소원형근을 제거하면 압력이 61%가 증가한다고 밝혔다²⁶⁾. 이러한 결과는 견갑하근, 극하근, 소원형근 등에 의해서 삼각근이 상완골 두를 위쪽으로 전위시켜 오구 견봉 궁과 충돌하게 하는 현상을 해소하는 현상을 잘 설명해 주고 있다. 한편 Flatow등의 연구에 의하면 극상근의 근력을 없애고 건을 남겨 두면 상완골 두의 상방 전위가 약간 증가하지만 극상근 자체를 제거하면 상완골 두의 상방 전위가 심각하게 증가한다고 밝혔다⁸⁾. 이러한 결과는 극상근 자체에 간격 유지 효과(spacer effect)가 있다는 사실을 증명하였으며, 이러한 결과는 전 층 파열을 봉합하는 것이 바람직하다는 견해에 대한 이론적 뒷받침이라고 할 수 있다. 정리하면 상완골 두의 상방 전위를 막는 능동적 기전은 극하근, 견갑하근, 소원형근 등의 근력이며, 수동적 기전은 상완 이두근, 극상근, 오구 견봉 궁 등이 이에 속한다. Burkhart

에 의하면 회전근 개가 파열되어도 견갑하근 및 극하근의 역할로 발생하는 횡우력(transverse force couple)이 유지되면 견관절의 운동 기전이 크게 훼손되지는 않는다고 하였다⁹⁾. Morrison은 삼각근의 근력이 회전근 개의 근력 보다 잘 유지되어 나이가 들면 상대적으로 삼각근의 근력이 회전근 개 보다 강하게 되어 상완골 두의 상방 전위의 경향이 유발되고 이에 따라 충돌 현상이 유발된다고 주장하였다¹⁵⁾. 이러한 사실들은 회전근 개 질환의 경우에 상완골 두가 극상근 출구 속으로 과도하게 침범하는 사실과 잘 맞으며^{6,27)} (Fig. 3), 회전근 개의 근력을 강화하면 회전근 개 질환으로 인한 증상이 해소되는 임상적 경험도 잘 설명해 준다.

앞에서 열거한 여러 원인들이 모두 회전근 개 파열에 직간접으로 관여한다고 생각되어 근래에는 복합요인설이 가장 널리 인정받고 있다. 즉 외부적 요인으로는 오구 견봉 궁의 형태의 이상, 과도한 인장력, 반복적인 사용 등이 있으며, 내부적으로는 혈액 순환의 이상, 교원 섬유증의 이상, 건 조직 성상의 이상 등이 포함된다. 그러나 이러한 여러 원인 중에 어떠한 원인이 가장 중요하며, 각각의 요인들이 차지하는 중요성은 어떻게 차이가 있는지에 대해서는 명확히 밝혀지지 않았다. 또한

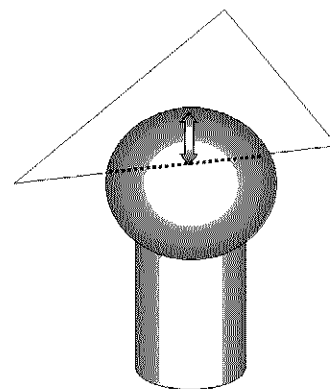


Fig. 3. Intrusion of the supraspinatus outlet by the humeral head. Space of the supraspinatus outlet can be narrowed by both way of the lowering the ceiling, such as an acromial spur, and the elevating the floor (arrow), the humeral head.

이러한 복합적인 요인들을 어떻게 임상적으로 연결시켜서 환자 치료에 적용할 것인지도 명확하지가 않다.

이제 까지 연구된 바를 종합해 보면 회전근 개 질환을 초래하는 명확한 원인과 상세한 진행 과정을 모두 설명할 수는 없으며 일부에서는 논란이 지속되고 있으나, 삼각근에 비해 상대적으로 회전근 개의 기능이 떨어져서 상완골 두가 반복적으로 상방으로 전위되는 경향과 관계가 깊다는 것은 분명하다. 따라서 회전근 개 질환의 치료는 회전근 개가 잘 기능할 수 있는 상태를 만들고, 그 기능을 다시 회복시켜, 상완골 두가 관절와 중심에서 위쪽으로 치우치는 경향이 없도록 하는 것이 치료의 근간을 이루어야 한다는 점은 분명하다.

REFERENCES

- 1) **Benjamin M and Ralphs JR**: Functional and developmental anatomy of tendons and Ligaments. In Gordon SL, Blair SJ, Fine LJ (eds): Repetitive motion disorders of the upper extremity. Rosemont, IL, *American Academy of Orthopaedic Surgery*, 1995.
- 2) **Berenson MC Blevins FT and Plaas AHK**: Proteoglycans of human rotator cuff tendons, *J Orthop Res*, 14:518-525, 1996.
- 3) **Bigliani LU, Morrison D and April EW**: The morphology of the acromion and its relationship to the rotator cuff tears. *Orthop Trans*, 10:228, 1986.
- 4) **Brooks CH and Revell WJ**: A quantitative histological study of the vascularity of the rotator cuff tendon. *J Bone Joint Surg*, 74-B:151-153, 1992.
- 5) **Burkhart SS**: Reconciling the paradox of rotator cuff repair versus debridement: A unified biomechanical rationale for the treatment of rotator cuff tears. *Arthroscopy*, 10:4-19, 1994.
- 6) **Chun JM, Bin SI and Kim E**: Intrusion of supraspinatus outlet by the humeral head in rotator cuff disease. *J Korean Shoulder Elbow Society*, 1:250-255, 1998.
- 7) **Clark JM and Harryman DT II**: Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff: Gross and microscopic anatomy. *J Bone Joint Surg*, 74-A:713-725, 1992.
- 8) **Flatow EL, Kelkar R and Raimondo RA**: Active and passive restraints against superior humeral translation: The contributions of the rotator cuff, the biceps tendon, and the coracoacromial arch. *J Shoulder Elbow Surg*, 5:S111, 1996.
- 9) **Flatow EL, Soslowsky LJ and Ticker JB**: Excursion of the rotator cuff under the acromion. *Am J Sports Med*, 22:779-788, 1994.
- 10) **Gohlke F, Essigkrug B and Schmitz F**: The pattern of the collagen fiber bundles of the capsule of the glenohumeral joint. *J Shoulder Elbow Surg*, 3:111-128, 1994.
- 11) **Iannotti JP**: Rotator cuff disorders: *Evaluation and Treatment*. Rosemont, IL, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1991.
- 12) **Itoi E, Berglund LJ and Grabowski JJ**: Tensile properties of the supraspinatus tendon. *J Orthop Res*, 13:578-584, 1995.
- 13) **Kessel L and Watson M**: The painful arc syndrome. *J Bone Joint Surg* 59-B:166, 1977.
- 14) **Lohr JF and Uthoff HK**: The microvascular pattern of the supraspinatus tendon. *Clin Orthop*, 254:35-38, 1990.
- 15) **Morrison DS**: Conservative management of partial thickness rotator cuff lesions. In Burkhead WZ Jr (ed). *Rotator cuff disorders*. Baltimore, Williams & Wilkins, 249-257, 1996.
- 16) **Moseley HF and Goldie I**: The arterial pattern of the rotator cuff and the shoulder. *J Bone Joint Surg*, 45-B:780-789, 1963.
- 17) **Nakajima T and Rokuuma N and Hamada K**: Histologic and biomechanical characteristics of the supraspinatus tendon: Reference to rotator cuff tearing. *J Shoulder Elbow Surg*, 3:79-87, 1994.
- 18) **Neer CS II**: Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: A preliminary report. *J Bone Joint Surg*, 54:41-50, 1972.
- 19) **Rathbun JB and MacNab I**: The microvascular pattern of the rotator cuff. *J Bone Joints Surg*, 52-B:540-553, 1970.
- 20) **Refior HJ, Krodel A and Melzer C**: Examinations of the pathology of the rotator cuff. *Arch Orthop Trauma Surg*, 106:301-308, 1987.
- 21) **Rothman RH and Parke WW**: The vascular anatomy of the rotator cuff. *Clin Orthop*, 41:176-186, 1965.
- 22) **Sharkey NA and Marder RA**: The rotator cuff

- soopses superior translation of the humeral head. *Am J Sports Med*, 23:100-105, 1995.
- 23) **Sigholm G, Styl J and Korner L, et al**: Pressure recording in the subacromial bursa. *J Orthop Res*, 6:123-128, 1988.
- 24) **Soslowsky LJ, Carpenter JE and DeBano CM**: Development and use of an animal model for investigations on rotator cuff tendinosis. *J Shoulder Elbow Surg*, 5:383-392, 1996.
- 25) **Thompson WO, Debski RE and Boardman ND III**: A biomechanical analysis of rotator cuff deficiency in a cadaveric model. *Am J Sports Med*, 24:286-292, 1996.
- 26) **Wuelker N, Plitz W and Roetman B**: Biomechanical data concerning the impingement syndrome. *Clin Orthop*, 303:242-249, 1994.
- 27) **Zuckerman JD, Kummer FJ and Cuomo F**: The influence of coracoacromial arch anatomy on rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg*, 1:4-14, 1992.