

Pathophysiology of Rotator Cuff

조선대학교 의과대학 정형외과학교실

문영래

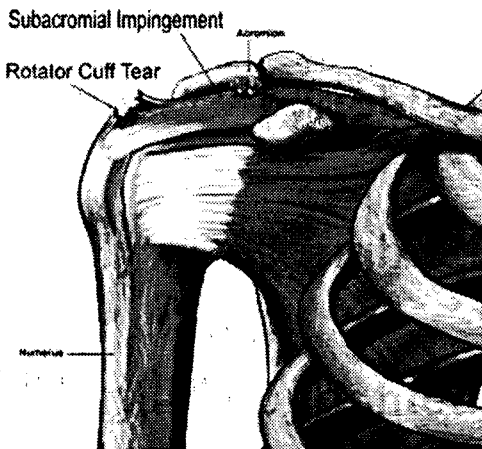


Fig. 1.

Rotator cuff tendon의 degeneration

- Tendon proper와 attachment zone의 구조적 변화를 말함
- 이러한 변화가 degeneration이 다양한 정도의 tendon tear를 동반한 painful한 shoulder syndrome을 동반

SOFT TISSUE AROUND THE GLENOGUMERAL JOINT

Glenohumeral joint는 넓은 범위의 관절운동을 얻은 대신 약한 안정성이 문제되며 안정성에 관여하는 shoulder의 rotator cuff tendon과 soft tissue은 쉽게 손상받고 퇴행 변화가 온다.

The Glenoid Labrum

- 대부분 dense fibrous tissue로 구성되어 있고 articular cartilage에 가까이 갈수록 fibrocartilagenous tissue로 교체⁴⁾
- 나이가 들어 갈수록 elastin fiber는 감소
- Labrum의 periphery vascularity가 나이가 들에 따라 감소¹⁵⁾
- Trauma

- 운동선수에서 잘 발생
- Labral damage를 일으킴
- Partial tear의 정도와 cuff이 쇠약으로 degenerative change가 발생

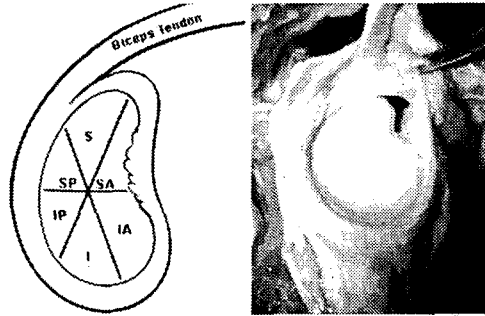


Fig. 2.

The capsule

- Biceps의 long head와 rotator cuff tendon과 함께하여 생역학적 작용에 중요한 역할을 담당
- Lax하고 labrum에서부터 scapular neck의 전방부, 상완골의 anatomical neck, proximal shaft까지 감²⁰⁾
- Glenohumeral lig와 coracohumeral lig에 의해 capsule 강화
- 연령 증가에 따라
 - Tendile strength가 감소하면서 약해짐

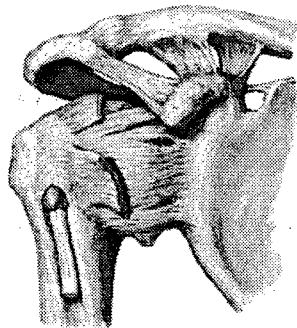


Fig. 3.

The Subacromial Bursa

- Rotator cuff tendon 위에 놓여 있으며, subdeltoid bursa와 연결
- Bursa 내강은 한층 이상의 synovial cell layer로 덮여 있으며, bursal wall은 혈관이 풍부한

fibrofatty tissue로 구성되어 다양한 두께를 가지고 supraspinatus의 peritendon과 붙어서 구별이 어렵다.

- Subacromial bursitis
 - Rotator cuff의 complete tear시 glenohumeral joint와 acromial bursa 연결되고 bursitis가 발생

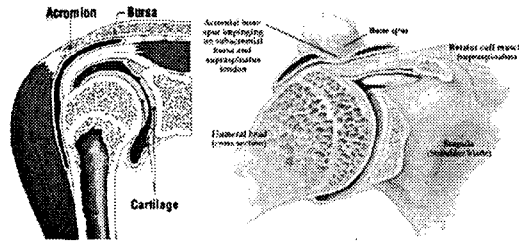


Fig. 4.

The Rotator Cuff Tendon

- Subcapularis & supraspinatus의 tendon이 연장되면서 long head of biceps의 근위부를 둘러싸면서 sheath를 형성²⁾
- Cuff tendon은 lateral 쪽에서는 단단히 붙어있지만 medial 쪽은 분리되어 있음
- Tendon proper와 attachment zone으로 구성
 - Tendon proper-Type I & III collagen
 - Attachment zone-Type II collagen이 대부분
- Attachment zone의 부분(#4)
 1. Nonmineralized fibrocartilage (Tendon proper와 붙는 부위)
 2. Blue line
 3. Mineralized fibrocartilage zone: 두께가 다양
 4. Bone
- Aging process에 따른 pathologic change는 대부분 이 부위에서 발생

The Coracoacromial Ligament

1. 표층부 - Acromion의 anteromedial면에 부착
 2. 심부 - Acromion의 undersurface에 부착
- Coracoacromial arch
 - The importance of contact and load transfer between the rotator cuff and the coracoacromial arch in the function of normal shoulders
 - No gap between the superior cuff and the coracoacromial arch
 - Shoulder가 움직이는 동안 humeral head는 cuff와 bursa와 함께 서면서 딱딱한 arch 아래를

부드럽게 glide

- Acromion의 spur formation¹³⁾
 - Anteromedial corner에서 endochondral ossification을 통해 발생.



Fig. 5.

PATHOPHYSIOLOGY OF DEGENERATIVE CHANGES

- DM이나 RA, heavy manual worker에서 주로 잘 발생
- Rotator cuff tendon의 degeneration
 - ▶ Intrinsic-Tendon 자체의 문제
 - ▶ Extrinsic-Tendon 외부의 구조적 이상
 - Intrinsic causes
 - "Critical zone" concept
 - Tendon vascularity
 - Wear-and-tear effect
 - Aging
 - Extrinsic cause
 - Impingement process
 - ▶ Intrinsic & extrinsic cause가 동시에 작용하여 퇴행 변화가 발생
 - Supraspinatus tendon의 tear는 다른 tendon의 lesion을 동반
 - 위와 같은 degeneration은 middle age나 노인에서 증가
 - 어린 나이에서는 어깨를 위로 많이 사용하는 운동선수에서 발생

Critical Zone and Tendon Vascularity

Codman의 연구³⁾

- ▶ "Critical portion"
 - 증상을 주로 유발하는 supraspinatus tendon tear와 calcifying tendonitis는 이 부위에서 발생
 - tendon 부착부에서 1/2 inch 근위부에 위치

Moseley와 Goldie의 연구

- ▶ Codman의 critical portion의 blood supply
 - Muscular & osseous end에서 유래되는 vascular network에서 tendon에 supply한 후

anastomosis되는 자리

Rothman과 Parke의 연구¹⁸⁾

- ▶ Critical zone은 markedly “undervascularized”
- ▶ Poor blood supply 하에 있는 것이 critical zone의 lesion이 발생하는 중요한 원인

Rathbun & Macnab의 연구¹⁷⁾

- ▶ Critical zone의 hypoxia에 대한 연구
- ▶ “Wringing out effect”
 - Shoulder의 position에 따라 vasculaty가 변화

Macnab의 연구

- ▶ Hypoxia 상태의 반복으로 critical zone의 degenerative change 발생하고 다음 tear나 fragmentation으로 진행

지속적인 microangiographic 연구

- ▶ Articular side는 bursal side보다 vascularity가 적고 tensile strength가 약해 부분 파열이 잘 발생하고 다음 전층 파열로 진행
- ▶ Humeral head의 articular cartilage와 supraspinatus insertion 사이에 위치한 sulcus의 widening 이 나이가 들수록 자주 발견되는데 이는 incomplete tear가 원인일 수 있다.

Wear-and-Tear Effect and Aging

Meyer's concept

- ▶ Wear-and-Tear effect
 - “hour to hour, day to day, month to month, year to year and decade to decade”
 - Shoulder motion의 범위보다는 반복 사용으로 soft tissue degeneration이 발생
 - 이 개념은 shoulder가 가장 많이 사용하는 관절이므로 쉽게 평가가 가능
 - Soft tissue의 변화
 - Capsule: 얇아지고 다음 결손이 발생
 - Subacromial bursa: Smooth lining이 소실되고 단단해진다.
 - Cuff tendon: Fascicle이 갈라지고 얇아지면서 부분 또는 전층 파열이 발생
 - 이러한 변화-Aging에서 일어남

Wilson과 Duff의 tendon aging에 대한 연구

- ▶ 나이에 따라 blood vessel 수는 증가
- ▶ Attachment zone의 fibrocartilage
 - Tidemark가 분리되면서 넓어지고 fibrillated

Brewer의 autopsy를 통한 aging process 연구:

- ▶ 나이가 들어감에 따라 cuff tendon의 fibrillation과 integrity의 소실이 발생
- ▶ Attachment zone의 병변 부위에서 Type III collagen이 증가
 - Mechanical property의 감소를 의미

Yamanaka & Fukuda의 aging process 연구⁷⁾

- ▶ 40세 이상에서 incomplete tear가 7.9%, completer tear가 14.5%
 - 전부 Critical zone에 위치

Elderly humerus에서 tear를 제외한 supraspinatus tendon의 histologic finding

1. Tendon proper fascicle의 thinning과 fibrillation로 인한 endotendon의 Bradening
 2. Nonmineralized fibrocartilage의 calcific deposit의 침착과 blue line의 irregular thickening
 3. Fibrocartilage의 microtears
 4. Fibrovascular tissue에 의한 blue line의 손상
- ▶ 연령 증가에 따라 tendon insertion 부위와 critical zone은 쉽게 손상되게 된다.

The Process of Impingement

▶ Definition of Condition

- Subacromial space에서 supraspinatus tendon의 smooth gliding을 방해하는 병적 상태
- 이러한 과정을 tendon 자체나 coracoacromial arch에서 발생

▶ Impingement?

1. Mechanical compression
2. Supraspinatus tendon
3. Subacromial bursa
4. Long head of the biceps tendon
 - under the coracoacromial arch

▶ Impingement occurs against²⁾

- The ant. Edge of the acromion process
- Coracoacromial ligament, and at times the acromioclavicular joint

▶ Decrease in space due to

- Thickening of ligaments
- Thickening of muscle tendons
- Inflammation

▶ Athletes at risk

- Swimming, Rowing, Weight lifting, Tennis, basketball, baseball

▶ Sudden increase in

- Frequency, intensity or duration of training regimen
- ▶ Atrophy of muscles
 - Painful abduction between 60-120 degrees
 - Painful straight arm shoulder flexion
- ▶ Classification
 1. Intrinsic
 2. Extrinsic
 - Impingement syndrome
 - Rotator cuff의 95%-impingement로 시작

Neer의 연구¹²⁾

- ▶ Three progressive stages:
 - Stage I: Edema and hemorrhage of the bursae and tendons
 - Stage II: Thickening and fibrosis of the bursae and tendons
 - Stage III: Tendon failure and bony changes

Bigliani등의 연구¹⁾

- Hooked (type III) acromion은 tear 환자의 70%에서 이차적으로 impingement syndrome 발생
- Impingement syndrome의 한 요소로 생각되는 acromion spur는 impingement의 일차적인 원인보다는 결과로서 나타남¹⁰⁾
- ▶ 외적요인으로는 coracoacromial ligament의 thickening or stiffening에 의해서도 가능
 - 그러나 CA ligament의 thickening이 stiffening과 관계없이 fatty change와 microtear 발생¹⁹⁾
 - AC joint osteophyte도 impingement를 일으킬 수 있지만 팔을 최대 internal rotation 하거나 최대 abduction-internal rotation 상태에서 발생
- ▶ 내적요인으로는 tendinopathy가 impingement의 주범

Coracoid impingement

- Coracoid process의 이상^{5, 8, 9, 14)}
- Subscapularis tendon tear의 원인^{14, 16)}

Calcification

- ▶ Dystrophic calcification⁹⁾
 - 손상되거나 죽은 연부조직에의 칼슘 침착
- ▶ 주변에 살아있는 조직의 치유가 없는 손상되거나 괴사된 조직에서 나타나며 혈청 칼슘 level의 증가와 관련이 없음

- ▶ Calcification이 greater tuberosity 상부에 접상으로 관찰
 - Rotator cuff injury의 poor prognosis 암시
- ▶ Calcifying tendonitis와 구별을 요함.
 - Calcifying tendonitis : nondegenerative disorder, 흡수되면서 healing됨
 - Dystrophic calcification: 시간이 지나도 흡수되지 않는다.

Repair

Cuff tendon에서 degenerative change가 있을 때

1. Cuff tendon의 degeneration이 reversible 한지
 2. Cuff tendon이 repair할 능력이 있는지
 3. Tendon repair가 필요할 경우 주위에 연부조직이 있는지를 생각
- ▶ Repair activity의 증가
 - Healing tendon에서 collagen type III의 존재¹⁾
 - Cuff tear시 tendon과 bursal wall의 perivascular area에 type III 발견
 - Healing시 collagen type III 증가
 - Scar가 mature됨에 따라 type I으로 대체

치료를 선택할 때 염두에 둘 사항

1. Rotator cuff tendon의 degenerative change는 피할 수 없고 되돌릴 수 없는 과정이지만 모든 cuff tendinopathy가 degenerative change의 원인이 되지 않음.
2. Degenerative tendinopathy는 연령 증가에 따라 진행하고 악화될 수 있지만, calcific tendonitis는 자체 치유가 되며 결과가 우수하므로 degenerative cuff tendinopathy로 간주되어서는 않된다.
3. 항상 impingement가 tendinopathy에 의한 것인지 coracoacromial arch 자체의 문제인지 파악하여 불필요하고 효과도 없는 수술을 피하라.
4. 손상된 tendon은 자체 치유력이 있어 이를 염두에 두고 치료에 임한다.

BIOMECHANICAL RATIONALE OF ROTATOR CUFF REPAIR^{1, 2, 4)}

- RTC tears that are biomechanically intact
- ▶ FUNCTION CUFF TEAR
 - Intact force couples
 - Stable fulcrum kinematic pattern
 - Intact suspension bridge
 - Tear within minimal surface area
 - Edge stability
- ▶ INTACT FORCE COUPLES
 - Coronal force couple

- Transverse force couple
- ▶ Force couples
 - Transverse plane force couple
 - Coronal plane force couple
- ▶ Balanced force couple
 - Equal distance
 - Unequal distance
- ▶ Kinematic Patterns
 - Type I: Stable fulcrum Kinematics
 - Type II-Unstable fulcrum kinematics
 - Posterior Cuff Tear Pattern
 - Type III: Captured Fulcrum Kinematics
 - Type IV: Unstable Fulcrum Kinematics
 - Subscapularis tear pattern
- ▶ STABLE FULCRUM KINEMATIC PATTERN
 - Stable motion
 - Type I
 - Type III
 - Unstable motion
 - Type II
 - Type IV
- ▶ Type I-Stable Fulcrum Kinematics
 - Tears of the superior rotator cuff and part the post. cuff
 - Supraspinatus and part of the infraspinatus
 - Preservation of essential force couples in the coronal and transverse planes such that the patients had normal motion and near normal strength
- ▶ Type II-Unstable Fulcrum Kinematics
 - Posterior cuff tear pattern
 - All of the superior and posterior rotator cuff
 - Active motion consisted of little more than a shoulder shrug
 - Exhibited uncoupling of the essential force couples in the coronal and transverse planes, with the inability to create a stable fulcrum for glenohumeral motion
- ▶ Subscapularis Tear Pattern
 - Type III: Captured Fulcrum Kinematics
 - Type IV: Unstable Fulcrum Kinematics
- ▶ Type III-Captured Fulcrum Kinematics
 - Acromiohumeral fulcrum kinematics
 - Two groups

- Shout awning
- Long awning
- ▶ Long awning
 - Impingement on the ant acromion
 - Elevation & full forward elevation
 - Limited
- ▶ Type IV: Unstable Fulcrum Kinematics
 - Subscapularis tear pattern
 - Reverse type II
 - All of the sup. cuff (supraspinatus) and all of the ant cuff (subscapularis)
 - Post cuff is intact
 - Shoulder elevation-poor
- ▶ Fluroscopic finding
 - Subluxation in the coronal and transverse planes, with an inability to create a fulcrum for glenohumeral motion
 - External rotators
 - Intact and strong
 - Lift of test (+)
 - Loss of transverse plane force couple
- ▶ Suspension bridge model

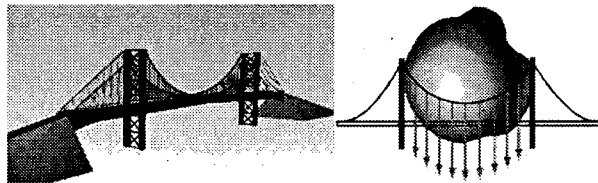


Fig. 6.

- ▶ MINIMAL SURFACE AREA
 - Structural Engineering term
 - That applies to tension structure
 - Tents
 - Fabric-covered airplane wings
 - Saddle-shaped roof designs
 - Smallest area
- ▶ Frame for this minimal surface area
 - The rotator cable

- The arching bony attachment of supraspinatus and infraspinatus onto the greater tuberosity
- ▶ **EDGE STABILITY**
 - Subacromial edge instability
 - Articular edge instability
- ▶ **CLINICAL IMPLICATIONS**
 - FCT tears with little retraction and a redundant edge can be tacked down by a simple repair
 - Unrepaired tears 5 criteria
 - Good results with ASD & debridement
 - Massive irreparable tears partial repair to balance the forces
- ▶ Partial repair of massive irreparable post cuff
- ▶ Partial repair of a massive anterior cuff tears
- ▶ **SUMMARY**
 - RTC repair
 - When safely possible
 - Partial repair
 - Gives complete function
 - ASD and debridement
 - In functional RCT
 - Preservation of the coracoacromial arch

REFERENCES

1. Bigliani, LU, Ticker, JB, Flatow, EL, Soslowky, LJ, and Mow, VC: The relationship of acromial architecture to rotator cuff disease. *Clin Sports Med*, 10:823-838, 1991.
2. 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.
3. Codman, EA: Rupture of the supraspinatus tendon. 1911. *Clin Orthop*, 3-26, 1990.
4. Cooper, DE, Arnoczky, SP, O' Brien, SJ, Warren, RF, DiCarlo, E, and Allen, AA: Anatomy, histology, and vascularity of the glenoid labrum. An anatomical study. *J Bone Joint Surg Am*, 74:46-52, 1992.
5. Dines, DM, Warren, RF, Inglis, AE, and Pavlov, H: The coracoid impingement syndrome. *J Bone Joint Surg Br*, 72:314-316, 1990.
6. Eamshaw, P, Desjardins, D, Sarkar, K, and Uthoff, HK: Rotator cuff tears: the role of surgery. *Can J Surg*, 25:60-63, 1982.
7. Fukuda, H, Hamada, K, and Yamanaka, K: Pathology and pathogenesis of bursal-side rotator cuff tears viewed from en bloc histologic sections. *Clin Orthop*, 75-80, 1990.
8. Gerber, C, Terrier, F, and Ganz, R: The role of the coracoid process in the chronic impingement syndrome. *J Bone Joint Surg Br*, 67:703-708, 1985.
9. Gerber, C, Terrier, F, Zehnder, R, and Ganz, R: The subcoracoid space. An anatomic study. *Clin Orthop*, 132-138, 1987.

10. Goldberg, BA, Lippitt, SB, and Matsen, FA, 3rd: Improvement in comfort and function after cuff repair without acromioplasty. *Clin Orthop*, 142-150, 2001.
11. Kumagai, J, Sarkar, K, and Uhthoff, HK: The collagen types in the attachment zone of rotator cuff tendons in the elderly: an immunohistochemical study. *J Rheumatol*, 21:2096-2100, 1994.
12. Neer, CS, 2nd: Impingement lesions. *Clin Orthop*, 70-77, 1983.
13. Ogata, S, and Uhthoff, HK: Acromial enthesopathy and rotator cuff tear. A radiologic and histologic postmortem investigation of the coracoacromial arch. *Clin Orthop*, 39-48, 1990.
14. Paulson, MM, Watnik, NF, and Dines, DM: Coracoid impingement syndrome, rotator interval reconstruction, and biceps tenodesis in the overhead athlete. *Orthop Clin North Am*, 32:485-493, ix, 2001.
15. Prodromos, CC, Ferry, JA, Schiller, AL, and Zarins, B: Histological studies of the glenoid labrum from fetal life to old age. *J Bone Joint Surg Am*, 72:1344-1348, 1990.
16. Radas, CB, and Pieper, HG: The coracoid impingement of the subscapularis tendon: a cadaver study. *J Shoulder Elbow Surg*, 13:154-159, 2004.
17. Rathbun, JB, and Macnab, I: The microvascular pattern of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br*, 52: 540-553, 1970.
18. Rothman, RH, and Parke, WW: The vascular anatomy of the rotator cuff. *Clin Orthop*, 41:176-186, 1965.
19. Sarkar, K, Taine, W, and Uhthoff, HK: The ultrastructure of the coracoacromial ligament in patients with chronic impingement syndrome. *Clin Orthop*, 49-54, 1990.
20. Uhthoff, HK, and Piscopo, M: Anterior capsular redundancy of the shoulder: congenital or traumatic? An embryological study. *J Bone Joint Surg Br*, 67:363-366, 1985.
21. Uhthoff, HK, and Sarkar, K: Classification and definition of tendinopathies. *Clin Sports Med*, 10:707-720, 1991.