



Partial-Thickness Tear of Supraspinatus and Infrapinatus Tendon Revisited: Based on MR Findings

극상건과 극하건 부분 파열의 재고찰: MR 소견을 바탕으로

Sinhye Song, MD , Seul Ki Lee, MD* , Jee-Young Kim, MD

Department of Radiology, St. Vincent's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

The interpretation of MRI of partial-thickness rotator cuff tears can be challenging. This review describes the anatomic considerations for diagnosing partial-thickness tears, especially supraspinatus and infrapinatus tendon and summarizes the classification of partial-thickness rotator cuff tears, as well as provides an overview on partial-thickness tears with delamination.

Index terms Rotator Cuff Injuries; Magnetic Resonance Imaging; Anatomy; Classification

서론

어깨의 자기공명영상(shoulder MRI)은 회전근개 파열(rotator cuff tear)을 평가하는데 유용한 진단 도구이다. 하지만 표준 자기공명영상의 경우, 회전근개 부분 파열(partial-thickness tear)에 대한 민감도와 특이도는 회전근개 전층 파열(full-thickness tear)에 비해 낮다. 회전근개 부분 파열의 평가가 어려운 이유는 파열의 크기와 voxel의 크기 사이의 낮은 비율(low ratio)로 인한 volume averaging effect 또는 파열 주위에 존재하는 fibrovascular tissue로 인하여 파열의 신호 강도(signal intensity)가 체액(fluid)의 신호 강도보다 낮아지기 때문이다(1). 대부분의 회전근개 파열은 극상건(supraspinatus tendon)에서 발생하고, 그 빈도가 부분 파열일 경우 89%, 전층 파열일 경우는 47%까지도 이르므로(2), 본 종설은 극상건의 부분 파열을 자기공명영상으로 진단하는데 초점을 맞춰 기술하고자 한다.

Received June 30, 2021
Revised October 3, 2021
Accepted October 18, 2021

*Corresponding author
Seul Ki Lee, MD
Department of Radiology,
St. Vincent's Hospital,
College of Medicine,
The Catholic University of Korea,
93 Jungbu-daero, Paldal-gu,
Suwon 16247, Korea.

Tel 82-31-249-8436
Fax 82-31-247-5713
E-mail benefy@catholic.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID iDs

Sinhye Song
<https://orcid.org/0000-0003-3494-4168>
Seul Ki Lee
<https://orcid.org/0000-0002-6296-5559>
Jee-Young Kim
<https://orcid.org/0000-0003-0950-4427>

Diagnostic Performance in Detecting Partial-Thickness Tear on MRI

회전근개의 부분 파열에 대한 정확한 진단은 임상 검사뿐 아니라 자기공명영상과 같은 진단적 영상 검사에서도 어렵다(3). 2009년에 시행된 대규모 메타 분석에 따르면, 전층 파열의 민감도와 특이도는 각각 92.1%와 92.9%인 반면, 부분 파열은 각각 63.6%와 91.7%로 확인되었다(4). 2015년에 시행된 메타 분석에 서는, 부분 파열의 자기공명영상의 민감도가 67%, 특이도는 93%~94%로 약간 향상되었으나, 부분 파열의 진단적 정확도에 대해서는 아직도 제한점이 남아있다(5). 회전근개 부분 파열과 관련된 자기공명영상의 위양성(false positive) 또는 위음성(false negative) 결과는 꽤나 빈번하다(6). Brockmeyer 등(3)은 수술 전 자기공명영상을 관절경 소견과 비교하였는데, 이 연구는 부분 파열의 민감도를 51.6%, 특이도 77.2%, 양성예측도(positive predictive value) 41.3%, 그리고 음성예측도(negative predictive value) 83.7%로 보고하였다. 이런 결과들을 보았을 때 과연 자기공명영상이 회전근개 부분 파열의 진단에 있어 신뢰할 수 있는 진단 도구인지 의문이 든다. 또한 판독 의사의 경험 차이로 부분 파열의 진단율이 의사마다 다를 수 있다. 자기공명영상으로 회전근개 부분 파열의 가능성을 정확하게 파악하기 어려운 이유들을 살펴보도록 하겠다.

이전 연구들을 살펴볼 때, 자기공명영상에서 회전근개 부분 파열을 위양성으로 판독한 경우들은 실제 수술 소견에서 전층 파열 또는 건증(tendinopathy)로 확인되었다고 한다(6, 7).

- 부분 파열에 대해서 건증으로 잘못 해석하는 경우는 자기공명영상에서 힘줄 내의 증가된 신호 강도를 파열로 오인하기 때문이다(6). 건증의 조직학적 변화는 일반적으로 점액 변성(mucoïd degeneration)과 섬유연골성 화생(fibrocartilage metaplasia)이며, 이는 자기공명영상에서 적당히 증가된 신호강도이면서 체액의 신호 강도보다는 낮게 보인다(8). 또한 Magic angle effect로 인한 힘줄 내 신호 강도의 증가는 부분 파열에서 위양성 오류를 범할 수 있는 원인이 된다(9). 퇴행성 변화가 있는 건증은 조직학적으로는 힘줄 섬유들이 fibrillary degeneration, fibrous dystrophy, eosinophilic transformation로 변성되는 것이고, 이를 자기공명영상에서 보았을 때, 증가된 신호 강도가 양성자 밀도(proton density) 강조 영상에서는 보이나, T2 강조 영상에서는 보이지 않는 차이점이 있다(8). 또한 건증은 파열이 있는 힘줄보다 힘줄의 윤곽이 좀 더 구형으로 보이고 두께가 두꺼워지는 것으로 감별에 도움을 받을 수 있다(10).

- 부분 파열로 잘못 해석되는 경우 중에는 전층 파열도 포함되어 있는데, 그 원인은 자기공명영상에서 파열에 인접한 부위의 변화와 흉터(scar) 등으로 인해 전층 파열이 가려질 수 있기 때문이다(11).

위음성의 경우는 관절경 소견에서 점액낭 측(bursal-sided) 부분 파열인 경우가 많았다고 한다(12). 주로 점액낭 측의 표재성(superficial) 파열이나 갈라진 틈새 같은(slit-like) 파열이었고, 이럴 경우 자기공명영상에서는 점액낭 측 표면에 뚜렷한 불연속성(discontinuity) 없이 약간의 불규칙성(focal irregularity)이나 마모(fraying)의 소견이 있을 수 있다(12).

이렇듯, 자기공명영상에서 회전근개의 부분 파열을 정확히 진단하기 어려울 때가 있고, 임상에서 시행하는 신체 검사 역시 부분 파열을 진단하는데 애매한 경우가 많다(3). 판독 의사의 경험 축적, 영상 검사의 기술 개선, 임상 검사 결과의 참고 등을 통해 부분 파열에 대한 자기공명영상의 진단능을 개선할 수 있도록 노력해야 한다. 수술 전 자기공명영상에서 회전근개 부분 파열의 3차원

적 특징-파열의 두께, 당김(retraction), 앞뒤 방향의 범위에 대한 판독이 수술의 결정에 있어서 중요하기 때문에 이에 대해서 자세히 알아보하고자 한다(6).

Anatomical Considerations for Diagnosis of Partial-Thickness Tear

The Five Layers of the Rotator Cuff

극상건 및 극하건(infraspinatus tendon)의 부착부(insertion) 근처의 회전근개의 미세 구조는 5층으로 자세히 설명되어 있다(Fig. 1) (13). 여러 층으로 놓인 힘줄 섬유는 회전근개가 어깨 관절 운동 전반에 걸쳐 다양한 방향의 인장력(tensile forces)을 견딜 수 있게 해준다(1). 제1층은 가장 위에 있는 것으로, coracohumeral ligament로 구성된 얇은(1 mm 두께) 층이다. 제2층은 더 두꺼운 층(3-5 mm 두께)으로 평행한 힘줄 섬유들로 이뤄져 있다. 제3층은 균일한 방향성 없이 구성된 힘줄 섬유들로 더 깊은 층(3 mm 두께)에 위치하고, 서로 45°의 각도로 교차하고 있다. 제4층은 두꺼운 콜라겐 띠가 있는 느슨한 결합 조직층으로, 극상건의 앞쪽 가장자리를 따라 coracohumeral ligament와 합쳐진다(Fig. 2A). 제5층은 관절막(joint capsule)에 의해 형성된 얇은 층(1.5-2 mm)으로 Sharpey fibers에 의해 greater tuberosity에 부착된다. 이를 정리하면, 점액낭 측 섬유층과 관절면의 섬유층은 촘촘히 채워진 조직의 힘줄 섬유이고, 회전근개 중앙에 위치하는 2개의 섬유층은 결합 조직과 혼합된 성긴 섬유층이다. 이 해부학적인 차이는 자기공명영상의 T2 강조 영상에서 회전근개의 두 표면층은 낮은 신호강도로, 중앙층은 중간 신호강도로 보이는 원인이 된다(Fig. 2B) (14).

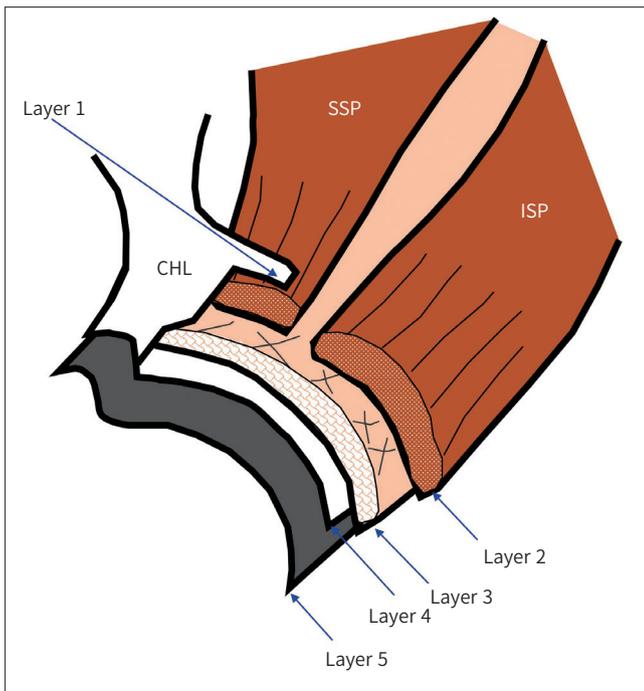


Fig. 1. Schematic diagram of SSP and ISP insertion with the histologic layers of the cuff in the sagittal plane.

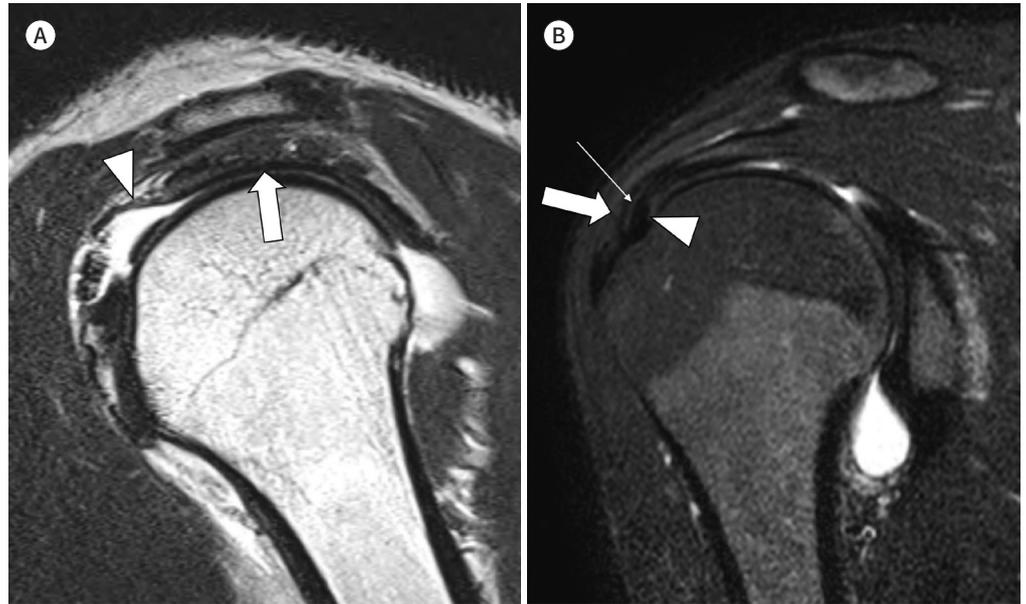
Layer 1 is the most superficial layer, composed of fibers from the CHL which overlie the cuff tendons. Layer 2 is composed of densely packed fibers that parallel the long axis of the tendon. Layer 3 is a deep tendon layer composed of smaller fascicles compared to layer II which are organized at approximately 45° to the long axis of the tendon. Layer 4 is composed of loose connective tissue and thick collagen bands perpendicular to tendon fibers and merges with the CHL. Layer 5 represents the shoulder capsule.

CHL = coracohumeral ligament, ISP = infraspinatus, SSP = supraspinatus

Fig. 2. Normal rotator cuff layers on MRI.

A. T2-weighted sagittal image shows a thin band (arrow) along the undersurface of supraspinatus and infraspinatus tendons, connecting with the coracohumeral ligament (arrowhead).

B. Fat-suppressed T2-weighted coronal image shows the low signal bursal surface (thick arrow) and articular surface (arrowhead) layers, containing the intermediate signal central layer (thin arrow) of the supraspinatus tendon.



Rotator Cable and Crescent

회전근개의 조직학적 제4층은 내측에서 외측으로 주행하는 회전근개의 힘줄에 직각을 이루며 앞뒤로 주행하는 섬유성 띠이다. 이 층은 coracohumeral ligament의 deep extension으로, transverse band, pericapsular band, 또는 rotator cable로 다양하게 설명되어 있다. Clark과 Harryman (13)은 이 층을 극상건 힘줄 방향에 직각인 두꺼운 섬유 다발 부분으로, rotator cable 이라고 명명했다(15). Rotator cable은 자기공명영상에서 종종 힘줄의 아래쪽으로 지나가는 낮은 신호강도의 띠로 보이는데, 관절 표면 가까이에 위치하기 때문에 관절막과 구분이 어려울 때가 있다(16, 17). 이럴 때에는 극상건과 극하건에 수직으로 이어져 있는 띠가 coracohumeral ligament 까지 연결되어 있는 것을 확인하면 rotator cable 입을 확인할 수 있다(Fig. 3) (14). Rotator cable은 관상면 영상에서 골 부착부로부터 1.33 ± 0.27 cm 위치에, 평균 폭 1.24 ± 0.31 cm와 평균 두께 0.19 ± 0.05 cm로 보인다(18). Rotator cable에서 더 측면으로 연장되어서 greater tuberosity에 부착하는, 극상건과 극하건의 원위부 섬유들을 rotator crescent라고 부른다(Fig. 4) (19). Rotator crescent가 포함되는 회전근개 부위는 상대적으로 무혈관성이다(20). Burkhart 등(20)은 rotator cable의 현수교(suspension bridge) 기능을 설명하였는데, 이는 얇은 rotator crescent에 가해지는 압축력(compressive force) 및 인장력을 두꺼운 rotator cable이 흡수한다는 것이다. 대부분의 회전근개 파열이 rotator crescent에 발생하지만 이 모델에 따르면 응력이 회전근개에서 rotator cable로 분산 및 전달되어 rotator crescent로 응력이 차단되기 때문에 일부 회전근개 파열이 임상적 또는 생체역학적으로 중요하지 않은 이유로 설명될 수 있다(1, 19, 21). Burkhart 등(20)은

Fig. 3. Rotator cable on MRI.

A, B. Fat-suppressed T1 arthrogram coronal image (A) and sagittal image (B) show focal hypointense region along the undersurface of the supraspinatus tendon (arrows) extending to the coracohumeral ligament (arrowhead), presenting rotator cable.

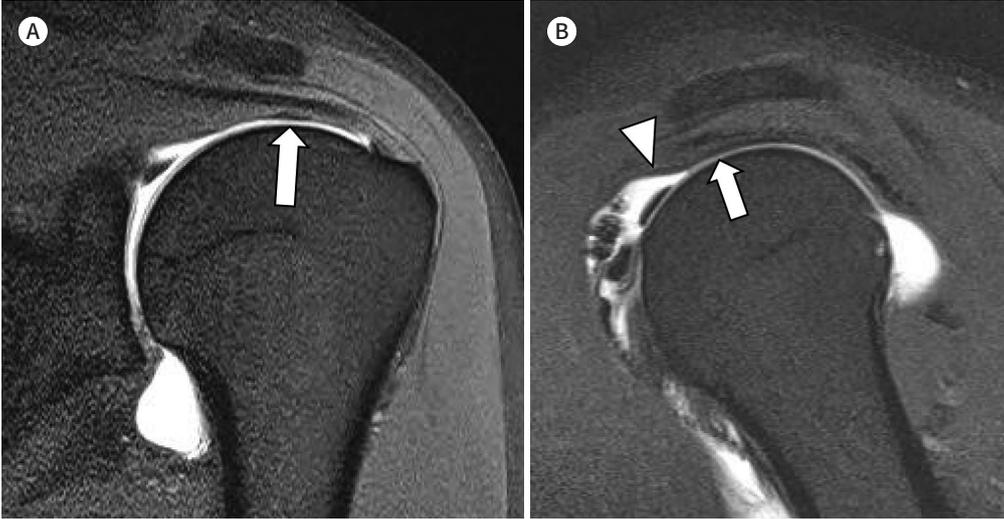
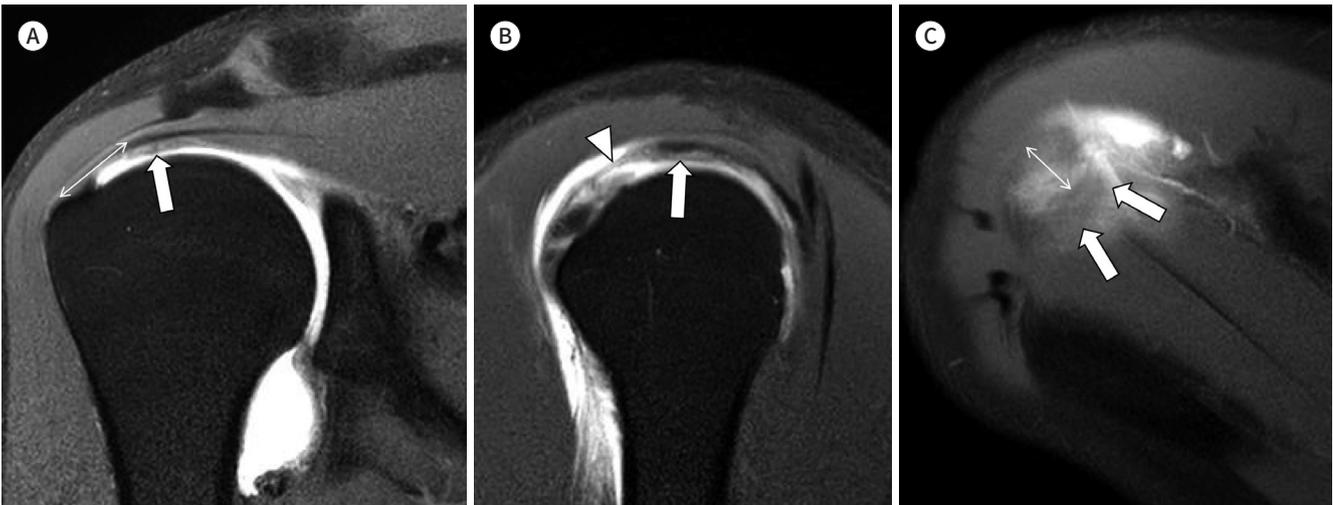


Fig. 4. Rotator cable and crescent on MRI.

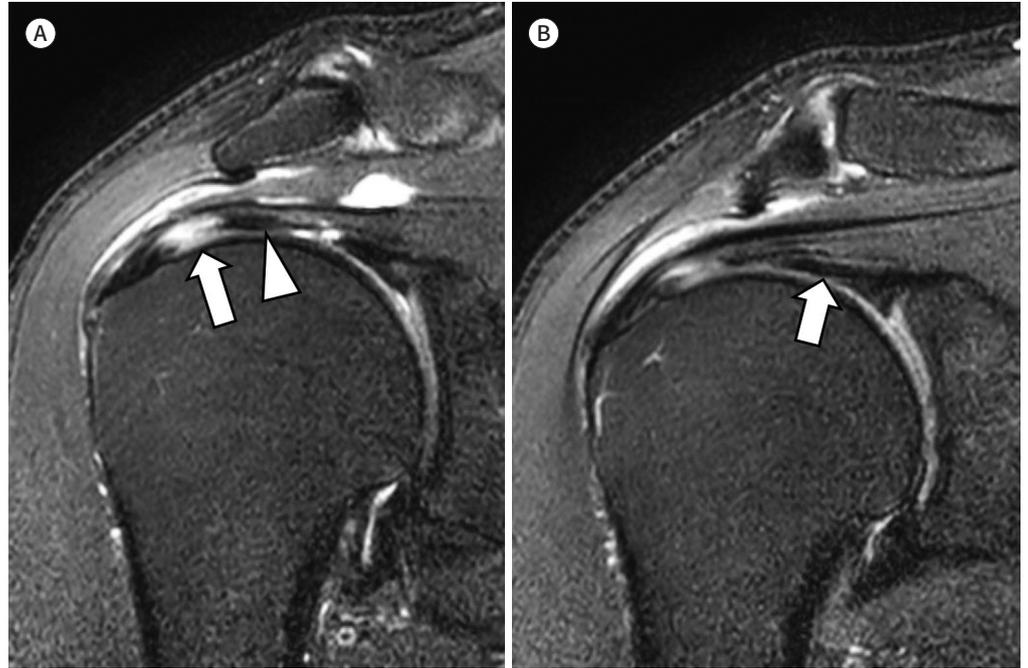
A-C. Fat-suppressed T1 arthrogram coronal image (A), sagittal images (B), and axial images (C) show rotator cable (arrows), extending to coracohumeral ligament (arrowhead) and crescent-shaped, thin area of the distal supraspinatus and infraspinatus tendons, called the rotator crescent (arrow bars). These fibers insert into the greater tuberosity.



이런 rotator cable-crescent 복합체(complex)를 rotator cable이 지배적인 어깨(cable-dominant shoulder)로 설명하고, 주로 노년층에 많다고 설명하였다. 그러나 최근 연구들에 의하면, rotator cable과 rotator crescent의 상대적인 두께와 나이와의 관계는 불분명한 것으로 밝혀지고 있다(17, 22, 23). 한편, rotator cable의 변성은 회전근개 파열의 2차 징후로 설명되기도 한다(24-26). 자기공명영상에서 두꺼워진 rotator cable이 보이면, 회전근개의 관절면(articular-sided) 부분 파열에 대한 주의 깊은 평가가 필요하다(Fig. 5) (24).

Fig. 5. Partial-thickness articular-sided tear with thick cable on MRI.

A, B. Consecutive fat-suppressed T2-weighted coronal images demonstrate an articular-sided partial-thickness tear (arrow, A) at the supraspinatus tendon with thickened rotator cable (arrowhead, A). Rotator cable extends to the thickened coracohumeral ligament (arrow, B).



Superior Joint Capsule of the Shoulder

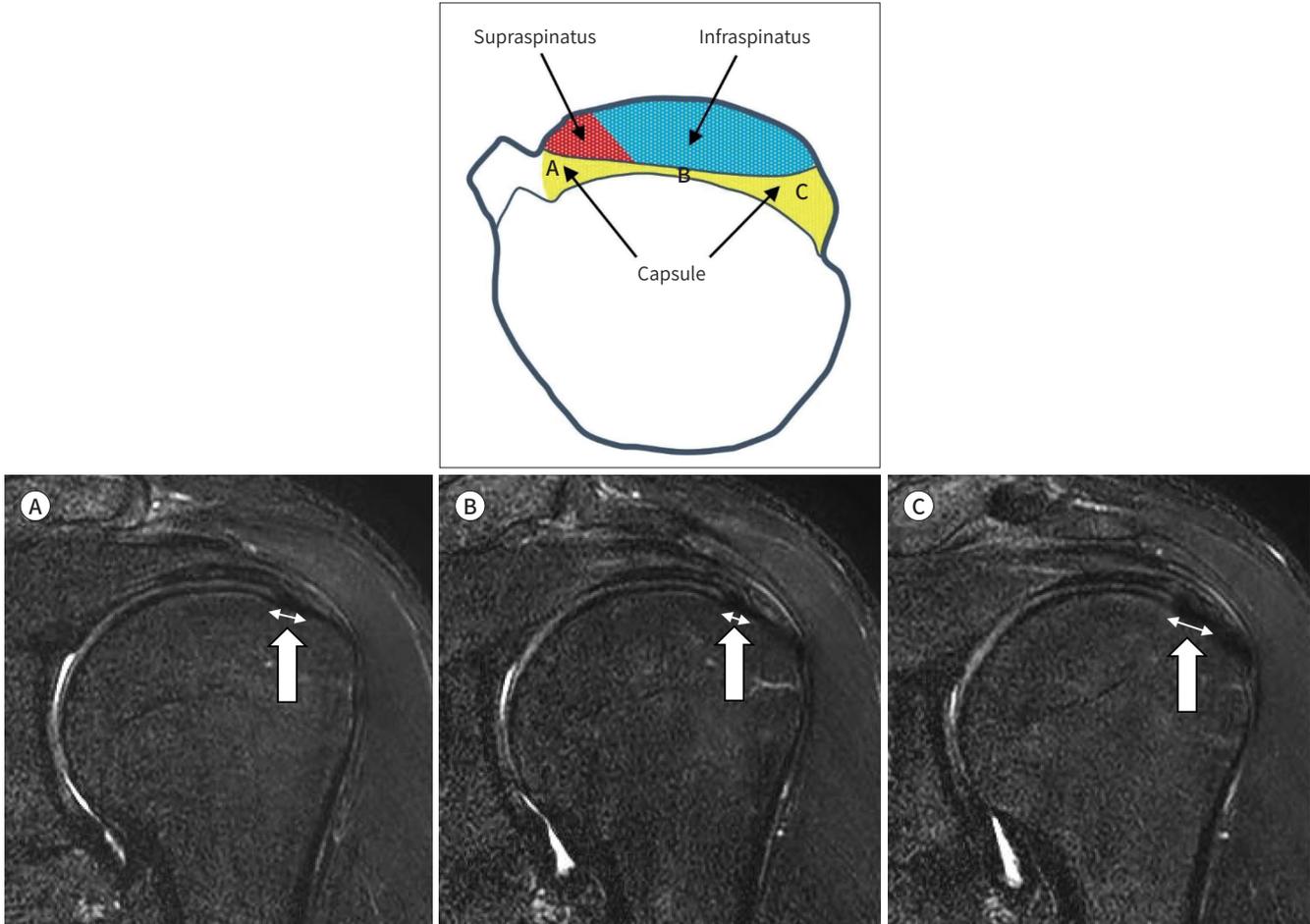
Nimura 등(27)은 greater tuberosity에 부착하고, 회전근개 아래에 위치하는 관절막에 대해서 연구하였고, 그들은 상부 관절막(superior capsule)이 회전근개의 부착에 상당한 기여를 한다고 보고하였다. 상부 관절막의 부착 부위는 회전근개의 내측에 위치하는 오목한 영역으로 보인다. 관절막이 가장 얇게 부착하는 부위는 greater tuberosity의 가장 앞쪽 가장자리로부터 약 11 mm 뒤쪽이며, 극상건의 뒤쪽 가장자리 근처이다. 여기서의 너비는 약 3.5 mm로 측정된다. 이에 반해 관절막이 가장 두껍게 부착하는 부위는 극하건과 소원건(teres minor tendon)의 경계 부위에 위치하며 약 9 mm 두께로 측정된다(Fig. 6). Kim 등(28)은 초음파 연구에서 회전근개의 퇴행성 파열이 이 두근 힘줄에서 후방 13-17 mm 되는 영역에서 흔하게 발생하고, 이 부위는 상부 관절막이 가장 얇게 부착하는 부위와 일치한다고 보고하였다. 이로부터 상부 관절막과 회전근개 퇴행성 파열의 연관성이 있다고 알려지게 되었다. 생체역학적 및 임상적으로는 상부 관절막과 어깨 안정성이 서로 밀접한 연관이 있다고 밝혀져, 완전 수복이 어려운 커다란 회전근개 파열 수술 시에 상부 관절막을 재건하기 시작하였다(29, 30). 최근 연구에 따르면, 건증이 있는 회전근개 파열을 수술할 때 상부 관절막을 재건하면 힘줄의 두께와 강도를 개선할 수 있다고 발표되고 있다(31).

관절막의 greater tuberosity 부착부의 해부학적 구조와 회전근개의 퇴행성 변화와의 관계에 대해서 살펴보려면 우선 bare area에 대해서 논의해야 한다(15). Bare area는 후측(posterior aspect) 관절막의 부착부와 상완골(humerus)의 관절 표면 및 활액막(synovial membrane) 사이를 따라 있는 고랑과 같은 영역이다. 이 고랑은 관절막과 활액막의 수축으로 인해 20대가 되면서부터

Fig. 6. Footprint of the superior joint capsule of the shoulder on MRI with a schematic diagram.

On the schematic diagram, the footprint of the supraspinatus tendon presents as red color. The blue color represents the footprint of the infraspinatus tendon. The yellow color represents the width and extent of the capsular attachment.

A-C. Consecutive fat-suppressed T2-weighted coronal images show the width and extent (arrow bars) of the capsular attachment sites consistent with (A-C) on the schematic diagram (arrows).



크기가 증가한다(27). 나이가 들면서 점차 관절막의 부착부가 감소하여 bare area가 늘어난다 (Fig. 7). 이런 노화에 따른 변화에 의해 회전근개의 부착부의 예상 두께는 나이에 따라 달라지며, 이는 부분 파열의 등급을 평가할 때 중요한 요소가 된다(Fig. 8) (15, 27).

Classification of a Partial-Thickness Tear of the Rotator Cuff

Ellman (32)은 회전근개의 파열을 부분 파열과 전층 파열로 구분하고, 파열 위치와 깊이에 따라서 부분 파열을 세분화하였다. 회전근개의 부분 파열은 자기공명영상에서 체액과 비슷한 고신호 강도가 힘줄의 일부에 있으나, 전층에 걸치지 않는 경우로 정의한다(33). 이는 관절면 측이나 점액낭 측에서 발생하는지 아니면 힘줄 내(intrasubstantial)에 국소적으로 위치하는지에 따라 분류한다(Fig. 9) (34). 파열의 수직 두께를 기준으로도 분류할 수 있는데, grade I은 3 mm 미만일 때, grade II는 3-6 mm, 그리고 grade III은 6 mm보다 클 때로 정의하고, 일반적으로 회전근개의

두께가 10-12 mm라는 가정에 기초하여 분류하게 된다(Fig. 9) (32). 따라서 grade III은 회전근개 두께의 50% 이상을 포함하는 상당한 정도의 파열로 간주된다(19). 등급이 높을수록 회전근개 봉합술이 요구되고, 반대로 힘줄의 50% 미만에 걸친 파열은 보존적 치료나 변연절제술로 만족할 만

Fig. 7. Schematic diagram of the bare area of the footprints in the greater tuberosity in the coronal plane. **A.** Thick superior joint capsule (black arrow) without bare area (red arrow). **B.** Aging phenomenon: retracted superior joint capsule (black arrow) with exposure of the bare area (red arrow).

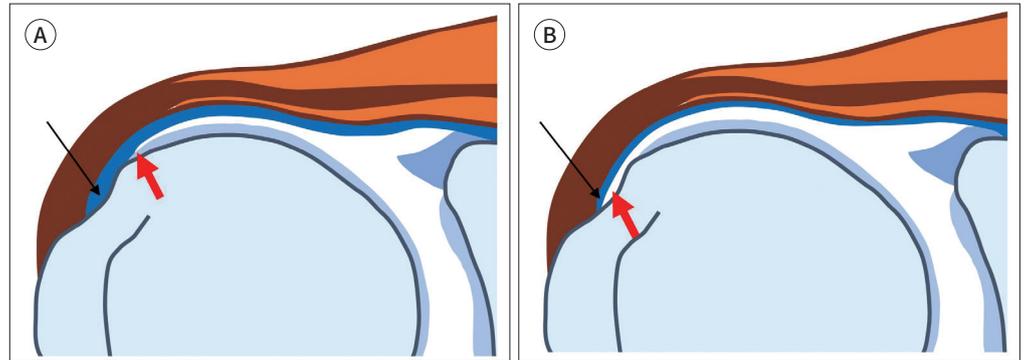


Fig. 8. Bare area of the humeral head and footprint of the rotator cuff on MRI. **A, B.** Fat suppressed T2-weighted coronal image (A) and fat suppressed T1-weighted enhanced coronal images (B) of 32-year-old male show the unexposed bare area (thin arrow in A) with thick footprint (arrow bar in A) with faint synovial lining enhancement (arrow in B). **C, D.** Fat suppressed T2-weighted coronal image (C) and fat suppressed T1-weighted enhanced coronal images (D) of 58-year-old male show uncovered bare area (arrow in C) with attenuated footprint (arrow bar in C) with prominent synovial lining enhancement (arrow in D). Note the absence of any torn articular-sided fibers along the supraspinatus tendon of two patients.

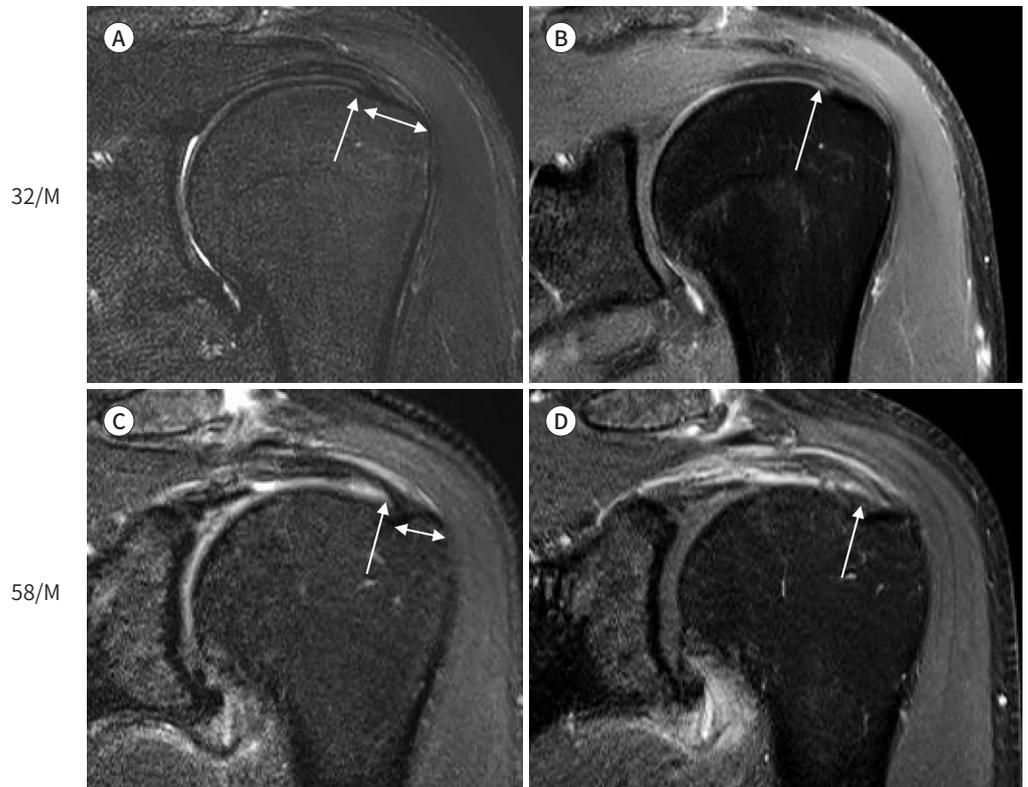
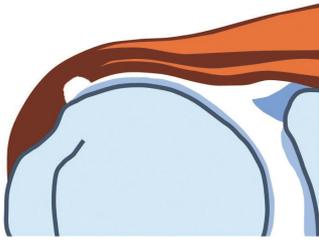
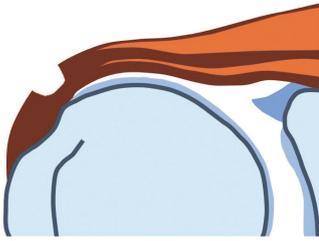
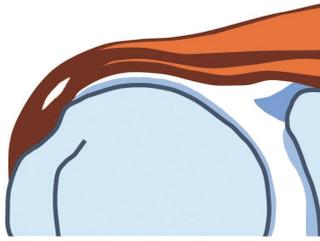


Fig. 9. Schematic diagram of Ellman classification of partial-thickness tear of the rotator cuff.

<p>Pattern</p>	 <p>Articular side</p>	 <p>Bursal side</p>	 <p>Intrasubstantial</p>
<p>Grade</p>	 <p>Grade 1, < 3 mm or < 1/4 of tendon thickness</p>	 <p>Grade 2, 3-6 mm or < 1/2 of tendon thickness</p>	 <p>Grade 3, > 6 mm or > 1/2 of tendon thickness</p>

한 치료 성과를 기대할 수 있다(35, 36).

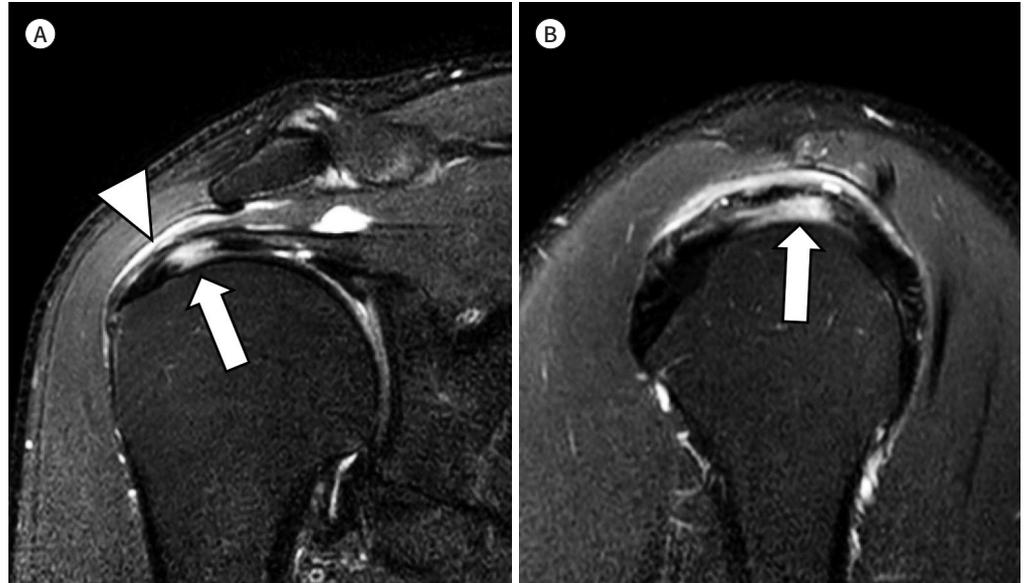
퇴행성 파열의 대부분은 힘줄 부착부로부터 약 1 cm 부위인 critical zone에 호발한다. 이는 저혈관성 영역으로, 시간이 지남에 따라 변성되고 찢어지는 경향이 있다(Fig. 10) (21). 그러나 critical zone은 지속적인 논쟁의 대상이 되고 있다. 초기 연구에 따르면 critical zone은 힘줄의 다른 부분에 비해서 혈관이 부족하다고 알려졌다(37). 하지만 이후 연구들에서는 팔이 내전(adducted) 되었을 때만 혈류가 불량한 것으로 나타났다; 팔을 외전(abducted) 할 때에는 critical zone의 혈관 흐름과 나머지 힘줄 영역 사이에 큰 차이가 없다는 것이다(38).

Articular-Sided Tear

회전근개의 손상은 coracoacromial abnormality에 의해서 점액낭 측에 발생할 가능성이 더 높은 것으로 생각되지만, 여러 연구들에 따르면, 대부분의 부분 파열은 관절면 측에 발생하였다 (14). 그에 대한 주요한 3가지 이유는 다음과 같다. 1) 힘줄의 점액낭 측에 돌출된 구조물이 무딘 경우, 반대쪽 관절면 측이 불룩해져서 아래측 섬유에 인장력이 가해지고 이로 인해 관절면 측 섬유에 손상을 초래할 수 있다. 2) 관절면 측 섬유는 더 뾰뚱하고 인장 하중을 받을 때 잘 늘어나지 못해서 더 빨리 손상된다. 3) 혈액 공급이 점액낭 측보다 관절면 측이 더 부족하기 때문에 반복적인 미세 외상으로부터 점액낭 측 파열은 치유되지만, 관절면 측 파열은 치유되지 않는다. 자기공명영상에서 관절면 측 부분 파열은 일반적으로 greater tuberosity에 인접한 힘줄에 고신호강도의 결

Fig. 10. Articular-sided partial-thickness tear at the critical zone on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (**A**) and sagittal (**B**) images of a 44-year-old male demonstrate high-grade articular-sided partial-thickness tear (arrows) at the mid portion of the supraspinatus tendon and within 1-2 cm adjacent to the insertion site, called the critical zone. The tear extends through more than 50% of the cuff thickness, and the bursal-sided fibers remain intact (arrowhead).



손(defect)으로 나타난다(Fig. 10). 이때 점액낭 측 표면은 온전한 상태로 남아 있으며, 정상적인 볼록한 모양을 보인다.

Bursal-Sided Tear

이전 연구에 따르면, 점액낭 측 부분 파열의 주요 원인은 외인성 견봉하 충돌(subacromial impingement)이 흔하여서 직접적인 견봉하 물리적 충돌 및 자극에 의해 파열이 유발되고 subacromial-subdeltoid bursa의 염증과 관련이 있다고 알려져 있다(39). 이 파열은 힘줄과 견봉(acromion)의 경계면(interface)에서 흔히 발생한다(40). 점액낭 측 파열은 관절면 측 파열에 비해 흔하지는 않지만, 점액낭 측 파열이 가장 증상이 많다(41). 자기공명영상에서 점액낭 측 부분 파열의 진단은 관절면 측 부분 파열에 비해 과소평가되기 쉽다(42). 하지만 지방 억제(fat suppression)를 하지 않은 관상면 영상에서 힘줄의 윤곽을 평가하면 크기가 작은 점액낭 측 부분 파열의 진단에 도움을 받을 수 있다(42) 점액낭 측 파열에 있어서 힘줄 윤곽에 대한 평가가 초음파 소견으로 잘 정리되어 있어 소개한다(43). 이는 점액낭 표면의 힘줄이 평평해지거나, 정상적인 볼록함이 사라지는 것으로 묘사되며, 이 소견은 자기공명영상에도 보일 수 있다(Fig. 11) (43). 이는 subacromial-subdeltoid bursa의 확장이 있을 때 더욱 두드러진다. 관상면에서 보이는 bursal puddle sign은 점액낭 측 부분 파열과 관련이 있는데, 이는 삼각근하(subdeltoid) 점액낭의 아래쪽으로 상당한 양의 체액이 축적되어 웅덩이처럼 보이는 것을 일컫는다(44). 이 소견은 종종 점액낭 측 부분 파열을 놓쳤을 때 이를 재발견하는데 중요한 단서가 된다(Fig. 12) (45).

Fig. 11. Bursal-sided partial-thickness tear on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (**A**) and sagittal (**B**) images of a 58-year-old male demonstrate a frayed bursal surface at the anterior to mid portion of the supraspinatus tendon (arrows). The tear extends through less than 25% of the cuff thickness, compatible with a low-grade bursal-sided partial-thickness tear, and the articular-sided fibers remain intact (arrowhead).

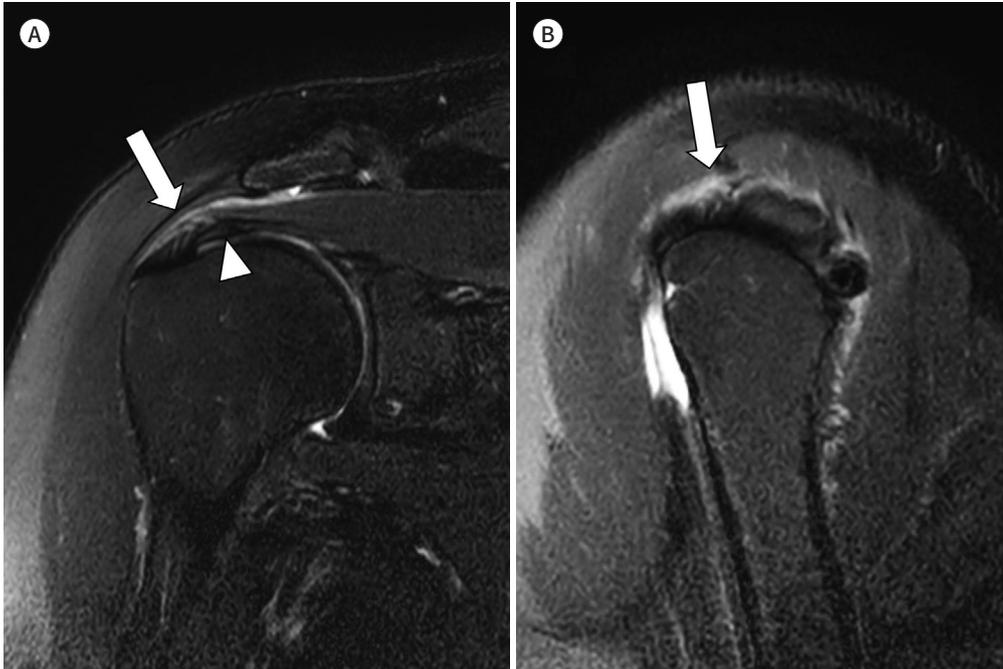
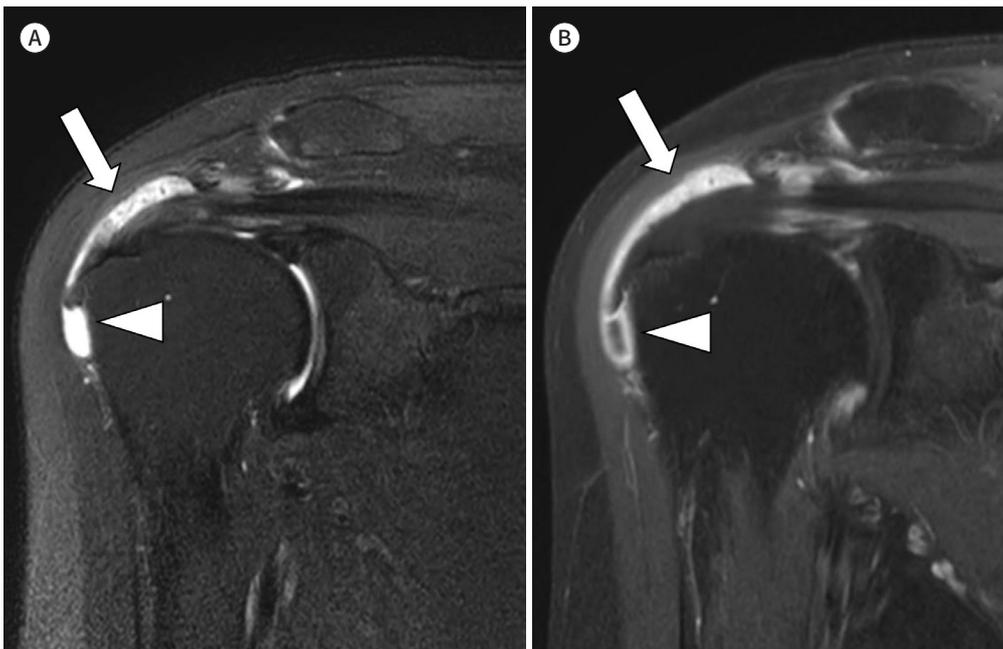


Fig. 12. Bursal puddle sign on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (**A**) and fat-suppressed T1-weighted enhanced coronal (**B**) images of a 54-year-old female demonstrate a low-grade bursal-sided partial-thickness tear (arrows). Note the pooled fluid with enhancement beyond the greater tuberosity (arrowheads), indicating bursal puddle sign.



Intrasubstantial Tear

힘줄 내 파열은 관절면 측이나 점액낭 측에 확장되지 않은, 힘줄 내의 파열이다(19). 힘줄 내 부분 파열은 관절면 측이나 점액낭 측 부분 파열에 비해 2배 정도 흔하다고 알려져 있다(46). Fukuda (41)의 사체(cadaver) 연구에 따르면 극상건의 부분 파열 중 18%가 점액낭 측, 27%가 관절면 측, 55%가 힘줄 내 파열로 발견되어, 힘줄 내 파열이 점액낭 측이나 관절면 측 부분 파열에 비해 더 흔하다고 보고하였다. 하지만 임상 연구에서는 사체 연구에서 보고된 것보다 힘줄 내 파열의 비율이 낮다고 보고되고 있다(41, 47, 48). Park 등(47)은 관절경으로 확인된 힘줄 내 파열의 비율이 4.7%에 불과한 것으로 보고하였다. 그 이유는 관절경이나 영상의학적 검사 모두 힘줄 내 파열의 진단이 관절면 측이나 점액낭 측 파열보다 더 어렵기 때문이다(47, 49). 이는 힘줄 내 섬유가 박리(delamination) 된 것을 나타내며, 일반적으로 조직학적 제2층과 제3층 사이에 위치한다. 힘줄의 퇴행성 변화가 광범위하게 있을 때에는 힘줄 내 파열이 힘줄 두께를 완전히 포함할 수도 있다(50). 힘줄 내 파열은 건증의 심한 형태인지, 부분 파열의 범주에 포함되어야 하는지 아직 논란의 여지가 있다(14). 힘줄 내 파열은 흔히 점액낭 측 또는 관절면 측 파열과 잘 동반되고, 힘줄 내 파열 단독으로만 발견되는 경우는 드문데, 이런 파열이 생기게 되면 지속적으로 어깨 통증이 있을 수 있다(47). 최근 임상 연구에 따르면, 힘줄 두께의 50% 이상을 차지하는 힘줄 내 파열에 대해 관절경적 봉합술을 시행하면 좋은 임상적 결과를 보인다고 한다(47, 51). 자기공명영상에서 힘줄 내 파열은 힘줄 내에 고신호강도가 국소적으로 위치하는 것으로 발견할 수 있다(Fig. 13) (49). 수술 전 자기공명영상에서 힘줄 내 파열을 언급하는 것은 관절경적 지표인 “bubble sign”을 수행하는 데 도움이 된다(51). 관절경적으로 힘줄 내 파열을 진단하기 위한 “bubble sign”은 Lo 등(52)이 제안하였는데, 이는 힘줄 내 파열이 의심되는 위치에 소량의 식염수를 주입했을 때 회전근개가 불룩하게 확장되는 것으로 힘줄 내 파열을 찾을 수 있다는 것이다. 한편, 힘줄 내부에서 시작된 박리 성분이 근육 내로 확장되거나 이동하여 intramuscular cyst를 형성할 수 있다고 이는 자기공명영상에서 종종 보이는 소견이다(Fig. 14) (53).

Partial-Thickness Tear at the Footprint

1934년에 Codman (54)은 greater tuberosity의 부착부에서 힘줄 섬유가 찢어지는 형태를 설명했는데 이를 “Rim-rent” tear이라고 했다. Rim-rent tear는 greater tuberosity에 부착하는 회전근개 부착부의 관절면 측에서 발생하는 부분 파열로 정의된다. 이러한 유형의 파열을 보다 해부학적으로 설명한 동의어는 partial articular-sided supraspinatus tendon avulsion (이하 PASTA) 병변이다. Vinson 등(55)은 Rim-rent tear가 부분 파열의 상당수를 차지한다고 보고했는데, 그 이유는 greater tuberosity의 부착부에서 발생한 전층 파열의 빈도가 꽤 많고, 이는 아마도 Rim-rent tear에서 기원했을 것이라고 생각하기 때문이다. 힘줄 부착 부위(footprint)의 작은 부분 파열이라 할지라도, 특히나 젊은 운동선수라면, 보다 적극적인 조기 개입이 필요하다(56). 힘줄 부착 부위에서의 파열의 영상 소견에 대해서 정리한 출판물은 극히 드물다(55, 56). 여기서는 힘줄 부착 부위에서의 부분 파열에 대해서만 다루도록 하겠다(Fig. 15).

Fig. 13. Intrasubstantial tear on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (**A**) and sagittal (**B**) images of a 58-year-old female show focal linear intrasubstantial fissure (long arrows) within the supraspinatus tendon, extending less than 50% of the cuff thickness, representing low-grade intrasubstantial tear. Both articular and bursal surfaces (short arrows) of the tendon remain intact and have no continuity with the tear.

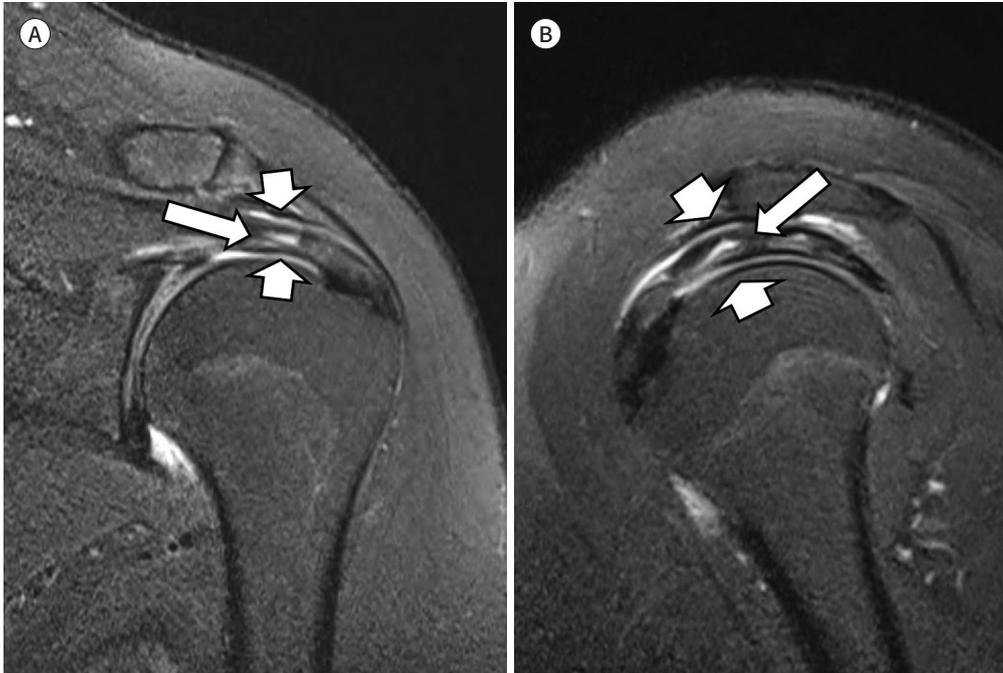


Fig. 14. Intrasubstantial tear and intramuscular cyst on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (**A**) and sagittal (**B**) images of a 55-year-old male show a high-grade intrasubstantial tear (arrow) within the supraspinatus tendon. Note the intramuscular cyst (arrowhead), which potentially has a high association with the presence of rotator cuff pathology and delamination.

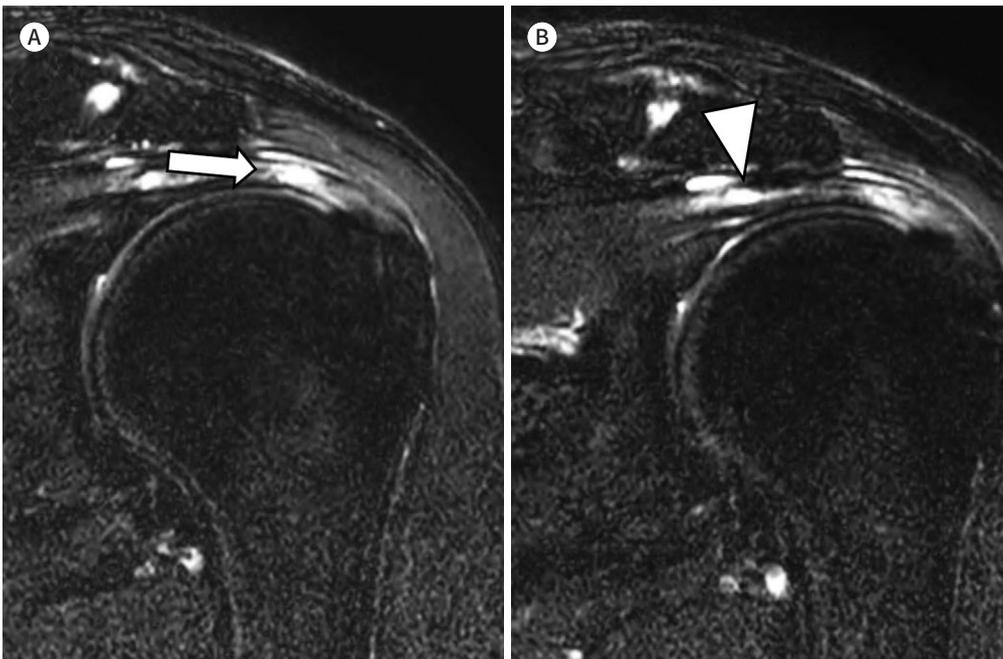
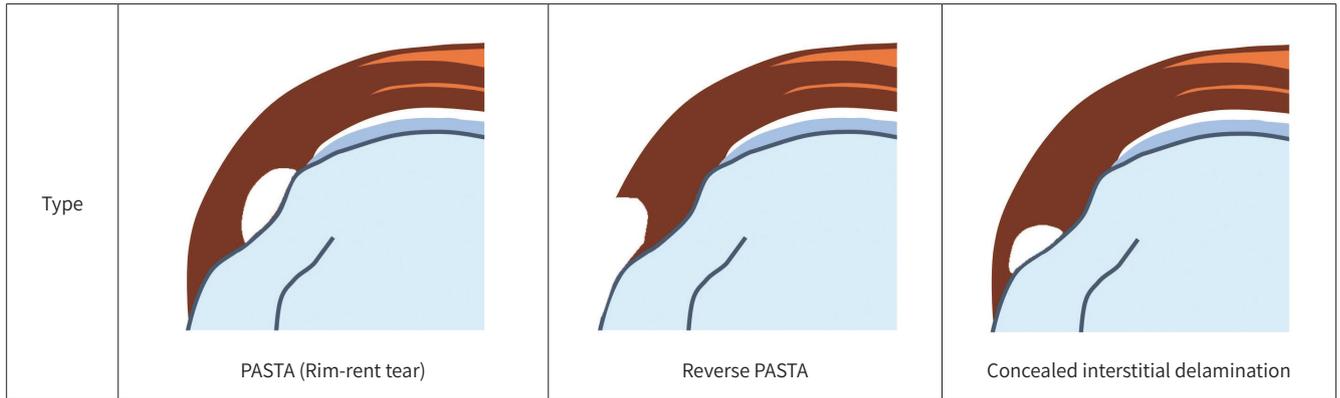


Fig. 15. Schematic diagram of various types of partial-thickness tear of the rotator cuff footprint.

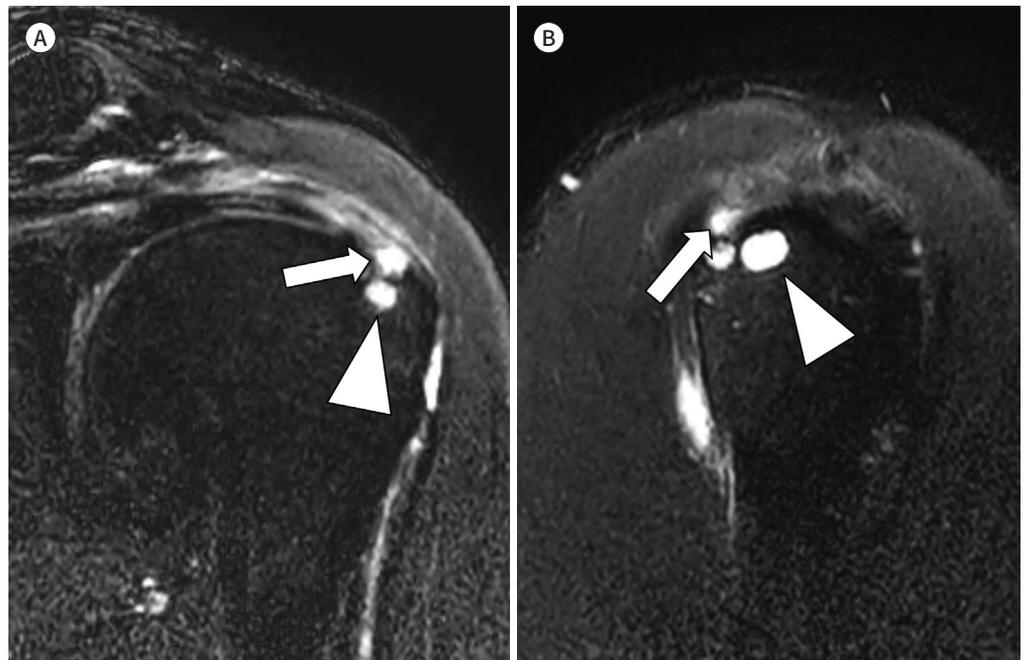


PASTA = partial articular-sided supraspinatus tendon avulsion

Fig. 16. PASTA on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (A) and sagittal (B) images of a 55-year-old male show PASTA lesion (arrows) at the footprint. The synovial cyst (arrowheads) located at the greater tuberosity is considered significantly associated with the rotator cuff tear in the footprint.

PASTA = partial articular-sided supraspinatus tendon avulsion



PASTA

힘줄 부착 부위의 관절면 측이 파열되는 경우를 partial articular-sided supraspinatus tendon avulsion (이하 PASTA)라고 부른다. 이는 critical zone에서 파열되는 경우보다 36세 미만의 환자에서 훨씬 더 자주 발생한다(57). 이것은 PASTA 병변의 병인이 반복적인 외상성 기전일 수 있음을 시사한다(56). 자기공명영상에서 이 파열은 greater tuberosity에 부착하는 극상건의 관절면 측 부분 파열로 나타난다(Fig. 16). 이때 고신호강도의 결손 근처의 골 피질이 불규칙하게 변하게 되는데, 이는 이전에 힘줄에 의해 보호되고 있던 뼈가 활액에 노출되거나, 근육이 견인된 결과로 여겨

진다(Fig. 16) (55, 58).

CID

Concealed interstitial delamination (이하 CID)은 힘줄 내 파열의 한 유형으로, greater tuberosity에 인접한 극상건의 국소적 파열을 뜻한다. CID 병변은 퇴행성 변화를 기반으로 발생하는 경우가 많으며, 40세 미만의 환자와 40세 이상의 환자가 거의 동일한 빈도로 발생한다고 알려져 있다(59). 자기공명영상에서 국소적인 고신호강도의 결손이 골 피질의 불규칙한 변화와 인접해 보일 때, 결손이 관절 공간과 소통하는 관절면 측 파열인지, 또는 greater tuberosity만 접하고 있는 힘줄 내 파열인지를 확인하는 것이 중요하다(Fig. 17).

Reverse PASTA

점액낭 측으로 벗겨진 힘줄 부착 부위 병변은 reverse PASTA로 진단할 수 있다. 이는 전체 회전근개 부분 파열의 2.9%만을 차지하는 덜 흔한 패턴의 파열이다(55). 자기공명영상에서 국소적인 고신호강도의 결손이 점액낭 측에 위치하고 점액낭과 연속적인 특징을 보인다(Fig. 18).

Delaminated Tear: Specific Component of Partial-Thickness Tear

일반적으로 견봉하 충돌과 관련된 힘줄 파열은 힘줄 방향에 대해 평행한 형태(horizontal configuration)로 나타난다(60). 힘줄 내에서 힘줄 방향과 평행한 방향으로 갈라지는 이 파열 성분을 horizontal splitting tear라고 부른다(61). 이 horizontal splitting tear는 그동안의 회전근개 부분 파열의 분류 체계에서 다루이지 않았다. Horizontal splitting tear가 동반된 회전근개 부분 파열

Fig. 17. Concealed interstitial delamination on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (A) and sagittal (B) images of a 54-year-old male show a focal hyperintense signal (arrows) at the supraspinatus footprint adjacent to the superior facet of the greater tuberosity. The tear along the tendon does not communicate with the intraarticular surface or bursal side, contacting with the greater tuberosity only, verifying an intrasubstantial tear of the footprint.

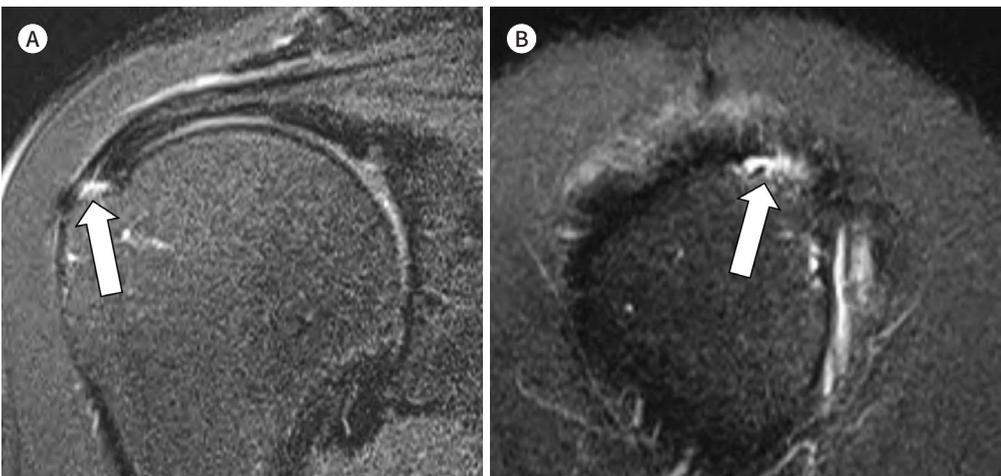


Fig. 18. Reverse PASTA on MRI.

A, B. Fat-suppressed T2-weighted coronal (**A**) and sagittal (**B**) images of a 53-year-old female demonstrate bursal-sided tear (arrows) at the footprint of the supraspinatus tendon, suggesting reverse PASTA. Associated localization of subacromial-subdeltoid fluid (arrowhead), so-called the bursal puddle sign, is considered a characteristic finding of bursal-sided rotator cuff tear.

PASTA = partial articular-sided supraspinatus tendon avulsion

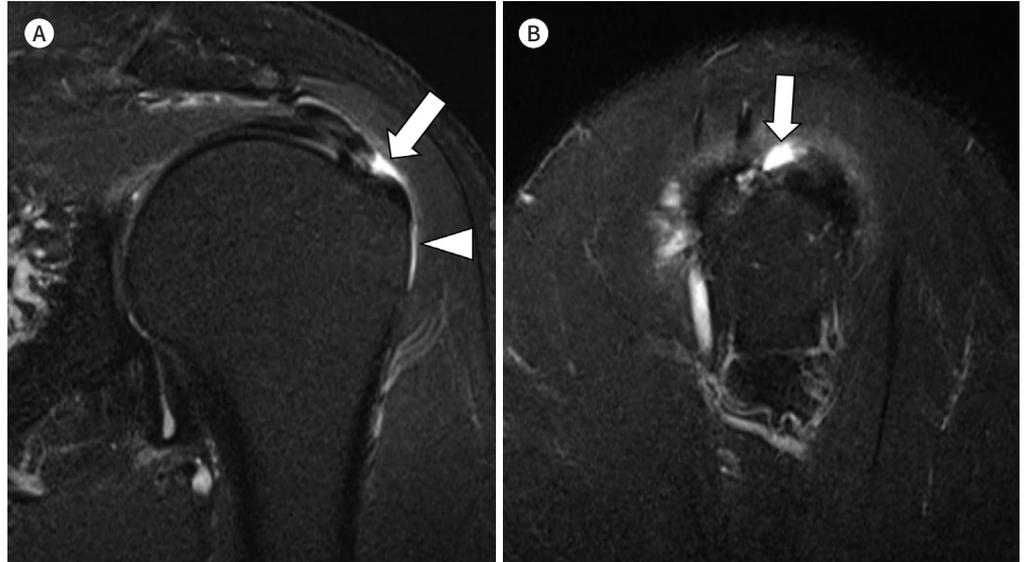
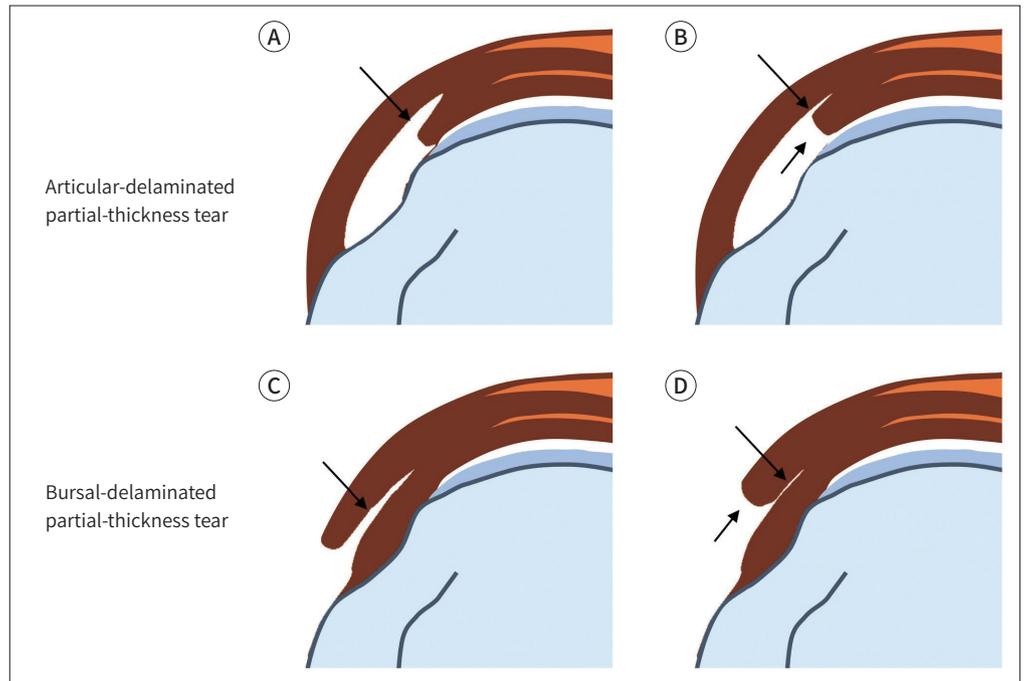


Fig. 19. Schematic diagram of types of delaminated partial-thickness tear of the rotator cuff.

- A.** Articular-delaminated partial-thickness tear with intrasubstantial cleavage plane (arrow).
- B.** Articular-delaminated partial-thickness tear with retraction and thickening of the torn edge (short arrow). Intrasubstantial cleavage gradually becomes invisible (long arrow).
- C.** Bursal-delaminated partial-thickness tear with intrasubstantial cleavage plane (arrow).
- D.** Bursal-delaminated partial-thickness tear with retraction and thickening of the torn edge (short arrow). Intrasubstantial cleavage gradually becomes invisible (long arrow).



의 영상적 특징은 Lee와 Lee (34)에 의해서 처음 정의되었는데, 외전 및 외회전(abduction and external rotation, ABER) 자세로 시행한 MR 관절 조영술(arthrography)에서 힘줄의 긴 축 내에 보이는 조영제의 선형 풀링(linear pooling of contrast)의 존재로 평가하고, type A, B, C로 세부 분류한다. Walz 등(62)은 horizontal splitting tear가 동반된 회전근개 부분 파열을 관절면 측 또는 점액낭 측에서 발생한 수평 방향의 당김으로 정의했다. 점액낭 측은 주로 인장 하중에 대해 잘 늘어나고, 파열에 저항하는 힘줄 다발로 구성되어 있지만, 그에 반해 관절면 측은 쉽게 늘어나지 않기 때문에, 두 층의 응력 차이로 인해 내부 박리가 발생하게 된다. 이때 관절면 측은 당김 정도가 점액낭 측에 비해 더 크다고 알려져 있다(63). 힘줄 내 박리는 활액막층(synovial lining)을 형성하여 이 활액막층이 파열을 따라 퍼지게 되고, 이로 인해 힘줄 내 파열의 치유가 방해받게 된다. 따라서 회전근개의 정상적인 생체 역학을 완전히 복원하고 수술의 안 좋은 예후를 최소화하려면, 회전근개 부분 파열의 힘줄 내 박리 요소를 함께 봉합해 줘야 한다(61).

Choo 등(61)은 자기공명영상에서 박리된 회전근개 파열을 파열 정도와 당김 정도에 따라 총 6 가지 유형으로 분류하였다. 여기서는 박리된 회전근개 파열의 부분 파열에 대해서만 다루도록 하겠다(Fig. 19). 힘줄 내 균열된 틈새(intrasubstantial cleavage plane)는 박리된 회전근개 파열에서 흔히 보인다(Fig. 20) 하지만 이는 박리된 회전근개의 진단에 필수적인 요소는 아니다. 박리된 회전근개 파열 사례의 절반에서 균열된 틈새가 보이지 않았는데, 이는 힘줄 내 균열 틈새를 따라

Fig. 20. Delaminated partial-thickness tear on MRI.

A. Fat-suppressed T2-weighted coronal image of a 52-year-old female shows an intratendinous horizontal cleavage (arrowhead) with articular-sided partial-thickness tear (arrow), representing articular-delaminated partial-thickness tear.

B. Fat-suppressed T2-weighted coronal image of a 57-year-old male shows an intratendinous horizontal cleavage (arrowhead) with bursal-sided partial-thickness tear (arrow), representing bursal-delaminated partial-thickness tear.

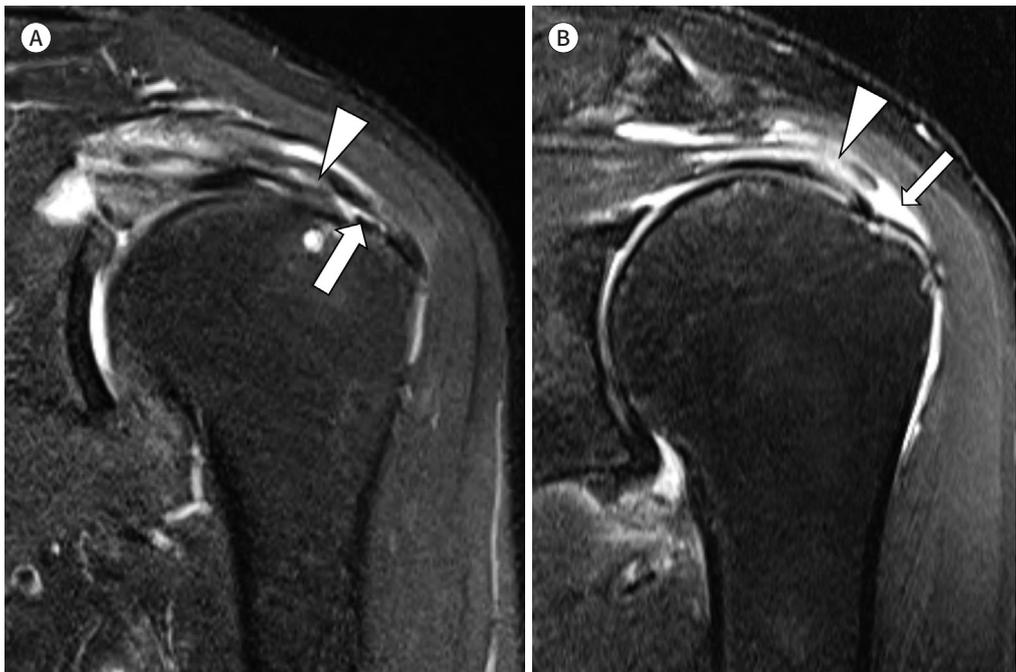
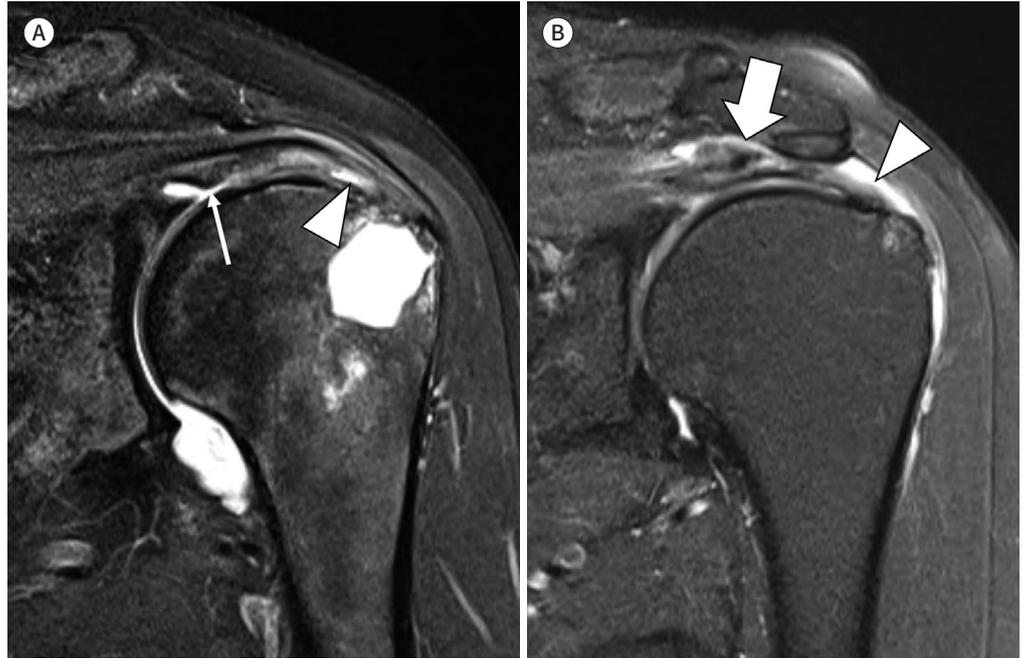


Fig. 21. Delaminated partial-thickness tear with retraction on MRI.

A. Fat-suppressed T2-weighted coronal image of a 52-year-old female shows articular-sided partial-thickness tear (arrowhead) with absence of intrasubstantial cleavage but retracted rotator cable (arrow), possibly indicating retracted articular-delaminated partial-thickness tear.

B. Fat-suppressed T2-weighted coronal image of a 53-year-old female demonstrates retracted torn edge (arrow) along with bursal-sided partial-thickness tear (arrowhead) with absence of intrasubstantial cleavage, possibly indicating retracted bursal-delaminated partial-thickness tear.



서 박리가 진행되고, 이후 찢어진 힘줄의 가장자리가 당겨지면서 균열 틈새가 외부나 관절 공간으로 드러나 없어져 버린 경우이다(62). 이런 경우는 찢어진 힘줄의 가장자리가 당겨지면서 두꺼워지게 된다(Fig. 21). 특히 박리된 회전근개의 관절면 측 부분 파열은 partial articular-sided with intratendinous extension lesion (PAINT lesion)이라고 부른다(Fig. 20A) (64).

결론

회전근개 부분 파열은 전층 파열에 비해서 2배 더 흔한 것으로 추정된다. 그러나 부분 파열은 전층 파열보다 자기공명영상으로 감지하기가 더 어려울 수 있다. 환자의 수술적 또는 비수술적 치료를 선택할 때 파열에 대한 정확한 영상 분석이 중요하다. 회전근개의 해부학적 구조를 바탕으로 하여 회전근개 부분 파열의 종류를 이해하고, 자기공명영상 소견을 주의 깊게 분석하면, 회전근개 부분 파열에 대해 보다 더 정확하게 파악하고 설명할 수 있을 것이다.

Author Contributions

Conceptualization, L.S.K.; data curation, all authors; formal analysis, S.S., L.S.K.; methodology, S.S., L.S.K.; supervision L.S.K.; validation L.S.K., K.J.; visualization, S.S.; writing—original draft, S.S., L.S.K.; and writing—review & editing, L.S.K.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

None

REFERENCES

1. Chang EY, Chung CB. Current concepts on imaging diagnosis of rotator cuff disease. *Semin Musculoskelet Radiol* 2014;18:412-424
2. Yamaguchi K, Ditsios K, Middleton WD, Hildebolt CF, Galatz LM, Teefey SA. The demographic and morphological features of rotator cuff disease. A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1699-1704
3. Brockmeyer M, Schmitt C, Hauptert A, Kohn D, Lorbach O. Limited diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging and clinical tests for detecting partial-thickness tears of the rotator cuff. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017;137:1719-1724
4. de Jesus JO, Parker L, Frangos AJ, Nazarian LN. Accuracy of MRI, MR arthrography, and ultrasound in the diagnosis of rotator cuff tears: a meta-analysis. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:1701-1707
5. Roy JS, Braën C, Leblond J, Desmeules F, Dionne CE, MacDermid JC, et al. Diagnostic accuracy of ultrasonography, MRI and MR arthrography in the characterisation of rotator cuff disorders: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2015;49:1316-1328
6. Balich SM, Sheley RC, Brown TR, Sauser DD, Quinn SF. MR imaging of the rotator cuff tendon: interobserver agreement and analysis of interpretive errors. *Radiology* 1997;204:191-194
7. Vlychou M, Dailiana Z, Fotiadou A, Papanagiotou M, Fezoulidis IV, Malizos K. Symptomatic partial rotator cuff tears: diagnostic performance of ultrasound and magnetic resonance imaging with surgical correlation. *Acta Radiol* 2009;50:101-105
8. Buck FM, Grehn H, Hilbe M, Pfirrmann CW, Manzanell S, Hodler J. Magnetic resonance histologic correlation in rotator cuff tendons. *J Magn Reson Imaging* 2010;32:165-172
9. Erickson SJ, Cox IH, Hyde JS, Carrera GF, Strandt JA, Estkowski LD. Effect of tendon orientation on MR imaging signal intensity: a manifestation of the "magic angle" phenomenon. *Radiology* 1991;181:389-392
10. Kassarian A, Bencardino JT, Palmer WE. MR imaging of the rotator cuff. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2004;12:39-60, vi
11. Batista A, Bagulho C. Magnetic resonance imaging (MRI) spectrum of rotator cuff tears, with arthroscopic-MRI contextualizations. *Acta Radiológica Portuguesa* 2016;28:19-24
12. Hong WS, Jee WH, Lee SY, Chun CW, Jung JY, Kim YS. Diagnosis of rotator cuff tears with non-arthrographic MR imaging: 3D fat-suppressed isotropic intermediate-weighted turbo spin-echo sequence versus conventional 2D sequences at 3T. *Investig Magn Reson Imaging* 2018;22:229-239
13. Clark JM, Harryman DT 2nd. Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. *J Bone Joint Surg Am* 1992;74:713-725
14. Tuite MJ. Magnetic resonance imaging of rotator cuff disease and external impingement. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2012;20:187-200, ix
15. Huang BK, Resnick D. Novel anatomic concepts in magnetic resonance imaging of the rotator cuff tendons and the footprint. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2012;20:163-172, ix
16. Soslowsky LJ, Carpenter JE, Bucchieri JS, Flatow EL. Biomechanics of the rotator cuff. *Orthop Clin North Am* 1997;28:17-30
17. Choo HJ, Lee SJ, Kim DW, Park YM, Kim JH. Assessment of the rotator cable in various rotator cuff conditions using indirect MR arthrography. *Acta Radiol* 2014;55:1104-1111
18. Gyftopoulos S, Bencardino J, Nevsky G, Hall G, Soofi Y, Desai P, et al. Rotator cable: MRI study of its appearance in the intact rotator cuff with anatomic and histologic correlation. *AJR Am J Roentgenol* 2013;200:1101-1105
19. Opsha O, Malik A, Baltazar R, Primakov D, Beltran S, Miller TT, et al. MRI of the rotator cuff and internal derangement. *Eur J Radiol* 2008;68:36-56
20. Burkhart SS, Esch JC, Jolson RS. The rotator crescent and rotator cable: an anatomic description of the

- shoulder's "suspension bridge". *Arthroscopy* 1993;9:611-616
21. Gyftopoulos S, Bencardino JT, Immerman I, Zuckerman JD. The rotator cable: magnetic resonance evaluation and clinical correlation. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2012;20:173-185, ix
 22. Morag Y, Jamadar DA, Boon TA, Bedi A, Caoili EM, Jacobson JA. Ultrasound of the rotator cable: prevalence and morphology in asymptomatic shoulders. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198:W27-W30
 23. Orlandi D, Sconfienza LM, Fabbro E, Ferrero G, Martini C, Lacelli F, et al. Preliminary ultrasound evaluation of the rotator cable in asymptomatic volunteers*. *J Ultrasound* 2012;15:16-19
 24. Sheah K, Bredella MA, Warner JJ, Halpern EF, Palmer WE. Transverse thickening along the articular surface of the rotator cuff consistent with the rotator cable: identification with MR arthrography and relevance in rotator cuff evaluation. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:679-686
 25. Macarini L, Muscarella S, Lelario M, Stoppino L, Scalzo G, Scelzi A, et al. Rotator cable at MR imaging: considerations on morphological aspects and biomechanical role. *Radiol Med* 2011;116:102-113
 26. Morag Y, Jamadar DA, Miller B, Brandon C, Gandikota G, Jacobson JA. Morphology of large rotator cuff tears and of the rotator cable and long-term shoulder disability in conservatively treated elderly patients. *J Comput Assist Tomogr* 2013;37:631-638
 27. Nimura A, Kato A, Yamaguchi K, Mochizuki T, Okawa A, Sugaya H, et al. The superior capsule of the shoulder joint complements the insertion of the rotator cuff. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21:867-872
 28. Kim HM, Dahiya N, Teefey SA, Middleton WD, Stobbs G, Steger-May K, et al. Location and initiation of degenerative rotator cuff tears: an analysis of three hundred and sixty shoulders. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:1088-1096
 29. Mihata T, Bui CNH, Akeda M, Cavagnaro MA, Kuenzler M, Peterson AB, et al. A biomechanical cadaveric study comparing superior capsule reconstruction using fascia lata allograft with human dermal allograft for irreparable rotator cuff tear. *J Shoulder Elbow Surg* 2017;26:2158-2166
 30. Mihata T, Lee TQ, Fukunishi K, Itami Y, Fujisawa Y, Kawakami T, et al. Return to sports and physical work after arthroscopic superior capsule reconstruction among patients with irreparable rotator cuff tears. *Am J Sports Med* 2018;46:1077-1083
 31. Mihata T, Lee TQ, Hasegawa A, Fukunishi K, Kawakami T, Fujisawa Y, et al. Superior capsule reconstruction for reinforcement of arthroscopic rotator cuff repair improves cuff integrity. *Am J Sports Med* 2019;47:379-388
 32. Ellman H. Diagnosis and treatment of incomplete rotator cuff tears. *Clin Orthop Relat Res* 1990;64-74
 33. Kassarian A, Bencardino JT, Palmer WE. MR imaging of the rotator cuff. *Radiol Clin North Am* 2006;44:503-523, vii-viii
 34. Lee SY, Lee JK. Horizontal component of partial-thickness tears of rotator cuff: imaging characteristics and comparison of ABER view with oblique coronal view at MR arthrography initial results. *Radiology* 2002;224:470-476
 35. Mazzocca AD, Rincon LM, O'Connor RW, Obopilwe E, Andersen M, Geaney L, et al. Intra-articular partial-thickness rotator cuff tears: analysis of injured and repaired strain behavior. *Am J Sports Med* 2008;36:110-116
 36. Strauss EJ, Salata MJ, Kercher J, Barker JU, McGill K, Bach BR Jr, et al. Multimedia article. The arthroscopic management of partial-thickness rotator cuff tears: a systematic review of the literature. *Arthroscopy* 2011;27:568-580
 37. Morag Y, Jacobson JA, Lucas D, Miller B, Brigido MK, Jamadar DA. US appearance of the rotator cable with histologic correlation: preliminary results. *Radiology* 2006;241:485-491
 38. Rathbun JB, Macnab I. The microvascular pattern of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br* 1970;52:540-553
 39. Jeong S, Choi JY, Kang YS, Yoo HJ, Kim SH, Hong SH, et al. Disproportionate fluid sign as an aid in diagnosing high-grade bursal-sided supraspinatus tendon tear. *Acta Radiol* 2018;59:1102-1109
 40. Ozaki J, Fujimoto S, Nakagawa Y, Masuhara K, Tamai S. Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathological changes in the acromion. A study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:1224-1230
 41. Fukuda H. Partial-thickness rotator cuff tears: a modern view on Codman's classic. *J Shoulder Elbow Surg* 2000;9:163-168
 42. Chun KA, Kim MS, Kim YJ. Comparisons of the various partial-thickness rotator cuff tears on MR arthrography and arthroscopic correlation. *Korean J Radiol* 2010;11:528-535
 43. Seibold CJ, Mallisee TA, Erickson SJ, Boynton MD, Raasch WG, Timins ME. Rotator cuff: evaluation with US

and MR imaging. *Radiographics* 1999;19:685-705

44. Tucker TJ, Snyder SJ. The keeled acromion: an aggressive acromial variant—a series of 20 patients with associated rotator cuff tears. *Arthroscopy* 2004;20:744-753
45. Dini AA, Snyder SJ. Rotator cuff repair—The SCOI row method. *Medicina Fluminensis* 2015;51:114-126
46. Matava MJ, Purcell DB, Rudzki JR. Partial-thickness rotator cuff tears. *Am J Sports Med* 2005;33:1405-1417
47. Park SE, Panchal K, Jeong JJ, Kim YY, Kim JH, Lee JY, et al. Intratendinous rotator cuff tears: prevalence and clinical and radiological outcomes of arthroscopically confirmed intratendinous tears at midterm follow-up. *Am J Sports Med* 2015;43:415-422
48. Uchiyama Y, Hamada K, Khruengkarnchana P, Handa A, Nakajima T, Shimpuku E, et al. Surgical treatment of confirmed intratendinous rotator cuff tears: retrospective analysis after an average of eight years of follow-up. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:837-846
49. Kim HJ, Park JS, Kim JY, Kee YM, Rhee YG. Interstitial tears of the rotator cuff: difficulty in preoperative diagnosis. *J Shoulder Elbow Surg* 2018;27:487-492
50. McConville OR, Iannotti JP. Partial-thickness tears of the rotator cuff: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg* 1999;7:32-43
51. Cheon SJ, Lee HY, Jeon WK. Arthroscopic treatment for intratendinous rotator cuff tear results in satisfactory clinical outcomes and structural integrity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018;26:3797-3803
52. Lo IK, Gonzalez DM, Burkhart SS. The bubble sign: an arthroscopic indicator of an intratendinous rotator cuff tear. *Arthroscopy* 2002;18:1029-1033
53. Kassarian A, Torriani M, Ouellette H, Palmer WE. Intramuscular rotator cuff cysts: association with tendon tears on MRI and arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol* 2005;185:160-165
54. Codman EA. *The shoulder: rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa*. Boston: Thomas Todd Copany 1934
55. Vinson EN, Helms CA, Higgins LD. Rim-vent tear of the rotator cuff: a common and easily overlooked partial tear. *AJR Am J Roentgenol* 2007;189:943-946
56. Schaeffeler C, Mueller D, Kirchhoff C, Wolf P, Rummeny EJ, Woertler K. Tears at the rotator cuff footprint: prevalence and imaging characteristics in 305 MR arthrograms of the shoulder. *Eur Radiol* 2011;21:1477-1484
57. Tuite MJ, Turnbull JR, Orwin JF. Anterior versus posterior, and rim-vent rotator cuff tears: prevalence and MR sensitivity. *Skeletal Radiol* 1998;27:237-243
58. Arend CF. Top ten pitfalls to avoid when performing musculoskeletal sonography: what you should know before entering the examination room. *Eur J Radiol* 2013;82:1933-1939
59. Budoff JE, Nirschl RP, Guidi EJ. Débridement of partial-thickness tears of the rotator cuff without acromioplasty. Long-term follow-up and review of the literature. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:733-748
60. Schreinemachers SA, van der Hulst VP, Willems WJ, Bipat S, van der Woude HJ. Detection of partial-thickness supraspinatus tendon tears: is a single direct MR arthrography series in ABER position as accurate as conventional MR arthrography? *Skeletal Radiol* 2009;38:967-975
61. Choo HJ, Lee SJ, Kim JH, Kim DW, Park YM, Kim OH, et al. Delaminated tears of the rotator cuff: prevalence, characteristics, and diagnostic accuracy using indirect MR arthrography. *AJR Am J Roentgenol* 2015;204:360-366
62. Walz DM, Miller TT, Chen S, Hofman J. MR imaging of delamination tears of the rotator cuff tendons. *Skeletal Radiol* 2007;36:411-416
63. Nakajima T, Rokuuma N, Hamada K, Tomatsu T, Fukuda H. Histologic and biomechanical characteristics of the supraspinatus tendon: reference to rotator cuff tearing. *J Shoulder Elbow Surg* 1994;3:79-87
64. Brockmeier SF, Dodson CC, Gamradt SC, Coleman SH, Altchek DW. Arthroscopic intratendinous repair of the delaminated partial-thickness rotator cuff tear in overhead athletes. *Arthroscopy* 2008;24:961-965

극상건과 극하건 부분 파열의 재고찰: MR 소견을 바탕으로

송신혜 · 이슬기* · 김지영

회전근개 부분 파열의 자기공명영상 해석은 종종 애매한 경우가 있다. 이 종설에서는 회전근개 중 극상건과 극하건에 초점을 맞춰, 회전근개 부분 파열의 진단을 위한 해부학적 고려 사항을 설명하고, 회전근개 부분 파열의 분류를 요약하며, 박리(delamination)가 포함된 회전근개 부분 파열의 최신 개념을 개략적으로 설명하였다.

가톨릭대학교 의과대학 성빈센트병원 영상의학과