



Postoperative Imaging of Rotator Cuff Tear

회전근개 파열의 수술 후 영상

Min Hee Lee, MD , Hee Jin Park, MD* , Ji Na Kim, MD

Department of Radiology, Sungkyunkwan University School of Medicine, Kangbuk Samsung Hospital, Seoul, Korea

Postoperative imaging of the rotator cuff may be performed routinely, even if pain or disability develops after surgery or if there are no symptoms. Postoperative images are obtained through MRI or US, and the purpose is to confirm the integrity of the restored tendon in general. Postoperative MRI has a relatively poor diagnostic accuracy compared to that of preoperative images because various materials used in surgeries deteriorate the image quality. US can dynamically check the condition of the restored tendon and avoid artifacts from the surgical instruments used for recovery. Although imaging findings are not always consistent with the clinical symptoms or prognosis, sub-deltoid fluid retention is more important for pain and functional recovery than the thickness of the reconstructed tendon. Strain elastography can also be a useful method for predicting the prognosis.

Index terms Shoulder; Magnetic Resonance; Ultrasonography; Rotator Cuff; Surgery

서론

회전근개(rotator cuff) 수술 후 영상 검사는 통증이나 장애가 수술 후 새로 발생하거나 수술 전에 있던 증상이 지속될 때 이루어지고 때로는 증상이 없어도 일상적으로(routinely) 이루어지기도 한다(1-3). 회전근개 수술 후 구조적인 손상(failure)은 비교적 흔하고 잘 알려져 있어서 수술 후 영상은 일반적으로 복구된 힘줄(건)의 완전성을 확인하고자 하는 것이 일차적인 목적이다(4). 영상 소견이 항상 임상 증상이나 예후와 일치하지는 않으며 이에 대하여는 후반부에 중점적으로 다루어 보고자 한다. MRI 영상은 술 후 해부학적 구조 변경을 전반적으로 확인할 수 있고 수술 후 합병증 등을 객관적으로 확인할 수 있다. 하지만 회전근개 수술 후 영상에서는 술 전 영상에 비하여 진단 정확도(diagnostic accuracy)가 다소 떨어진다는(5). 그 이유는 회전근개 회복(repair)에 사용되는 봉합 앵커(suture anchor) 등이 영상 화질을 나쁘게 하기 때문이다. 반흔 조직이나 연부 조직 부종 등이 영상 해석을 어렵게 하는 경우도 있다(6). 이러한 경우 초음파(이하 US)가 좋은 대안이 될 수 있다. US는 복구된 회전근개

Received July 26, 2021
Revised October 6, 2021
Accepted November 25, 2021

*Corresponding author
Hee Jin Park, MD
Department of Radiology,
Sungkyunkwan University
School of Medicine,
Kangbuk Samsung Hospital,
29 Saemunan-ro, Jongno-gu,
Seoul 03181, Korea.

Tel 82-2-2001-1035
Fax 82-2-2001-1030
E-mail parkhiji@gmail.com

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

Min Hee Lee
[https://
orcid.org/0000-0002-2492-561X](https://orcid.org/0000-0002-2492-561X)
Hee Jin Park
[https://
orcid.org/0000-0002-3135-0586](https://orcid.org/0000-0002-3135-0586)
Ji Na Kim
[https://
orcid.org/0000-0002-1877-9273](https://orcid.org/0000-0002-1877-9273)

의 상태를 역동적으로 확인할 수 있고 회복에 사용되는 수술 기구들로부터 생기는 인공물도 피할 수 있다(6, 7).

이에 회전근개 수술 후 영상 소견을 MRI와 US로 나누어 개관해 보고 영상 소견과 술 후 예후와의 상관성에 대해 논의해 보고자 한다.

Imaging Techniques

MRI

MRI는 뛰어난 대비 해상도(contrast resolution) 때문에 술 후 어깨 영상에서 주로 이용된다. 술 전 영상에서처럼 표면 코일은 최대 신호대 잡음비로 사용해야 하며 이미징 평면은 축, 관상 경사 및 시상 경사 투시를 사용하는 어깨 표준영상과 유사하다. 하지만 동일한 신체 부위를 길지 않은 시간 간격을 두고 시행하는 것이므로 반드시 초기 MRI와 동일한 sequence를 다 시행할 필요는 없다. 술 후 어깨 영상에서 축약된(abbreviated) sequence를 사용할 수 있는데 술 후 평가에 있어서 큰 지장은 없다. Sequence 수를 줄였기 때문에 scan time은 40% 정도 줄어들게 된다. 본 원에서는 회전근개 수술 후 시행되는 정기적인 술 후 MRI는 abbreviated MR sequence (limited MR of shoulder)를 시행한다. 보통의 술 전 견관절 MR sequence는 oblique coronal T2-weighted image (이하 WI), T2WI, oblique coronal fat saturated (이하 FS) T2WI, oblique coronal proton density image, oblique sagittal T1WI, oblique sagittal T2WI, axial FS proton density image and axial T2WI의 총 7개의 sequence를 촬영하지만 술 후 견관절 limited MR에서는 oblique coronal FS T2WI, oblique coronal proton density image, oblique sagittal T2WI and axial T1WI 등 4개의 sequence 영상을 이용한다(Table 1). 술 전 MRI의 경우 극상근(supraspinatus; 이하 SST) 파열의 진단에 있어서 높은 민감도와 특이도를 보인다(8). 하지만 견봉하 감압술 및 건의 외과적 수리 후에는 해부학적 변화와 여러 외과적 물질들로 인해 재건된 건의 평가가 어려워질 수 있다.

Reducing Metal Artifact

하드웨어의 금속 및 수술기구에 의한 미세금속 잔여물은 자화율(susceptibility)에 관련된 MRI 인공물을 생성할 수 있다(Fig. 1). 이것은 다른 균질한 외부 자기장 B_0 에 금속 물체에 의해 도입된

Table 1. Abbreviated MRI Protocol for Postsurgical Shoulder Joint Imaging

Plane and Sequence	FOV (cm)	Matrix (Frequency × Phase)	TE (msec)	TR (msec)	Bandwidth (kHz)	NEX
Axial T1 FSE	160	228 × 190	15	400–800	290	1
Oblique coronal T2 fat-saturated FSE	161	356 × 253	80	2500–4000	229	1
Oblique coronal PD FSE	160	320 × 247	30	2500–6000	219	1
Oblique sagittal T2 FSE	160	356 × 254	80	3000–5000	400	1

FOV = field of view, FSE = fast spin echo, NEX = number of excitations, PD = proton density, TE = time to echo, TR = time to repetition

국소 자기장의 불균일성에 의해 나타난다(9). 최근 관절경 어깨 수술에 사용되는 대부분의 정형외과용 하드웨어는 티타늄으로 만들어졌으므로 스테인리스 스틸 및 코발트 크롬과 같은 강자성 금속으로 만든 기존의 정형외과용 하드웨어에 비해 하드웨어로 인한 인공물을 크게 줄였다(10). 그럼에도 불구하고 모든 정형외과용 하드웨어는 이미징 되는 평면(평면 내 인공물, in-plane artifact)과 인접한 평면(평면 통과 인공물, through-plan artifact) 모두에서 인공물을 유발한다(10). 최신 MRI 기술로는 금속 인공물 보정을 위한 slice encoding for metal artifact correction (SEMAC)이라고 하는 시퀀스가 있는데 이것은 view angle tilting를 사용하여 판독 인코딩 왜곡을 완화하고 슬라이스 차원에 추가적인 plane 인코딩 단계를 추가해 슬라이스 왜곡을 다시 등록하여 in-plane 및 through-plane의 왜곡을 보정한다(11). Multiple-acquisition with variable resonances image combination (MAVRIC, 가변 공명 이미지 조합을 사용한 다중 획득)이라고 하는 또 다른 금속 인공물 감소 기술이 있는데 이것은 각각의 Fourier 재구성에 존재하는 인코딩 오류를 줄이기 위해 다중 스펙트럼 중첩 비공간 선택 3D 획득(multiple spectrally overlapping nonspatially selective 3D acquisition)을 사용한다(12-14). 이러한 시퀀스는 현재 또는 조만간 대부분의 스캐너에서 상당히 쉽게 사용할 수 있고 상당한 영상화질의 향상을 이룰 수 있지만 스캔 시간이 증가하는 단점이 있다(15). 금속 인공물을 줄이기 위한 방법을 요약하면 Table 2와 같다(16).

Postsurgical MR Arthrography

수술 후 어깨에 대한 MR 관절 조영술은 회전근개 회복 및 불안정성 수술 평가에 유용하다(17-21). 일반 MRI보다 우수한 점은 재파열과 술 후 육아 조직(granulation tissue)과의 구분이 용이하다는 것이다. 재파열은 조영제가 차게 되지만 육아조직이나 섬유화 반흔 등에는 조영제가 차지 않기

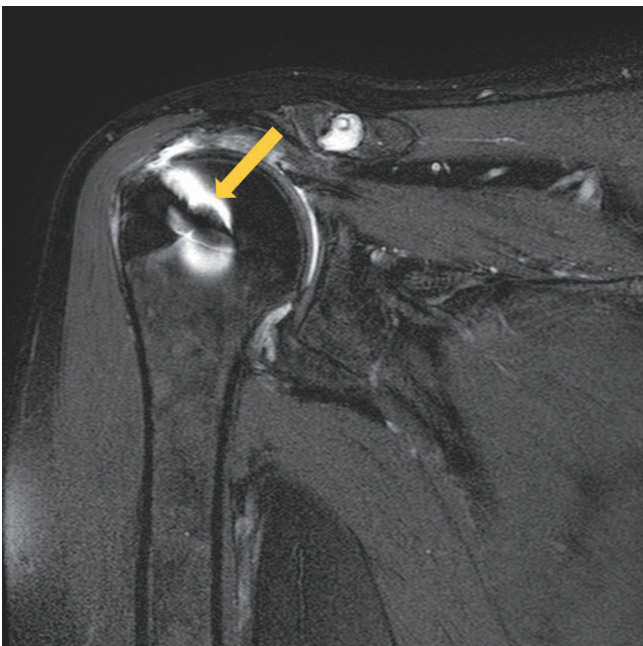


Fig. 1. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3000/80) shows a susceptibility artifact in the humeral head from a metal suture anchor for rotator cuff repair, indicated by a distortion in the shape of the metallic object and a halo of signal alteration around the anchor (arrow). TE = time to echo, TR = time to repetition

Table 2. How to Reduce Metal Artifacts in Postsurgical Shoulder MRI

Use lower magnetic field strength (1.5T is supper to 3T)
Use FSE sequences (not GRE)
Use short inversion time inversion-recovery sequences for fat saturation (not frequency selective)
Increase bandwidth and echo train length
Increase matrix and decrease section thickness (reduce voxel size)
Change frequency and phase-encoding directions
Consider MAVRIC sequence
Consider SEMAC sequence

FSE = fast spin echo, GRE = gradient echo, MAVRIC = multiple-acquisition with variable resonances mage combination, SEMAC = slice encoding for metal artifact correction

때문이다(16). MR 관절 조영술은 임상 증상, 증상의 위치 및 수술방법에 따라 전방 또는 후방으로 투시 또는 초음파 유도하 바늘(21-23 G)을 주입한 후 희석된 MR 조영제를 주입한다(22, 23). 주입량은 환자 체격과 수술 내용에 따라 다르나 대략 15-25 mL를 주입하게 된다. 술 후 MR 관절 조영술의 유용성에 대해서는 찬반 논쟁이 있으며 본원에서는 일상적으로(routinely) 시행하지는 않는다. 그 이유는 일단 창상 회복이 완전하지 않을 수 있고 술 후 환자들은 대부분 어느 정도의 관절 내 액체 저류가 있기 때문이다. 파열된 건을 재건한다는 것이 방수화된(watertight) 재건을 의미하는 것은 아니다. 다시 말하면 술 후 MR 관절 조영술에서 삼각근하 공간으로 조영제가 셴다고 해서 비정상적인 재건이 아니라는 것이다(10, 16). 더욱이 완벽하게 방수화된 재건이 반드시 좋은 임상 결과를 나타내는 것도 아니다(16, 24). 반대로 술 후 재파열이 있는 경우에도 술 후 반흔 등으로 인해 MR 관절 조영술 영상에 조영제 유출이 없는 경우가 있다(16, 25).

US

US는 높은 공간 해상도를 가지고 있고 실시간으로 동적 운동을 수행할 수 있기 때문에 회전근개의 수술 후 평가, 특히 MRI 영상을 왜곡시키는 금속 인공물이 있을 때 매우 유용할 수 있다. 심장 박동기와 같이 자장에 대한 금기 사항이 있는 환자에서도 US는 술 후 복구된 회전근개를 평가하는 데 유용한 도구이다. 일부 연구에서는 MRI가 술 전 진단 보다 술 후 진단에서 진단 정확도(diagnostic accuracy)가 80% 정도로 낮다고 보고하였다(2). 정적 검사인 MRI와 달리 US는 동적으로(dynamically) 검사를 할 수 있어 회복된 극상건의 상태를 실시간으로 움직이면서 확인할 수 있고 견봉하 충돌 여부까지도 확인할 수 있다. 하지만 US는 surgical anchor나 술 후 상완골의 골부종 등의 평가에는 한계가 있다.

술 후 US의 검사 자세는 술 전에 시행한 기본 검사 자세와 동일하다. 다만 추가로 수복된 건의 두께를 측정하고 거의 대부분 존재하는 삼각근 하(sub-deltoid) 액체 저류의 양을 기본적으로 측정한다. 측정하는 방법은 수복된 SST의 횡단 스캔에서 건 부착부위(foot print)에서 1 cm 근위부에서 측정하며 이 지점에서 시상 스캔으로 전환한 후 이두박근의 장두건(long head of biceps brachi)으로부터 1 cm 과 2 cm에서 두께를 측정한다(US findings after rotator cuff surgery and clinical outcome 참조). 일부 환자들은 수술 후 경과 기간이 짧거나 경과가 좋지 않은 경우 기본자세

인 Crass 자세 및 수정된 Crass 자세를 취할 수 없는 경우도 있다(26). 이러한 경우는 중립 자세나 완전하지 않은 Crass 자세에서 검사를 시행하기도 한다.

Surgical Techniques

관절 경 회전근개 수복(arthroscopic rotator cuff repair; 이하 ARCR)은 주로 SST의 손상이 있을 때 사용하는 치료법이다. 단일 행 기법(single-row technique)과 이중 행 기법(double-row technique)을 많이 사용하는데 어느 방법이 더 우수한지는 아직도 논란이 있다(3). 많은 연구에서 이중 행 기법이 단일 행 기법에 의한 결과보다 우수한 생체 역학적 결과를 보여주고 있다고 보고했지만, 다른 여러 연구에서는 임상 결과와 관련하여 단일 행 복구와 이중 행 복구 간에 유의한 차이가 없다고 보고한 경우도 있다(Fig. 2) (27-29). ARCR에서는 견봉하 감압술(subacromial decompression)을 동반하게 되는데 견봉의 밑면을 골내 버링(burring)이나 절제하여 견봉하 공간을 확대한다(16). 견봉의 전내측에 있는 모든 돌기(osteophyte)와 골극(spur)를 제거하여 SST에 가해지는 양적 하중을 완화한다(Fig. 3). 견봉 쇄골 관절증(acromioclavicular arthrosis)이 심할 경우 원위부 쇄골 절제술(mumford procedure)을 하기도 하는데 보통 원위부 1 cm 이내에서 시행한다(16, 30).

Normal MRI Findings after Rotator Cuff Surgery

수복된 회전근개는 매우 다양하게 보일 수 있는데 부분 파열에서 debridement 한 후의 건은 매끈하게 관찰되며 일부 결함(defect)을 보일 수 있다(17, 18). MR 영상에서는 봉합사, 육아 조직, 섬유화 및 금속 인공물 등이 수복된 건 내에서 저신호강도나 중간신호강도로 보이기 때문에 이러한

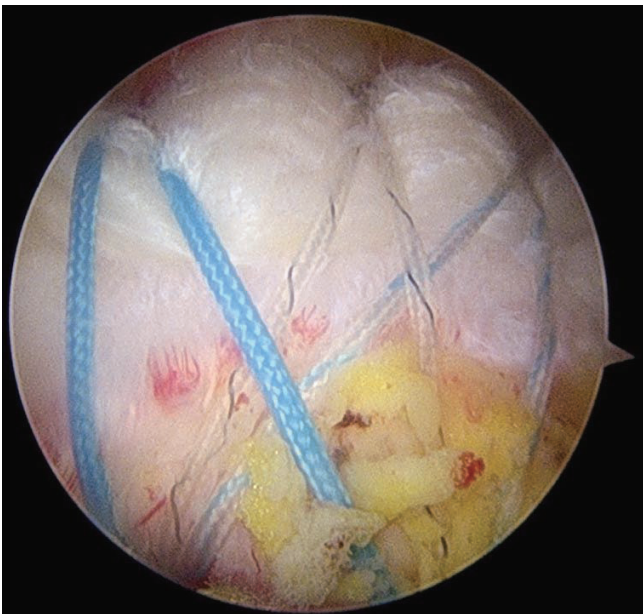


Fig. 2. Arthroscopic image shows double-row rotator cuff repair in a 62-year-old male.

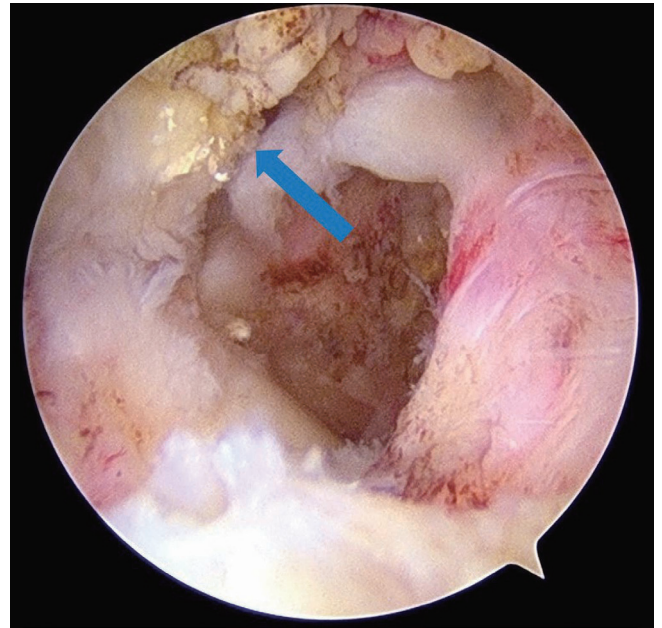
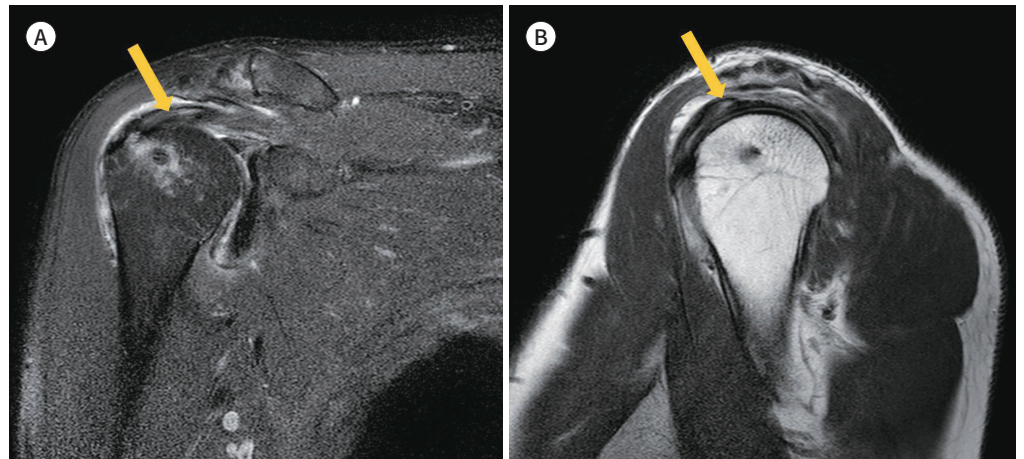


Fig. 3. Arthroscopic image obtained during sub-acromial decompression shows a smooth acromion and decompressed bursal space after resection (arrow).

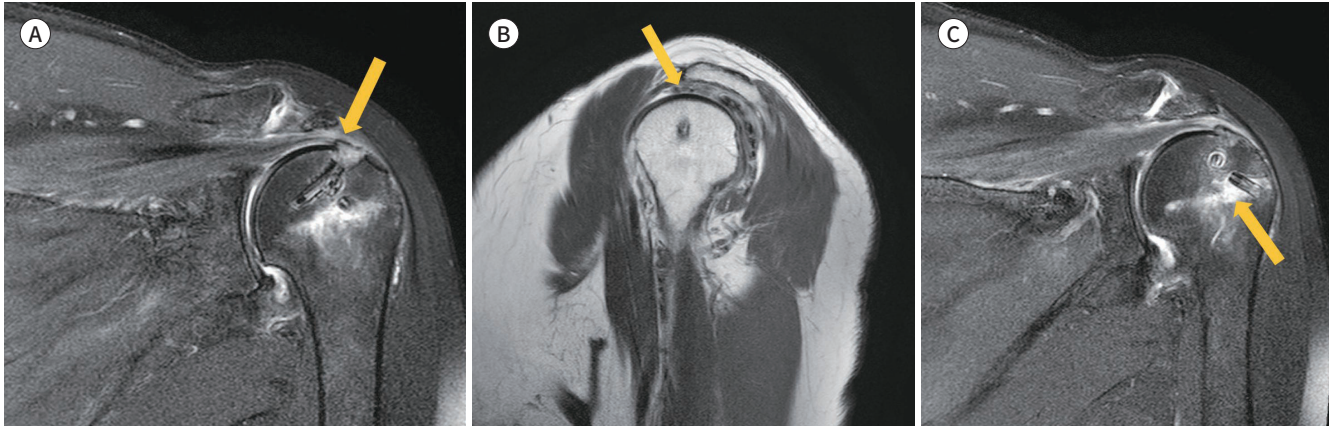
Fig. 4. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3000/80, A) and oblique sagittal T2-weighted image (TR/TE = 3000/80, B) show persistently increased signal intensity within the tendon 3 months after surgery (arrows), demonstrating normal postsurgical findings after arthroscopic tendon repair without symptoms.

TE = time to echo, TR = time to repetition



신호강도가 건증이나 재파열을 시사하지는 않는다(31, 18). MR 영상에서 건 내의 증가된 신호강도는 6개월 이상 지속될 수도 있다(Fig. 4) (16, 32, 33). 이러한 재건된 건의 T2WI에서의 신호강도 증가는 약 90%에서 관찰되며 정상 건에서 보이는 균질한 신호강도는 10%에서만 보인다(18). 통증도 없고 기능도 양호한 환자도 재건된 건의 thinning이나 부분 파열과 유사한 소견을 보일 수 있다(Fig. 5A, B). 하지만 증상이 뚜렷한 환자는 보통 11 mm 이상의 큰 결손(defect)을 보인다(34). 결손으로 보이는 부분도 원래 조직의 상태가 나빠 수술 시 재건을 하지 않았을 수도 있으므로 수술 기록지를 면밀히 검토하여 재파열로 보고서를 내지 않도록 하는 것이 중요하다(10, 16). 회전근개 재건 후, 봉합사 앵커(anchor)에 대한 정상적인 반응과 수술 후 골의 변화로 인해 기저 골의 변

Fig. 5. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3200/80, **A**) and oblique sagittal T2-weighted image (TR/TE = 3600/80, **B**) of a 60-year-old female show thinning and some irregularities (arrows) with intermediately increased signal intensity, which are expected postoperative findings after rotator cuff repair and debridement. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3200/80, **C**) of a 52-year-old male shows bone edema (arrow) surrounding the suture anchors, another normal postoperative finding. TE = time to echo, TR = time to repetition



화가 발생한다. 부종과 같은 신호강도는 무증상 환자에서 수술 후 수년간 봉합사 앵커에 인접한 greater tuberosity 골수 내에서 볼 수 있다(Fig. 5C) (18). 골 내의 봉합사 앵커는 물을 흡수하고 가수분해된다. 봉합사 앵커가 뼈로 대체되기 전에 수술 후 최대 2년까지 주변의 부종이나 유체 신호 강도를 볼 수 있다(35).

Abnormal MRI Findings after Rotator Cuff Surgery

회전근개 재건 후 약 25%에서 통증이 지속되고 기능적 이상이 남아 있다고 한다(16, 36). 재건된 건의 재파열 비율은 11%~68%로 다양하게 보고된다(37, 38). 재파열과 관련된 요소는 다양하다. 환자의 나이, 손상 정도와 위치 그리고 부적절한 재활치료 등이 영향을 끼칠 수 있고 회전근개의 지방 침윤(fatty infiltration)도 중요한 인자이다. 일반적으로 재파열의 가장 중요한 인자는 수상 당시의 파열의 크기이므로 술 전 MRI 판독에서는 파열의 gap (mediolateral dimension)과 width (anteroposterior dimension)를 반드시 기술하여야 한다. 아울러 회전근개의 지방 침윤 정도를 Goutallier grade를 이용해 기술하는 것이 중요하다(39, 40). 기술적인 요인으로는 파열된 건 조직의 상태가 나빠 회복(healing)이 잘되지 않는 경우와 앵커가 빠져나오거나 봉합사가 끊어지는 등 재건된 건의 고정이 실패하는 경우이다(24, 41). 앵커가 빠진 경우 빠져나온 앵커를 MRI나 일반 촬영에서 확인할 수 있다(Fig. 6). 재파열의 MRI 소견은 술 전 MRI와 비슷한데 액체나 조영제가 건 속으로 들어가거나 뚫고 나오는 소견을 보인다(Figs. 7, 8). 일반적으로 건 회복의 지표로 사용하는 Sugaya classification을 사용하여 반정량적 평가를 하기도 한다. 이 방법은 5 stage로 평가하며 type 1 (충분한 두께, T2WI에서 균질한 건 signal), type 2 (충분한 두께, 건 내의 고신호 강도 병변), type 3 (연속적이지만 불충분한 두께), type 4 (한 slice 이상에서 부분적인 불연속성) 그리고 type 5 (심한 불연속성) 등으로 분류한다(33).

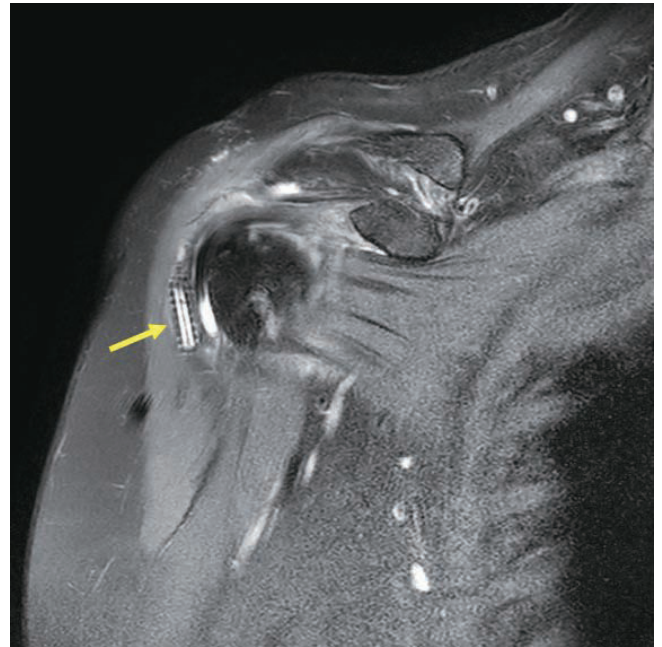


Fig. 6. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3000/80) shows dislodged surgical anchor (arrow) in the joint space of a 65-year-old female 2 months after arthroscopic tendon repair, with reported pain. TE = time to echo, TR = time to repetition

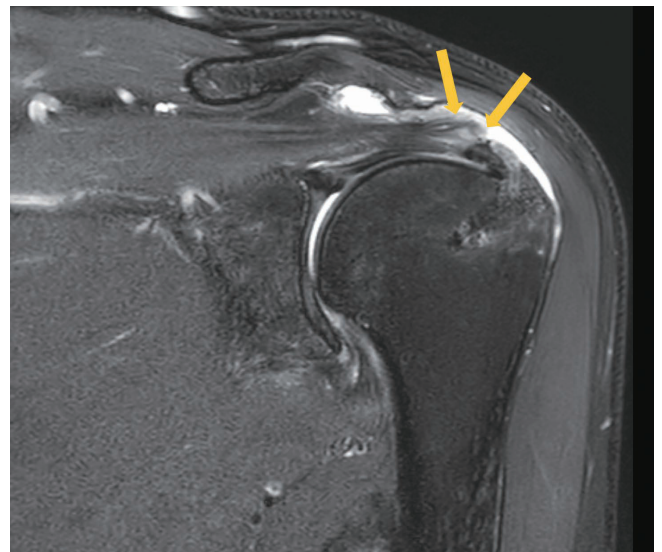


Fig. 7. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3200/80) of a 63-year-old male 2 months post-operatively following rotator cuff repair shows a partial thickness bursal re-tear (arrows) of the supraspinatus tendon without symptoms. TE = time to echo, TR = time to repetition

US Findings after Rotator Cuff Surgery

재건된 회전근개는 술 후 수년 동안 US에서 다양하고 이질적인(heterogeneous) 모습을 보일 수 있다(16). 처음에 재건된 건은 정상적인 원섬유구조(fibrillary structure)의 손실과 함께 저에코로 보이지만 시간이 지남에 따라 점차 echogenic 한 형태를 보인다(Fig. 9) (16). Gulotta 등(42)은 술 후 건의 결함이 20%–50%까지 US에서 관찰되고 점차 감소하여 최대 5년까지 남아있을 수 있다고 하였다. Prickett 등(5)은 술 후 유증상 환자를 대상으로 한 연구에서 US를 이용한 재파열의 진단에서 89%의 정확도, 91%의 민감도 그리고 80%의 특이도를 보인다고 하였다. 재건된 건의

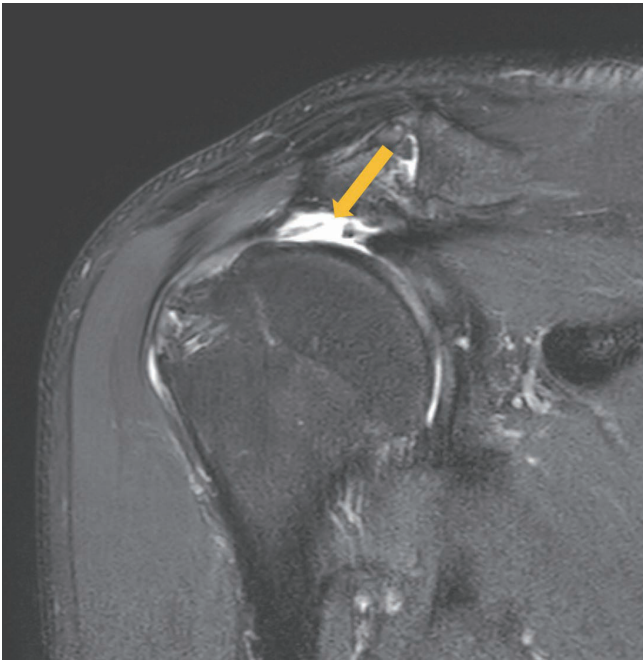


Fig. 8. Oblique coronal fat-saturated T2-weighted image (TR/TE = 3000/80) of a 56-year-old female without symptom shows a full thickness, fluid-filled (arrow) re-tear of the supraspinatus tendon 4 years after rotator cuff repair. TE = time to echo, TR = time to repetition

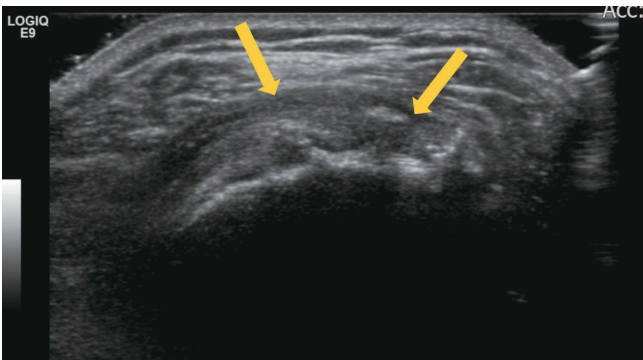


Fig. 9. US image of a 56-year-old male shows heterogeneously echogenic repaired tendon with loss of the normal fibrillar architecture after rotator cuff repair (arrows).

부분 또는 전체 두께 파열은 US 소견 상의 부분적인 혹은 전체적인 결함의 여부로 진단할 수 있는데 일반적으로 재건한 greater tuberosity 부위에서 발생한다. 그러나 반복된 파열은 재건된 건을 따라 더 근위부에서 발생할 수도 있다(Fig. 10) (16).

US Findings after Rotator Cuff Surgery and Clinical Outcome

재건된 회전근개의 구조적 이상이 대표적인 합병증이기 때문에 대부분의 연구들은 이 재건된 건의 연속성에 주안점을 두고 이루어졌다(4). 최근 연구에 의하면 술 후 US 소견과 수술 결과의 상관성에 있어서 재건된 건의 연속성 말고도 예후에 영향을 주는 요소가 있다고 한다(3). 많은 연구에서 복구된 건의 두께는 예후와는 큰 상관성이 없는 것으로 알려져 있다(3, 43-45). 복구된 건의 두께는 술 후 염증 반응이나 부종등과 연관이 있기도 하지만 환자의 나이나 기저 질환에 따라 다르게 측정될 수 있고 예후와도 무관하다(Fig. 11) (3). 건의 두께 이외에도 술 후 통증과 연관된 요

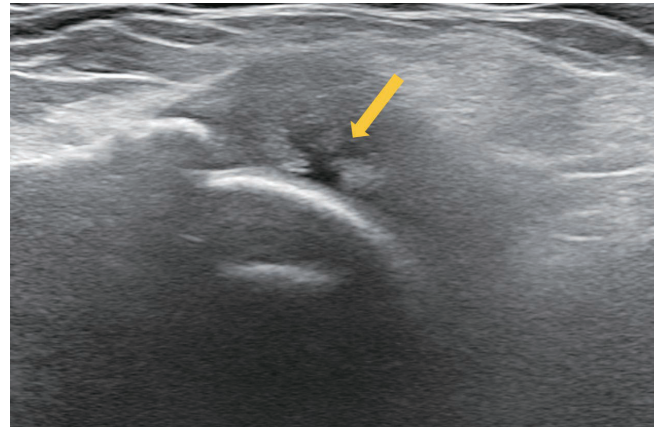


Fig. 10. US image of a 57-year-old female after 3 months without symptom shows fluid-filled cleft at the repaired rotator cuff tendon (arrow).

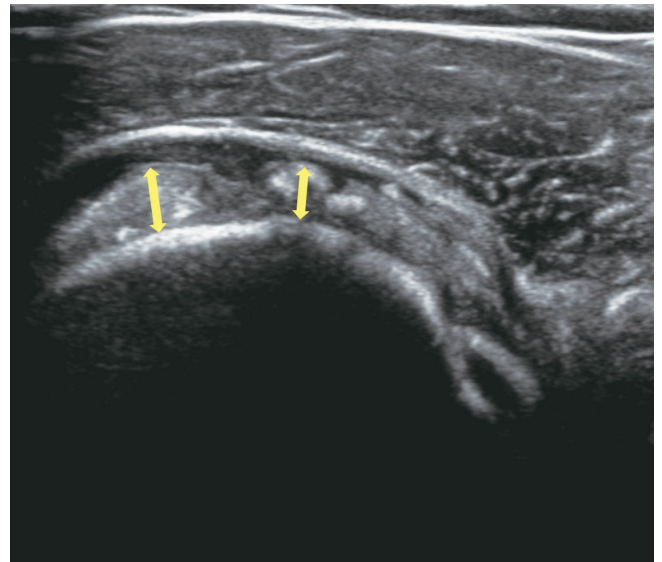


Fig. 11. US image shows measurement of the repaired supraspinatus tendon thickness on sagittal scan when the probe is aligned with the greater tuberosity, with two lines (arrows) drawn perpendicular to the tendon fibers at 10 mm and 20 mm distal from the biceps tendon.

소로 삼각근하 액체 저류(subdeltoid fluid collection; 이하 SDF)가 있다. SDF는 술 후 영상에서 흔히 발견되는 정상 소견이지만 증례마다 양이 많은 차이를 보인다(Fig. 12). Yoo 등(43)은 약 35%의 술 후 환자에서 SDF를 보였다고 하였다. 술 후 통증은 이 SDF의 양과 밀접한 연관성이 있으며 이루어진 수술의 방법, 환자 나이 등과는 무관하다. 이럴 경우 US-guided aspiration 또는 injection이 매우 유용한 방법이 될 수 있다(3). 이 SDF의 양은 또한 60세 이상의 그룹에서 술 후 견관절 기능 회복과도 음의 상관관계를 보이는 SDF의 양이 적을 수록 기능 회복이 더 좋다.

긴장 탄성도 검사(strain elastography; 이하 SE)는 최근 많이 이용되는 방법으로 탄성도를 이용하여 조직의 특성을 평가하는 방법인데 회전근개의 탄성도 소견과 임상 결과와의 상관성은 알려져 있는데 술 후 어깨에 적용한 예는 거의 없다(46). 최근 연구에 의하면 탄성도가 높은 재건된 건일수록 나중에 근육의 힘(strength)이 좋아지고 견관절의 기능도 좋게 변화한다(Fig. 13). 그러므로 SE를 기존의 US 검사 방법과 병용한다면 술 후 결과와 예후 예측에 좀 더 유용한 정보를 제공할 수 있다. US는 복구된 건의 상태를 역동적으로 확인할 수 있고 수술 인공물도 피할 수 있지만 봉합 앵커와 상완골의 부착 상태나 axillary recess 등의 평가가 어려운 측면도 있다.

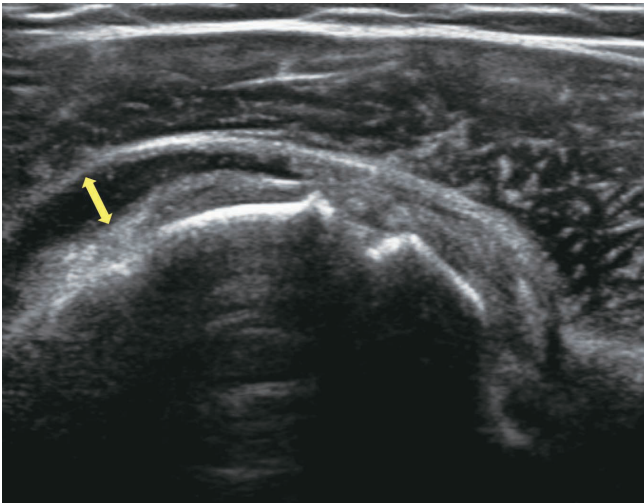
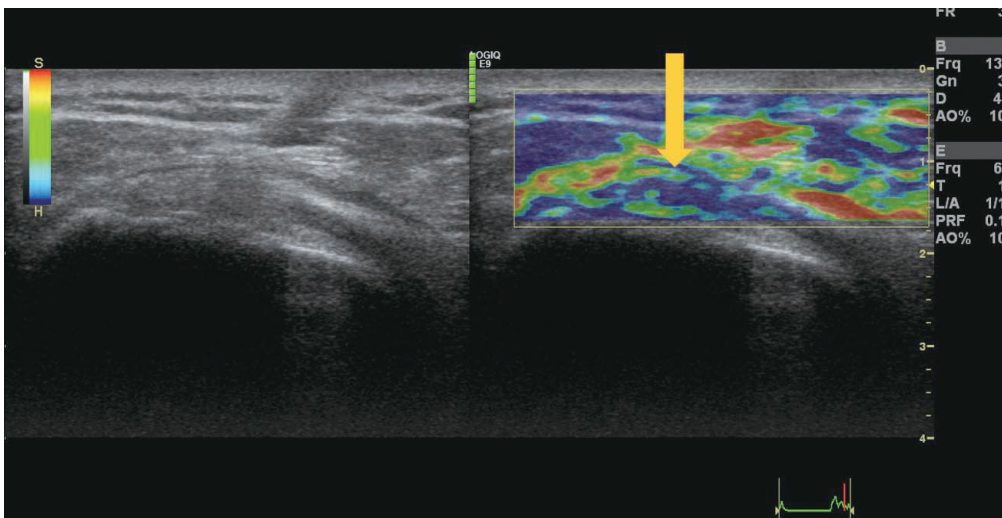


Fig. 12. US image shows measurement of the maximum thickness (arrow) of the sub-deltoid fluid collection after rotator cuff repair.

Fig. 13. Strain elastography image of a 59-year-old male who did not show pain or discomfort shows increased stiffness of the repaired supraspinatus tendon (blue color, arrow) 4 months after rotator cuff repair.



결론

회전근개 수술 후 영상은 주로 MRI나 초음파를 통해 이루어지고 재건된 건의 상태를 관찰하여 재파열의 여부를 확인하는 것이 일차적인 목적이다. MRI는 술 전 진단에선 매우 우수하지만 여러 수술 물질 등에 의해 술 후 정확도는 약간 낮다. 이러한 경우 인공물을 피할 수 있는 초음파검사가 복구된 건의 상태를 역동적으로 확인할 수 있고 건의 형태적인 변화도 확인이 용이하므로 대안이 될 수 있다. 하지만 건의 연속성을 확인하는 부분에서는 아직도 MRI가 우수하다. 영상 소견이 항상 임상 증상이나 예후와 일치하지는 않으나 재건된 건의 두께보다는 삼각근하 액체 저류가 통증과 기능 회복에 있어 중요하다. 긴장 탄성도 검사도 예후를 예측하는데 유용한 방법이 될 수 있다.

Author Contributions

Conceptualization, P.H.J.; data curation, L.M.H., P.H.J.; methodology, P.H.J.; project administration, P.H.J.; resources, P.H.J., K.J.N.; supervision, P.H.J.; validation, K.J.N.; visualization, L.M.H.; writing—original draft, L.M.H.; and writing—review & editing, P.H.J., K.J.N.

Conflicts of Interest

Hee Jin Park has been a Editorial Board Member of the Journal of the Korean Society of Radiology since 2021; however, he was not involved in the peer reviewer selection, evaluation, or decision process of this article. Otherwise, no other potential conflicts of interest relevant to this article were reported.

Funding

None

REFERENCES

1. Ruiz-Suarez M, Barber FA. Postoperative pain control after shoulder arthroscopy. *Orthopedics* 2008;31:1130
2. Tashjian RZ, Bradley MP, Tocci S, Rey J, Henn RF, Green A. Factors influencing patient satisfaction after rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2007;16:752-758
3. Kim H, Park HJ, Lee SY, Kim JN, Moon J, Kim MS, et al. Ultrasound evaluation of postsurgical shoulder after rotator cuff repair: comparison of clinical results. *Acta Radiol* 2020;62:1025-1034
4. Miller BS, Downie BK, Kohen RB, Kijek T, Lesniak B, Jacobson JA, et al. When do rotator cuff repairs fail? Serial ultrasound examination after arthroscopic repair of large and massive rotator cuff tears. *Am J Sports Med* 2011;39:2064-2070
5. Prickett WD, Teefey SA, Galatz LM, Calfee RP, Middleton WD, Yamaguchi K. Accuracy of ultrasound imaging of the rotator cuff in shoulders that are painful postoperatively. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85:1084-1089
6. Codsí MJ, Rodeo SA, Scalise JJ, Moorehead TM, Ma CB. Assessment of rotator cuff repair integrity using ultrasound and magnetic resonance imaging in a multicenter study. *J Shoulder Elbow Surg* 2014;23:1468-1472
7. Teefey SA. Shoulder sonography: why we do it. *J Ultrasound Med* 2012;31:1325-1331
8. Owen RS, Iannotti JP, Kneeland JB, Dalinka MK, Deren JA, Oleaga L. Shoulder after surgery: MR imaging with surgical validation. *Radiology* 1993;186:443-447
9. Lee MJ, Kim S, Lee SA, Song HT, Huh YM, Kim DH, et al. Overcoming artifacts from metallic orthopedic implants at high-field-strength MR imaging and multi-detector CT. *Radiographics* 2007;27:791-803
10. Beltran LS, Bencardino JT, Steinbach LS. Postoperative MRI of the shoulder. *J Magn Reson Imaging* 2014;40:1280-1297
11. Lu W, Pauly KB, Gold GE, Pauly JM, Hargreaves BA. SEMAC: slice encoding for metal artifact correction in MRI. *Magn Reson Med* 2009;62:66-76
12. Koch KM, Lorbiecki JE, Hinks RS, King KF. A multispectral three-dimensional acquisition technique for imaging near metal implants. *Magn Reson Med* 2009;61:381-390
13. Sutter R, Ulbrich EJ, Jellus V, Nittka M, Pfirrmann CW. Reduction of metal artifacts in patients with total hip arthroplasty with slice-encoding metal artifact correction and view-angle tilting MR imaging. *Radiology* 2012;265:204-214
14. Knudsen HB, Gelineck J, Sjøbjerg JO, Olsen BS, Johannsen HV, Sneppen O. Functional and magnetic resonance imaging evaluation after single-tendon rotator cuff reconstruction. *J Shoulder Elbow Surg* 1999;8:242-246
15. Hargreaves BA, Worters PW, Pauly KB, Pauly JM, Koch KM, Gold GE. Metal-induced artifacts in MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197:547-555
16. Pierce JL, Nacey NC, Jones S, Rierson D, Etier B, Brockmeier S, et al. Postoperative shoulder imaging: rotator cuff, labrum, and biceps tendon. *Radiographics* 2016;36:1648-1671
17. Rhee RB, Chan KK, Lieu JG, Kim BS, Steinbach LS. MR and CT arthrography of the shoulder. *Semin Musculoskelet Radiol* 2012;16:3-14
18. Spielmann AL, Forster BB, Kokan P, Hawkins RH, Janzen DL. Shoulder after rotator cuff repair: MR imaging findings in asymptomatic individuals—initial experience. *Radiology* 1999;213:705-708
19. Vahlensieck M, Lang P, Wagner U, Möller F, van Deimling U, Genant HK, et al. Shoulder MRI after surgical

treatment of instability. *Eur J Radiol* 1999;30:2-4

20. Rand T, Freilinger W, Breitensteiner M, Trattnig S, Garcia M, Landsiedl F, et al. Magnetic resonance arthrography (MRA) in the postoperative shoulder. *Magn Reson Imaging* 1999;17:843-850
21. Sugimoto H, Suzuki K, Mihara K, Kubota H, Tsutsui H. MR arthrography of shoulders after suture-anchor Bankart repair. *Radiology* 2002;224:105-111
22. Chung CB, Dwek JR, Feng S, Resnick D. MR arthrography of the glenohumeral joint: a tailored approach. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177:217-219
23. Koivikko MP, Mustonen AO. Shoulder magnetic resonance arthrography: a prospective randomized study of anterior and posterior ultrasonography-guided contrast injections. *Acta Radiol* 2008;49:912-917
24. Zlatkin MB. MRI of the postoperative shoulder. *Skeletal Radiol* 2002;31:63-80
25. Woertler K. Multimodality imaging of the postoperative shoulder. *Eur Radiol* 2007;17:3038-3055
26. Crass JR, Craig EV, Feinberg SB. The hyperextended internal rotation view in rotator cuff ultrasonography. *J Clin Ultrasound* 1987;15:416-420
27. Jeong JY, Park KM, Sundar S, Yoo JC. Clinical and radiologic outcome of arthroscopic rotator cuff repair: single-row versus transosseous equivalent repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2018;27:1021-1029
28. Kim DH, Elattrache NS, Tibone JE, Jun BJ, DeLaMora SN, Kvitne RS, et al. Biomechanical comparison of a single-row versus double-row suture anchor technique for rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2006;34:407-414
29. Ma CB, Comerford L, Wilson J, Puttitz CM. Biomechanical evaluation of arthroscopic rotator cuff repairs: double-row compared with single-row fixation. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:403-410
30. Edwards SL, Wilson NA, Flores SE, Koh JL, Zhang LQ. Arthroscopic distal clavicle resection: a biomechanical analysis of resection length and joint compliance in a cadaveric model. *Arthroscopy* 2007;23:1278-1284
31. Mohana-Borges AV, Chung CB, Resnick D. MR imaging and MR arthrography of the postoperative shoulder: spectrum of normal and abnormal findings. *Radiographics* 2004;24:69-85
32. Jost B, Zumstein M, Pfirrmann CW, Gerber C. Long-term outcome after structural failure of rotator cuff repairs. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:472-479
33. Collin P, Yoshida M, Delarue A, Lucas C, Jossaume T, Lädermann A; French Society for Shoulder and Elbow (SOFEC). Evaluating postoperative rotator cuff healing: prospective comparison of MRI and ultrasound. *Orthop Traumatol Surg Res* 2015;101:S265-S268
34. Zanetti M, Jost B, Hodler J, Gerber C. MR imaging after rotator cuff repair: full-thickness defects and bursitis-like subacromial abnormalities in asymptomatic subjects. *Skeletal Radiol* 2000;29:314-319
35. Magee T, Shapiro M, Hewell G, Williams D. Complications of rotator cuff surgery in which bioabsorbable anchors are used. *AJR Am J Roentgenol* 2003;181:1227-1231
36. Wolfgang GL. Surgical repair of tears of the rotator cuff of the shoulder. Factors influencing the result. *J Bone Joint Surg Am* 1974;56:14-26
37. Tashjian RZ, Hollins AM, Kim HM, Teefey SA, Middleton WD, Steger-May K, et al. Factors affecting healing rates after arthroscopic double-row rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2010;38:2435-2442
38. Mellado JM, Calmet J, Olona M, Ballabriga J, Camins A, Pérez del Palomar L, et al. MR assessment of the repaired rotator cuff: prevalence, size, location, and clinical relevance of tendon rerupture. *Eur Radiol* 2006;16:2186-2196
39. Goutallier D, Postel JM, Gleyze P, Leguilloux P, Van Driessche S. Influence of cuff muscle fatty degeneration on anatomic and functional outcomes after simple suture of full-thickness tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2003;12:550-554
40. Le BT, Wu XL, Lam PH, Murrell GA. Factors predicting rotator cuff retears: an analysis of 1000 consecutive rotator cuff repairs. *Am J Sports Med* 2014;42:1134-1142
41. Ruzek KA, Bancroft LW, Peterson JJ. Postoperative imaging of the shoulder. *Radiol Clin North Am* 2006;44:331-341
42. Gulotta LV, Nho SJ, Dodson CC, Adler RS, Altchek DW, MacGillivray JD; HSS Arthroscopic Rotator Cuff Registry. Prospective evaluation of arthroscopic rotator cuff repairs at 5 years: part I—functional outcomes and radiographic healing rates. *J Shoulder Elbow Surg* 2011;20:934-940
43. Yoo HJ, Choi JY, Hong SH, Kang Y, Park J, Kim SH, et al. Assessment of the postoperative appearance of the rotator cuff tendon using serial sonography after arthroscopic repair of a rotator cuff tear. *J Ultrasound Med* 2015;34:1183-1190
44. Lasbleiz J, Benkalfate T, Morelli JN, Jan J. Sonographic evaluation of the post-operative rotator cuff: does

tendon thickness matter? *Open J Clin Diagn* 2013;3:78-84

45. Tham ER, Briggs L, Murrell GA. Ultrasound changes after rotator cuff repair: is supraspinatus tendon thickness related to pain? *J Shoulder Elbow Surg* 2013;22:e8-e15
46. Tudisco C, Bisicchia S, Stefanini M, Antonicoli M, Masala S, Simonetti G. Tendon quality in small unilateral supraspinatus tendon tears. Real-time sonoelastography correlates with clinical findings. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:393-398

회전근개 파열의 수술 후 영상

이민희 · 박희진* · 김지나

회전근개(rotator cuff) 수술 후 영상은 통증이나 장애가 수술 후 새로 발생하거나 혹은 증상이 없어도 일상적으로 시행된다. 수술 후 영상은 MRI나 초음파 등을 통해 얻으며 일반적으로 복구된 힘줄(건)의 완전성을 확인하고자 하는 것이 목적이다. MRI는 술 후 해부학적 구조 변경을 전반적으로 확인할 수 있고 수술 후 합병증 등을 객관적으로 확인할 수 있지만 여러 가지 수술에 사용된 물질들이 화질을 나쁘게 하여 술 전 영상에 비하여 진단 정확도가 떨어진다. 초음파는 복구된 회전근개의 상태를 역동적으로 확인할 수 있고 회복에 사용되는 수술 기구들로부터 생기는 인공물도 피할 수 있다. 영상 소견이 항상 임상 증상이나 예후와 일치하지는 않으나 재건된 건의 두께보다는 삼각근하 액체 저류가 통증과 기능 회복에 있어 중요하다. 긴장 탄성도 검사도 예후를 예측하는데 유용한 방법이 될 수 있다.

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 영상의학과