



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

어깨 관절 연골의 T2 지도: 퇴행
성 변화에서 정량적 평가의 임상적
유용성

濟州大學校 大學院

醫學科

李 京 烈

2019年 8月

어깨 관절 연골의 T2 지도: 퇴행성 변화에서 정량적 평가의 임상적 유용성

指導教授 崔 國 明

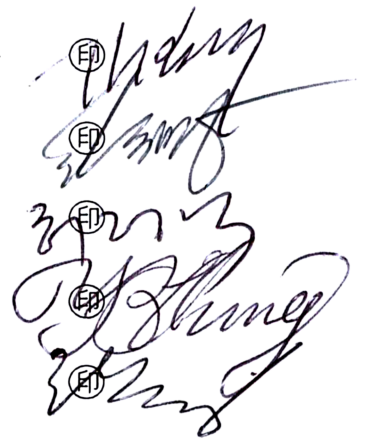
李 京 烈

이 論文을 醫學 博士學位 論文으로 提出함

2019年 8月

李京烈的 醫學科 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	김	봉	수
委 員	최	국	명
委 員	허	정	식
委 員	정	영	배
委 員	황	임	경



濟州大學校 大學院

2019年 8月

T2 Map of Articular Cartilage of Glenohumeral Joint
: the Clinical Usefulness of Quantitative Evaluation in
Degenerative Disease

Kyung Ryeol Lee

(Supervised by professor Guk Myung Choi)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
doctorate of Science [Doctor of Medicine]

2019. 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Guk Myung Choi , Prof. of Radiology



2019. 8.

Department of Radiology
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT	iii
표목차	v
그림목차	vii
I. 서론	1
II. 연구 대상 및 방법	3
1. 환자 선택	3
2. MR 영상 획득	4
3. T2값 측정과 영상 분석	5
4. 통계 분석 방법	7
III. 결과	8
1. 평균 T2 값의 재현성 및 기술 통계	8
2. 모든 소구역의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도와 극상근의 지방 위축 정 도에 따라 비교한 결과	9
3. 모든 소구역의 평균 T2 값과 견봉 상완골 간 거리의 상관 관계	10
4. 각각의 소구역의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도와 극상근의 지방 위축	

정도에 따라 비교한 결과	11
5. 각각의 소구역의 평균 T2 값과 견봉 상완골 간 거리의 상관 관계	13
IV. 고찰	14
V. 결론	19
참고문헌	20
Tables	26
Legends	35
Figures	37
감사의 글	49

Abstract

T2 Map of Articular Cartilage of Glenohumeral Joint : the Clinical Usefulness of Quantitative Evaluation in Degenerative Disease

Kyung Ryeol Lee

Department of Radiology

College of Medicine, Graduate School, Jeju National University

Directed by Professor Guk Myung Choi. MD.

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the T2 value of the articular cartilage of the glenohumeral joint in rotator cuff disease seen on 3.0T MRI and to apply it in clinical practice.

Materials and Methods: Sixty-two patients were included in this study and underwent shoulder MRI containing T2 mapping. The mean T2 value was measured by placing a free hand ROI over the glenoid and humeral cartilage from the bone-cartilage interface to the articular surface on three consecutive, oblique coronal images. The drawn ROI was automatically divided into a superior segment and an inferior segment. The assessed mean T2 values of the articular cartilage of the glenohumeral joint were compared and evaluated according to the degree of rotator cuff tear, the degree of fatty atrophy of the rotator cuff, and the acromiohumeral distance.

Results: The intraclass correlation coefficient (ICC) values of mean T2 values from reader 1 and reader 2 showed moderate reproducibility (ICC=0.501) in the glenoid and good reproducibility (ICC=0.721) in the humeral head. The mean T2 values were

higher in superior sub-regions than in inferior sub-regions in both glenoid cartilage and humeral head cartilage. The mean T2 value of articular cartilage of the glenoid and humeral head cartilage did not show any significant difference according to the degree of rotator cuff tear. However, the mean T2 values of articular cartilage, according to fatty atrophy, tended to be higher in fatty atrophy 3 or fatty atrophy 4 and some sub-regions showed significantly higher mean T2 values. The acromiohumeral distance and the mean T2 values of the articular cartilage of the glenoid and humeral head did not show statistical correlation.

Conclusion: T2 mapping of the glenohumeral joint did not show a significant difference in quantitatively assessing the degenerative change of the articular cartilage according to the degree of rotator cuff tear, however, it may provide useful information regarding the degenerative change of cartilage of the glenohumeral joint in patients with rotator cuff tear and severe fatty atrophy of the rotator cuff.

Index words : Shoulder

Glenohumeral joint

Cartilage

Rotator cuff

T2 mapping

표 목 차

Table 1. Imaging parameters of routine diagnostic T1- and T2-weighted imaging of shoulder	26
Table 2. Intraclass Correlation Coefficient (ICC) for interobserver reproducibility between reader 1 and reader 2	27
Table 3. The descriptive statistics of the mean T2 values (ms) of the articular cartilage of superior sub-regions (AS+MS+PS), inferior sub-regions (AI+MI+PI) and all sub-regions (AS+AI+MS+MI+PS+PI) of the glenoid and the humeral head for reader 1 and reader 2	28
Table 4. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of all sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of rotator cuff tear for reader 1 and reader 2	29
Table 5. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of all sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of fatty atrophy of supraspinatus for reader 1 and reader 2	30
Table 6. The acromiohumeral distance and the mean T2 values (ms) of the articular cartilage of all sub-regions of the glenoid and humeral head	31
Table 7. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of rotator cuff tear for reader 1 and reader 2	32
Table 8. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of fatty atrophy of supraspinatus for reader 1 and reader 2	33

Table 9. The acromiohumeral distance and the mean T2 values (ms) of the articular cartilage of sub-regions of the glenoid and humeral head 34

그림 목 차

Figure 1. T2 Value Measurement.	37
Figure 2. 46-year-old man with tendinopathy of rotator cuff and Goutallier grade 2.	41
Figure 3. 76-year-old woman with full thickness tear of rotator cuff and Goutallier grade 3.	43
Figure 4. 72-year-old man with full thickness tear of rotator cuff and decreased acromiohumeral distance (AHD ; 6.90 cm).	46

I. 서론

회전근개 질환은 어깨 통증을 호소하는 환자에서 가장 흔하게 발생하고, 노인 환자 수가 증가함에 따라 증가 경향이 더욱 두드러지게 나타나고 있는 질환이다. 시간이 지남에 따라 회전근개의 부분 두께 파열은 전 층 파열로 진행하고, 결국 이는 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 변화를 초래한다 (1). 특히 어깨의 상완와 관절의 심한 퇴행성 관절염 환자에서는 총 어깨 관절 성형술 (total shoulder arthroplasty)와 같은 좀 더 침습적인 치료 방법이 고려될 수도 있다 (2). 또한 회전근개 파열과 함께 어깨의 상완와 관절에 조기 퇴행성 관절염을 동반한 환자의 경우 회전근개 건의 복구 수술을 받는다고 하더라도 수복된 회전근개 건의 재파열 발생 비율이 증가한다는 보고가 있다 (3).

따라서 회전근개 질환 환자에서 어깨의 상완와 관절의 관절 연골의 퇴행성 관절염 및 퇴행성 변화를 조기에 발견하고 지속해서 관찰하는 것은 의미가 있다. 그러나 기존의 고식적인 MR 영상을 이용한 연골 영상은 연골의 형태학적 변화를 발견하는 데 초점을 맞추어 개발되어서 위에 언급된 형태의 연골의 퇴행성 변화를 관찰하는 데는 한계가 있었다 (4, 5). 최근에는 새로 개발된 흥미로운 연골 영상화 기술인 T2 및 T1rho 지도 작성 기술과 dGEMRIC 기술이 도입되었다. 이러한 MR 기법 중 T2 지도 작성 기술은 임상적으로 매우 유용하며, 무릎 관절 문제가 있는 환자에서 많은 연구가 수행되어 보고들이 발표되고 있다 (6-9). T2 지도 작성의 물리학적 이론은 다음과 같다. 유리질 관절 연골의 T2값은 물 분자 사이 및 물 분자와 주변 거대 분자 사이의 상호 작용을 반영하며 연골 기질의 변화에 매우 민감하다. 물과 콜라겐과 같은 거대 분자 간의 상호 작용이 증가하면 T2값이 감소한다. 따라서, T2값은 수화 (또는 거의 동일하게는 콜라겐 농도)의 변화에 민감하고, 연골의 생리학적 또는 병태 생리학적 과정에서 생기는 세포 외 연골 기질 내의 콜라겐 섬유의 정상적인 이 방향성 지남력에 매우 민감하다.

다중에코 스핀에코 기법이 T2 값을 측정하는 데 이용된다. 고식적인 MR 영상이 연골의 T2 값의 변화의 주관적 평가를 가능하게 하지만, 정량적 T2 지도작성은 연골 내의 이완 시간의 변화를 나타내는 색상 또는 그레이 스케일 지도를 생성함으로써 객관적인 데이터를 제공한다. T2 지도가 연골의 초기 단계 퇴행 부위(콜라겐 기질의 조기 파괴)를 확인하는 데 유용하며, 정상 연골보다 T2 값이 높은 부위로 나타남을 보여주는 좋은 연구들이 있다. 정상적인 유리질 연골에서 측정된 T2 값과 비교해 볼 때, 퇴행성 관절염 환자에서의 연골에서 발견되는 T2 값은 비균질하다. 증가한 T2값은 가장 흔하게는 연골 손상과 관련이 있다. T2 지도는 연골의 정상적인 부위를 퇴행 부위와 구별하는데 사용될 수 있지만, T2값과 퇴행성 관절염 등급 간에는 경증 질환과 중증 질환의 구분을 도울 수 있는 어떠한 선형 관계도 보이지 않는다. 이와 함께 T2 지도는 연골 수복의 효과를 모니터링하는 데 사용될 수 있다 (10).

따라서, 우리는 T2 지도 작성 기법을 사용하여 어깨의 상완와 관절의 관절 연골의 형태학적 및 생화학적 특성을 평가할 수 있기를 기대한다. 본 연구의 목적은 회전근개 질환 환자에서 어깨의 상완와 관절의 관절 연골의 T2 값을 3.0T MRI를 이용하여 평가하고 이를 임상적으로 적용하는 것이다.

II. 연구 대상 및 방법

이번 후향적 연구는 기관의 검토위원회 승인을 받았고 정보에 입각한 동의가 면제되었습니다.

1. 환자 선택

2016년 2월부터 2016년 11월까지 시행한 어깨의 MR 영상 및 단순 방사선 사진을 후향적으로 검토하였다. 67명의 환자에서 어깨 관절 MRI를 시행하였고, MRI를 시행하면서 T2 지도 작성도 동시에 시행하였다. 모든 환자는 어깨의 통증으로 병원에 내원하였다. 67명의 환자 중에서 5명의 환자는 이전의 수술이나 외상력이 있어서 이번 연구의 대상에서 제외되었다. 한 환자에서는 양쪽 어깨에서 MRI를 시행하였다. 따라서 이번 연구에서는 총 62명의 환자가 (평균 나이 59.1세, 연령대 22~77세) 포함되었고, 시행한 총 MRI 개수는 63개였다. 환자는 남자가 26명 여자가 36명이었고, 오른쪽 어깨가 40개 왼쪽 어깨가 23개였다.

2. MR 영상 획득

모든 MRI 영상은 3.0T MRI 스캐너인 지멘스 스카이라 (Siemens Skyra)와 필립스 아치바 (Philips Achieva) 기종을 이용하여, 통상적으로 진단 목적으로 시행하는 T1 강조 영상 및 T2 강조 영상을 기반으로 하여 얻었다. 진단 목적의 어깨 MR 영상의 영상 변수는 Table 1 에 정리하였다. 이 영상과 함께 T2 지도 작성 영상이 추가되었다. T2 지도 작성을 위한 영상 시퀀스는 경사-관상 다중 에코 스피너 에코 T2 강조 시퀀스가 사용되었고, 영상 변수는 다음과 같다.: 지멘스 스카이라 [36개 영상, 반복 시간 (repetition time, ms), 1140; 반향 시간 (echo time, ms), 13.8, 27.6, 41.4, 55.2, 69.0; 영상 범위 (field of view, FOV, mm), 140x140; 화소 배열수 (matrix size), 320x320; 화소 크기 (voxel size, mm), 0.44x0.44x3.00; 단면 두께 (slice thickness, mm), 3.0; 절편간 간격 (inter-slice gap, mm), 0.3; 검사 시간 (examination time, s), 290]; 필립스 아치바 [27개 영상, 반복 시간 (repetition time, ms), 2179; 반향 시간 (echo time, ms), 13.8, 27.6, 41.4, 55.2, 69.0; 영상 범위 (field of view, FOV, mm), 140x140; 화소 배열수 (matrix size), 320x317; 화소 크기 (voxel size, mm), 0.44x0.44x3.00 단면 두께 (slice thickness, mm), 3.0; 절편간 간격 (inter-slice gap, mm), 0.3; 검사 시간 (examination time, s), 599].

3. T2값 측정과 영상 분석

T2 지도는 두 명의 영상의학과 의사가 (K.R.L, 근골격계 영상 경험이 6년; S.Y.K, 일반 영상 경험이 8년) 정량적으로 평가하였다. T2 값은 색 코드로 구별된 T2 지도에서 측정하였는데, 관절와와 상완 골두의 목표로 한 연골에서 정확한 관심 영역 (region of interest, ROI)을 그리기 위해 T2 강조 경사 관상 영상과 비교하며 관심 영역을 그렸다. T2 값의 정확한 분석을 위해, 상완골두와 관절와 연골의 넓은 영역을 포함하는 세 개의 연속된 이미지가 영상 중에서 선택되었다 (Fig. 1a, 1b). 평균 T2 값은 관심 영역을 관절와 및 상완 골두의 관절 연골에 그려서 측정하였는데 관심 영역은 골-연골 경계에서 연골 표면까지의 범위에서 손으로 자유롭게 그려졌다 (Fig. 1c, Fig. 1d). 그려진 관심 영역은 고급 시각화 플랫폼인 Philips IntelliSpace Portal (ISP) 7.0에 의해 자동으로 상위 구역과 하위 구역으로 이분되어 나누어졌다. 따라서 3개의 연속된 영상에 놓인 관심 영역은 각각 상위구역과 하위구역으로 나누어져 한 개의 MR 영상에서 총 6개의 소구역으로 나뉘었고, 각각은 다음과 같다. 즉 다시 말하면 전상 측 (anterosuperior, AS), 전하 측 (anteroinferior, AI), 중상 측 (middle-superior, MS), 중하 측 (middle-inferior, MI), 후상 측 (posterosuperior, PS), 후하 측 (posteroinferior, PI)의 6개 소구역으로 나누어 각각의 소구역에서 T2 값을 측정하였고, 한 개의 MR 영상에서 6개의 T2 값을 얻을 수 있었다. T2 값 측정은 이와 같은 방법으로 관절와 연골과, 상완 골두 연골에서 각각 시행하였다. 다시 말하면 한 개의 MR 영상에서 관절와 연골의 6개의 소구역에서, 그리고 상완 골두 연골의 6개 소구역에서 각각 T2 값을 측정하였다.

회전근개 파열과 극상근의 지방 위축 정도는 통상적으로 진단을 위해서 시행하는 MR 영상을 이용하여 평가하였고 두 명의 영상의학과 의사가 분석하였다. 두 명의 의견이 일치하지 않았을 때는 합의에 의해 의견의 일치에 도달하였다. 회전근개 파열과 극상근의 지방 위축 정도의 구체적인 내용은 다음과 같다; 회전

근개 파열의 정도 (등급 1, 정상 또는 힘줄염; 등급 2, 부분층 파열; 등급 3, 전체층 파열), Goutallier 분류에 의한 극상근의 지방 위축 정도 (등급 0, 정상 근육; 등급 1, 약간의 지방 출몰; 등급 2, 지방위축 정도가 근육의 50% 미만; 등급 3, 지방 위축 정도가 근육의 50%; 등급 4, 지방 위축 정도가 근육의 50% 이상). 또한 견봉 상완골 간 거리는 어깨 전후 단순 방사선 사진에서 측정하였다.

4. 통계 분석 방법

회전근개 파열의 정도, 극상근의 지방 위축 정도에 따라 분류한 그룹 간의 관절와 및 상완 골두의 연골의 T2 값을 비교하기 위해 일원 분산 분석 (one-way ANOVA)을 이용하였다.

관절와와 상완 골두의 연골의 평균 T2 값과 견봉 상완골 간 거리의 상관관계를 알아보기 위해 회귀 분석 (regression analysis)을 이용하였다.

평균 T2 값의 측정에서 판독자 1과 판독자 2 사이의 판독자간 재현성을 결정하기 위해, 저자는 절대 합의의 양방향 혼합 모델 (two-way mixed model of absolute agreement)을 사용하여 급간내 상관 계수 (intraclass correlation coefficient, ICC)를 이용하였다. 이 연구에서는 판독자 1과 판독자 2에서 측정된 모든 소구역 (AS + AI + MS + MI + PS + PI)의 평균 T2 값을 대상으로 급간내 상관 계수 값 (ICC value)을 측정하였다. 급간내 상관 계수 값이 0.50 미만이면 부족한 재현성 (poor reproducibility), 0.50~0.75의 범위 내에서는 중등도의 재현성 (moderate reproducibility), 0.75~0.90의 범위에서는 양호한 재현성 (good reproducibility), 0.9 이상에서는 훌륭한 재현성 (excellent reproducibility)을 보인다고 할 수 있다.

III. 결과

1. 평균 T2 값의 재현성 및 기술 통계

판독자 1과 판독자 2에서 측정된 모든 소구역 (AS + AI + MS + MI + PS + PI)의 평균 T2 값의 재현성을 알기 위해 급간내 상관 계수 값 (ICC value)을 측정하였을 때, 관절와에서는 중등도 재현성을 (ICC=0.501), 상완 골두에서는 양호한 재현성 (ICC=0.721)을 보였다 (Table 2).

모든 소구역 (AS + AI + MS + MI + PS + PI), 상부 소구역 (AS + MS + PS) 및 하부 소구역 (AI + MI + PI)의 관절 연골의 평균 T2 값에 대한 기술 통계는 Table 3에 요약하여 기술하였다. 평균 T2 값은 관절와 연골과 상완 골두 연골에서 모두 상부 소구역이 하부 소구역보다 더 높은 값을 나타내었다.

2. 모든 소구역의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도와 극상근의 지방 위축 정도에 따라 비교한 결과

관절와와 상완 골두의 모든 소구역에서(AS + AI + MS + MI + PS + PI), 관절 연골의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도와 극상근의 지방 위축 정도에 따라 비교 분석한 결과는 Table 4와 Table 5에 기술하였다. 관절와와 상완 골두의 모든 소구역에서 관절 연골의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도에 따라 그룹을 나누어 비교하였을 때, 평균 T2 값은 판독자 1과 판독자 2에서 모두 그룹 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Fig. 2). 관절와와 상완 골두의 모든 소구역에서 관절 연골의 평균 T2 값을 극상근의 지방 위축 정도에 따라 그룹을 나누어 비교하였을 때에는 판독자 1과 판독자 2에서 모두 지방 위축 정도 등급 3그룹에서 가장 높은 수치를 보였다 (Fig. 3). 그러나 이러한 결과는 판독자 1의 관절와에서 측정된 T2 값에서만 통계학적으로 유의한 차이를 보였고, 판독자 1의 상완 골두에서 측정된 T2 값과, 판독자 2의 관절와와 상완 골두에서 측정된 T2 값은 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

3. 모든 소구역의 평균 T2 값과 견봉 상완골 간 거리의 상관 관계

견봉 상완골 간 거리와 관절와 및 상완 골두의 모든 소구역에서 측정된 평균 T2 값은 판독자 1과 판독자 2에서 모두 통계학적으로 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다 (Table 6), (Fig. 4).

4. 각각의 소구역의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도와 극상근의 지방 위축 정도에 따라 비교한 결과

각각의 소구역들의 평균 T2 값에 대한 분석 결과는 모든 소구역들의 평균 T2 값의 분석 결과와 대부분 유사한 결과를 보였으나, 다소 차이를 보이는 부분이 있었다. 각각의 소구역들에서 측정된 관절와와 상완 골두의 관절 연골의 평균 T2 값을 회전근개 파열의 정도에 따라 그룹을 나누어 비교한 결과는 Table 7에 기술하였다. 각각의 소구역들의 평균 T2 값은 판독자 1과 판독자 2에서 모두 회전근개 파열의 정도에 따라 나누어진 그룹 간에 통계학적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았고, 그룹 간에 증가 또는 감소의 경향도 보이지 않았다. 그러나 판독자 2의 결과에서 회전근개가 정상 또는 힘줄염을 보였던 그룹에서 상완 골두의 전하 측 (sub-region AI) 소구역의 평균 T2 값이 다른 그룹들보다 유의하게 높았다.

각각의 소구역들의 관절와와 상완 골두의 관절 연골에서 측정된 평균 T2 값을 극상근의 지방 위축 정도에 따라 비교 분석한 결과는 Table 8에 기술하였다.

판독자 1의 결과: 관절와와 상완 골두의 관절 연골의 평균 T2 값은 지방 위축 정도 등급 3그룹과 또는 지방 위축 정도 등급 4그룹에서 좀 더 높은 T2 값을 보이는 경향이 있었다. 그러나 관절와에서 측정된 T2 값은 후상 측 소구역 (sub-region PS)에서만 통계학적으로 유의한 차이를 보였고, 상완 골두에서는 전하 측 (sub-region AI), 중상 측 (sub-region MS), 중하 측 (sub-region MI) 소구역에서 유의한 차이를 보였다. 구체적으로 언급하면, 관절와 연골의 후상 측 소구역과 상완 골두 연골의 중상 측 소구역에서 지방 위축 정도 등급 3의 평균 T2 값이 다른 그룹들과 비교하여 유의하게 높았다. 또한 상완 골두 연골의 전하 측, 중하 측 소구역에서 지방 위축 정도 등급 4그룹의 평균 T2 값이 다른 그룹들과 비교하여 유의하게 높았다.

판독자 2의 결과: 관절와와 상완 골두의 관절 연골의 평균 T2 값은 지방위축

정도 등급 3그룹 또는 지방 위축 정도 등급 4그룹에서 좀 더 높은 T2 값을 보이는 경향이 있었다. 그러나 관절와 연골의 평균 T2 값은 모든 소구역에서 그룹 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만 상완 골두의 T2 값은 후상 측 (sub-region PS), 후하 측 (sub-region PI)소구역에서 통계학적으로 의미 있는 차이를 보였다. 구체적으로 언급하면 후상 측, 후하 측 소구역에서 지방 위축 정도 등급 3그룹에 다른 그룹과 비교하여 평균 T2 값이 다른 그룹보다 유의하게 높았다.

5. 각각의 소구역의 평균 T2 값과 견봉 상완골 간 거리의 상관 관계

견봉상완골간 거리와 각각의 소구역에서 관절 연골의 평균 T2 값은 판독자 1과 판독자 2에서 모두 통계학적 상관관계를 보이지 않았다 (Table 9)

IV. 고찰

어깨의 상완와 관절은 체중 부하 관절이 아니어서 체중 부하 관절인 무릎과 엉덩이 관절과 달리 퇴행성 관절염이 쉽게 발생하지 않는다 (11). Chalmers 등은 조기 또는 중등도의 퇴행성 회전근개 질환 환자의 상완와 관절에서 퇴행성 관절염을 진단할 수 있는 최소한의 영상의학적 변화를 시각화할 수 있는데 8년의 기간이 소요된다고 보고하였다. 따라서 기존의 단순 방사선 사진, CT 영상, MR 영상은 퇴행성 회전근개 질환 환자에서 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염을 조기에 발견하고 적절히 평가하는 데 약간의 한계가 있었다 (12). 그러나 퇴행성 회전근개 질환과 어깨의 상완와 관절의 관절 연골의 퇴행성 변화는 분명히 상관관계가 있기 때문에 최신 영상의학적 방법을 이용하여 적절한 시기에 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염을 평가하고 그것을 임상적으로 적용하는 것은 매우 의의가 있다. 또한 어깨 통증을 호소하는 환자의 증상을 이해하고 그들의 예후를 예측하는데에도 회전근개 질환과 어깨의 상완와 관절의 연골의 퇴행성 변화를 정확한 진단하는 것은 매우 중요하다 (13-16).

기존의 MRI 영상 검사는 회전근개 질환과 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염을 판단하고 평가하는 데 통상적으로 사용되고 있으며, 어깨의 상완와 관절의 건(tendon)과 관절 연골의 형태학적 변화를 확인하는 데 중요한 역할을 하고 있다 (16). 그러나 기존의 MRI는 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 질환이 있는 환자의 관절 연골에서 미미한 변화를 감지하는데 몇 가지 한계점을 보였다. 따라서 T2 및 T1rho 지도 작성 기법과 DGEMRIC 기법과 같은 혁신적이고 새로운 기법들이 개발되었고, 이러한 기법들은 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염에 환자에서 연골 변화의 영상의학적 모니터링 도구로 제안되었다 (15, 18-20).

T2 지도 작성이 무릎 관절의 퇴행성 관절염 환자에서 퇴행적 변화를 보이는 연골을 연구하는 데 유용하다는 많은 보고가 있다 (21, 22). 그러나 어깨의 상완와 관절의 관절 연골에 대한 T2 지도 작성에 관해 발표된 연구들은 적었다. 지금까지 발표된 몇몇 보고를 살펴보면, 무증상 환자를 대상으로 한 T2 지도 작성에

관한 연구 1례, 건강 지원자들을 대상으로 한 T2 지도 작성에 관한 연구 1례, 그리고 일차성 그리고 이차성 퇴행성 관절염이 있는 환자와 없는 환자에게서의 T2 값을 비교한 연구 1례가 있었다. 그리고 Maizlin 등은 어깨의 상완와 관절의 T2 지도 작성이 기존의 MRI에서 얻은 결과와 상관관계를 보인다고 보고하였다 (23-25). 이번 연구에서 어깨의 상완와 관절의 관절와 및 상완 골두의 관절 연골에서 측정된 평균 T2 값은 무증상 환자를 대상으로 한 연구에서 측정된 T2 값보다는 더 높았고, 건강 지원자를 대상으로 한 연구에서 측정된 T2 값과 비교해서는 비슷하거나 약간 낮았다. 그러나 지방위축 정도 등급 3그룹 환자들에서 측정된 평균 T2 값은 관절와 연골과 상완골두 연골에서 모두 무증상 환자나 건강 지원자에서 측정하여 보고된 T2 값보다는 더 높았다. 따라서 본 연구는 회전근개 질환 환자에서 어깨의 상완와 관절의 조기 퇴행성 관절염과 관련 있는 생화학적 변화를 정량적으로 측정할 수 있는 영상의학적 이미징 방법으로 T2 지도 작성이 유망함을 입증하는 첫 연구라고 할 수 있다. 또한 가까운 장래에는 T2 지도 작성 및 이를 분석하는데 있어서 오류를 줄이고, 실제 임상 상황에서 실질적이고 계속해서 이용할 수 있도록 자동화된 구역 분할 및 통상적인 순서와 방법을 구현할 방법들이 개발되어야 할 것이다 (26).

이번 연구에서 회전근개 파열의 정도를 기준으로 나눈 그룹 간의 평균 T2 값은 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 증가 또는 감소의 경향도 보이지 않았다. 어깨의 상완와 관절의 역학적인 움직임 제한의 상당 부분은 회전근개의 오목함-압축 메커니즘 (concavity-compression mechanism) 으로 인해 발생한다. 따라서 회전근개 파열이 발생하면 회전근개에 의한 안정화력이 상실되어 상완골두의 상방향으로의 이동이 가능해진다. 이로 인해 상완골, 관절와 및 오구 견봉궁의 병적인 마찰이 생기고 이것은 견봉하 충돌 증후군 (subacromial impingement) 을 일으킬 뿐만 아니라 관절 연골의 마찰 마모를 일으킨다 (27-29). 이러한 병태생리학적 기전을 이해하면, 회전근개의 힘줄염, 부분층 파열, 그리고 증상이 있는 작은 크기의 전층 파열환자들에서 퇴행성 관절 연골 질환의 진행 속도가 느린 이유를 알 수 있다. 또한 회전근개의 대량 파열이 발생한 후에도 일정 기간이 지나야 상당한 정도의 퇴행성 관절 연골 변화가 발생하는 것으로 알려져 있다

(30-31).

이번 연구에서 극상근의 지방 변성 정도와 어깨의 상완와 관절의 관절 연골의 평균 T2 값의 상관관계를 알아보았을 때, Goutallier 지방 위축 정도 등급 3그룹 또는 등급 4그룹이 다른 그룹들과 비교하여 높은 평균 T2 값을 보여 주었으며, 몇몇 소구역에서는 통계학적으로도 유의한 차이가 있었다. 회전근개 근육의 지방 변성은 회전근개 파열 환자에서 어깨의 기능, 회전근개 파열의 복구 가능성, 회전근개 파열의 복구 수술 후의 결과에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소로 알려져 있다 (32-34). 그리고 회전근개 건의 기계적 박리와 견갑상 신경 (suprascapular nerve)의 손상은 회전근개 근육의 지방 변성의 주된 원인이다 (35). 회전근개 근육의 지방 침윤 및 지방 변성이 돌이킬 수 없는 변화인 것을 고려하면, 회전근개 파열과 함께 회전근개의 심한 지방 위축을 동반한 환자에서 회전근개에 의한 안정화력의 소실은 관절 연골의 퇴행성 변화 및 조기 퇴행성 관절염의 발생 가능성을 높이는데 기여한다고 볼 수 있다. 이번 연구의 결과는 회전근개의 지방 침윤 및 지방 변성이 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염과 관련이 있음을 보여주는 연구에 의해 뒷받침될 수 있는데, Naimark 등은 회전근개의 지방 침윤 및 지방 변성이 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염과 연관이 있다고 주장하였다 (36, 37).

어깨의 고식적인 전후방 단순 방사선 사진에서 견봉 상완골 간 거리가 좁아지면 회전근개 파열 수술의 복구 불가능을 예측하는 데 도움이 되는 것으로 알려져 있다 (38-41). 그러나 이번 연구에서 견봉 상완골 간 거리와 평균 T2 값의 측정으로 예측한 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 변화는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 이는 어깨의 상완와 관절의 퇴행성 관절염이 관절의 상방으로의 안정성이외에 관절의 어느 정도의 안정성의 분권화와 관련이 있다는 사실에 의해 뒷받침될 수 있다 (38). Nadja Saupe 등은 견봉 상완골 간 거리가 7mm 이하로 감소를 한 환자들 중에서 90% 이상은 극상근 건 (supraspinatus tendon)의 전층 파열을 보였고, 67%는 극하근 건 (infraspinatus tendon)의 전층 파열을 보였다고 보고하였으며, 회전근개 파열의 크기와 극하근의 지방 변성 정도가 견봉 상완골 간 거리에 가장 큰 영향을 미친다고 주장하였다 (41). 따라서 최소한 두 개의 건, 즉 극상근

건과 극하근 건의 대량 파열이 있어야 견봉 상완골 간 거리가 감소한다고 할 수 있고, 한 개의 건의 전 층 파열이나 회전근개의 부분 층 파열일 때는 견봉 상완골 간 거리는 유의하게 감소하지 않는다 (42). 실제로 본 연구에서도 단지 1 예에서만 견봉 상완골 간 거리가 7mm 미만으로 측정되었다.

이번 연구에서, T2 값의 측정은 제조사가 다른 두 스캐너에 의해 얻어진 MR 이미지를 이용하여 시행되었다. 그러나 T2 지도작성을 위한 시퀀스 및 대부분의 영상 변수는 동일하였다. 지금까지 보고된 문헌에서 연골의 T2 값의 재현성에 관한 연구는 드물다. Lammentausta 등은 제조사가 다른 스캐너를 이용하여 얻은 무릎 연골의 T2 값에는 차이가 존재하는 것으로 보고하였다. 그러나 그들은 T2 값의 차이가 제조사의 차이에 의한 것이 아닌 펄스 시퀀스의 차이로 인한 것으로 생각된다고 하였다 (43). 이번 연구에서는 판독자 1과 판독자 2 사이에서 어깨의 상완와 관절의 관절 연골 평균 T2 값에 대한 재현성은 관절면에서 중등도 재현성을 보였고 상완골두에서는 양호한 재현성을 보여주었다. Koff 등은 무릎관절 연골의 T2 값의 재현성에 관한 연구에서 측정자에 의해 그려진 관심 영역 (region of interest, ROI)가 다르기 때문에, 서로 다른 재현성이 측정자들 사이에 존재한다고 보고하였다 (44). 그러나 최근의 몇몇 문헌들은 다른 견해를 보이기도 하였다. Mosher 등은 다기관을 다양한 제조사의 MR 스캐너를 대상으로 한 연구에서 무릎 연골의 MR 영상 생물 표지자 (T2 및 슬개골 T1-ρ)의 재현성을 분석하였고, MR 영상을 이용한 T2 값의 측정이 중등도에서 우수한 재현성까지 보일 수 있다고 보고했다 (45). Glaser 등은 건강한 사람의 슬개골 연골에서 T2의 국소 정밀도 오차에 (regional precision errors) 대한 연구에서 검사자 (intraclass) 및 검사 기간 (intersession) 간에 재현성에는 검출 가능한 차이가 없다고 하였다 (46). 그러나 자기장의 강도, MR 획득 프로토콜, 계산 방법, 기술적 정밀도 및 재분할 정밀도에 따른 연골 T2 값 자체 및 T2 지도의 해석에 치우침 (bias)이 있을 수 있으므로 실제 MR 검사의 최적화 과정은 중요하다.

본 연구의 몇 가지 한계점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 후향적 연구로 계획하였으므로, 선택 치우침이 발생할 수 있

다. 그리고 Goutallier 지방 위축 정도 등급 3과 등급 4그룹의 환자 수가 상대적으로 적었다. 따라서 등급 3과 등급 4의 환자가 더 많이 포함된 앞으로의 연구가 필요하다.

둘째, 관절액이나 관절하 연골과 같은 연골 주변을 둘러싼 조직을 완전히 제외하고 정확히 관절 연골만의 T2 값을 측정하는 것이 어려웠는데 이는 연골과 주변 조직의 불량한 대조도, 부분 용적 효과 또는 화학 변위 인공물 때문이었다. 우리는 이러한 인공물이나 제한을 줄이고 더 좋은 해상도를 보이는 영상을 가능하게 할 수 있는 미래의 발달한 기술이 다음 연구에서는 가능할 것이라고 믿는다.

셋째, 모든 결과가 관절경 수술이나 조직 검사로 확인된 것은 아니었다.

V. 결론

어깨의 상완와 관절의 T2 지도 작성은 회전근개 파열의 정도에 따른 관절 연골의 퇴행성 변화를 양적으로 평가하는 데 있어서 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 어깨의 상완와 관절의 T2 지도 작성은 회전근개 파열 및 회전근개의 지방 위축이 있는 환자에서 어깨의 상완와 관절의 연골의 퇴행성 변화를 평가하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

1. Sambandam SN, Khanna V, Gul A, Mounasamy V. Rotator cuff tears: An evidence based approach. World journal of orthopedics 2015;6:902-918
2. Mitchell JJ, Warner BT, Horan MP, Raynor MB, Menge TJ, Greenspoon JA et al. Comprehensive arthroscopic management of glenohumeral osteoarthritis: Preoperative factors predictive of treatment failure. The American journal of sports medicine 2017;45:794-802
3. Jeong HY, Jeon YS, Lee DK, Rhee YG. Rotator cuff tear with early osteoarthritis: How does it affect clinical outcome after large to massive rotator cuff repair? Journal of shoulder and elbow surgery 2019;28:237-243
4. McCauley TR, Recht MP, Disler DG. Clinical imaging of articular cartilage in the knee. Seminars in musculoskeletal radiology 2001;5:293-304
5. Mosher TJ, Dardzinski BJ. Cartilage MRI T2 relaxation time mapping: Overview and applications. Seminars in musculoskeletal radiology 2004;8:355-368
6. Apprich S, Mamisch TC, Welsch GH, Stelzeneder D, Albers C, Totzke U et al. Quantitative T2 mapping of the patella at 3.0T is sensitive to early cartilage degeneration, but also to loading of the knee. European journal of radiology 2012;81:e438-443
7. Dardzinski BJ, Mosher TJ, Li S, Van Slyke MA, Smith MB. Spatial variation of T2 in human articular cartilage. Radiology 1997;205:546-550
8. Dunn TC, Lu Y, Jin H, Ries MD, Majumdar S. T2 relaxation time of cartilage at MR imaging: Comparison with severity of knee osteoarthritis. Radiology 2004;232:592-598

9. Mamisch TC, Trattnig S, Quirbach S, Marlovits S, White LM, Welsch GH. Quantitative T2 mapping of knee cartilage: Differentiation of healthy control cartilage and cartilage repair tissue in the knee with unloading--initial results. *Radiology* 2010;254:818-826
10. Crema MD, Roemer FW, Marra MD, Burstein D, Gold GE, Eckstein F et al. Articular cartilage in the knee: Current MR imaging techniques and applications in clinical practice and research. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2011;31:37-61
11. Neer CS, 2nd. Replacement arthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 1974;56:1-13
12. Chalmers PN, Salazar DH, Steger-May K, Chamberlain AM, Stobbs-Cucchi G, Yamaguchi K et al. Radiographic progression of arthritic changes in shoulders with degenerative rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2016;25:1749-1755
13. Ellman H, Harris E, Kay SP. Early degenerative joint disease simulating impingement syndrome: Arthroscopic findings. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 1992;8:482-487
14. 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. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 2006;88:1699-1704
15. Maizlin ZV, Clement JJ, Patola WB, Fenton DM, Gillies JH, Vos PM et al. T2 mapping of articular cartilage of glenohumeral joint with routine MRI correlation--initial experience. *HSS journal : the musculoskeletal journal of Hospital for Special Surgery* 2009;5:61-66

16. Feeney MS, O'Dowd J, Kay EW, Colville J. Glenohumeral articular cartilage changes in rotator cuff disease. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2003;12:20-23
17. Fitzgerald M, Lawler SM, Lowe JT, Nelson R, Mantell MT, Jawa A. Computed tomography underestimates rotator cuff pathology in patients with glenohumeral osteoarthritis. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2018;27:1451-1455
18. Tran G, Cowling P, Smith T, Bury J, Lucas A, Barr A et al. What imaging-detected pathologies are associated with shoulder symptoms and their persistence? A systematic literature review. *Arthritis care & research* 2018;70:1169-1184
19. Eagle S, Potter HG, Koff MF. Morphologic and quantitative magnetic resonance imaging of knee articular cartilage for the assessment of post-traumatic osteoarthritis. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 2017;35:412-423
20. Link TM, Stahl R, Woertler K. Cartilage imaging: Motivation, techniques, current and future significance. *European radiology* 2007;17:1135-1146
21. Kijowski R, Blankenbaker DG, Munoz Del Rio A, Baer GS, Graf BK. Evaluation of the articular cartilage of the knee joint: Value of adding a T2 mapping sequence to a routine mr imaging protocol. *Radiology* 2013;267:503-513
22. Kester BS, Carpenter PM, Yu HJ, Nozaki T, Kaneko Y, Yoshioka H et al. T1rho/T2 mapping and histopathology of degenerative cartilage in advanced knee osteoarthritis. *World journal of orthopedics* 2017;8:350-356
23. Lockard CA, Wilson KJ, Ho CP, Shin RC, Katthagen JC, Millett PJ. Quantitative mapping of glenohumeral cartilage in asymptomatic subjects using 3T magnetic resonance imaging. *Skeletal radiology* 2018;47:671-682
24. Kang Y, Choi JA. T2 mapping of articular cartilage of the glenohumeral

joint at 3.0T in healthy volunteers: A feasibility study. *Skeletal radiology* 2016;45:915-920

25. Lee SY, Park HJ, Kwon HJ, Kim MS, Choi SH, Choi YJ et al. T2 relaxation times of the glenohumeral joint at 3.0T MRI in patients with and without primary and secondary osteoarthritis. *Acta radiologica* 2015;56:1388-1395

26. Surowiec RK, Lucas EP, Ho CP. Quantitative MRI in the evaluation of articular cartilage health: Reproducibility and variability with a focus on T2 mapping. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 2014;22:1385-1395

27. Zingman A, Li H, Sundem L, DeHority B, Geary M, Fussel T et al. Shoulder arthritis secondary to rotator cuff tear: A reproducible murine model and histopathologic scoring system. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 2017;35:506-514

28. Flurin PH, Hardy P, Valenti P, Meyer N, Collin P, Kempf JF et al. Osteoarthritis after rotator cuff repair: A 10-year follow-up study. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 2017;103:477-481

29. Werner CM, Conrad SJ, Meyer DC, Keller A, Hodler J, Gerber C. Intermethod agreement and interobserver correlation of radiologic acromiohumeral distance measurements. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2008;17:237-240

30. Tashjian RZ. Epidemiology, natural history, and indications for treatment of rotator cuff tears. *Clinics in sports medicine* 2012;31:589-604

31. Zingg PO, Jost B, Sukthankar A, Buhler M, Pfirrmann CW, Gerber C. Clinical and structural outcomes of nonoperative management of massive rotator cuff tears. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 2007;89:1928-1934

32. Collin P, Thomazeau H, Walch G, Gerber C, Mansat P, Favard L et al.

Clinical and structural outcome twenty years after repair of isolated supraspinatus tendon tears. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2019;28:196-202

33. Jeong HY, Jeon YS, Lee DK, Rhee YG. Rotator cuff tear with early osteoarthritis: How does it affect clinical outcome after large to massive rotator cuff repair? *Journal of shoulder and elbow surgery* 2019;28:237-243

34. Kim JY, Park JS, Rhee YG. Can preoperative magnetic resonance imaging predict the reparability of massive rotator cuff tears? *The American journal of sports medicine* 2017;45:1654-1663

35. Kuzel BR, Grindel S, Papandrea R, Ziegler D. Fatty infiltration and rotator cuff atrophy. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 2013;21:613-623

36. Berhouet J, Collin P, Benkalfate T, Le Du C, Duparc F, Courage O et al. Massive rotator cuff tears in patients younger than 65 years. Epidemiology and characteristics. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 2009;95:S13-18

37. Naimark M, Berliner J, Zhang AL, Davies M, Ma CB, Feeley BT. Prevalence of rotator cuff atrophy and fatty infiltration in patients undergoing total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Arthroplasty* 2017;1:2471549217708323

38. Werner CM, Conrad SJ, Meyer DC, Keller A, Hodler J, Gerber C. Intermethod agreement and interobserver correlation of radiologic acromiohumeral distance measurements. *Journal of shoulder and elbow surgery* 2008;17:237-240

39. Iannotti JP, Norris TR. Influence of preoperative factors on outcome of shoulder arthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *JBJS* 2003;85:251-258

40. Goutallier D, Le Guilloux P, Postel J-M, Radier C, Bernageau J, Zilber S.

Acromio humeral distance less than six millimeter: Its meaning in full-thickness rotator cuff tear. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2011;97:246-251

41. Saupé N, Pfirrmann CW, Schmid MR, Jost B, Werner CM, Zanetti M. Association between rotator cuff abnormalities and reduced acromiohumeral distance. *American Journal of Roentgenology* 2006;187:376-382

42. Nové-Josserand L, Levigne C, Noël E, Walch G. The acromio-humeral interval. A study of the factors influencing its height. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur* 1996;82:379-385

43. Lammentausta E, Multanen J, Nieminen M. Differences in T2 values of knee cartilage measured with different scanners. In: *Proc Int Soc Mag Reson Med*, 2009; 3986.

44. Koff MF, Parratte S, Amrami KK, Kaufman KR. Examiner repeatability of patellar cartilage T2 values. *Magnetic resonance imaging* 2009;27:131-136

45. Mosher TJ, Zhang Z, Reddy R, Boudhar S, Milestone BN, Morrison WB et al. Knee articular cartilage damage in osteoarthritis: Analysis of MR image biomarker reproducibility in acrin-pa 4001 multicenter trial. *Radiology* 2011;258:832-842

46. Glaser C, Mendlik T, Dinges J, Weber J, Stahl R, Trumm C et al. Global and regional reproducibility of T2 relaxation time measurements in human patellar cartilage. *Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine* 2006;56:527-534

Tables

Table. 1 Imaging parameters of routine diagnostic T1- and T2-weighted imaging of shoulder

Magnetom Skyra	Axial Fat-suppressed Intermediate-weighted FSE sequence	Coronal Fat-suppressed Intermediate-weighted FSE sequence	Coronal T2-weighted FSE sequence	Coronal T1-weighted FSE sequence	Sagittal T2-weighted FSE sequence
Repetition time (ms)	4580	4100	3600	500	2600
Echo time (ms)	46	46	72	11	69
Matrix size	307x384	307x384	403x448	307x384	307x384
FOV (cm)	140x140	140x140	140x140	140x140	140x140
Slice thickness (mm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Bandwidth (kHz)	200	200	200	200	200
Imaging time (s)	151	172	108	98	109
Achieva	Axial Fat-suppressed Intermediate-weighted FSE sequence	Coronal Fat-suppressed Intermediate-weighted FSE sequence	Coronal T2-weighted FSE sequence	Coronal T1-weighted FSE sequence	Sagittal T2-weighted FSE sequence
Repetition time (ms)	3288	2338	2788	619	2902
Echo time (ms)	70	70	80	12	80
Matrix size	248x280	254x280	265x312	253x312	261x312
FOV (cm)	140x140	140x140	140x140	140x140	140x140
Slice thickness (mm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Bandwidth (kHz)	188.3	217	228	261.5	217
Imaging time (s)	118	126	105	151	116

* FSE : fast spin echo

Table 2. Intraclass Correlation Coefficient (ICC) for interobserver reproducibility between reader 1 and reader 2

	T2 mapping	<i>p</i>
ICC of two readers (Glenoid)	0.501 (0.175-0.698)	<0.05
ICC of two readers (Humeral head)	0.721 (0.538-0.831)	<0.05

**p* : p value

Table 3. The descriptive statistics of the mean T2 values (ms) of the articular cartilage of superior sub-regions (AS+MS+PS), inferior sub-regions (AI+MI+PI) and all sub-regions (AS+AI+MS+MI+PS+PI) of the glenoid and the humeral head for reader 1 and reader 2

			Min	Max	Mean	sd
Reader 1	Glenoid	Superior	31.80	148.67	51.22	19.84
		sub-regions				
		Inferior	26.07	121.77	41.01	13.37
		sub-regions				
		All	29.35	99.15	46.11	13.92
	sub-regions					
	Humeral head	Superior	40.57	98.83	55.22	11.96
		sub-regions				
		Inferior	28.93	143.50	50.92	21.14
		sub-regions				
	All	34.75	107.28	53.07	14.77	
sub-regions						
Reader 2	Glenoid	Superior	30.43	173.53	50.20	24.37
		sub-regions				
		Inferior	26.83	83.60	40.25	9.36
		sub-regions				
		All	29.92	114.38	45.22	14.57
	sub-regions					
	Humeral head	Superior	35.83	78.60	50.32	8.33
		sub-regions				
		Inferior	26.83	89.80	45.62	11.12
		sub-regions				
	All	31.33	78.58	47.97	8.70	
sub-regions						

Table 4. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of all sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of rotator cuff tear for reader 1 and reader 2

			All sub-regions		F	p
			Mean	sd		
Reader 1	Glenoid	Grade 1(n=20)	45.82	9.80	.526	.594
		Grade 2(n=21)	44.02	13.32		
		Grade 3(n=22)	48.38	17.50		
	Humeral head	Grade 1(n=20)	56.32	18.05	2.217	.118
		Grade 2(n=21)	47.67	6.72		
		Grade 3(n=22)	55.27	16.17		
Reader 2	Glenoid	Grade 1(n=20)	45.80	17.36	.038	.963
		Grade 2(n=21)	45.37	15.34		
		Grade 3(n=22)	44.56	11.38		
	Humeral head	Grade 1(n=20)	49.68	9.51	1.416	.251
		Grade 2(n=21)	45.42	5.85		
		Grade 3(n=22)	48.84	9.95		

* F : F ratio

**p : p value

Table 5. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of all sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of fatty atrophy of supraspinatus for reader 1 and reader 2

		All sub-regions		F	p	
		Mean	sd			
Reader 1	Glenoid	Goutallier grade 1(n=8)	46.85	13.25	3.364	.024
		Goutallier grade 2(n=48)	44.17	11.09		
		Goutallier grade 3(n=3)	68.15	29.71		
		Goutallier grade 4(n=4)	51.43	22.25		
	Humeral head	Goutallier grade 1(n=8)	57.13	21.98	2.072	.114
		Goutallier grade 2(n=48)	50.75	10.99		
		Goutallier grade 3(n=3)	64.66	18.43		
		Goutallier grade 4(n=4)	64.19	28.82		
Reader 2	Glenoid	Goutallier grade 1(n=8)	42.30	11.28	.503	.682
		Goutallier grade 2(n=48)	45.40	15.64		
		Goutallier grade 3(n=3)	53.92	13.25		
		Goutallier grade 4(n=4)	42.41	5.77		
	Humeral head	Goutallier grade 1(n=8)	47.68	7.00	2.645	.057
		Goutallier grade 2(n=48)	47.46	8.25		
		Goutallier grade 3(n=3)	60.97	15.83		
		Goutallier grade 4(n=4)	44.98	5.51		

* F : F ratio

**p : p value

Table 6. The acromiohumeral distance and the mean T2 values (ms) of the articular cartilage of all sub-regions of the glenoid and humeral head

		Unstandardized		t	Significance	F	R ²	
		Coefficients						
		B	Std. Error					
All sub-regions	Reader 1	Glenoid	-1.384	1.433	-.966	.338	.933	.015
		Humeral head	0.482	1.531	.315	.754	.099	.002
	Reader 2	Glenoid	-0.339	1.512	-.224	.823	.050	.001
		Humeral head	0.991	0.861	1.151	.254	1.325	.022

*B : unstandardized beta

**t : t-test statistic

***F : F value

****R² : R-squared

Table 7. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of rotator cuff tear for reader 1 and reader 2

		Grade	Grade	Grade	F	p	
		1(n=20)	2(n=21)	3(n=22)			
Reader 1	Glenoid	AS	53.11±18.75	50.11±23.56	48.03±17.63	.336	.716
		AI	38.04±11.91	39.73±13.82	41.17±14.55	.282	.756
		MS	51.88±18.68	43.42±6.66	52.31±23.59	1.651	.200
		MI	41.90±13.50	46.32±34.87	41.91±14.15	.256	.775
		PS	50.97±17.17	45.13±8.23	65.53±61.86	1.634	.204
		PI	39.00±9.95	39.41±10.35	41.35±16.53	.206	.814
	Humeral head	AS	66.74±31.01	53.61±11.70	56.90±14.17	2.263	.113
		AI	48.23±11.61	44.15±11.59	53.76±18.84	2.366	.103
		MS	59.98±16.33	51.98±8.68	52.88±10.76	2.616	.081
		MI	49.72±21.34	42.77±10.01	61.27±52.16	1.666	.198
		PS	53.07±16.29	49.76±6.35	52.88±16.36	.379	.686
		PI	60.21±48.23	43.76±12.11	53.95±25.45	1.402	.254
Reader 2	Glenoid	AS	46.03±12.66	48.31±22.92	48.95±16.22	.154	.858
		AI	39.98±10.85	37.62±8.96	40.72±15.71	.371	.692
		MS	66.51±88.34	45.36±17.98	48.39±24.42	.958	.389
		MI	40.51±11.82	41.34±15.10	42.44±20.96	.072	.931
		PS	41.48±6.34	60.26±80.46	46.93±12.05	.870	.424
		PI	40.32±13.22	39.32±6.81	39.95±10.17	.049	.952
	Humeral head	AS	57.31±14.75	52.74±14.97	53.01±11.68	.702	.500
		AI	52.53±17.89	42.04±6.07	47.20±9.69	3.844	.027
		MS	50.85±8.02	48.94±8.84	49.86±7.16	.291	.749
		MI	46.71±17.29	42.26±8.91	48.72±16.63	1.070	.349
		PS	46.85±6.86	47.89±6.78	45.79±7.78	.459	.634
		PI	43.87±16.55	38.69±4.14	48.47±22.88	1.864	.164

* F : F ratio

**p : p value

Table 8. The mean T2 values (ms) of articular cartilage of sub-regions of the glenoid and humeral head according to the degree of fatty atrophy of supraspinatus for reader 1 and reader 2

		Unstandardized		t	Significance	F	R ²	
		Coefficients						
		B	Std. Error					
AS	Reader 1	Glenoid	.391	2.030	.193	.848	.037	.001
		Humeral head	.558	2.169	.257	.798	.066	.001
	Reader 2	Glenoid	-.171	1.821	-.094	.925	.009	.000
		Humeral head	.863	1.420	.608	.546	.369	.006
AI	Reader 1	Glenoid	-.910	1.380	-.660	.512	.435	.007
		Humeral head	.721	1.540	.468	.641	.219	.004
	Reader 2	Glenoid	-.139	1.257	-.111	.912	.012	.000
		Humeral head	1.820	1.106	1.646	.105	2.711	.043
MS	Reader 1	Glenoid	-1.659	1.864	-.890	.377	.792	.013
		Humeral head	1.173	1.295	.906	.368	.821	.014
	Reader 2	Glenoid	-3.897	5.449	-.715	.477	.511	.008
		Humeral head	.130	.816	.159	.874	.025	.000
MI	Reader 1	Glenoid	.252	2.366	.106	.916	.011	.000
		Humeral head	-1.681	3.514	-.478	.634	.229	.004
	Reader 2	Glenoid	.059	1.691	.035	.972	.001	.000
		Humeral head	.510	1.531	.333	.740	.111	.002
PS	Reader 1	Glenoid	-6.480	3.910	-1.657	.103	2.746	.044
		Humeral head	-.654	1.410	-.464	.644	.215	.004
	Reader 2	Glenoid	1.788	4.875	.367	.715	.135	.002
		Humeral head	.879	.716	1.229	.224	1.510	.025
PI	Reader 1	Glenoid	.102	1.306	.078	.938	.006	.000
		Humeral head	2.776	3.297	.842	.403	.709	.012
	Reader 2	Glenoid	.326	.942	.346	.730	.120	.002
		Humeral head	1.742	1.661	1.049	.298	1.101	.018

* F : F ratio

**p : p value

Table 9. The acromiohumeral distance and the mean T2 values (ms) of the articular cartilage of sub-regions of the glenoid and humeral head

		Unstandardized		t	Significance	F	R ²	
		Coefficients						
		B	Std. Error					
AS	Reader 1	Glenoid	.391	2.030	.193	.848	.037	.001
		Humeral head	.558	2.169	.257	.798	.066	.001
	Reader 2	Glenoid	-.171	1.821	-.094	.925	.009	.000
		Humeral head	.863	1.420	.608	.546	.369	.006
AI	Reader 1	Glenoid	-.910	1.380	-.660	.512	.435	.007
		Humeral head	.721	1.540	.468	.641	.219	.004
	Reader 2	Glenoid	-.139	1.257	-.111	.912	.012	.000
		Humeral head	1.820	1.106	1.646	.105	2.711	.043
MS	Reader 1	Glenoid	-1.659	1.864	-.890	.377	.792	.013
		Humeral head	1.173	1.295	.906	.368	.821	.014
	Reader 2	Glenoid	-3.897	5.449	-.715	.477	.511	.008
		Humeral head	.130	.816	.159	.874	.025	.000
MI	Reader 1	Glenoid	.252	2.366	.106	.916	.011	.000
		Humeral head	-1.681	3.514	-.478	.634	.229	.004
	Reader 2	Glenoid	.059	1.691	.035	.972	.001	.000
		Humeral head	.510	1.531	.333	.740	.111	.002
PS	Reader 1	Glenoid	-6.480	3.910	-1.657	.103	2.746	.044
		Humeral head	-.654	1.410	-.464	.644	.215	.004
	Reader 2	Glenoid	1.788	4.875	.367	.715	.135	.002
		Humeral head	.879	.716	1.229	.224	1.510	.025
PI	Reader 1	Glenoid	.102	1.306	.078	.938	.006	.000
		Humeral head	2.776	3.297	.842	.403	.709	.012
	Reader 2	Glenoid	.326	.942	.346	.730	.120	.002
		Humeral head	1.742	1.661	1.049	.298	1.101	.018

*B : unstandardized beta

**t : t-test statistic

***F : F value

****R² : R-squared

Legends

Figure 1. T2 Value Measurement. (a,b) Three, consecutive, oblique coronal sections containing a large area of humeral and glenoid cartilage were chosen among the images. (c,d) On color-coded T2 maps comparing the T2-weighted image, ROI was drawn on targeted cartilage of the glenoid and humeral head respectively. And drawn ROI was automatically divided into a superior segment and an inferior segment.

Figure 2. (a) 46-year-old man with tendinopathy of rotator cuff and Goutallier grade 2 (b) The T2 map of the glenohumeral joint shows slightly lower T2 value than the reported normal range (The mean T2 value of reader 1; glenoid [41.88 ms], humeral head [41.95 ms], the mean T2 value of reader 2; glenoid [38.60 ms], humeral head [43.30 ms])

Figure 3. (a,b) 76-year-old woman with full thickness tear of rotator cuff and Goutallier grade 3. (c) The T2 map of the glenohumeral joint shows higher T2 value than the reported normal range. The mean T2 value of glenoid according to reader 2 was similar with the reported normal range. (The mean T2 value of reader 1; glenoid [99.15 ms], humeral head [59.43 ms], the mean T2 value of reader 2; glenoid [47.57 ms], humeral head [56.40 ms])

Figure 4. (a,b) 72-year-old man with full thickness tear of rotator cuff and decreased acromiohumeral distance (AHD ; 6.90 cm). (c) The T2 map of the glenohumeral joint shows similar or slightly lower T2 value than the reported normal range. (The mean T2 value of reader 1; glenoid [45.35 ms], humeral head [48.91 ms], the mean T2 value of reader 2; glenoid [47.70 ms], humeral head [41.90 ms])

Fig. 1a

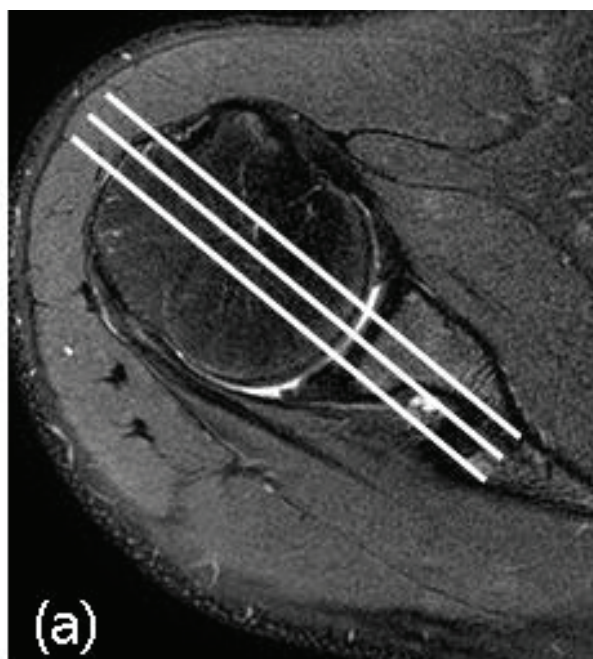


Fig. 1b

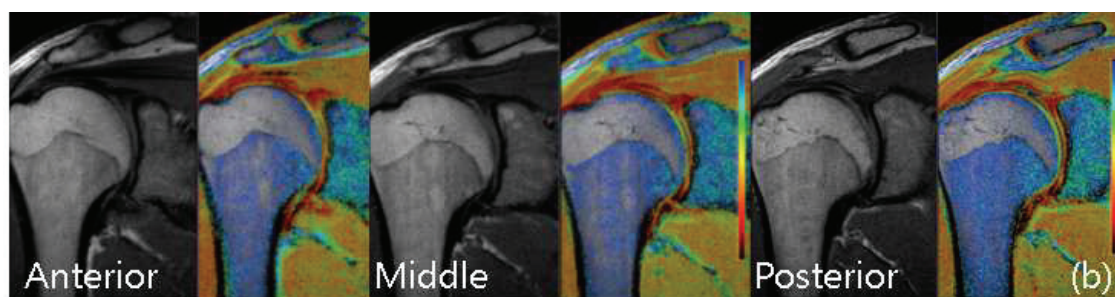


Fig. 1c

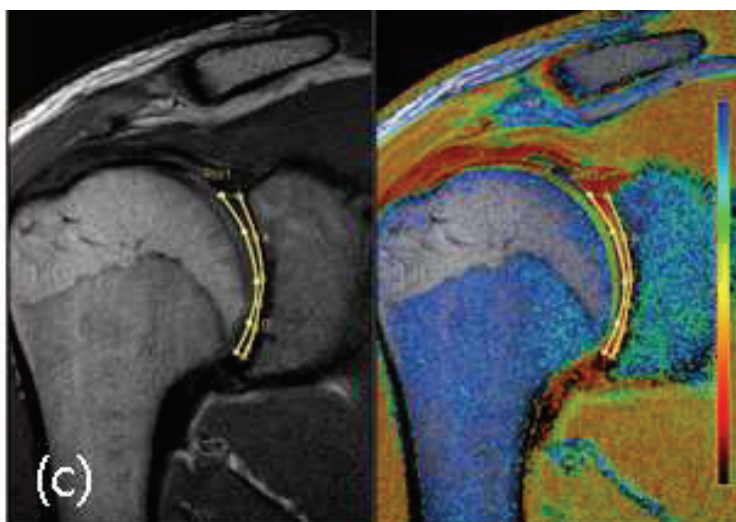


Fig. 1d

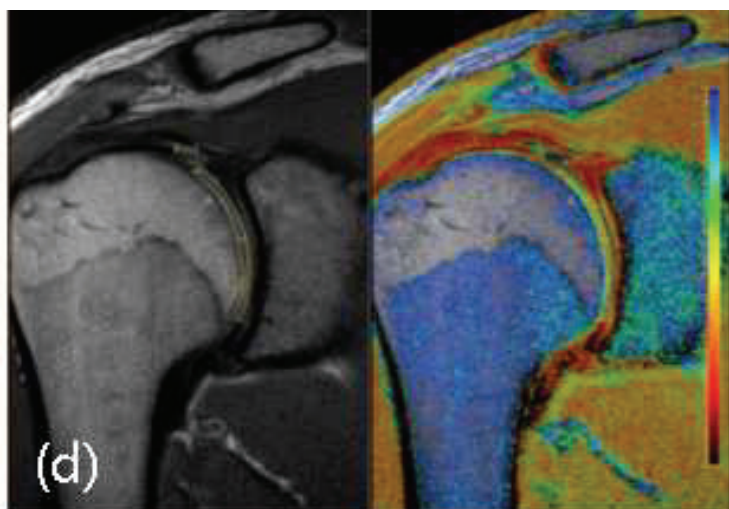


Fig. 2a

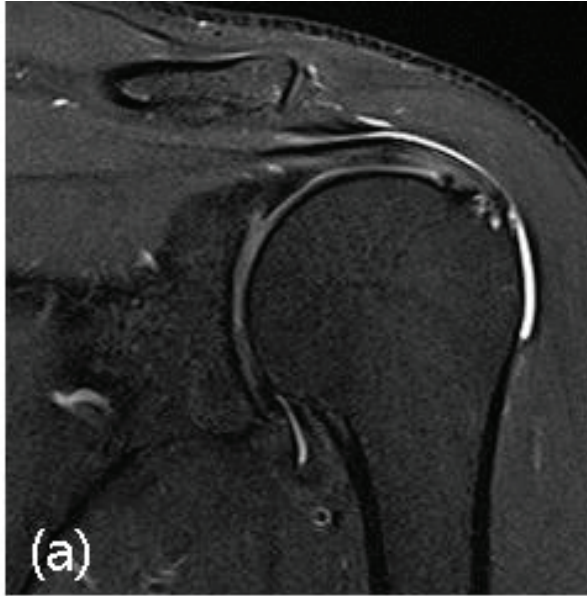


Fig. 2b

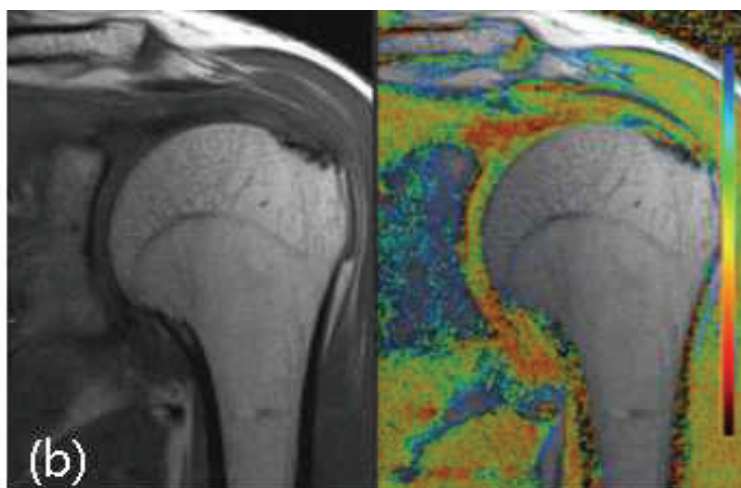


Fig. 3a



Fig. 3b

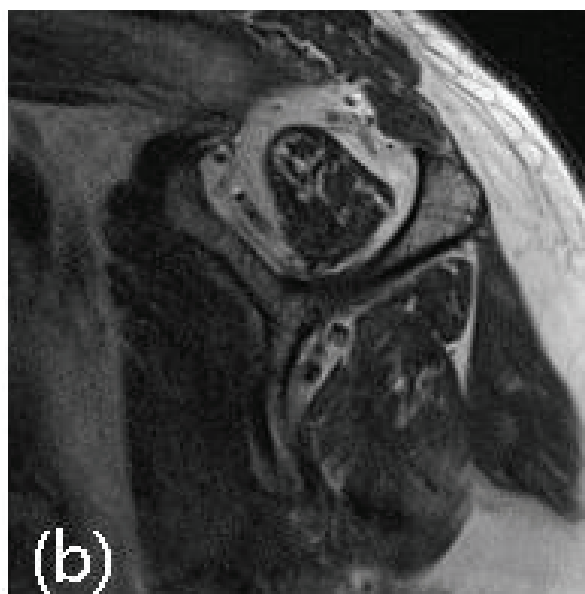


Fig. 3c

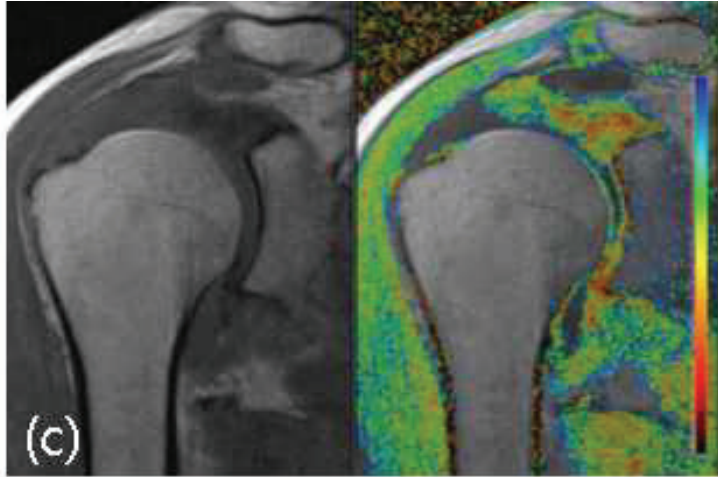


Fig. 4a

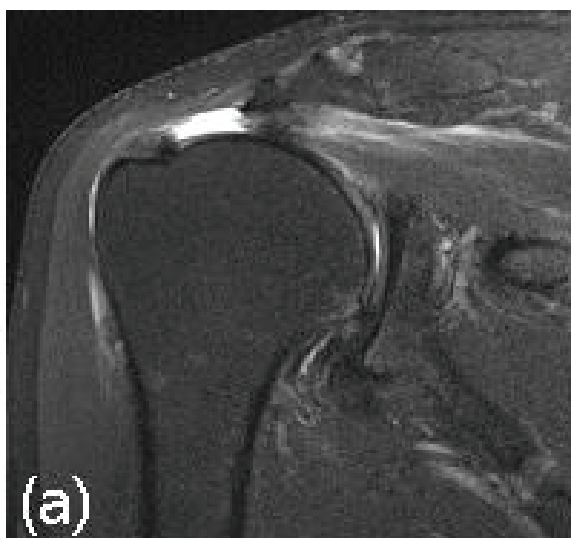
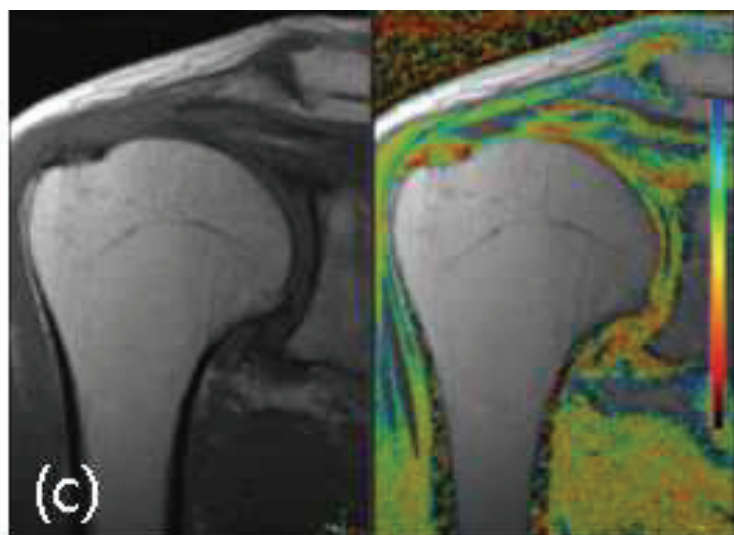


Fig. 4b



Fig. 4c



감사의 글

박사 학위 논문은 이전의 석사 학위 논문 및 여타의 다른 논문들보다는 조금 더 어려운 과정이었습니다. 그러나 연구의 설계 과정, 데이터 수집 및 분석, 논문 작성 과정에서 많은 분의 도움이 있었기에 무사히 과정을 마칠 수 있었습니다.

우선 지도 교수님으로 영상의학적 조언과 함께 논문 작성 과정에서 저를 이끌어 주셨던 제주대학교 의과대학 영상의학 교실 최국명 교수님께 감사드립니다. 오랜 경험에서 우리나라는 조언들은 어려움에 부딪힐 때마다 지혜가 되었고, 논문을 이끌어가는 데 큰 힘이 되었습니다. 또한 시행착오가 있을 때마다 객관적으로 냉철하게 분석해 주신 덕분에 연구를 과학적 객관성을 가지고 수정하고 보완할 수 있었습니다.

또한 심사위원장이신 제주대학교 의과대학 영상의학 교실 김봉수 교수님께 감사드립니다. 이번 연구뿐만이 아니라 영상의학의 신규연구자들이 연구에 불편함이 없도록 여러 면에서 배려해 주셔서 연구를 수월하게 이끌어갈 수 있었습니다. 이번 연구를 시작으로 학문적 노력을 아끼지 않을 것이고, 제가 과정 중에 배운 것들은 후배 연구자들에게도 도움이 되도록 나누겠습니다.

그리고 심사 과정 중에 참여해 주신 제주대학교 의과대학 허정식 교수님, 정영배 교수님, 황임경 교수님께 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 귀한 시간 내주셔서 조언과 분석을 해주신 허정식 교수님께 감사드립니다. 교수님의 조언으로 영상의학적 부분 외에 다른 측면으로 연구를 검토할 수 있었습니다. 심사 중에 따뜻한 조언으로 격려해주신 정영배 교수님께 감사드립니다. 교수님의 배려로 논문 작성 중에 제가 놓칠 수 있는 부분도 실수하지 않고 발견할 수 있었습니다. 또한 연구 진행 및 논문 작성과정에서 저의 질문에 친절하고 상세하게 답변해주신 황임경 교수님께 감사드립니다.

이번 연구에서 T2값 측정을 같이 도와주셔서 데이터 분석에 큰 도움을 주신 제주대학교 의과대학 영상의학 교실 고수연 교수님께 감사드립니다. 이와 함께 연구 과정에 격려와 도움을 주셨던 제주대학교 의과대학 영상의학 교실의 모든 교수님께 감사의 말씀 전합니다. 또한 영상 촬영과 데이터 수집에 도움 주셨던 제주대학교병원 영상의학과 방사선사 선생님들 감사합니다.

이와 함께 의학의 입문 과정에서 가르쳐주셨던 경희대학교 의과대학의 교수님들과 영상의학의 모든 과정에서 배움의 즐거움을 알게 해주셨던 경희대학교 병원 영상의학과 은사님들께 감사드립니다. 더 나아가서 영상의학 중 근골격계 영상의학으로의 진로를 도우시고 가르침을 주셨던 경희대학교 병원 영상의학과 류경남 교수님, 박지선 교수님, 그리고 분당 서울대학교 병원 강홍식 교수님, 이준우 교수님, 그리고 강동 경희대학교 병원 영상의학과 진욱 교수님, 박소영 교수님, 그리고 한림대학교 동탄성심 병원 최정아 교수님께 감사드립니다.

마지막으로 인생에서 시작을 마련해주시고, 성장시켜주시고, 지금까지의 모든 과정에서 항상 지지해주신 부모님께 정말 감사드립니다. 그리고 언제나 저의 든든한 지원군이신 누나, 매형, 조카 가현이에게도 감사드립니다.

열정을 가지고 노력하는 연구자가 되겠습니다.

감사합니다.

2019년 8월

이경렬