



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](#)

2020년 2월
석사학위 논문

천장 관절의 골 미란을
발견하는데 있어서
초단파 에코 시간 자기 공명
영상의 유용성

조선대학교 대학원

의 학 과

홍 영 상

천장 관절의 골 미란을
발견하는데 있어서
초단파 에코 시간 자기 공명
영상의 유용성

Usefulness of UTE MRI
in detecting bony erosion of SI joint

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

의 학 과

홍 영 상

천장 관절의 골 미란을
발견하는데 있어서
초단파 에코 시간 자기 공명
영상의 유용성

지도교수 김 동 훈

이 논문을 의학 석사학위신청 논문으로 제출함

2019년 10월

조선대학교 대학원

의 학 과

홍 영 상

홍영상의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 변 주 남 (인)

위 원 조선대학교 교수 소 금 영 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 동 훈 (인)

2019년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	iv
I. 서론	1
II. 대상 및 방법	3
III. 결과	5
IV. 고찰	7
V. 결론	9
참고문헌	10

표 목 차

Table 1 _____ 14

Table 2 _____ 15

Table 3 _____ 16

그림 목 차

Figure 1	17
Figure 2	18
Figure 3	19
Figure 4	20
Figure 5	21

ABSTRACT

Usefulness of UTE MRI in detecting bony erosion of SI joint

Hong Yeong Sang

Advisor : Prof. Kim Dong Hun, M.D., Ph.D.

Department of Medicine,

Graduate School of Chosun University

Objective : To evaluate whether the combination of ultrashort TE (UTE) sequences and conventional magnetic resonance imaging (MRI) helps to increase diagnostic accuracy for patient with spondyloarthritis (SpA) compared with those achieved by using each MRI technique alone.

Materials and Methods : The study included two groups those are 28 sacroiliac joints' (SIJ) MR scans from 14 patients with SpA (SpA group) and 18 SIJs' MR scans from 9 patients without SpA (control group). SpA was clinically diagnosed by rheumatologist's opinion. Four sets of MRI sequences (T1, CE T1FS, T2FS, and UTE) were assessed independently by two musculoskeletal radiologists for evaluating bone marrow edema, enhancement, and bony erosion. The frequency of detected lesions in two group was analyzed as the median and mean sum-score. ROC curves were calculated depending on each lesions and combination sets of lesions.

Results : The median value of MRI lesion sum-score in SpA group was relatively higher for the UTE (reader1, 5.0; reader2, 7.0) than conventional MRI (reader1, 1.5~4.5; reader2, 2.0). Combination set of UTE and conventional MRI had a higher AUC than UTE-only or conventional MRI-only

sets (reader1, 0.913 vs 0.857 vs 0.867; reader2, 0.921 vs 0.893 vs 0.790, respectively). Regarding the detection of erosion, readers showed high diagnostic confidence on UTE compared with T1WI (reader1, 2.74 vs 1.74; reader2, 2.52 vs 1.83, respectively).

Conclusion : Additional application of UTE to conventional MRI shows better diagnostic accuracy and confidence in the diagnosis of SpA compared with conventional sequence only.

KEY WORDS : Ultrashort echo time, Magnetic resonance imaging, Spondyloarthritis, Sacroiliac joint

1. 서론

척추관절염(spondyloarthritis)은 다양한 임상양상을 보이는 염증성 류마티스 질환으로, 운동 시 호전을 보이는 만성적인 요통과 강직이 주증상이다. 이 외에도 관절염, 골부착부위염(enthesis), 손발가락염(dactylitis) 등의 근골격계 증상과, 전포도막염(anterior uveitis), 건선, 염증성 장질환 등과 같은 관절외 증상을 보일 수 있다(1). 이와 같이 척추관절염은 비전형적인 만성 요통이 주증상이기 때문에, 임상증상과 더불어 영상소견이 진단에 있어서 중요한 부분을 차지해왔다. 특히 1984년에 발표되어 현재까지도 널리 사용되고 있는 변형된 뉴욕 기준(modified New York criteria, 이하 mNY 기준)은 천장관절염의 엑스선 소견을 강직성 척추염의 진단 기준에 포함하였고(2), 이 후 Amor 기준(3)과 유럽 강직성 척추염 연구 그룹(European Spondyloarthritis Study Group) 기준(4) 또한 mNY 기준의 엑스선 기준을 도입하였다. 1990년대 이후에는 천장관절염의 자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI) 소견에 대한 연구가 활발히 이뤄졌으며, 2009년에 발표된 국제 척추관절염 평가학회(Assessment of Spondyloarthritis International Society, 이하 ASAS) 기준은 척추관절염에 대한 분류기준(classification criteria)을 영상기준과 임상기준으로 구분하고 영상기준으로 기존 mNY 기준의 천장관절염의 엑스선 소견에 활동성 천장관절염의 자기공명영상소견을 추가하였다(5-7).

그러나 최근 연구들(8, 9)에 의하면 비특이적인 요통을 보이는 환자군에서 활동성 천장관절염 MRI 소견이 약 23~26% 에서 관찰되는 등 ASAS 기준에 따른 MRI 양성 소견의 높은 위양성률에 대한 문제가 제기되었다. 물리적인 스트레스, 외상, 퇴행성 관절염 등에 의해서도 천장관절의 골수부종이 동반 될 수 있다는 것 또한 잘 알려진 사실이다.

Weber 등은(10) 활동성 천장관절염 MRI 소견과 T1 강조 MRI에서 관찰되는 천장관절의 골 미란을 종합적으로 평가함으로써 척추관절염 진단의 정확도를 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 천장관절의 구조적인 변화를 평가하는데 있어 고식적으로 사용되던 엑스선에 비해 MRI가 높은 정확도를 보인다는 내용이 여러 연구에서 보고되었다(11-13).

한편, 최근 근골격계 영상분야에서는 0.008-0.5ms의 에코시간(echo time, 이하 TE)을 갖는 초단파 에코시간(ultrashort echo time, 이하 UTE) 기법을 이용하여

힘줄, 인대, 반월판, 골막, 피질골과 같이 0.2-8ms의 매우 짧은 T2 이완시간을 갖는 신체 구조물에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있으며(14-16), 아직까지 UTE 기법을 통한 척추관절염 평가에 대한 연구는 보고된 바 없다. 이에 저자는 척추관절염의 진단에 있어서 UTE기법의 유용성에 대해서 알아보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 대상환자

2018년 5월부터 2019년 3월까지 전북대학교병원에 내원한 환자 중 척추관절염이 의심되어 천장관절 MRI 검사를 시행한 26명을 후향적으로 선별하였다. 이 중 MRI 프로토콜에 UTE 기법이 포함되지 않은 2명과 양측 천장관절의 완전강직(total ankylosis)이 있었던 1명을 제외하여 총 23명을 대상으로 하였으며, 류마티스내과 전문의의 진단을 최적표준(gold standard)으로 하여 14명의 환자군과 9명의 비환자군으로 분류하였다.

2. 천장관절 자기공명영상 프로토콜(Protocol)

모든 환자에 대해 3.0 테슬라 MRI 장치(Magnetom Skyra, Siemens, Erlangen, Germany)로 천장관절 MRI 촬영을 하였으며, 본 연구에서는 고식적 MRI 방식으로 촬영한 T1 강조 영상(반복시간 583.0 ms, 에코시간 11.0 ms, 절편 두께 3 mm, 흥분수(number of excitations) 2, 공간분해능 512×269 화소), 지방 억제 T2 강조 영상(반복시간 2470.0 ms, 에코시간 63.0 ms, 절편 두께 3 mm, 흥분수 3, 공간분해능 448×274 화소), 조영 증강 지방 억제 T1 강조 영상(반복시간 721.0 ms, 에코시간 11.0 ms, 절편 두께 3 mm, 흥분수 2, 공간분해능 448×274 화소), 그리고 0.14 ms의 에코시간, 126.0 ms의 반복시간, 절편 두께 3 mm, 흥분수 2, 1024 방사상(radial view), 448x448 화소의 공간분해능을 갖는 UTE 영상을 이용하여 평가하였으며, 상기 모든 영상은 천장관절의 장축에 평행한 부분 관상면(semicoronal plane)으로 촬영하였다.

3. 영상 분석법

두 명의 근골격계 영상의학과 전문의가 임상정보 없이 서로 독립적으로 영상을 분석하였다.

각각의 환자에 대해 4 개의 구역으로 분류하여 (우 장골축, 우 천골축, 좌 장골축, 좌 천골축) 연골 관절면을 평가하였으며, 지방 억제 T2 강조 영상과 조영 증강 지방 억제 T1 강조 영상은 활동성 병변의 평가에 이용되었고, T1 강조 영상과 UTE 영상은 만성 구조적 변화인 연골하 골 미란의 평가에 이용되었다. 각 구역에 대해서 병변이 관찰되지 않으면 0점, 전체 연골하 관절면의 25% 미만의 병변이 보

이는 경우 1점, 25% 이상 50% 미만의 병변이 관찰되는 경우 2점, 50% 이상의 관절면을 포함하는 경우 3점으로 점수화 하였다. 이와 같은 방식으로 평가한 구역별 점수를 환자 단위로 합산하여 병변 총점(lesion sum-score)을 기록하였고, 그 결과 0-12점 사이의 분포를 보였다.

UTE 영상에 대해서는 최소 3 mm 이상 깊이의 골 미란이 한 개 이상 관찰된 경우에만 골 미란 양상으로 간주하여 점수화 하였다. 활동성 병변의 경우 앞서 언급한 두개의 영상 중 높은 점수로 기록하였으며, UTE 영상과 고식적 MRI 기법의 조합 세트(combination set)는 UTE 영상의 골 미란 점수와 활동성 병변 점수 중 높은 점수로 기록하였다.

추가적으로, T1 강조 영상 병변과 UTE 병변에 대해 진단의 신뢰도(diagnostic confidence)를 0점에서 3점까지 4점 척도로 평가하였다.

4. 통계분석

두 그룹의 인구학적 특성과 임상적 특징을 비교하기 위해 연속 변수에 대해서는 만-위트니 검정(Mann-Whitney test)을 이용하였고, 명목 변수에 대해서는 피셔의 정확도 검정(Fisher's exact test)을 이용하였다. 두 그룹간 MRI 병변의 빈도를 비교하기 위해 총점의 중앙값, 사분위수 범위, 평균값을 구하였으며, Mann-Whitney test를 통해 두 그룹간 차이의 유의성을 검정하였다. 또한 고식적 MRI 기법, UTE 기법, 그리고 조합 세트의 진단의 정확도를 비교하기 위해 수신자 조작 특성(receiver operating characteristics, 이하 ROC) 곡선을 이용하여 곡선 하 면적(area under the curve, 이하 AUC) 값을 비교 분석하였으며, 유덴 지수(Youden index)에 따른 기준값(cut-off value)에서 민감도와 특이도를 구하였다.

두 평가자 간의 일치도 평가를 위해 각 MRI 병변에 대한 총점에 대해서 단일 측정을 위한 양방향 혼합 모델을 이용한 급내 상관 계수(intraclass correlation coefficient, 이하 ICC)로 평가하였다.

p 값이 0.05 이하인 경우 통계적으로 유의한 것으로 보았다. ROC 곡선은 MedCalc 소프트웨어(version 17.6 for Microsoft Windows XP/Vista/7/8; MedCalc Software, Mariakerke, Belgium)을 사용하였으며, 그 밖의 통계적 분석은 SPSS 소프트웨어 (version 23; SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

III. 결과

환자군은 남성이 8명, 여성이 6명 이었으며 15-58세(평균, 37.8세)의 나이 분포를 보였고, 비환자군은 남성이 6명, 여성이 3명이었고 나이는 18-57세(평균, 33.3세)였다. 환자군의 86%가 HLA-B27 양성이었으며, 비환자군은 모두 HLA-B27 음성으로 두 그룹간 통계적으로 유의한 차이를 보였다(table 1).

각각의 MRI 기법으로 평가한 병변 총점의 그룹별 분포는 figure 1 과 같으며, 평가에 사용된 모든 기법의 MRI에서 환자군이 더 높은 병변 총점의 분포를 보였다. UTE 기법과 고식적 MRI 기법을 비교하였을 때, 비환자군에서는 T1 강조 영상 병변과 활동성 병변이 각각 3명(평가자1, 2 각 3명)과 1.5명(평가자1, 2명; 평가자2, 1명) 으로 관찰되었으나, UTE 병변은 관찰되지 않았다. 또한 환자군에서는 UTE 영상에서 보다 높은 병변 총점의 분포를 보이는 것으로 평가되었다. Figure 2 는 비환자군으로 분류된 피검자로, 활동성 병변은 보이지 않았다. T1 강조 영상에서 골 미란으로 의심되는 병변이 관찰되었고 동일 병변이 UTE 영상에서는 관찰되지 않았는데, 이는 UTE 영상에서 보다 높은 정확도를 보이는 예다. Figure 3 은 환자군으로 분류된 피검자이며 활동성 병변과 T1 강조 영상의 골 미란은 명확히 관찰되지 않으나, UTE 영상에서 골 미란이 명확히 확인되어 UTE 영상이 진단에 도움이 될 수 있는 예다. 각 MRI 병변 총점의 평균값 또한 환자군에서 높게 나왔으나, 평가자2에서는 T1 강조 영상 병변 총점이 두 그룹간 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(table 2).

고식적 MRI (T1 강조 영상, 지방 억제 T2 강조 영상, 조영 증강 지방 억제 T1 강조 영상), UTE 영상, 그리고 UTE 영상과 고식적 MRI의 조합 세트로 평가한 MRI 병변 총점으로 ROC 곡선을 구하였을 때, 평가자1은 조합 세트(0.913)-고식적 MRI 영상(0.869)-T1 강조 영상(0.865) 순으로 높은 AUC 값을 보였고, 평가자2는 조합 세트(0.921)-UTE 영상(0.893)-활동성 병변(0.829) 순으로 높은 AUC 값을 보였다 (figure 4). 조합 세트의 경우 평가자1은 3점을(민감도 0.86, 특이도 1.00), 평가자2는 2점을(민감도 0.86, 특이도 1.00) 기준값으로 했을 때 가장 적절한 민감도와 특이도를 보였다(table 3).

각 MRI 병변 점수에 대한 평가자 간의 일치도는(ICC) 활동성 병변(0.944), UTE 병변(0.944), T1 강조 영상 병변(0.852) 모두 매우 신뢰할 수 있는 수준을 보였으며, 골 미란을 평가하는 두 영상을 비교했을 때 UTE 영상이 T1 강조 영상 보다 높

은 일치도를 보였다.

골 미란 평가에 있어서 T1 강조 영상(평가자1, 1.74; 평가자2, 1.83)과 UTE 영상(평가자1, 2.74; 평가자2, 2.52)의 신뢰도를 평가하였을 때 두 평가자 모두 UTE 영상에 상대적으로 높은 신뢰도를 보였다.

IV. 고찰

저자의 지식으로는, UTE 기법을 적용하여 천장관절의 구조적 변화를 평가한 연구는 아직 보고된 바 없다. UTE 영상을 고식적 MRI(T1 강조 영상)와 비교하였을 때, 환자군에서는 비슷하거나(평가자1, 4.36 vs 4.86) 상대적으로 많은(평가자2, 5.64 vs 3.36) 골 미란을 보였고 비환자군에서는 골 미란 양성 소견이 관찰되지 않았다. 이는 UTE 영상을 통해 골 미란 평가 시 민감도를 유지하면서 특이도를 향상시킬 수 있을 것이라고 기대할 수 있는 부분이다. 또한 평가자 간 일치도와 진단의 신뢰도(confidence) 측면에서도 UTE 영상이 우위를 보였다. 구조적 평가에 있어서 UTE 기법의 장점은 천장 관절의 조직학적 특징과 UTE 기법의 특징에서 기인한다고 알려져 있다. 천장 관절을 포함한 연골 관절은 얇은 비석회화 연골 깊은 석회화 연골로 구성된 두 층의 연골과 연골하 골로 구성된다. 이 중 연골하 골과 비석회화 연골 사이의 석회화 연골은 약 2~10 ms의 T2 이완 시간을 갖기 때문에, 최소 8~10 ms 이상의 에코시간을 갖는 고식적 스핀 에코 기법으로 촬영 시 해당 구조물은 신호를 내지 못한다. 그러나 그 반면에, 수 마이크로초의 매우 짧은 에코시간을 갖는 UTE 기법은 짧은 T2 이완 시간을 갖는 구조물의 신호를 얻을 수 있다(17-19). 그 결과, 상대적으로 고신호강도의 연골(superficial uncalcified cartilage and deep calcified cartilage)과 저신호강도의 관절 하 골의 경계가 보다 분명해 짐으로써 골 미란 경계가 더 명확하게 평가되었을 것이다. 또한 고해상도 영상을 얻기 위해서는 해상도를 결정하는 k-공간(k-space)의 외부 영역이 지도화(mapping) 될 때까지 적절한 정도의 신호 강도를 유지하는 것이 필수적인데, T2 이완 시간이 짧아 신호가 매우 빨리 감소하는 조직에서는 짧은 시간 내에 k-공간을 채울 수 있는 UTE 기법이 상대적으로 유리하다고 볼 수 있다(17).

본 연구에서는 척추관절염을 진단하는 데에 있어, UTE 영상에서 관찰되는 골 미란과 고식적 MRI 기법의 활동성 병변을 조합하였을 때 가장 높은 AUC 값을 보인다는 사실을 확인하였다(figure 5). 이는 앞서 Weber 등(8, 10)이 보고한 바와 같이 구조적병변(골 미란)과 활동성 병변(골수 부종)을 조합한 병변 기준(lesion-based criteria)을 사용할 경우 보다 높은 진단의 정확도를 보였다는 보고와 같은 결과이며, 특히 본 연구에서는 구조적 병변의 평가에 기존의 고식적 T1 강조 영상에 비해 UTE 기법을 이용 할 경우 진단의 정확도를 보다 향상 시킬 수 있을 뿐 아니라 평가자 간의 일치도를 향상 시킬 수 있음을 보여주었다.

비교식적 MRI 기법을 통해 천장관절에 대한 평가를 시행한 선행 연구를 보면, Algin 등(20)은 T1 강조 영상, 3D-FLASH 기법, 3D-DESS 기법을 비교하였을 때 3D-FLASH 기법이 골 미란을 가장 잘 평가 할 수 있다고 보고한 바 있으며, Diekhoff 등(21)은 저선량CT를 최적표준으로 VIBE 기법과 고식적 T1 강조 영상을 비교 평가함으로써 골 미란 평가에 있어서 VIBE 영상을 적용 할 경우 민감도와 신뢰도를 향상 시킬 수 있다고 보고한 바 있다. 이 선행연구들은 모두 3차원 MR 영상을 이용하였으며, 그 특징인 3차원 푸리에 변환(Fourier transform)으로 인해 얇은 절편과 고해상도의 영상을 얻으면서도 충분한 신호 강도를 유지함으로써 진단의 정확도를 향상시키는데 중점을 두었다(22). 반면, 본 연구에서는 앞서 언급한 2차원 UTE 기법의 특징을 이용하였으며, 향후 3차원 UTE 기법을 천장관절염의 평가에 효과적으로 적용시킬 수 있는지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 첫째로, 환자군과 비환자군을 분류하는 최적표준으로 류마티스 전문의의 의견을 사용했다는 것인데, 이는 이미 공신력 있는 여러 연구에서 동일한 평가 기준을 채택한 바 있다(4, 5, 10). 둘째로, 가장 높은 진단의 정확도를 보이는 기준 값이 두 평가자 간에 일치하지 않아, MRI 병변에 대한 단일한 기준 값을 제시하지 못하였다. 이는 향후 비일치 예를 중점으로 평가자 간의 논의와 학습을 시행하고 보다 많은 표본을 포함한 연구를 통해 단일화된 기준을 제시할 것으로 기대된다. 셋째로, 적은 수의 표본을 포함하는 단일 센터 연구이며 추적 검사를 시행하지 않아 병변의 진행 여부 혹은 초기 병변 대한 위음성 가능성을 검증하지 못했다는 점이며, 이는 추후에 UTE 기법의 적용에 대한 다기관 공동 시험 및 추적 연구를 통해 검증이 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

기존의 고식적 MR 기법에 UTE 기법을 추가로 얻게 되면 척추관절염의 진단 정확도를 향상시킬 수 있었으며, 진단뿐만 아니라 치료 후 치료효과 등을 결정하는데 큰 도움이 될 것이다.

참고 문헌

1. Van der Heijde D, Ramiro S, Landewe R, Baraliakos X, Van den Bosch F, Sepriano A, et al. 2016 update of the ASAS-EULAR management recommendations for axial spondyloarthritis. *Annals of the rheumatic diseases*. 2017;76(6):978-91.
2. Van der Linden S, Valkenburg HA, Cats A. Evaluation of diagnostic criteria for ankylosing spondylitis. A proposal for modification of the New York criteria. *Arthritis and rheumatism*. 1984;27(4):361-8.
3. Amor B, Dougados M, Mijiyawa M. [Criteria of the classification of spondylarthropathies]. *Rev Rhum Mal Osteoartic*. 1990;57(2):85-9.
4. Dougados M, van der Linden S, Juhlin R, Huitfeldt B, Amor B, Calin A, et al. The European Spondylarthropathy Study Group preliminary criteria for the classification of spondylarthropathy. *Arthritis and rheumatism*. 1991;34(10):1218-27.
5. Rudwaleit M, van der Heijde D, Landewe R, Listing J, Akkoc N, Brandt J, et al. The development of Assessment of SpondyloArthritis international Society classification criteria for axial spondyloarthritis (part II): validation and final selection. *Annals of the rheumatic diseases*. 2009;68(6):777-83.
6. Rudwaleit M, Landewe R, van der Heijde D, Listing J, Brandt J, Braun J, et al. The development of Assessment of SpondyloArthritis international Society classification criteria for axial spondyloarthritis (part I): classification of paper patients by expert opinion including uncertainty appraisal. *Annals of the rheumatic diseases*. 2009;68(6):770-6.
7. Rudwaleit M, Jurik AG, Hermann KG, Landewe R, van der Heijde D, Baraliakos X, et al. Defining active sacroiliitis on magnetic resonance

imaging (MRI) for classification of axial spondyloarthritis: a consensual approach by the ASAS/OMERACT MRI group. *Annals of the rheumatic diseases*. 2009;68(10):1520-7.

8. Weber U, Lambert RG, Ostergaard M, Hodler J, Pedersen SJ, Maksymowych WP. The diagnostic utility of magnetic resonance imaging in spondylarthritis: an international multicenter evaluation of one hundred eighty-seven subjects. *Arthritis and rheumatism*. 2010;62(10):3048-58.

9. Marzo-Ortega H, McGonagle D, O'Connor P, Hensor EM, Bennett AN, Green MJ, et al. Baseline and 1-year magnetic resonance imaging of the sacroiliac joint and lumbar spine in very early inflammatory back pain. Relationship between symptoms, HLA-B27 and disease extent and persistence. *Annals of the rheumatic diseases*. 2009;68(11):1721-7.

10. Weber U, Ostergaard M, Lambert RG, Pedersen SJ, Chan SM, Zubler V, et al. Candidate lesion-based criteria for defining a positive sacroiliac joint MRI in two cohorts of patients with axial spondyloarthritis. *Annals of the rheumatic diseases*. 2015;74(11):1976-82.

11. Poddubnyy D, Gaydukova I, Hermann KG, Song IH, Haibel H, Braun J, et al. Magnetic resonance imaging compared to conventional radiographs for detection of chronic structural changes in sacroiliac joints in axial spondyloarthritis. *The Journal of rheumatology*. 2013;40(9):1557-65.

12. Puhakka KB, Jurik AG, Egund N, Schiottz-Christensen B, Stengaard-Pedersen K, van Overeem Hansen G, et al. Imaging of sacroiliitis in early seronegative spondylarthropathy. Assessment of abnormalities by MR in comparison with radiography and CT. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*. 2003;44(2):218-29.

13. Diekhoff T, Hermann K-GA, Greese J, Schwenke C, Poddubnyy D, Hamm B, et al. Comparison of MRI with radiography for detecting structural lesions of

the sacroiliac joint using CT as standard of reference: results from the SIMACT study. *Annals of the rheumatic diseases*. 2017;76(9):1502-8.

14. Serai SD, Laor T, Dwek JR, Zbojniewicz AM, Carl M. Feasibility of ultrashort TE (UTE) imaging of children at 1.5 T. *Pediatr Radiol*. 2014;44(1):103-8.

15. Byra M, Wu M, Zhang X, Jang H, Ma YJ, Chang EY, et al. Knee menisci segmentation and relaxometry of 3D ultrashort echo time cones MR imaging using attention U-Net with transfer learning. *Magn Reson Med*. 2019.

16. Bae WC, Dwek JR, Znamirovski R, Statum SM, Hermida JC, D'Lima DD, et al. Ultrashort echo time MR imaging of osteochondral junction of the knee at 3 T: identification of anatomic structures contributing to signal intensity. *Radiology*. 2010;254(3):837-45.

17. Robson MD, Gatehouse PD, Bydder M, Bydder GM. Magnetic resonance: an introduction to ultrashort TE (UTE) imaging. *J Comput Assist Tomogr*. 2003;27(6):825-46.

18. Robson MD, Bydder GM. Clinical ultrashort echo time imaging of bone and other connective tissues. *NMR Biomed*. 2006;19(7):765-80.

19. Du J, Carl M, Bae WC, Statum S, Chang EY, Bydder GM, et al. Dual inversion recovery ultrashort echo time (DIR-UTE) imaging and quantification of the zone of calcified cartilage (ZCC). *Osteoarthritis Cartilage*. 2013;21(1):77-85.

20. Algin O, Gokalp G, Ocakoglu G. Evaluation of bone cortex and cartilage of spondyloarthropathic sacroiliac joint: efficiency of different fat-saturated MRI sequences (T1-weighted, 3D-FLASH, and 3D-DESS). *Acad Radiol*. 2010;17(10):1292-8.

21. Diekhoff T, Greese J, Sieper J, Poddubnyy D, Hamm B, Hermann KA.

Improved detection of erosions in the sacroiliac joints on MRI with volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE): results from the SIMACT study. *Annals of the rheumatic diseases*. 2018;77(11):1585-9.

22. Disler DG, McCauley TR, Kelman CG, Fuchs MD, Ratner LM, Wirth CR, et al. Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging of hyaline cartilage defects in the knee: comparison with standard MR imaging and arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol*. 1996;167(1):127-32.

Table 1. Demographic and clinical characteristics between SpA and non-SpA groups.

	SpA group	Non-SpA group	p-Value
Number of subjects	14	9	
Male:female (% male)	8:6 (57.1%)	6:3 (66.6%)	1.00*
Age (min-max)	37.8 (15-58)	33.3 (18-57)	0.508 [§]
HLA-B27 positive (%)	12 (86 %)	0 (0 %)	0.00*

SpA: spondyloarthritis

*p value was calculated with the Fisher exact test.

[§]p value was calculated with the Mann-Whitney test.

Table 2. MRI lesion sum-score based on group level (mean)

	SpA(-)		SpA(+)		P value*	
	Reader 1	Reader 2	Reader 1	Reader 2	Reader 1	Reader 2
T1W	0.89	0.56	4.86	3.36	0.03	0.061
Active change	0.33	0.11	2.79	3.00	0.016	0.005
UTE	0.00	0.00	4.36	5.64	0.002	0.001

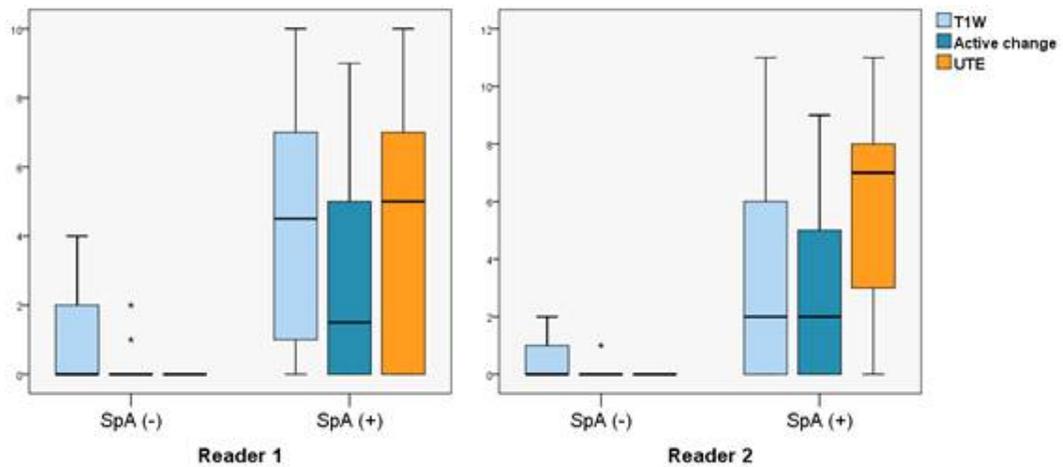
SpA: spondyloarthropathy

*p value was calculated with the Mann-Whitney test.

Table 3. AUC, sensitivity, and specificity based on MRI lesion sum-score

	AUC	Reader 1			AUC	Reader 2		
		Youden index				Youden index		
		Criterion	Sensitivity	Specificity		Criterion	Sensitivity	Specificity
T1W	0.865	≥ 3	0.71	0.89	0.722	≥ 3	0.50	1.00
Active change	0.786	≥ 1	0.71	0.78	0.829	≥ 1	0.71	0.89
Conventional (T1W or AC)	0.869	≥ 3	0.79	0.89	0.790	≥ 3	0.64	1.00
UTE	0.857	≥ 1	0.71	1.00	0.893	≥ 1	0.79	1.00
Combination (UTE or AC)	0.913	≥ 3	0.86	1.00	0.921	≥ 2	0.86	1.00

Figure 1. MRI lesion sum-score based on group level (median, IQR)



Comparison of lesion sum score in patients positive and negative for spondyloarthritis by each reader. UTE shows relatively higher median score than the other modalities. Moreover, UTE did not show any false positive score in spondyloarthritis negative group.

T1W = T1 weighted image

UTE = ultrashort echo time image

Figure 2. A 20-year-old man without spondyloarthritis, oblique coronal fat-saturated T2-weighted (A) and oblique coronal postcontrast fat-saturated T1-weighted (B) images did not demonstrate any evidence of inflammation. T1-weighted image (C) demonstrated focal low signal intensity suggesting bone erosion of the right sacroiliac joint (arrow) while UTE image (D) did not show any erosion of the both sacroiliac joints.

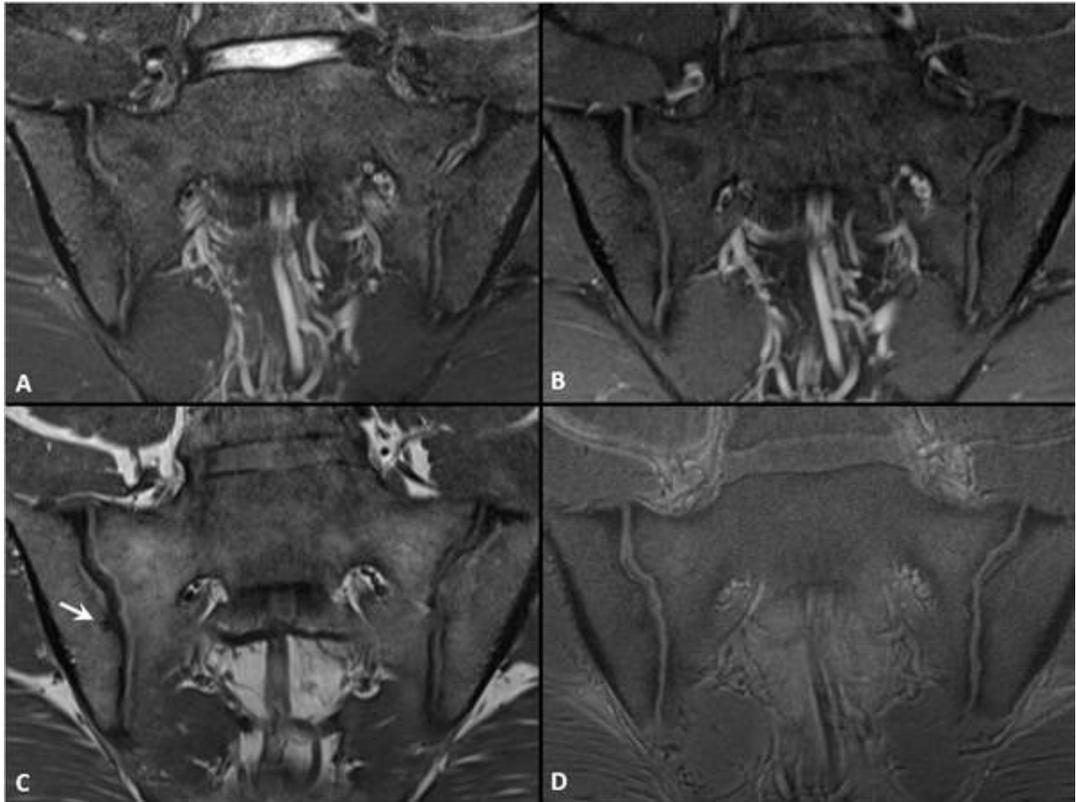


Figure 3. A 41-year-old man with spondyloarthritis, any evidence of active inflammation is not seen in oblique coronal fat-saturated T2-weighted (A) and oblique coronal postcontrast fat-saturated T1-weighted (B) images. A large erosion demonstrated in left sacroiliac joint (arrow) in UTE image (D) is not depicted in T1-weighted image (C).

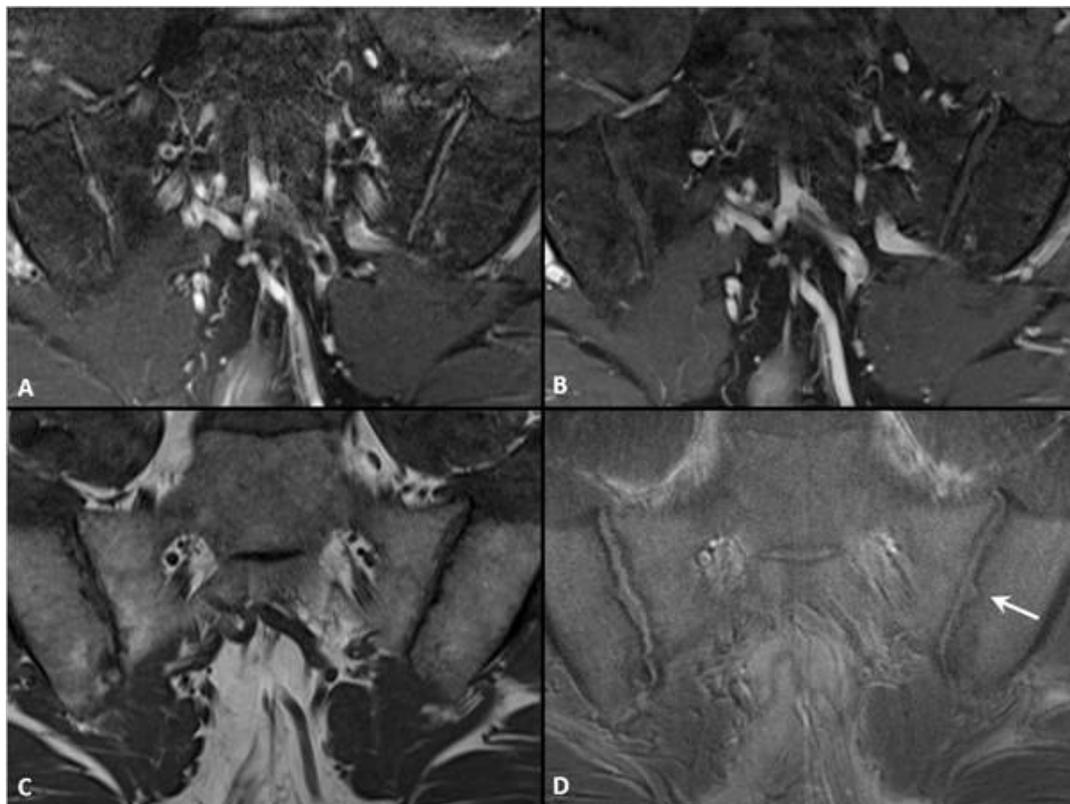
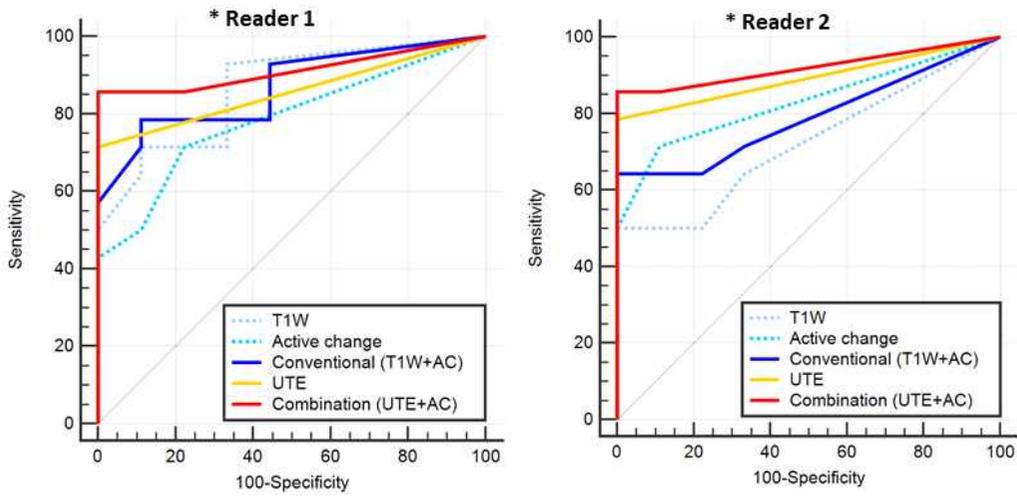


Figure 4. ROC curve based on lesion score



ROC curves for MRI lesion score of erosion on T1-weighted sequence (T1W) and UTE, active change on fat-saturated T2-weighted sequence (T2FSW) or postcontrast fat-saturated T1-weighted sequence (CE T1FSW), and combination of erosion and active change.

ROC = Receive operating characteristics

AUC = area under the curve

Figure 5. A 27-year-old man with spondyloarthropathy, oblique coronal fat-saturated T2-weighted (A) and oblique coronal postcontrast fat-saturated T1-weighted (B) images show active inflammation in focal area of the left sacroiliac joint (arrow head). In T1-weighted image (C), there is only subtle cortical irregularity without definite erosion. While, definite cortical erosions (arrows) are seen of the both SI joints in UTE image (D).

