3.0T 무릎자기공명영상에서 3차원 FFE-PROSET 기법을 이용한 관절연골평가 : 2차원 TSE-SPIR 기법과 비교

구은희*

청주대학교 방사선학과*

Evaluation of Articular Cartilage using 3D FFE-PROSET Technique in 3.0 T Knee MR Imaging : Comparison with 2D TSE - SPIR Technique

Eun-Hoe Goo *

Department of Radiological Science, Cheongju University *

요 약 본 실험의 목적은 2D TSE-SPIR 와 3D FFE-PROSET 기법을 비교하여 관절연골 묘출에 있어서 3D FFE-PROSET 기법의 임상적 유용성을 알아보고자 하였다. 2013년 1월부터 9월 까지 정상인(30명, 남자:12, 여자:18, 연령분포: 35 ~ 55, 평균연령: 49.48)을 대상으로 Philips 3.0T MRI 기기를 이용하여 검사를 하였고, 사용된 두 기법에 대한 관절연골 묘출을 정량적 분석으로 SNR과 CNR을 평가하였다. 정성적 분석은 영상의 묘출도를 3 등급에 관하여 MRI 전문방사선사가 평가를 하였다. 결과로 관절연골에 대한 SNRs 과 CNRs 값은 2D TSE-SPIR(SNRs: 4.41, 71.63, 7.34, CNRs: 64.30, 58.41) 과 3D FFE-PROSET(SNRs: 8.40, 114.02, 9.53, CNRs: 104.49, 139.49) 기법을 비교했을 때 3D FFE-PROSET 기법이 유의성 있는 결과를 얻었고, 영상의 질 또한 3D FFE-PROSET(2.40) 기법이 높게 나타났다($p=0.0021$). 결론적으로, 3D FFE-PROSET MRI가 2D FSE-SPIR 기법과 비교 했을 때 관절연골에 대한 평가에서 증가된 SNRs 값과 CNRs 값을 얻은 것을 보여 주었으며, 이러한 결론은 향후 관절연골 진단에 유용성 있는 정보를 제공할 것이다.

주제어 : 경사자장에코, 스펙트럼사전포화 반전회복, 선택여기원리, 급속스핀에코

Abstract The purpose of this study is to know a clinical usefulness for delineation of articular cartilage compared with 2D TSE-SPIR and 3D FFE-PROSET technique. From January 2013 to september 2013, a total of 30 normal volunteers(12 men and 18 women aged between 35 and 55 years; mean 49.48 years) were studied on a philips 3.0T MRI scanner. As a quantitative analysis, SNRs and CNRs were evaluated by using two methods for delineation of articular cartilage. As a qualitative analysis, image quality was evaluated by special radiological technologist of MRI for image delineation on a three grade. As a results, SNRs and CNRs for articular cartilage were significantly greater for the 3D FFE-PROSET(SNRs: 8.40, 114.02, 9.53, CNRs: 104.49, 139.49) technique compared to 2D TSE-SPIR(SNRs: 4.41, 71.63, 7.34, CNRs: 64.30, 58.41) technique, image quality also was higher for evaluation of 3D FFE-PROSET(2.40) technique($p=0.0021$). In conclusion, this study showed that a 3D FFE-PROSET MRI has improved SNRs and CNRs for evaluating of the articular cartilage, these conclusions in the future will be provided useful information in diagnosis of articular cartilage.

Key Words : Fast field echo, Spectral presaturation with inversion recovery, Principle of selected excitation technique, Turbo spin echo

Received 5 November 2013, Revised 30 December 2013

Accepted 20 December 2013

Corresponding Author: Eun-Hoe Goo(Department of Radiological Science, Cheongju University)

Email: eunhoegoo@gmail.co.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)은 전산화 단층촬영(computed tomography, CT)에 비해 비침습적인 방법으로 연골질환을 평가하는 방법으로 우수한 장점을 가지고 있다[1-2]. 그 중 하나로 CT는 조영제를 사용하여 관절연골을 묘출 할 수가 있지만, MRI는 조영제를 사용하지 않고, 단순히 기법만을 이용하여 질환을 묘출 할 수가 있다. 특히 관절연골(articular cartilage)을 잘 묘출하기 위해서는 지방소거(fat suppression) 기법을 적용함으로써 높은 진단적 정보를 제공할 수가 있다. 그 이유는 연골부위는 대부분이 뼈(bone)가 많이 분포하고 있고, 뼈에는 지질(lipid)성분이 많이 포함되어 있기 때문에 지방소거 기법을 적용하여 연골부위와 주변조직 간의 대조도를 높일 수 있기 때문이다. 지방을 소거하는 방법으로는 MRI 기기의 다양한 펄스시퀀스(pulse sequence)를 이용하여 소거를 할 수가 있다. 이러한 펄스시퀀스를 이용하여 지방을 소거하는 가장 기본적인 방법으로는 화학적 이동 선택포화(CHEmical Shift Selective saturation, CHESS) 기법이 있다. 이 기법은 화학적 이동효과를 이용하여 지방이나 물만을 선택적으로 영상화하는 기법으로 물을 소거시키거나 지방을 소거시켜 영상을 얻는 방법이다[3]. 그러나 이러한 방법은 조직과 공명이 되도록 선택적으로 고주파(radio-frequency)를 인가하기 때문에 질환이 있는 부위에 금속성분이 있거나, 발과 발목(foot and ankle)같은 부위 검사 시 환자가 움직임이 발생할 경우 정확한 지방소거가 이루어지지 않는 단점이 있어 반전회복(inversion recovery, IR) 기법을 이용하여 검사를 하였다[4-5]. 본 실험에 적용된 지방을 제거하는 방법으로 최근에 IR 원리를 변형시킨 2D TSE-SPIR(2 dimension turbo spin echo-spectral pre-saturation with inversion recovery) 기법을 이용하여 관절연골(articular cartilage), 근골격계(musculo-skeletal system) 질환을 포함하여 심장(heart) 및 관상동맥(coronary artery)혈관 묘출까지 많은 검사를 하고 있다 [6-8]. 그러나 환자 검사 시 이 기법은 심장 및 관상동맥혈관 검사를 제외하고, 관절연골 및 근골격계 검사는 기존 검사방식과 큰 차이를 갖지 않고, 2차원 기법을 적용하여 검사하기 때문에 민감한 관절연골을 묘출하는데 있어서 신호대 잡음비(signal to noise ratio)와 대조도 잡음비(contrast to noise ratio)

가 떨어지는 한계를 가지고 있다[9-10]. 또한 2D TSE-SPIR 기법은 지방을 소거하는 TI(inversion time) 시간이 있기 때문에 검사소요 시간이 긴 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하는 방법으로 검사소요시간을 줄이기 위해 급속요소(turbo factor)를 사용하고, 유효에코시간(effective TE)을 적용하여 raw data의 저장 장소인 K-space 중앙 부분에 데이터를 우선적으로 채워줌으로서 대조도를 결정하는 방법으로 검사를 하고 있다. 하지만, 데이터를 수집하는 TE(echo time) 시간이 서로 다르기 때문에 흔들림(blurring)이 발생하고 있다. 그 외 단점으로 자기장의 균일도(magnetic field's homogeneity)에 크게 의존하며, 관심영역(field of view)이 큰 경우는 균일한 지방소거가 되지 않는 단점을 가지고 있다. 특히, 과도한 RF pulse 때문에 높은 SAR(specific absorption rate)가 발생하여 검사 중 기기가 멈추는 현상도 발생하고 있다[11]. HJ. Kim et al. 보고에 의하면 1.5 T에서 2D TSE-SPIR는 민감도(sensitivity) 73 %, 특이도(specificity) 96 %, 정확도(accuracy) 93 % 이었고, 3D FFE-PROSET(3 dimension fast field echo-principle of selected excitation technique) 기법은 민감도 71 %, 특이도 100 %, 정확도 93 %의 결과를 얻어 두 기법에 대한 관절연골 평가에서 3D FFE-PROSET 기법이 민감도, 특이도, 정확도가 조금 높게 나타났지만, 유의성이 없는 결과이었다[12] 따라서 본 실험에서는 2D TSE-SPIR 기법의 문제점을 보완하고, 기존보고와 다르게 유의성 있는 결과를 얻을 필요성이 있으므로 저자는 3.0T MRI 기기를 이용하여 기존에 적용되었던 2D TSE-SPIR 기법과 이 기법에 보완이 가능하다고 판단되는 신호대 잡음비가 높은 3D FFE-PROSET 기법을 비교평가 하여 최적의 무릎 관절연골 정보를 제공해 주는 기법으로 3D FFE-PROSET 기법의 유용성을 알아보고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1 대상

2013년 01월부터 2013년 09월까지 총 30명(남자 : 12명, 여자 18명, 연령분포: 35 ~ 55세(평균 49.48 ± 5.2세)의 정상인 지원자를 대상으로 하였으며, 모든 지원자는 사전에 MRI 검사 경험자만을 선정하여 실험을 하였다.

모든 지원자는 무릎부위에 검사를 요구하였으며, MRI 검사를 무상으로 제공받을 수 있는 금전적 이득과 관독 결과를 구두로 들을 수 있었다. 검사를 받기 전 본 실험에 안전성에 관한 설명한 후 참가동의서를 작성 후 검사를 하였다. 본 실험에 사용된 장비는 3.0 T 자기공명영상기기(Philips, Medical System, Achieva, The Netherlands)를 선정하여 실험하였고, 수신코일(received coil)로는 knee 8 채널(channel) 다중코일을 사용하였다. 적용된 매개변수(parameter)는 3차 의료원에서 일반적으로 무릎 검사 시 적용되는 것을 이용하였다<Table 1>.

(Table 1) Scan parameters

PS ^{a)}	TR	TE	FA	MS	FOV	Th.	Gap	ST
SPIR ^{b)}	500	15	90	300	150	2	1	4:52
Pros. ^{c)}	20	5	15	300	150	2	1	3:20

Note - Numbers are mean $\pm$ standard deviation.

^{a)}PS : pulse sequence, ^{b)}SPIR : 2D TSE-SPIR, ^{c)}Pros. : 3D FFE-PROSET, TR(ms) : repetition time, FA : flip angle, FOV(cm) : field of view, Th. : slice thickness, MS : matrix size, ST : scan time.

2.2 방법

본 실험에 적용된 -PROSET 기법은 22.5° 여기 펄스를 인가한 후 지방(blue color)과 물(red color)은 양성자(proton)가 동위상(in-phase) 상태의 벡터(vector)의 값을 가지게 된다. 이후 일정한 시간이 지난 후 두 조직은 미미한 주파수 차이로 인하여 탈위상(out of phase)에 도달하게 될 때 45° 여기 펄스를 인가하여 두 조직의 양성자가 다시 흐트러질 때 까지 기다린다. 이후 마지막으로 22.5° 여기 펄스를 인가하게 되면, 물 조직은 신호를 발생하게 되지만, 지방 조직은 종축성분에서 회전하고 있기 때문에 지방 신호를 형성하지 않고 제거 되는 원리이다. 180°가 아닌 45°이하로 여기 펄스를 적용하기 때문에 -SPIR 기법에 비해 움직임이 있는 장기 및 조직을 검사할 때 정확한 지방소거를 할 수 있다는 장점을 가지고 있다[Fig. 1][13].

-SPIR은 일반적으로 사용되는 CHESS 기법에 STIR(short tau inversion recovery)의 반전 공명주파수(radio-frequency) 펄스로 지방성분만 -z 축으로 반전시킨 후 IR(inversion recovery) 동

[Fig. 1] PROSET pulse diagram for fat suppression.

안 지방 신호가 null point(o)가 될 때 exciting RF 펄스를 인가해서 지방만을 제거하는 방법이다[Fig. 2][14]. 반전 후 이완(relaxation)값에 따라 지방제거 정도가 차이 있기 때문에 본 실험에서는 임상에서 3.0T MRI 기기로 검사를 할 때 주로 적용되는 TI(inversion time) 값 180 ms 주어서 지방 신호가 종축자기화 0 이 될 때 RF 펄스를 인가하여 지방을 제거하도록 하였다.

Frequency Selective
Fat inversion pulse

[Fig. 2] SPIR pulse diagram for fat suppression

2.3 정량적 분석

본 연구에서 두 기법에 대한 연골묘출 정도를 분석하기 위해 무릎부위의 연골하골(subchondral bone)과 관절 연골(articular cartilage), 윤활액(synovial fluid)에 일정한 크기의 관심영역(region of interest, ROI)을 설정한 후 신호강도(signal intensity)를 측정하여 관절연골 묘출 정도를 평가하였다. 측정된 각 조직에 대한 평균 표준편차는 -SPIR(6.36, 10.53, 3.16), -PROSET(6.70, 5.66, 4.88)이

었다. 배경잡음(background noise)에 대한 신호강도는 위상부호화방향(phase-encoding direction)인 무릎 전 · 후 측 공간에 노이즈가 많이 포함되도록 일정하게 관심영역을 4구역 설정하여 측정을 하였다. 이 기본 수치를 이용하여 두 기법에 대한 관절연골 묘출평가를 SNR과 CNR로 하였다.

1. SNR : 두 가지의 영상기법에서 연골하골, 관절연골, 윤활액 부위에 5 mm^2 로 관심부위를 설정한 후 측정하였다. 배경잡음의 신호강도는 위상부호화방향인 무릎 전 · 후 4구역에 30 mm^2 로 관심부위를 설정하였다. SNR을 평가하는 방법으로 식 (eq. 1)을 적용하였다[15].

$$SNR = \frac{Signal_{average}}{\sigma_{background}} \quad (\text{eq. 1})$$

2. CNR : 연골하골, 관절연골, 윤활액의 평균 신호강도(tissue₁)에서 인접부위의 조직(tissue₂)에 대한 관심영역에서 얻은 평균 신호강도를 배경잡음의 표준편차의 형식으로 값을 구하였다. CNR을 평가하는 방법으로는 식 (eq. 1)과 같이 적용하였다[15].

$$CNR = \frac{Signal_{tissue1} - Signal_{tissue2}}{\sigma_{background}} \quad (\text{eq. 2})$$

2.4 정성적 분석

두 가지의 MR기법으로 얻은 영상들은 3차 의료기관에 임상경력 15년 이상인 경험 있는 국제전문방사선사가 평가를 하였다. 관찰자는 각 영상에 대하여 관절연골의 묘출도(delineation)를 세 단계로 점수를 주었다. 구분의 단계는 불량 (poor, 1), 보통(fair, 2), 양호(good delineation, 3) 이었고, 각 영상에 대하여 얻어진 점수를 평균화하여 비교하였다. 묘출도는 국소 신호강도가 미미하여 관절연골 경계가 구분되지 않을 때 1점, 신호강도 변화가 미미하고, 관절연골 경계가 뚜렷하지 않을 때 2점, 신호강도 변화가 뚜렷하고, 관절연골 경계가 좋을 때 3점으로 평가하였다.

2.5 통계분석

두 가지 영상기법에서 정량적 분석으로 신호대 잡음비와 대조도대 잡음비에 대한 통계적 유의성은 paired Student's t-test로 계산되었으며, 세 단계의 관절연골의 묘

출도에 대한 통계적 유의성은 Wilcoxon Rank test를 적용하였다. 통계에 사용된 프로그램은 SPSS 14.0 프로그램을 이용하여 p 값이 0.05 이하일 때 유의성을 두었다.

3. 결과

총 30명의 정상인 지원자에서 정량적 분석의 결과로 두 기법에 대한 윤활액, 관절연골, 연골하골의 평균 SNRs (2D TSE-SPIR : 4.41, 71.63, 7.34, 3D FFE-PROSET : 8.40, 114.02, 9.53) 값은 3D FFE-PROSET가 약 2배 이상 높게 나타났으며($p < 0.05$), <Table 1>), 관절연골과 연골하골, 관절연골과 윤활액의 평균 CNRs(2D TSE-SPIR : 64.30, 58.41, 3D FFE-PROSET : 104.49, 139.49)값도 약 2배 정도 높게 나타났고, 정성적 분석에서 연골의 묘출도는 2D TSE-SPIR(1.90), 3D FFE-PROSET(2.40)로 3D FFE-PROSET가 높게 나타났다($p < 0.05$), <Table 2>). 연골하골에 대한 SNR_i는 지방성분이 많이 분포되어 있어 신호강도가 낮게 나타났지만, 관절연골과의 구분은 명확하였다. 3D FFE-PROSET가 높은 SNRs와 CNRs 값을 갖게 되어 관절연골이 미세하고, 유동성이 있는 부위임에도 불구하고, 신호강도가 균일하고, 경계부위가 뚜렷하게 묘출하게 되었다. 윤활액에 대한 SNR_i 값이 작은 차이는 액체성분이 많아 기법의 영향을 적게 받았지만, 3D FFE-PROSET은 3차원 특성의 정보를 얻기 때문에 차이를 갖게 되었다. 2D TSE-SPIR 기법은 SE(spin echo) 기법이기 때문에 윤활액 부분에 대한 신호강도가 어두운(darkness) 신호를 나타냈고, 3D FFE-PROSET 기법은 경사자장 신호(gradiant echo)의 일반적인 특성 때문에 윤활액 부분이 밝은(brightness)신호가 나타났다. 그럼에도 불구하고, 관절연골과, 윤활액에 대한 대조도대 잡음비가 3D FFE-PROSET 기법이 높게 나타났다. 두 기법에 대한 p -values 값을 비교하였을 때 모두 유의성이 있다는 결과이었다.

Figure 3은 무릎 2D TSE-SPIR 기법과 3D FFE-PROSET 기법을 이용하여 획득한 시상면과 축상면이다. 두 기법에 대하여 정량적 분석에서 평가와 같이 b, d 영상이 a, b에 비해 신호대 잡음비와 대조도대 잡음비가 높은 영상이다.

〈Table 2〉 Quantitative, qualitative values for delineation of articular cartilage (n=30).

	2D TSE-SPIR	3D FFE-PROSET	t	p
SNR ₁ ^{a)}	4.41 ± 0.91	8.40 ± 1.85	-4.392	.0002
SNR ₂ ^{b)}	71.63 ± 9.85	114.02 ± 11.85	-3.835	.0005
SNR ₃ ^{c)}	7.34 ± 1.01	9.53 ± 0.97	-6.662	.0001
CNR ₁ ^{d)}	64.30 ± 7.28	104.49 ± 10.22	-3.831	.0004
CNR ₂ ^{e)}	58.41 ± 7.19	139.49 ± 12.98	-4.395	.0029
ACD ^{f)}	1.90 ± 0.18	2.40 ± 0.05	-2.984	.0021

Note - Data are given as mean ± standard deviation.

^{a)}SNR₁ : signal to noise ratio in synovial fluid, ^{b)}SNR₂ : signal to noise ratio in articular cartilage, ^{c)}SNR₃ : signal to noise ratio in subchondral bone, ^{d)}CNR₁ : contrast to noise ratio in articular cartilage and subchondral bone, ^{e)}CNR₂ : contrast to noise ratio in articular cartilage and synovial fluid, ^{f)}ACD : articular cartilage delineation.

또한 관절연골 부위의 경계면이 뚜렷하며(red arrow, arrow head), 전반적인 신호강도 변화가 일정한 것을 알 수가 있다. c, d의 축상면에서 d (red arrow) 영상이 관찰자 육안으로 보았을 때 하얗게 보이는 정도가 a에 비해 강하며, d (arrow head)를 보면 관절연골의 margin이 c에 비해 우수하다는 것을 알 수가 있다. 무릎영상에 대한 전반적인 영상의 질(image quality)을 보면 b 영상(red ellipse)이 a 영상(yellow box)에 비해 우수하다는 것을 알 수가 있다. Red ellipse 영상을 보면 반막근(semimembranosus muscle, red circle)과 주변조직의 차이가 크게 보이지만, yellow box에서는 영상이 흐릿하여 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 고찰

두 기법을 이용한 본 실험에서 무릎자기공명영상의 관절연골 평가를 할 수 있었고, 두 기법에 대한 장단점에 대하여 알 수가 있었다. SNRs와 CNRs 값은 -SPIR을 이용한 급속스핀에코(turbo spin echo) 계열과 -PROSET을 이용한 경사에코(gradient echo) 계열에 대한 지방소거 정도를 알 수가 있었다. 현재 임상에서는 자기공명영상 기기를 이용하여 관절연골 묘출에 있어서 지방을 제거하는 방법으로 STIR(Short T1 Inversion Recovery),

〔Fig. 3〕 Different pulse sequences on 2D TSE-SPIR(a, c) and 3D FFE-PROSET (b, d).

SPIR[16], SPAIR(Spectral Attenuated Inversion Recovery), PROSET[17]기법이 주로 사용되고 있다. 이들 기법은 이론적 장단점에 따라 관절연골 및 사지 질환 검사에 적절하게 사용하고 있다. 본 실험에는 -SPIR 기법과 -PROSET 기법에 대한 평가를 하게 되었다. 두 기법에 대한 최적의 비교를 하기 위하여 여러 매개변수를 고려하게 되었다. 먼저, 사용된 SPIR 기법은 TI 값에 따라 지방소거 정도가 차이 있기 때문에 180 ms를 적용하였다. 이 값은 3차 의료 기관에서 사용되고 있는 값으로 영상을 평가하기에는 문제가 없는 결과 얻었다. 2D TSE-SPIR은 TI 뿐만 아니라 TF(turbo factor)에 의한 대조도를 크게 좌우하기 때문에 TF를 7번 인가하도록 하였다. TF가 4 ~ 7개 사이가 될 때에는 T1 강조 지방소거를 할 수가 있기 때문이다. 그 이상을 인가했을 때에는 검사소요시간은 감소하나 여러 번의 180° 인가로 인하여 영상의 흔들림이 발생 할 수가 있다. 기존 보고에 의면 -SPIR 기법을 이용하여 관절연골평가 외에 직장암(rectal cancer), 전립선암(prostate cancer), 자궁암(uterine cancer) 등을 평가하기도 한다. 이러한 평가들은 2D TSE-SPIR 평가 방법과 다르게 3D TSE-SPIR 이거나 3D FFE-SPIR

기법을 적용하여 평가를 하고 있다[18-20]. 본 실험에서 2D TSE-SPIR와 3D FFE-SPIR 기법을 비교하지 않은 이유도 기존 보고와 같이 관절연골 외에 인체의 종양(tumor)질환에 적용했기 때문이다. 기존에 3D FFE-SPIR과 3D EPI-SPIR 기법으로 관절연골을 평가한 실험에서 정량적 분석 값으로 3D FFE-SPIR : 24.7 ± 1.3 , 3D EPI-SPIR : 25.3 ± 1.2 얻었고, 정성적 분석에서는 2.89 ± 0.04 , 2.81 ± 0.07 로 보고가 된 바 있다[21]. 이러한 결과는 본 실험에서 적용된 3D FFE-PROSET 기법에서 정량적 분석에서는 낮은 결과 이었고, 정성적 분석에서는 4 등급을 기준으로 분석했기 때문에 본 실험에 3 등급 기준에 비하면 낮은 결과 이었다. Mosher et al. 보고에서 2D TSE-SPIR 과 DRIVEN(driven equilibrium) 기법의 비교에서도 윤활액과 관절연골, 연골하골과 관절연골에 대한 SNRs 차이가 $p=0.001$ 과, $p=0.013$ 으로 나타났다. 본 실험에서는 $p=0.004$ 와 $p=0.0029$ 로 기존보고에 비하여 더 큰 차이의 값을 얻은 것을 알 수가 있었다[22]. 3D FFE-PROSET 기법은 경사예코이기 때문에 신호수집시간이 짧아 흔들림(blurring)이 발생할 수 있는 단점을 가지고 있다. 본 실험에서는 이러한 점을 보완하기 위하여 데이터 수집 대역폭을 432 Hz로 영상변화에 영향을 가지 않을 정도로 설정하여 평가를 하였다. SNR과 CNR을 높이는 방법으로는 SENSE(sensitivity encoding) 기법을 적용 시켰다. De Zwart et al. 에 의하면 SENSE 기법은 적용했을 때 검사소유 시간을 단축시키는 특성을 가지고 있어 환자상태가 좋지 않은 경우 빠른 시간에 검사를 마무리 할 수 있는 장점을 가지고 있다고 보고 하였고,[23]. 이러한 원리를 이용하여 무릎관절연골, 골관절염에 대한 SENSE 기법에 대한 우수성을 보고하였다[24]. 관절연골 외에 Ryan et al. 은 고관절(hip joint)을 묘출하는데 있어서 SENSE 기법을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 SNRs 과 CNRs 값이 큰 차이가 있다고 하였다[25]. 관절연골을 묘출하는데 있어서 두 기법에 특성에 따라 이러한 매개변수의 조절을 통하여 비교한 결과 관절연골과 연골하골, 윤활액 사이에 2배 이상의 높은 차이를 보였다[Fig. 4].

본 연구에 제한성이 있다면 첫째, 질병이 없는 정상인 지원자를 대상으로 했다는 점, SNRs CNRs 값이 높게 타나났기 때문에 관절연골 묘출은 보상이 되었을 거라 생각한다. 둘째, 검사 프로토콜에 관한 최적에 매개변수를 사용하지 못한 점, 현재 3차 의료기관에서 사용하고 있는

[Fig. 4] Comparison of signal difference to CNRs for SPIR and PROSET techniques(Mean $\pm$ SD). Statistically significant greater cartilage contrast is obtained with the 3D FFE-PROSET technique(articular cartilage - subchondral, $p= 0.004$, articular cartilage - synovial fluid, $p=0.0029$).

매개변수이기 때문에 큰 문제가 없을 거라고 판단한다. 본 실험에서 향후 이러한 문제점을 개선하기 위해서 저자는 실험에 적용될 최적의 매개변수를 계속 연구할 계획이며, 또한 질환을 가진 환자를 대상으로 실제 두 기법을 비교할 계획을 가지고 있다.

5. 결론

결론적으로, 3.0 T 무릎 자기공명영상에서 2D TSE - SPIR로 관절연골을 묘출하는 것 보다 3D FFE - PROSET로 관절연골을 묘출하는 방법이 전반적으로 경계면을 비롯하여 일정영역에 대한 신호강도 변화가 잘 나타났다. 그 외에 관절연골과 주변조직에 대하여 2 이상의 높은 신호 차이에 SNRs 과 CNRs 값을 얻었으며, 관절연골에 대한 우수한 영상학적 정보를 제공하였다. 이러한 점으로 볼 때 향후 무릎영역을 비롯하여 인체 여러 관절연골 부위를 검사 할 때 3D FFE - PROSET 방법이 유용성 있는 진단적 정보를 제공할 것이라고 사료된다.

REFERENCES

- [1] J. Pan, J. B. Pialat ,T. Joseph , D. Kuo, G. B. Joseph,

- M. C. Nevitt, T. M. Link. Knee Cartilage T2 Characteristics and Evolution in Relation to Morphologic Abnormalities Detected at 3-T MR Imaging: A Longitudinal Study of the Normal Control Cohort from the Osteoarthritis Initiative. *Radiology*, Vol. 261, No. 2, pp. 507-515, 2011.
- [2] B. C. Vande Berg, F. E. Lecouvet, P. Poilvache, J. Jamart, R. Materne, B. Lengele, B. Maldague, J. Malghem. Assessment of Knee Cartilage in Cadavers with Dual-Detector Spiral CT Arthrography and MR Imaging. *Radiology*, Vol. 222, No. 2, pp. 430-436, 2002.
- [3] J. S. Lin, K. P. Hwang, E. F. Jackson, J. D. Hazle, R. Jason Stafford, B. A. Taylor. Multiparametric fat-water separation method for fast chemical-shift imaging guidance of thermal therapies. *radiology*, Vol. 40, No. 10, 2013.
- [4] R. Sutter, E. J. Ulbrich, V. Jellus, M. C. W. Nittka. Reduction of Metal Artifacts in Patients with Total Hip Arthroplasty with Slice-encoding Metal Artifact Correction and View-Angle Tilting MR Imaging. *Radiology*, Vol. 265, No. 1, pp. 204-214, 2012.
- [5] M. R. Schmid, J. Hodler, P. Vienne, C. A. Binkert, M. Zanetti. Bone Marrow Abnormalities of Foot and Ankle: STIR versus T1-weighted Contrast-enhanced Fat-suppressed Spin-Echo MR Imaging. *Radiology*, Vol. 224, No. 2, pp. 463-469, 2002.
- [6] L. M. Fayad, M. A. Jacobs, X. Wang, J. A. Carrino, D. A. Bluemke. Musculoskeletal Tumors: How to Use Anatomic, Functional, and Metabolic MR Techniques. *Radiology*, Vol. 265, No. 2, pp. 340-356, 2012.
- [7] S. Tanaka, M. Mori, K. Kitazaki, K. Nakahira, H. Nakatsuka, Y. Maeda, H. Madono, Y. Naito, Y. Sugimori, Y. Inoue. Visualization of coronary arterial wall based on maximum intensity fusion of whole-heart MR angiogram and water suppression SPIR 3D T(1) TFE images. *Magn Reson Med Sci.*, Vol. 8, No. 2, pp. 55-63, 2009.
- [8] G. Lutterbey, K. Behrends, M. V. Falkenhausen, M. P. Wattjes, N. Morakkabati, J. Gieseke, H. Schild. Is the body-coil at 3 Tesla feasible for the MRI evaluation of the painful knee? A comparative study. *Eur Radiol.*, Vol. 17, No. 2, pp. 503-508, 2006.
- [9] H. G. Potter, J. M. Linklater, A. A. Allen, J. A. Hannafin, S. B. Haas. Magnetic resonance imaging of articular cartilage in the knee. An evaluation with use of fast-spin-echo imaging. *J Bone Joint Surg Am.*, Vol. 80, No. 9, pp. 1276-1284, 1998.
- [10] L. Macarini, A. Perrone, M. Murrone, S. Marlin, M. Stefanelli. Evaluation of patellar chondromalacia with MR: comparison between T2-weighted FSE SPIR and GE MTC. *Radiol Med.*, Vol. 108, No. 3, pp. 159-71, 2004.
- [11] J. Wu, L. Q. Lu, J. p Gu, X. D. Yin. The Application of Fat-Suppression MR Pulse Sequence in the Diagnosis of Bone-Joint Disease. *IJMPCCRO*, Vol. 1, No. 3, pp. 88-94, 2012.
- [12] K. Janssen. ProSet: suppress fat or water, philips, Available From: <http://clinical.netforum.healthcare.philips.com> ~, Mar., 2005.
- [13] F. Visser. Optimizing SPIR and SPAIR fat suppression, philips, Available From: <http://clinical.netforum.healthcare.philips.com> ~, Nov., 2004.
- [14] H. J. Kim, S. H. Lee, C. H. Kang, J. A. Ryu, M. J. Shin, K. J. Cho, W. S. Cho. Evaluation of the Chondromalacia Patella Using a Microscopy Coil: Comparison of the Two-Dimensional Fast Spin Echo Techniques and the Three-Dimensional Fast Field Echo Techniques. *Korean Journal of Radiology*, Vol. 12, No. 1, pp. 78-88, 2011.
- [15] J. S. Bauer, S. J. Krause, C. J. Ross, R. Krug, J. Carballido-Gamio, E. Ozhinsky, S. Majumdar, T. M. Link. Volumetric cartilage measurements of porcine knee at 1.5-T and 3.0-T MR imaging: evaluation of precision and accuracy. *Radiology*, Vol. 241, No. 2, pp. 399-406, 2006.
- [16] H. Y. Kim, S. H. Son, C. K. Eun, S. S. Han. Usefulness of Combined Fat- and Fluid-Suppressed SPIR-FLAIR Images in Optic Neuritis: Comparison with Fat-Suppressed SPIR or STIR Images or STIR images *J Korean Radiol Soc*, Vol. 45, No.6, pp. 539-545, 2001.

- [17] W. M. Byun, S. H. Ahn, M. W. Ahn. Value of 3D MR lumbosacral radiculography in the diagnosis of symptomatic chemical radiculitis. *AJNR Am J Neuroradiol*, Vol. 33, No. 3, pp. 529-534, 2012.
- [18] E. Quaia, V. Ulcigrai, M. Coss, L. De Paoli, M. Ukmar, F. Zanconati, A. De Pellegrin, N. De Manzini, M. A. Cova. Spectral Presaturation Inversion Recovery MR Imaging Sequence after Gadolinium Injection to Differentiate Fibrotic Scar Tissue and Neoplastic Strands in the Mesorectal Fat in Patients Undergoing Restaging of Rectal Carcinoma after Neoadjuvant Chemo- and Radiation Therapy. *Acad Radiol*, Vol. 18 No. 11, pp. 1365-1375, 2011.
- [19] X. C. Li, J. B. Shang, X. M. Wu, Q. S. Zeng, C. P. Sun, J. X. He, Z. W. Zhong, Z. S. Chen. MRI findings of uterine cervical cancer and value of MRI in preoperative staging. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*, Vol. 27, No. 3, pp. 352-4, 2007.
- [20] B. Turkbey, H. Mani, V. Shah, A. R. Rastinehad, M. Bernardo, T. Pohida, Y. Pang, D. Daar, C. Benjamin. Multiparametric 3T Prostate Magnetic Resonance Imaging to Detect Cancer: Histopathological Correlation Using Prostatectomy Specimens Processed in Customized Magnetic Resonance Imaging Based Molds. *The Journal of urology*. Vol. 186, No. 5, pp. 1818-1824, 2011.
- [21] A. Ba-Ssalamah, N. Schibany, S. Puig, A. M. Herneth, I. M. Noebauer-Huhmann, S. Trattnig. Imaging articular cartilage defects in the ankle joint with 3D fat-suppressed echo planar imaging: comparison with conventional 3D fat-suppressed gradient echo imaging. *J Magn Reson Imaging*, Vol. 16, No. 2, pp. 209-216, 2002.
- [22] T. J. Mosher, J. Hatter, M. Mathew, M. Bechtel, E. A. Walker. Improved Cartilage Contrast with Drive in Equilibrium at 3.0T. *Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med.*, Vol. 13, 2005.
- [23] J. A. de Zwart, P. J. Ledden, P. Kellman, P. van Gelderen, J. H. Duyn. Design of a SENSE-optimized high-sensitivity MRI receive coil for brain imaging. *Magn Reson Med*, Vol. 47, No. 6, pp. 1218-1227, 2002.
- [24] L. I. X, M. C. Benjamin, T. M. Link, D. D. Castillo, G. Blumenkrantz, J. Lozano, J. Carballido-Gamio, M. Ries, S. Majumdar. In vivo T(1rho) and T(2) mapping of articular cartilage in osteoarthritis of the knee using 3 T MRI. *Osteoarthritis Cartilage*, Vol. 15, No. 7, pp. 789-797, 2007.
- [25] M. Ryan, P. Cunningham, C. Cantwell, D. Brennan, S. Eustace. A comparison of fast MRI of hips with and without parallel imaging using SENSE. *Br J Radiol*, Vol. 78, No. 928, pp. 299-302, 2005.

구 은 회 (Goo, Eun Hoe)

- 2007년 2월 : 한서대학교 방사선학과(보건학사)
- 2009년 8월 : 한서대학교 방사선학과(방사선학석사)
- 2012년 2월 : 순천향대학교 물리학과(이학박사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 청주대학교 방사선학과 교수

- 관심분야 : 뇌기능 자기공명영상, 자기공명영상 물리
- E-Mail : eunhoegoo@gmail.com