

The Comparative Analysis Study and Usability Assessment of Fat Suppressed 3D T2* weighted Technique and Fat Suppressed 3D SPGR Technique when Examining MRI for Knee Joint Cartilage Assessment

Sung-Jin Kang*

Dept. of Radiology, Soonchunhyang University Bucheon Hospital, Gyeonggi-do 14584, Korea

(Received 7 November 2016, Received in final form 28 November 2016, Accepted 30 November 2016)

In this study, for assessment of degenerative knee joint cartilage disease we acquired images by fat suppressed 3D spoiled gradient recalled (SPGR) and fat suppressed 3D T2* weighted imaging techniques. To do a quantitative evaluation, the knee joint cartilage was divided into medial femoral cartilage (MFC), medial tibial cartilage (MTC), lateral femoral cartilage (LFC), lateral femoral cartilage (LFC) and patella cartilage (Pat) to measure their respective signal intensity values, signal-to-noise ratio, and contrast-to-noise ratio. As for the measured values, statistical significance between two techniques was verified by using Mann-Whitney U-Test. To do a qualitative evaluation, two radiologists have examined images by techniques after which image artifact, cartilage surface, tissue contrast, and depiction of lesion distinguishing were evaluated based on 4-point scaling (1: bad, 2: appropriate, 3: good, 4: excellent), and based on the result, statistical significance was verified by using Kappa-value Test. 3.0T MR system and HD T/R 8ch knee array coil were used to acquire images. As a result of a quantitative analysis, based on SNR values measured by using two imaging techniques, MFC, LFC, LTC, and Pat showed statistical significance ($p < 0.05$), but MTC did not ($p > 0.05$). As a result of verifying statistical significance for measured CNR value, MFC, LFC, and Pat showed statistical significance ($p < 0.05$), while MTC and LTC did not show statistical significance ($p > 0.05$). As a result of a qualitative analysis, by comparing mean values for evaluated image items, 3D T2* weighted Image has indicated a slightly higher value. As for conformance verification between the two observers by using Kappa-value test, all evaluated items have indicated statistically significant results ($p < 0.05$). 3D T2* weighted technique holds a clinical value equal to or superior to 3D SPGR technique with respect to evaluating images, such as distinguishing knee joint cartilages, comparing nearby tissues contrast, and distinguishing lesions.

Keywords : magnetic resonance imaging, cartilage, spoiled gradient recalled, T2* weighted

슬관절 연골 평가를 위한 자기공명영상 검사 시 지방 신호 억제 3D T2* Weighted 기법과 지방 신호 억제 3D SPGR 기법의 비교 및 유용성 평가

강성진*

순천향대학교 부천병원 영상의학과, 경기 부천시 원미구 조마루로 170, 14584

(2016년 11월 7일 받음, 2016년 11월 28일 최종수정본 받음, 2016년 11월 30일 게재확정)

퇴행성 슬관절 연골 질환의 평가를 위하여 지방 신호 억제 3D SPGR 기법과 지방 신호 억제 3D T2* weighted 기법을 이용하여 자기공명영상을 획득하였다. 정량적 평가를 위해서 슬관절 연골을 내측대퇴연골(medial femoral cartilage, MFC), 내측경골연골(medial tibial cartilage, MTC), 외측대퇴연골(lateral femoral cartilage, LFC), 외측경골연골(lateral femoral cartilage, LFC), 슬개연골(patella cartilage, Pat) 구역으로 분류하여 관심영역을 설정한 후 각각의 신호강도, 신호 대 잡음비, 대조도 대 잡음비를 측정하였다. 측정된 값은 Mann-Whitney U-검정을 이용 두 기법간의 통계적 유의성을 검증하였다. 정성적 평가를 위해서 각각의 영상을 2명의 영상의학자가 관찰한 후 영상 내 인공음영, 연골의 경계, 조직 간 대조도, 병소의 묘사정도를 4점 척도(1점: 나쁨, 2점: 적당함, 3점: 좋음, 4점: 매우 좋음)로 평가하고, 그 결과를 바탕으로 Kappa-value 검정을 통해 통계적 유의성을 검증하였다. 영상획득에 사용된 장비는 3.0T MR system과 HD T/R 8ch knee array coil을 사용하였다. 정량적 분석결과, SNR 측정값을 토

대로 한 두 기법 간의 통계적 유의성 검증 결과 MFC, LFC, LTC, Pat에서는 통계적으로 유의한 결과($p < 0.05$)를 보였으나, MTC에서는 유의하지 않은 결과($p > 0.05$)를 보였다. CNR 측정값의 통계적 유의성 검증 결과 MFC, LFC, Pat에서는 통계적으로 유의한 결과($p < 0.05$)를 보였으나, MTC, LTC에서는 유의하지 않은 결과($p > 0.05$)를 보였다. 정성적 분석결과, 영상의 평가항목 별 결과 값의 평균을 비교해 보면 3D T2* weighted 영상에서 조금 높은 결과를 보였고, Kappa-value test를 이용한 두 관찰자 간의 일치성 검증에서는 모든 평가항목에서 통계적으로 의미 있는 결과($p < 0.05$)를 보였다. 결론적으로 3D T2* weighted 영상 기법은 3D SPGR 영상기법과의 비교에서 슬관절 연골의 묘사와 주변 조직 간의 대조도 및 병소의 묘사 등 영상의 평가에서 동등 및 그 이상의 진단적 가치를 낼 수 있다.

주제어 : magnetic resonance imaging, cartilage, spoiled gradient recalled, T2* weighted

I. 서 론

근래에는 평균 수명이 늘어나는 추세와 더불어 노령화로 인한 퇴행성 관절질환(degenerative joint disease)을 가진 환자들이 상대적으로 증가하고 있는 상황이다. 퇴행성 관절 질환은 주로 연골의 마모나 퇴행성 변화를 의미하는데 이와 관련하여 새로운 치료법의 개발이나 치료효과의 평가에 있어서 관절 연골의 정확한 이해와 진단방법이 절실히 요구되고 있다 [1]. 특히 퇴행성 관절 질환이 많이 발생하고 있는 슬관절(knee joint) 부위는 골조직(bony structure), 연골(cartilages), 인대(ligaments) 등의 복잡한 구조를 가지고 있어 다른 영상의학 검사에 비해 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)을 통하여 관절 내 구조물들을 잘 나타낼 수 있으며, 다양한 펄스열(pulse sequence)을 이용하여 관절연골의 형태 및 변형특성을 잘 묘사하고 있다. 이에 따라 자기공명영상의 슬관절 검사의 방법도 다양해지고 세분화 되고 있는 상황이며, 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)와 대조도대 잡음비(contrast to noise ratio, CNR)의 증가와 삼차원(3 dimensional, 3D) 기법을 이용한 고해상도의 영상을 얻기 위한 노력이 이루어지고 있는 실정이다[2, 3].

이에 본 연구에서는 슬관절 연골 질환을 평가하는데 있어 기존의 지방 신호 억제 3D spoiled gradient recalled(3D SPGR) 기법과 지방억제 3D T2 star weighted(3D T2* weighted) 기법을 이용하여 구역별 슬관절 연골의 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)와 대조도대 잡음비(contrast to noise ratio, CNR)를 비교분석하고 영상의 질을 평가하여 3D T2* weighted 기법의 유용성에 대하여 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상 및 장비

연구대상은 슬관절의 퇴행성 질환이 의심되어 MRI 검사를 시행한 환자 24명(남자 10명, 여자 14명)을 대상으로 하였다. 연령범위는 47세~60세이고 평균연령은 남자 53.1 ± 5 세, 여자는 54.2 ± 3 세이었다.

사용된 장비는 3.0T MR scanner(Signa 3.0T HDxt, GE Healthcare, Waukesha, WI, USA)와 HD T/R 8-channel knee array coil(In vivo Corp, Gainesville, FL, USA)을 사용하였다.

2. 영상의 획득과 통계적 분석

슬관절의 시상면(sagittal plane) 영상을 3D T2* weighted 기법과 3D SPGR 기법을 이용하여 각각의 영상을 획득하였으며 사용된 영상변수는 다음의 표와 같다[Table I].

영상의 정량적 분석을 위하여 슬관절 연골의 구역을 내측 대퇴연골(medial femoral cartilage, MFC), 내측경골연골(medial tibial cartilage, MTC), 외측대퇴연골(lateral femoral cartilage, LFC), 외측경골연골(lateral tibial cartilage, LTC), 슬개연골(patella cartilage, Pat) 구역으로 분류하고 영상 기법 별 각각의 영상을 이용하여 신호강도(signal intensity, SI) 측정을 위한 관심영역(region of interest, ROI)을 설정하였다. 대퇴연골과 경골연골의 경우 두 연골이 가장 가까운 수직 변위를 보이는 영상에서 $10 \pm 2 \text{ mm}^2$ 크기의 ROI를 설정하였고, 슬개연골의 경우는 슬개연골이 가장 두껍게 보이는 영상에서 ROI를 설정하여 연골(cartilage)과 골수조직(bone marrow), 배경신호(back ground)에서 SI의 평균값(mean value)과 표준편차(standard deviation, SD)를 각각 측정하였다[Fig. 1]. 측정된 값을 이용하여 각 구역별 연골의 SNR, CNR을 다음의

Table I. The Parameter for image acquisition.

Parameter	Pulse sequence	
	3D T2*	3D SPGR
TR (ms)	57.50	17.15
TE (ms)	25.20	4.25
Matrix size	288 * 288	288 * 288
FOV (mm)	160	160
Flip angle	15	25
Bandwidth (kHz)	62.50	62.50
Slice thickness/gap (mm)	2/0	2/0
NEX	1	1
Acquisition time	5:00	4:01

Note. 3D: three dimension, T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled, TR: repetition time, TE: echo time, FOV: field of view, NEX: number of excitation.

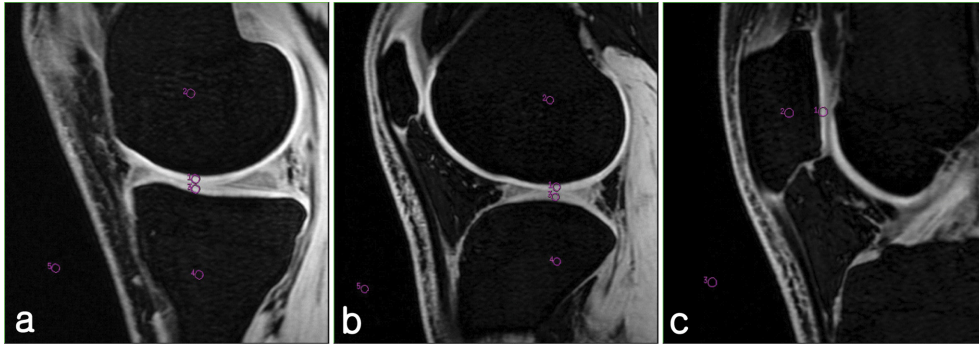


Fig. 1. (Color online) Set-up of ROI for measuring mean value and standard deviation of signal intensity, (a) MFC, MTC. (b) LFC, LTC. (c) Pat.

공식으로 계산하였다.

$$SNR_{cartilage} = SI_{cartilage} / SD_{noise}$$

$$CNR_{cartilage} = (SI_{cartilage} - SI_{bone\ marrow}) / SD_{back\ ground}$$

측정된 SNR과 CNR 값을 토대로 하여 Mann-Whitney U-검정을 이용하여 비모수 대응표본 검증을 시행하였다.

정성적 분석으로는 각각의 영상을 2명의 영상의학자가 관찰한 후 영상 내 인공음영, 연골의 경계, 조직 간 대조도, 병소의 묘사정도를 4점 척도(1: 나쁨, 2: 적당함, 3: 좋음, 4: 매우 좋음)로 평가하였고, 그 결과 간의 일치성 검증을 위하여 Kappa-value 검정을 통해 통계적 유의성을 검증하였다. 모든 통계적 분석은 SPSS 20.0을 이용하였고, $p < 0.05$ 인 경우에 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

Table II. SNR value at each ROI of knee joint cartilage using by fat suppressed 3D T2* weighted and fat suppressed 3D SPGR technique, respectively.

No. of subjects	MFC		MTC		LFC		LTC		Pat	
	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR
1	184.4	92.5	89.9	61.1	184.3	104.3	92.3	90.9	133.3	114.1
2	136.3	79.8	66.7	68.5	169.0	90.3	110.0	78.7	223.6	115.8
3	167.0	118.3	115.7	98.5	174.0	130.4	93.4	104.3	153.8	80.1
4	204.3	92.6	69.2	68.7	141.9	115.6	125.4	103.1	153.2	99.4
5	162.6	87.6	95.9	94.5	274.1	123.8	183.8	125.2	105.1	84.3
6	159.9	127.1	113.1	93.1	134.6	108.4	166.2	88.4	146.4	102.7
7	149.1	84.8	73.9	72.1	161.2	74.3	52.0	56.2	133.2	86.0
8	208.4	77.7	134.3	74.6	152.8	114.0	107.4	101.0	252.9	73.5
9	181.9	87.8	76.6	74.8	145.8	102.7	113.5	91.8	195.7	95.9
10	168.5	97.6	82.4	80.4	183.1	150.1	167.0	129.7	237.6	125.4
11	135.1	64.4	46.1	48.6	185.0	92.6	102.7	82.4	203.6	95.3
12	144.9	106.1	47.4	79.3	173.2	99.8	82.3	83.2	175.7	108.9
13	136.1	91.7	59.0	72.0	162.7	104.9	87.9	91.1	149.2	84.5
14	155.6	126.8	115.0	113.1	101.0	95.3	66.9	82.8	100.5	108.6
15	181.7	78.3	85.5	61.7	134.2	90.6	65.3	67.8	206.1	52.5
16	189.1	124.1	65.2	85.8	256.7	93.5	130.2	67.1	148.5	105.3
17	213.8	96.0	119.1	76.0	120.1	105.9	101.7	92.0	203.2	113.1
18	177.6	129.1	101.2	114.7	114.6	77.9	75.4	64.1	106.9	94.3
19	146.3	142.4	84.4	100.4	149.6	93.3	121.6	83.3	162.5	117.5
20	159.6	140.2	75.3	128.6	162.7	103.5	90.1	85.2	188.8	119.5
21	205.1	86.0	187.6	78.5	227.1	116.9	141.7	96.3	211.4	100.0
22	166.6	129.6	96.3	103.5	215.6	102.1	115.4	87.7	217.7	73.7
23	153.5	87.8	117.4	69.7	170.3	122.2	108.6	98.5	138.8	59.3
24	193.0	92.4	113.8	90.2	161.2	147.3	103.5	144.5	268.9	73.3
Mean	170.0	101.7	93.0	83.7	169.0	106.7	108.5	91.5	175.7	95.1

Note. SNR: signal to noise ratio, ROI: region of interest, T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled, MFC: Medial femoral cartilage, MTC: Medial tibial cartilage, LFC: Lateral femoral cartilage, LTC: Lateral tibial cartilage, Pat: Patella cartilage.

III. 결 과

1. 정량적 분석

3D T2* weighted 기법과 3D SPGR 기법을 이용한 각각

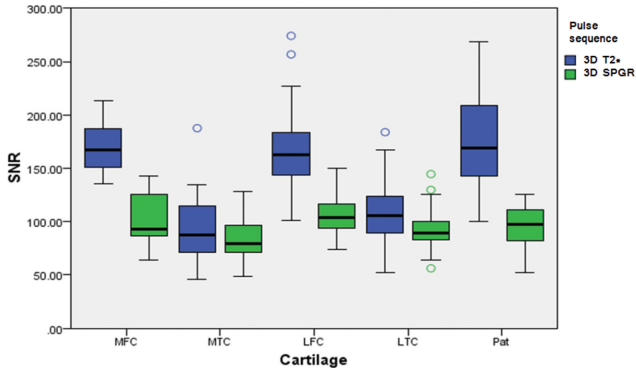


Fig. 2. (Color online) Distribution of SNR value at each ROI of knee joint cartilage using by fat suppressed 3D T2* weighted and fat suppressed 3D SPGR technique, respectively.; MFC: medial femoral cartilage, MTC: medial tibial cartilage, LFC: lateral femoral cartilage, LTC: lateral tibial cartilage, Pat: patella cartilage.

의 영상에서 슬관절 연골의 구역 별 SNR 값은 다음과 같다 [Table II].

SNR의 평균값은 3D T2* weighted 기법의 경우 MFC 170.0, MTC 93.0, LFC 169.0, LTC 108.5, Pat 175.7 이었다. 3D SPGR 기법은 MFC 101.7, MTC 83.7, LFC 106.7, LTC 91.5, Pat 95.1의 값을 보였다[Fig. 2].

SNR 측정값을 토대로 한 두 영상기법 간의 통계적 유의성 검증 결과 MFC, LFC, LTC, Pat 에서는 통계적으로 유의한

Table III. Statistical significance evaluate of SNR value using Mann-Whitney U verification; *p* value was less than 0.05.

Imaging \ ROI	MFC	MTC	LFC	LTC	Pat
	3D T2*	170.0	93.0	169.0	108.5
3D SPGR	101.7	33.7	106.7	91.5	95.1
<i>p</i> -Value	0.001	0.307	0.001	0.032	0.001

Note. SNR: signal to noise ratio, ROI: region of interest, T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled, MFC: Medial femoral cartilage, MTC: Medial tibial cartilage, LFC: Lateral femoral cartilage, LTC: Lateral tibial cartilage, Pat: Patella cartilage.

Table IV. CNR value at each ROI of knee joint cartilage using by fat suppressed 3D T2* weighted and fat suppressed 3D SPGR technique, respectively.

No. of subjects	MFC		MTC		LFC		LTC		Pat	
	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR
1	161.8	80.7	70.5	50.3	167.3	74.1	91.7	79.2	121.2	96.3
2	115.7	69.4	51.5	60.2	153.0	95.1	82.0	71.5	201.6	102.7
3	154.5	105.7	103.6	86.1	160.6	79.8	117.7	89.9	142.1	69.0
4	186.7	82.1	51.3	56.5	131.2	111.9	103.8	90.3	141.7	88.4
5	150.4	75.6	83.1	85.6	255.0	159.9	111.5	112.1	95.7	73.6
6	141.1	108.1	96.1	81.1	111.5	150.0	91.7	74.7	135.5	90.1
7	136.8	76.0	59.9	62.4	144.1	36.9	63.3	43.1	122.3	74.1
8	187.3	70.7	119.6	67.1	137.7	90.1	95.3	84.0	232.3	58.3
9	165.6	76.7	60.3	65.8	133.0	100.2	91.9	79.8	179.1	81.6
10	149.8	85.3	69.5	68.8	163.8	147.4	136.9	115.6	219.6	109.6
11	121.2	55.1	33.3	41.3	171.2	85.6	84.1	70.7	181.0	79.3
12	131.5	90.0	34.2	63.5	160.1	67.0	88.7	71.2	163.5	94.5
13	119.0	77.6	48.0	61.5	147.1	73.8	92.3	77.6	135.9	72.0
14	141.2	111.2	102.1	99.6	90.8	57.2	79.2	71.9	92.0	94.2
15	164.9	67.5	70.2	54.9	122.9	52.2	78.3	58.2	191.8	45.8
16	174.0	108.4	50.1	76.3	238.1	107.5	81.7	55.7	138.1	94.2
17	195.4	84.2	105.3	68.0	100.4	85.7	89.9	81.2	187.4	99.6
18	164.6	115.4	87.0	98.3	106.9	65.6	67.0	50.5	98.8	82.5
19	131.2	127.3	69.7	88.0	130.6	109.8	79.0	73.5	150.2	103.6
20	145.1	121.0	65.2	119.3	146.5	76.5	92.2	75.2	171.9	106.6
21	186.3	75.5	167.7	68.2	210.4	128.5	103.8	86.3	198.1	88.0
22	149.0	112.4	83.3	91.2	196.7	99.8	89.7	78.6	203.6	64.0
23	142.2	79.6	103.9	61.8	156.5	92.3	109.6	84.3	127.0	53.3
24	173.7	79.9	96.5	81.5	146.8	91.8	127.3	131.5	254.2	97.2
Mean	153.7	89.0	78.4	73.2	153.4	93.3	93.7	79.4	161.9	84.1

Note. CNR: contrast to noise ratio, ROI: region of interest, T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled, MFC: Medial femoral cartilage, MTC: Medial tibial cartilage, LFC: Lateral femoral cartilage, LTC: Lateral tibial cartilage, Pat: Patella cartilage.

결과($p < 0.05$)를 보였으나, MTC에서는 유의하지 않은 결과($p > 0.05$)를 보였다[Table III].

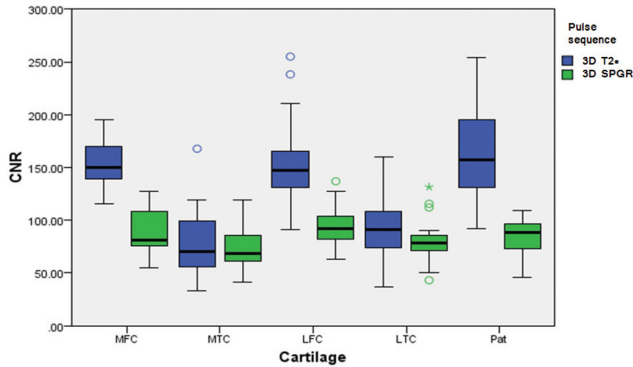


Fig. 3. (Color online) Distribution of CNR value at each ROI of knee joint cartilage using by fat suppressed 3D T2* weighted and fat suppressed 3D SPGR technique, respectively. MFC: medial femoral cartilage, MTC: medial tibial cartilage, LFC: lateral femoral cartilage, LTC: lateral tibial cartilage, Pat: patella cartilage.

3D T2* weighted 기법과 3D SPGR 기법을 이용한 각각의 영상에서 슬관절 연골의 구역 별 CNR 값은 다음과 같다 [Table IV].

CNR의 평균값은 3D T2* weighted 기법의 경우 MFC 153.7, MTC 78.4, LFC 153.4, LTC 93.7, Pat 161.9이었다. 3D SPGR 기법은 MFC 89.0, MTC 73.2, LFC 93.3, LTC

Table V. Statistical significance evaluate of CNR value using Mann-Whitney U verification; p value was less than 0.05.

ROI	MFC	MTC	LFC	LTC	Pat
3D T2*	153.7	78.4	153.4	93.3	161.9
3D SPGR	89.0	73.2	93.7	79.4	84.1
p -Value	0.001	0.578	0.001	0.071	0.001

Note. CNR: contrast to noise ratio, ROI: region of interest, T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled, MFC: Medial femoral cartilage, MTC: Medial tibial cartilage, LFC: Lateral femoral cartilage, LTC: Lateral tibial cartilage, Pat: Patella cartilage.

Table VI. Evaluation of the images by the observer 1 and 2 using 4-point scaling (1: bad, 2: appropriate, 3: good, 4: excellent) in fat suppressed 3D T2* weighted and fat suppressed 3D SPGR, respectively.

No. of subjects	Observer 1								Observer 2							
	Artifact on image		Border of cartilage		Tissue contrast		Depiction of lesions		Artifact on image		Border of cartilage		Tissue contrast		Depiction of lesions	
	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR	3D T2*	3D SPGR
1	4	2	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3
2	4	2	3	3	4	3	3	3	4	2	3	3	4	3	3	3
3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3
5	4	3	2	3	4	3	3	3	4	2	3	3	4	3	3	4
6	4	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
7	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3
8	3	3	2	3	4	2	4	3	3	3	2	2	4	2	4	3
9	4	3	3	2	3	3	3	3	4	3	3	2	3	3	3	3
10	4	1	3	3	3	3	3	3	4	2	3	3	3	2	3	3
11	4	2	2	2	4	3	3	3	4	2	2	2	4	3	3	3
12	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	2	3	4	4	4	4
13	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
14	4	3	2	3	4	3	3	3	4	2	2	2	4	3	3	3
15	4	3	3	2	3	3	3	3	4	3	2	2	4	3	3	3
16	4	3	3	3	4	2	4	4	4	3	3	3	4	2	4	4
17	4	3	2	3	4	3	3	3	4	3	2	3	4	3	3	3
18	4	4	3	2	4	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
19	4	3	2	3	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
21	4	4	2	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3
22	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3
23	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3
24	4	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4
Mean	3.8	3.0	2.7	2.8	3.7	3.0	3.2	3.2	3.8	2.9	2.7	2.8	3.7	2.9	3.3	3.2
SD	0.4	0.7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4

Note. T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled. SD: standard deviation.

Table VII. Kappa value test to evaluate the statistical significance between 3D T2* and 3D SPGR technique by inter-observer evaluation; *p* value was less than 0.05.

Evaluation items		Artifact on image	Border of cartilage	Tissue contrast	Depiction of lesions
Imaging					
3D T2*	Kappa value	0.5	0.597	0.789	0.613
	<i>p</i> Value	0.011	0.003	0.001	0.001
3D SPGR	Kappa value	0.472	0.5	0.67	0.495
	<i>p</i> Value	0.001	0.011	0.001	0.015

Note. T2* (T2 star), SPGR: spoiled gradient recalled.

79.4, Pat 84.1의 값을 보였다[Fig. 3].

CNR 측정값의 통계적 유의성 검증 결과 MFC, LFC, Pat에서는 통계적으로 유의한 결과($p < 0.05$)를 보였으나, MTC, LTC에서는 유의하지 않은 결과($p > 0.05$)를 보였다[Table V].

2. 정성적 분석

2명의 관찰자에 의한 영상기법간의 정성적 평가 결과는 다음과 같다[Table VI].

관찰자 1에 의한 평가 결과 3D T2* weighted 기법의 경우 영상 내 인공음영 3.8 ± 0.4 , 연골의 경계 2.7 ± 0.5 , 조직 간 대조도 3.7 ± 0.5 , 병소의 묘사정도 3.2 ± 0.5 의 평가 결과를 보였고, 3D SPGR 기법은 영상 내 인공음영 3.0 ± 0.7 , 연골의 경계 2.8 ± 0.4 , 조직 간 대조도 3.0 ± 0.5 , 병소의 묘사정도 3.2 ± 0.4 의 평가 결과를 보였다.

관찰자 2에 의한 평가 결과 3D T2* weighted 기법의 경우 영상 내 인공음영 3.8 ± 0.4 , 연골의 경계 2.7 ± 0.5 , 조직 간 대조도 3.7 ± 0.5 , 병소의 묘사정도 3.3 ± 0.5 의 평가 결과를 보였고, 3D SPGR 기법은 영상 내 인공음영 2.9 ± 0.7 , 연골의 경계 2.8 ± 0.4 , 조직 간 대조도 2.9 ± 0.5 , 병소의 묘사정도 3.2 ± 0.4 의 평가 결과를 보였다.

평가된 값의 평균을 비교해 보면 3D T2* weighted 영상에서 조금 높은 평가 결과를 보였고, Kappa-value test를 이용한 두 관찰자간의 일치성 검증에서는 모든 평가항목에서 통계적으로 의미 있는 결과($p < 0.05$)를 보였다[Table VII].

IV. 고 찰

현대사회는 평균연령이 늘어나고 그에 따른 노령화가 급속히 진행되고 있는 상황에 따라 퇴행성 관절 질환을 가진 환자들도 꾸준히 늘어나고 있는 실정이다. 퇴행성 관절 질환은 관절을 구성하는 여러 가지 성분 중에서 연골과 그 주위의 뼈에 퇴행성 변화가 나타나서 생기는 질환으로 주로 체중을 많이 받는 관절 즉 슬관절, 고관절 등에 심한 통증이 나타나고 움직이기가 힘들어지며 오랫동안 방치할 경우 관절의 변형까지 초래하는 가장 흔한 관절 질환이다[4]. 주된 원인으로

로 노령화와 밀접한 연관이 있지만 요즘 들어 연령, 종족, 유전적 성향 등 다양한 원인이 작용하여 병의 심한 정도와 증상의 발현 시기가 환자마다 다르게 나타난다는게 보편적인 견해이다.

일반적으로 퇴행성 관절 질환 진단에 있어서 관절경(arthroscopy)검사와 MRI가 가장 보편적으로 시행되고 있다. 관절경 검사는 진단 및 치료에 중요하고 필수적인 역할을 담당하고 있다. 그러나 관절경은 경제적인 부담이 크며 침습적이고 합병증이 생길 수 있는 단점이 있다[5, 6]. 반면, MRI는 월등한 연부 조직의 대조도를 가지고 있고 연골의 손상과 회복을 평가하는데 유용한 방법으로 자리 잡고 있으며 관절 연골의 정확한 용적과 병변을 찾아내는데 있어 매우 효율적이다. 관절연골의 MR 영상화에는 다양한 Pulse sequence를 이용한 방법들이 존재한다. 첫째, T1 강조영상에서는 관절연골이 균질의 신호 강도를 나타내나 관절연골과 관절액 사이의 비교가 되지 않기 때문에 다층모양은 나오지 않고 또한 표면의 불규칙성이나 국소결손은 파악하기 힘든 단점이 있다[7]. 둘째, T2 강조영상에서는 관절액이 고강도의 신호강도로 나오므로 마치 관절 조영술을 시행한 것과 같은 효과가 있어 관절표면의 불규칙성이나 국소결손을 알아내기 쉬우나 T1강조영상보다 공간 해상도가 낮고 연골하골과 관절연골의 구별이 잘 안 된다[7, 8]. 셋째, T1 강조영상에서 지방 신호 억제(fat-suppression)기법을 사용하면 연골하골과 관절연골의 비교가 잘 되게 된다. 즉 지방 신호 억제 기법은 관절연골의 신호강도의 역동적 범위를 증가시키고 또 화학적 천이(chemical shift) 현상을 막을 수 있으며 움직임이 있을 경우 지방의 신호강도로 인한 유령현상(phantom phenomenon)을 줄여 줌으로서, 연골과 골 사이의 구별이 용이하게 된다[9]. 넷째, 고속 스핀 에코(fast spin echo, FSE)기법을 이용하면 관절연골과 주위 조직 사이의 구별이 용이해지고 자화전이(magnetization transfer)에 의해 관절연골 내의 신호강도 차이로 연골결손을 더 잘 볼 수 있는 장점이 있고 연골 내부의 이상을 보는 데는 더 예민하다는 이점이 있으며 급속에 의한 인공물이 잘 안 생기는 장점이 있다[9, 10]. 다섯째, 지방 신호 억제 3D SPGR 기법은 앞서 설명한 여러 기법에 비해

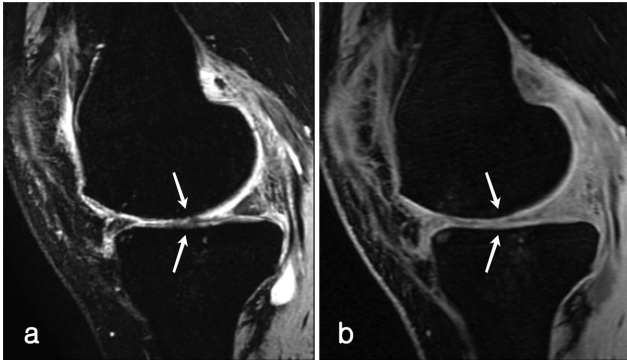


Fig. 4. Chondromalacia (arrow) of medial-femoral cartilage and tibial cartilage in subject. (a) 3D T2* weighted, (b) 3D SPGR.

초자연골이 고 신호강도로 나타나 연골하골이나 관절액과 대조되기 때문에 밝은 흰색을 띄어 구별이 잘 되므로 연골의 정확한 용적과 병변을 찾아내는데 정확하다는 견해가 일치되어 있다[2, 3, 7, 11]. SPGR 기법은 경사에코에 의한 신호 획득 후 잔류하는 가로평면의 자화 M x-y 성분을 위상이 이동된 방향으로 종축자화를 숙여서 서로 상쇄시키는 방법이다. 잔류된 M x-y 신호를 대부분 제거시키므로 T1 대조도가 강조된 영상을 얻을 수 있다. 관절 등의 검사에 적용 시 초자연골이 고 신호강도로 나오게 되는 반면 슬관절 삼출액(knee joint effusion)이 저 신호 강도로 묘사되는데 이는 T1 강조 영상에서 볼 수 있는 특징이다[12].

본 연구에서 사용된 3D T2* weighted 기법(GE Healthcare termed SWAN)은 높은 T2* 대조도를 생성하기 위해 서로 다른 에코시간(echo time, TE)를 통해 생성된 echo들의 결합(3D multi-echo gradient echo sequence)영상이다. 각각의 반복시간(repetition time, TR) 동안 다수의 TE 값을 통하여 형성된 echo를 이용하여 다양한 T2* 강조효과를 획득 할 수 있으며 이렇게 획득된 echo들은 자동적으로 재구성 처리하는 알고리즘을 통해 영상화 하게 된다[13].

3D T2* weighted 기법을 슬관절 연골을 영상화 하는데 적용 하여 본 결과, 활액이나 삼출액등의 물 성분이 풍부한 조직에서 고 신호강도로 나타나게 되어 마치 관절 조영술을 시행한 것과 같이 영상화 된다. 이러한 효과로 인하여 3D SPGR 기법보다 슬관절 내 평가 연골 구역 모든 부분에서 SNR과 CNR이 높게 나타났으며, 관절 내 구조물간의 시각적

대조도를 증가 시킬 수 있었다[Fig. 4]. 다만 본 연구는 주로 슬관절 연골에 대한 평가만으로 국한되어 다른 구조물의 병변에 대한 평가가 모호하며, 3D T2* weighted 기법의 사용 시 증가된 검사시간을 충분한 수준으로 감소시키기 위하여 병렬 영상(parallel imaging) 기법의 적용이나 영상변수의 조정 에 대해서도 고려해 볼 필요가 있다고 하겠다.

V. 결 론

3D T2* weighted 기법은 3D SPGR 기법과의 비교에서 슬관절 연골의 묘사와 주변 조직 간의 대조도 및 병소의 묘사 등 영상의 평가에서 동등 및 그 이상의 진단적 가치를 낼 수 있다. 따라서 슬관절을 평가하는 기본 검사로 충분한 가치가 있다고 생각된다.

References

- [1] C. S. Shin, R. Souza, and S. Majumdar, *The Korean Soc. Mech. Eng.* **11**, 3987 (2010).
- [2] M. P. Recht, J. Kramer, S. Marcellis, M. N. Pathria, D. Truedell, P. Haghghi, D. J. Sartoris, and D. Resnik, *Radiology* **187**, 473 (1993).
- [3] D. G. Disler, *Am. J. Roentgenol.* **169**, 1117 (1997).
- [4] H. J. Cho, C. B. Chang, J. W. Jung, S. C. Seong, and T. K. Kim, *Knee Surgery & Related Research* **21**, 223 (2009).
- [5] O. W. Kim, Y. J. Lee, S. S. Cha, and J. H. Ryu, *J. Korean Radio. Soc.* **51**, 85 (2004).
- [6] B. Y. Lee and H. S. Kim, *Knee Surgery & Related Research* **3**, 71 (1991).
- [7] C. B. Chung, L. R. Frank, and D. Resnick, *Clin. Orthop. Relat. Res.* **391**, 370 (2001).
- [8] J. M. Timothy and S. W. Pruet, *J. Magn. Reson. Imaging* **10**, 178 (1999).
- [9] T. R. McCauley and D. G. Disler, *Radiology* **209**, 629 (1998).
- [10] A. H. Sonin, R. A. Pensy, and M. E. Mulligan, *Am. J. Roentgenol.* **179**, 1159 (2002).
- [11] D. G. Disler, T. R. McCauley, and C. R. Wirth, *Am. J. Roentgenol.* **165**, 377 (1995).
- [12] M. G. Ko, I. Yang, K. W. Lee, Y. Lee, S. Y. Chung, K. S. Lee, and J. H. Yoo, *J. Korean Radio. Soc.* **40**, 1211 (1999).
- [13] GE Healthcare, 3.0T signa 15.0 Continumpak Manual (2008).