

The Comparative Analysis Study and Usability Assessment of Fat Suppressed 3D FSPGR T1 Technique and Fat Suppressed Isotropic 3D FSE T1 Technique when Examining MRI of Patient with Triangular Fibrocartilage Complex (TFCC) Tear

Sung-Jin Kang and Yong-Keun Cho

Dept. of Radiology, Soonchunhyang University Bucheon Hospital, 14584, Korea

Sung-Soo Lee*

Dept. of Preventive Medicine, Soonchunhyang University College of Medicine, 31151, Korea

(Received 28 May 2016, Received in final form 2 June 2016, Accepted 3 June 2016)

In this study, For assessment of triangular fibrocartilage complex (TFCC) injury, we acquired images by fat suppressed 3D fast spoiled gradient recalled T1 and fat suppressed Isotropic 3D fast spin echo T1 techniques. For quantitative evaluation, measured signal to noise ratio and contrast to noise ratio and verified statistical significance between two imaging techniques by Mann-Whitney U verification. And for qualitative evaluation, marked 4-grade scoring (0: non diagnostic, 1: poor, 2: adequate, 3: good) on shape of TFCC, artifacts by partial volumes, description of the lesions by two radiologist, verified coincidence between 2 observer using Kappa-value verification. We used 3.0 Tesla MR equipment and 8-channel RF coil for imaging acquisition. As quantitative evaluation results, signal to noise ratio and contrast to noise ratio value of Isotropic 3D fast spin echo T1 technique is higher in every image sections, also between two imaging techniques by Mann-Whitney U verification was statistically significant ($p < 0.05$). As qualitative results, observer 1, 2 marked a higher grade on Isotropic 3D FSE T1 technique, coincidence verification of evaluation results between two observers by Kappa-value verification was statistically significant ($p < 0.05$). As a result, during MRI examination on TFCC injury, fat suppressed Isotropic 3D fast spin echo T1 technique is considered offering more useful information about abnormal lesion of TFCC.

Keywords : MRI, TFCC, 3D FSPGR, Isotropic 3D FSE

삼각 섬유성 연골(TFCC) 손상 환자의 자기공명영상 검사 시 Fat Suppressed 3D FSPGR T1 강조 기법에 대한 Fat Suppressed Isotropic 3D FSE T1 강조 기법의 비교 분석 및 유용성에 관한 평가

강성진 · 조용근

순천향대학교 부천병원 영상의학과, 경기 부천시 원미구 조마루로 170, 14584

이성수*

순천향대학교 의과대학 예방의학교실, 충남 천안시 동남구 순천향6길 31, 31151

(2016년 5월 28일 받음, 2016년 6월 2일 최종수정본 받음, 2016년 6월 3일 게재확정)

삼각 섬유성 연골(TFCC) 손상 환자의 평가를 위하여 fat suppressed 3D fast spoiled gradient recalled T1 기법과 fat suppressed Isotropic 3D fast spin echo T1 기법을 이용하여 영상을 획득하였다. 정량적 평가를 위해 각각의 영상에서 signal to noise ratio 및 contrast to noise ratio 값을 측정하고, Mann-Whitney U 검정으로 두 기법 간의 통계적 유의성을 검증하였다. 또한 정성적 평가를 위해 영상의학의 2명이 각각의 영상을 관찰하여, TFCC의 형태, 영상 내 인공음영, 병변의 묘사 정도의 3가지 항목을 선

정한 후 이를 4점 척도(0: 진단 불가, 1: 부족함, 2: 충분함, 3: 좋음)로 평가하였고, Kappa-value 검정을 이용하여 두 관찰자 간의 일치도 검증을 하였다. 영상획득에는 3.0 Tesla MR 장비와 8-channel RF coil을 사용하였다. 정량적 평가 결과, 모든 영상 단면에서 signal to noise ratio 및 contrast to noise ratio 값이 Isotropic 3D fast spin echo T1 기법이 높게 나타났으며, Mann-Whitney U 검정을 이용한 두 영상기법 간의 검증도 통계적으로도 유의하였다($p < 0.05$). 정성적 평가 결과, 관찰자 1, 2 모두에서 Isotropic 3D fast spin echo T1 기법의 평가 결과가 더 높게 나타났으며, Kappa-value 검증을 이용한 두 관찰자 간 평가 결과의 일치도 검증도 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$). 결론적으로 TFCC 손상 환자의 자기공명영상 검사 시 fat suppressed Isotropic 3D fast spin echo T1 기법의 적용은 TFCC 병변의 감별에 보다 유용한 진단적 정보를 제공 할 수 있을 것이라 생각된다.

주제어 : MRI, TFCC, 3D FSPGR, Isotropic 3D FSE

I. 서 론

손목 관절(wrist joint)은 구불 패임(sigmoid notch)과 척골 두의 반경이 서로 다른 타고난 불안정한 관절로 골성 요인은 20% 정도만 기인하며 나머지 80% 정도는 연부조직의 안정성에 의존한다[1]. 연부조직의 안정성 기여도에 대한 여러 생리역학적 연구에 의하면 삼각 섬유성 연골 복합체(triangular fibrocartilage complex, TFCC)가 가장 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다[2]. TFCC는 요골의 sigmoid notch, 척골의 ulnar styloid process와 fovea, 그리고 척골 수근 인대(ulnocarpal ligament)를 통해 수근골과 연결된 그물형침대 구조(hammock-like structure)로 원위 요척골의 안정성에 기여한다. 이러한 TFCC의 손상은 대부분 낙상 시에 수부의 과신전(hyperextension), 회전력, 반복적인 축성 부하에 의해 발생되며, 테니스나 탁구 등과 같은 라켓 스포츠나 던지기, 체조, 휠체어 스포츠 등 손목에 스트레스를 많이 받는 종목의 운동 선수에게서 많이 나타난다. 이러한 복잡한 구조를 가지고 있는 손목 관절의 진단 중 자기공명영상(magnetic resonance image, MRI)은 단순 X선 검사나 전산화 단층촬영(computed tomography, CT) 등의 다른 영상의학적 검사에 비하여 관절 내 구조물들을 잘 나타낼 수 있으며, 다양한 펄스 열(pulse sequence)을 이용하여 관절연골의 형태 및 병변의 정도와 특

징을 묘사하고 있다[3-6]. 또한 병변의 묘사 정도를 개선시키기 위하여 고식적인 2차원 영상기법에 반해 3차원 영상 획득 기법을 이용한 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)와 대조도대 잡음비(contrast to noise ratio, CNR)의 증가와 고 해상도의 영상을 얻기 위한 기법도 많이 적용되고 있는 추세이다[7, 8].

본 연구는 TFCC 손상 환자의 MRI 검사 시 fat suppressed 3D fast spoiled gradient recalled T1 weighted(이하 3D FSPGR T1) 기법과 fat suppressed Isotropic 3D fast spin echo T1 weighted(이하 Isotropic 3D FSE T1) 기법을 비교 분석하여, TFCC의 이상 유무를 관찰하기 위한 Isotropic 3D FSE T1 기법의 유용성에 대하여 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 평가 대상의 선정

2015년 10월부터 2015년 12월까지 TFCC 손상을 주 소견으로 본 기관을 내원한 환자 9명(남: 5명, 여: 4명)을 대상으로 하였으며, 연령범위는 16~45세(평균연령: 30 ± 10)이었다.

2. 영상의 획득

영상의 획득에는 3.0 Tesla MR scanner(Signa 3.0T HDxt.

Table I. The Parameters for the image acquisition.

| Parameter | Imaging technique | 3D FSPGR T1 | Isotropic 3D FSE T1 |
|---|-------------------|---------------|---------------------|
| TR (ms) | | 16 | 600 |
| TE (ms) | | 2.5 | 20.2 |
| FOV (mm) | | 10 | 10 |
| ETL | | NA | 24 |
| Matrix size (zero filled interpolation) | | 320*192 (512) | 320*320 (512) |
| Flip angle | | 10 | NA |
| NEX | | 1 | 1 |
| Slice thickness/gap (mm) | | 1.0/0 | 1.0/0 |
| Band width (kHz) | | 31.25 | 31.25 |
| Parallel imaging acceleration factor | | NA | 2.0 |
| Acquisition time | | 2:40 | 3:30 |

Note. FSPGR: fast spoiled gradient recalled, FSE: fast spin echo, TR: repetition time, TE: echo time, FOV: field of view, ETL: echo train length, NEX: number of excitation, NA: not accepted.

GE Healthcare, Waukesha, WI, USA)와 8-channel Extremity RF Coil(HD 8-ch wrist array coil, Invivo Corp. USA)를 사용하였다. 환자는 엎드린 자세(prone)로 가능한 한 magnet bore의 중심(iso-center)에 손목 관절을 위치시킨 상태로 검사 하였으며, 3D FSPGR T1 기법과 Isotropic 3D FSE T1(GE Healthcare termed CUBE) 기법을 이용하여 손목 관절을 완전히 포함한 관상면(coronal plane) 영상을 각각 획득하였다. 획득된 영상으로 부터 다면재구성(multi planar reformation, MPR) 기법을 이용하여 1 mm 단면 두께의 축상면(axial plane)과 시상면(sagittal plane) 영상을 재구성하였다.

영상 획득에 사용된 매개 변수(imaging parameter)는 다음과 같다[Table I].

3. 영상의 분석 및 통계적 검증

영상의 정량적 분석을 위하여 영상 기법 별 손목 관절 영

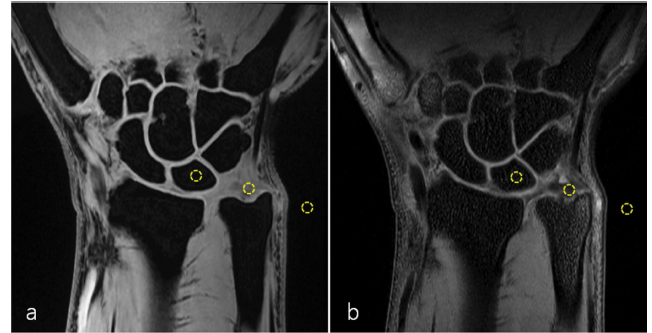


Fig. 1. (Color online) Set-up of ROI for measuring mean value and standard deviation of signal intensity, fat suppressed 3D FSPGR T1 (a), fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 (b).

상에서 1.5 mm²의 관심영역(region of interest, ROI)을 설정하여 TFCC와 월상골(lunate bone), 배경신호(back ground)에서 신호강도(signal intensity, SI)의 평균값(mean value)과 표준

Table II. Measured SI values of ROI at each imaging technique of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

| No. of subjects | Imaging technique ROI | 3D FSPGR T1 | | | | | | Isotropic 3D FSE T1 | | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------------|-------|-------------|-------|----------------|-------|---------------------|-------|-------------|-------|----------------|-------|
| | | Coronal plane | | Axial plane | | Sagittal plane | | Coronal plane | | Axial plane | | Sagittal plane | |
| | | \bar{M} | SD | \bar{M} | SD | \bar{M} | SD | \bar{M} | SD | \bar{M} | SD | \bar{M} | SD |
| 1 | TFCC | 36 | 236 | 32 | 206.1 | 33 | 221.6 | 177 | 248.4 | 166 | 221.1 | 165 | 222.9 |
| | Bone | 35 | 101.1 | 30 | 91.4 | 32 | 96.7 | 10 | 35.8 | 8 | 31.6 | 8 | 32.4 |
| | Back ground | 7 | 13.8 | 6 | 13.6 | 7 | 13.5 | 6 | 10.5 | 5 | 10.4 | 6 | 10.8 |
| 2 | TFCC | 34 | 226 | 30 | 200.9 | 31 | 205.6 | 167 | 236.5 | 168.6 | 223.4 | 167 | 224.8 |
| | Bone | 33 | 91.7 | 28 | 89.1 | 30 | 93.1 | 8 | 24.6 | 16.1 | 33.5 | 10 | 34.9 |
| | Back ground | 6 | 12.8 | 6 | 12.9 | 7 | 13.1 | 5 | 9.7 | 5 | 9.5 | 6 | 10.1 |
| 3 | TFCC | 33 | 225.1 | 31 | 210 | 30 | 205.1 | 165 | 226.4 | 162.1 | 196.3 | 163 | 180.1 |
| | Bone | 31 | 89.8 | 29 | 85.4 | 29 | 85.1 | 7 | 26.1 | 8.6 | 25.1 | 6 | 22.1 |
| | Back ground | 6 | 11.7 | 7 | 11.5 | 6 | 11.4 | 6 | 8.8 | 6 | 8.7 | 5 | 7.9 |
| 4 | TFCC | 38 | 216.1 | 35 | 199.1 | 34 | 189.7 | 134 | 196.1 | 130 | 180.5 | 131 | 182.6 |
| | Bone | 30 | 79.1 | 28 | 75.4 | 27 | 77.6 | 8 | 24.7 | 8 | 21.1 | 7 | 23.1 |
| | Back ground | 7 | 10.9 | 7 | 10.4 | 6 | 10.1 | 7 | 8.8 | 6 | 8.6 | 6 | 8.7 |
| 5 | TFCC | 39 | 201.7 | 34 | 191.6 | 33 | 190.7 | 79 | 180.1 | 75 | 171.6 | 77 | 170.7 |
| | Bone | 31 | 68.1 | 29 | 61.2 | 30 | 62.1 | 7 | 26.9 | 5 | 25.4 | 6 | 24.1 |
| | Back ground | 7 | 10.4 | 6 | 10.3 | 6 | 10.1 | 6 | 8.6 | 6 | 9.1 | 7 | 8.3 |
| 6 | TFCC | 38 | 211.6 | 36 | 200.5 | 35 | 210.1 | 186 | 257.4 | 183 | 211.6 | 175 | 211.9 |
| | Bone | 30 | 113.7 | 28 | 93.1 | 27 | 91.6 | 5 | 37.6 | 5 | 35.7 | 6 | 33.9 |
| | Back ground | 7 | 10.5 | 6 | 10.4 | 7 | 10.6 | 7 | 11.5 | 6 | 10.6 | 7 | 10.4 |
| 7 | TFCC | 40 | 261.6 | 36 | 221.4 | 35 | 200.6 | 165 | 236.1 | 160 | 200.6 | 161 | 201.5 |
| | Bone | 38 | 117.6 | 35 | 96.1 | 33 | 97.1 | 9 | 32.6 | 8 | 30.1 | 9 | 32.1 |
| | Back ground | 8 | 13.5 | 6 | 11.7 | 7 | 10.9 | 7 | 10.4 | 5 | 10.6 | 6 | 10.4 |
| 8 | TFCC | 46 | 276.1 | 34 | 228.9 | 36 | 217 | 171 | 249.8 | 165 | 200.1 | 160.5 | 200.7 |
| | Bone | 38 | 136.8 | 33 | 93.1 | 34 | 95.9 | 9 | 40.1 | 8 | 29.7 | 9 | 31.6 |
| | Back ground | 7 | 14.6 | 6 | 12.7 | 8 | 11.8 | 6 | 11.5 | 5 | 10.1 | 6 | 11.4 |
| 9 | TFCC | 41 | 269.8 | 35 | 226.1 | 34 | 216.1 | 163 | 235.6 | 160 | 198.6 | 159 | 197.6 |
| | Bone | 32 | 130.1 | 29 | 92.5 | 30 | 93.7 | 8 | 38.7 | 8 | 26.1 | 8 | 30.4 |
| | Back ground | 6 | 13.7 | 6 | 14 | 7 | 12.9 | 8 | 10.4 | 7 | 10.0 | 7 | 11.1 |

Note. \bar{M} : Mean value, SD: Standard deviation.

준 편차(standard deviation, SD)를 각각 측정하였다[Fig. 1]. 측정된 SI를 바탕으로 TFCC의 SNR과 CNR 값을 다음의 공식으로 계산하였다.

$$SNR = SI_{TFCC} / SD_{background}$$

$$CNR = (SI_{TFCC} - SI_{bone}) / SD_{background}$$

측정된 SNR과 CNR 값은 Mann-Whitney U 검정을 이용하여 비모수 표본 검증을 시행하였다.

정성적 분석을 위하여 영상의학의 2명이 각각의 영상을 독립적으로 관찰하고 비교 평가하였다. 평가항목으로는 TFCC의 형태, 영상 내 인공음영, 병변의 묘사정도의 3가지 항목을 선정하여 이를 4점 척도(0: 진단 불가-non diagnostic, 1: 부족함-poor, 2: 적합함-adequate, 3: 좋음-good)로 평가하였으며, 평가 결과에 대한 두 관찰자간의 일치도 검증을 위하여 Kappa-value 검증을 통하여 통계적 유의성을 검증하였다. 모든 통계적 분석은 SPSS 20.0을 이용하였고 $p < 0.05$ 인 경우에 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

III. 결 과

1. 정량적 분석

3D FSPGR T1 기법과 Isotropic 3D FSE T1 기법에서 획득한 관상면 영상과 재구성 축상면, 시상면 영상에서의 ROI 별 SI의 측정값은 다음과 같다[Table II].

3D FSPGR T1 기법과 Isotropic 3D FSE T1 기법에서 관상면과 재구성 축상면, 시상면 영상의 SNR 값은 다음과 같다[Table III]. SNR의 평균값은 3D FSPGR T1 기법의 경우 관상면, 재구성 축상면, 재구성 시상면이 각각 19.00 ± 1.96 , 17.69 ± 1.52 , 17.84 ± 1.12 의 값을 나타내었고, Isotropic 3D FSE T1 기법의 경우는 각각 22.62 ± 1.00 , 20.64 ± 1.53 , 20.23 ± 1.70 의 값을 나타내었다[Fig. 2].

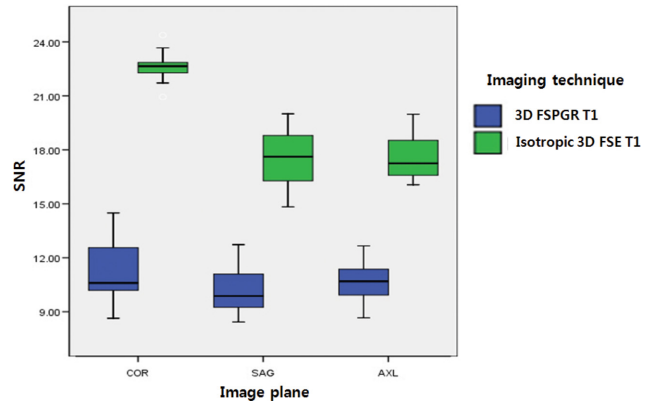


Fig. 2. (Color online) Distribution of SNR value at each imaging technique of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

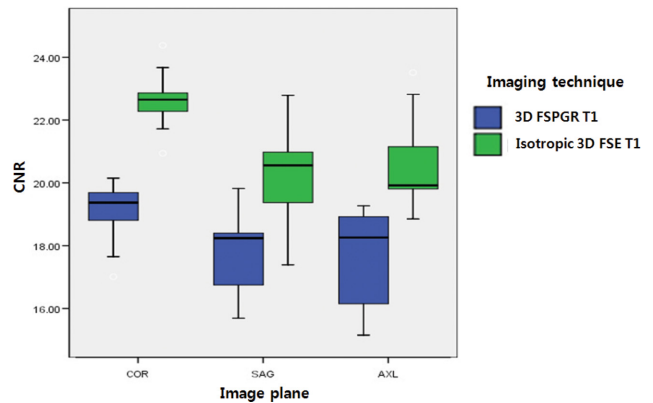


Fig. 3. (Color online) Distribution of CNR value at each imaging technique of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

3D FSPGR T1 기법과 Isotropic 3D FSE T1 기법에서 관상면과 재구성 축상면, 재구성 시상면 영상의 CNR 값은 다음과 같다[Table IV]. CNR 평균값의 비교는 3D FSPGR

Table III. SNR values at each imaging technique of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

| No. of subjects | Imaging technique | 3D FSPGR T1 | | | Isotropic 3D FSE T1 | | |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane |
| 1 | | 17.01 | 15.15 | 16.41 | 23.67 | 21.15 | 20.63 |
| 2 | | 17.65 | 15.57 | 15.69 | 24.38 | 23.51 | 22.25 |
| 3 | | 19.23 | 18.26 | 17.99 | 22.86 | 22.82 | 22.79 |
| 4 | | 19.71 | 19.14 | 18.24 | 22.28 | 20.93 | 20.98 |
| 5 | | 19.39 | 18.60 | 18.88 | 20.94 | 18.85 | 20.56 |
| 6 | | 20.15 | 19.27 | 19.82 | 22.38 | 19.92 | 20.37 |
| 7 | | 19.37 | 18.92 | 18.40 | 22.70 | 18.92 | 19.37 |
| 8 | | 18.81 | 18.23 | 18.38 | 21.72 | 19.81 | 17.39 |
| 9 | | 19.69 | 16.15 | 16.75 | 22.65 | 19.86 | 17.80 |
| $\bar{M} \pm SD$ | | 19.00 ± 1.96 | 17.69 ± 1.52 | 17.84 ± 1.12 | 22.62 ± 1.00 | 20.64 ± 1.53 | 20.23 ± 1.70 |

Note. \bar{M} : Mean value, SD: Standard deviation.

Table IV. CNR values at each imaging technique of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

| No. of subjects | Imaging technique | 3D FSPGR T1 | | | Isotropic 3D FSE T1 | | |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane |
| 1 | | 14.49 | 8.43 | 9.25 | 23.67 | 18.21 | 17.63 |
| 2 | | 10.49 | 8.66 | 8.58 | 24.38 | 19.98 | 18.80 |
| 3 | | 11.56 | 10.83 | 10.52 | 22.86 | 19.67 | 20.00 |
| 4 | | 12.56 | 11.89 | 11.09 | 22.28 | 18.53 | 18.83 |
| 5 | | 12.84 | 12.66 | 12.73 | 20.94 | 16.06 | 17.62 |
| 6 | | 8.64 | 10.32 | 11.17 | 22.38 | 16.59 | 17.11 |
| 7 | | 10.60 | 10.70 | 9.49 | 22.70 | 16.08 | 16.28 |
| 8 | | 9.54 | 10.69 | 10.26 | 21.72 | 16.87 | 14.83 |
| 9 | | 10.19 | 9.54 | 9.48 | 22.65 | 17.25 | 15.06 |
| $\bar{M} \pm SD$ | | 11.21 ± 1.82 | 10.41 ± 1.30 | 10.28 ± 1.18 | 22.62 ± 1.00 | 17.69 ± 1.39 | 17.35 ± 1.64 |

Note. \bar{M} : Mean value, SD: Standard deviation.

Table V. Statistical significance evaluate of SNR value using Mann-Whitney U verification.

| Imaging plane | Imaging technique | Statistical significance ($p < 0.05$) | 3D FSPGR T1 | Isotropic 3D FSE T1 |
|----------------|------------------------|---|----------------------|------------------------|
| | | | Coronal plane | Mean <i>p-Value</i> |
| Axial plane | Mean <i>p-Value</i> | 17.69 <i>0.01</i> | 20.64 <i>0.02</i> | |
| Sagittal plane | Mean <i>p-Value</i> | 17.84 <i>0.02</i> | 20.23 <i>0.01</i> | |

p-Value was less than 0.05.

Table VI. Statistical significance evaluate of CNR value using Mann-Whitney U verification.

| Imaging plane | Imaging technique | Statistical significance ($p < 0.05$) | 3D FSPGR T1 | Isotropic 3D FSE T1 |
|----------------|------------------------|---|----------------------|------------------------|
| | | | Coronal plane | Mean <i>p-Value</i> |
| Axial plane | Mean <i>p-Value</i> | 10.41 <i>0.01</i> | 17.69 <i>0.02</i> | |
| Sagittal plane | Mean <i>p-Value</i> | 10.28 <i>0.01</i> | 17.35 <i>0.01</i> | |

p-Value was less than 0.05.

T1 기법의 경우 관상면, 재구성 축상면, 재구성 시상면이 각각 11.21 ± 1.82 , 10.41 ± 1.30 , 10.28 ± 1.18 의 값을 나타내었고, Isotropic 3D FSE T1 기법의 경우 각각 22.62 ± 1.00 , 17.69 ± 1.39 , 17.35 ± 1.64 의 값을 나타내었다[Fig. 3].

모든 영상 단면에서 SNR 및 CNR 값이 Isotropic 3D FSE T1 기법에서 높게 나타났으며, Mann-Whitney U 검정을 이용한 검증 결과도 통계적으로도 유의하였다($p < 0.05$) [Table V, VI].

2. 정성적 분석

정성적 평가 결과, 관찰자 1의 경우에는 3D FSPGR T1

기법에서 삼각 섬유성 연골의 형태, 인공음영, 병변의 묘사 정도가 각각 관상면은 2.51 ± 0.5 , 2.33 ± 0.5 , 2.44 ± 0.5 이고, 재구성 축상면은 2.33 ± 0.5 , 2.22 ± 0.4 , 2.44 ± 0.5 이고, 재구성 시상면에서는 2.33 ± 0.5 , 2.33 ± 0.5 , 2.33 ± 0.5 의 평가 값을 나타내었다. Isotropic 3D FSE T1 기법에서 관상면은 2.77 ± 0.4 , 2.77 ± 0.5 , 2.77 ± 0.4 이고, 재구성 축상면은 2.88 ± 0.3 , 2.88 ± 0.3 , 2.88 ± 0.3 이고, 재구성 시상면에서는 2.66 ± 0.5 , 2.88 ± 0.3 , 2.77 ± 0.4 의 평가 값을 나타내었다[Table VII], [Fig. 4].

관찰자 2의 경우, 3D FSPGR T1 기법에서 삼각 섬유성 연골의 형태, 인공음영, 병변의 묘사 정도가 각각 관상면은

Table VII. Evaluation of the images by the observer 1 using 4-point scoring (0: non diagnostic, 1: poor, 2: adequate, 3: good) in fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

| No. of subjects | Evaluation item | 3D FSPGR T1 | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------|----------------|
| | | Shapes and continuity | | | Artifacts by partial volumes | | | Descriptions of lesions | | |
| | | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane |
| 1 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 3 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 5 | | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 6 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 7 | | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 8 | | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| $\bar{M} \pm SD$ | | 2.51 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 | 2.22 ± 0.4 | 2.33 ± 0.5 | 2.44 ± 0.5 | 2.44 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 |

| No. of subjects | Evaluation item | Isotropic 3D FSE T1 | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------|----------------|
| | | Shapes and continuity | | | Artifacts by partial volumes | | | Descriptions of lesions | | |
| | | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane |
| 1 | | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 4 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 5 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 8 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| $\bar{M} \pm SD$ | | 2.77 ± 0.4 | 2.88 ± 0.3 | 2.66 ± 0.5 | 2.77 ± 0.5 | 2.88 ± 0.3 | 2.88 ± 0.3 | 2.77 ± 0.4 | 2.88 ± 0.3 | 2.77 ± 0.4 |

Note. \bar{M} : Mean value, SD: Standard deviation.

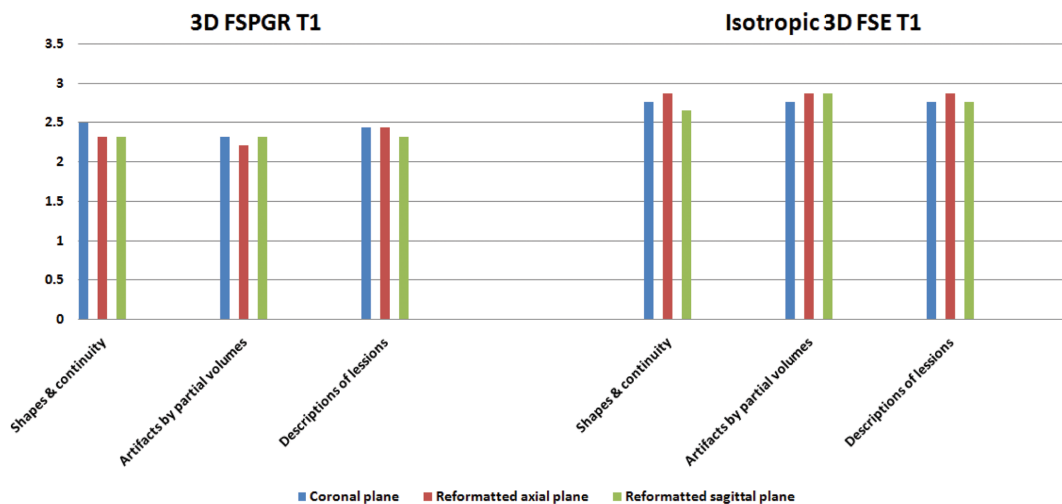


Fig. 4. (Color online) Comparing the scoring values of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 from the observer 1.

2.55 ± 0.5, 2.33 ± 0.5, 2.44 ± 0.5이고, 재구성 축상면은 2.33 ± 0.4, 2.33 ± 0.5, 2.55 ± 0.5의 평가 값을 나타내었다. Isotropic 3D FSE T1 기법에서 관상면은 2.88 ± 0.3, 2.77 ± 0.4, 2.77 ± 0.5, 2.33 ± 0.5, 2.55 ± 0.5이고, 재구성 시상면에서는 2.22 ± 0.4, 2.33 ± 0.5, 2.55 ± 0.5의 평가 값을 나타내었다.

Table VIII. Evaluation of the images by the observer 2 using 4-point scoring (0: non diagnostic, 1: poor, 2: adequate, 3: good) in fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1, respectively.

| No. of subjects | Evaluation item | 3D FSPGR T1 | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------|----------------|
| | | Shapes and continuity | | | Artifacts by partial volumes | | | Descriptions of lesions | | |
| | | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane |
| 1 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 3 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 4 | | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 5 | | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 6 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 7 | | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 8 | | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| $\bar{M} \pm SD$ | | 2.55 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 | 2.22 ± 0.4 | 2.33 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 | 2.33 ± 0.5 | 2.44 ± 0.5 | 2.55 ± 0.5 | 2.55 ± 0.5 |

| No. of subjects | Evaluation item | Isotropic 3D FSE T1 | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------|-------------------------|-------------|----------------|
| | | Shapes and continuity | | | Artifacts by partial volumes | | | Descriptions of lesions | | |
| | | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane | Coronal plane | Axial plane | Sagittal plane |
| 1 | | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 2 | | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 4 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 5 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 8 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| $\bar{M} \pm SD$ | | 2.88 ± 0.3 | 2.88 ± 0.3 | 2.66 ± 0.5 | 2.77 ± 0.4 | 2.88 ± 0.3 | 2.88 ± 0.3 | 2.77 ± 0.4 | 2.88 ± 0.3 | 2.66 ± 0.5 |

Note. \bar{M} : Mean value, SD: Standard deviation.

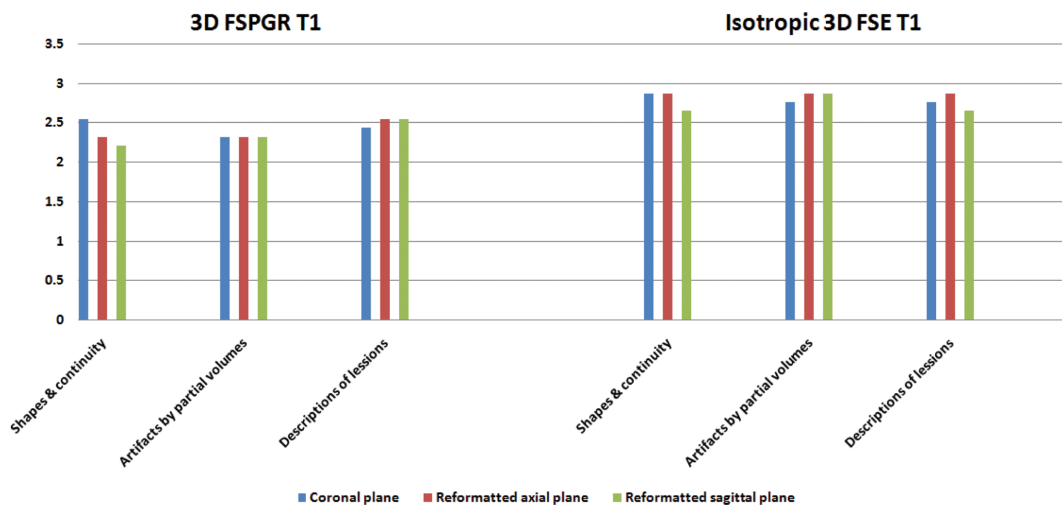


Fig. 5. (Color online) Comparing the scoring values of fat suppressed 3D FSPGR T1 and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 from the observer 2.

± 0.4이고, 재구성 축상면은 2.88 ± 0.3, 2.88 ± 0.3, 2.88 ± 0.3 이고, 재구성 시상면에서는 2.66 ± 0.5, 2.88 ± 0.3, 2.66 ± 0.5

의 평가 값을 나타내었다[Table VIII], [Fig. 5]. 정성적 평가 결과 Isotropic 3D FSE T1 기법이 모든 평

Table IX. Test of statistical significance of fat suppressed 3D FSPGR T1 using kappa-value.

| Imaging plane | Evaluation item | Statistical significance ($p < 0.05$) | 3D FSPGR T1 | | |
|----------------|-----------------|--|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | | Shapes and continuity | Artifacts by partial volumes | Descriptions of lesions |
| Coronal plane | | Kappa value <i>p-Value</i> | 0.664 0.02 | 0.657 0.03 | 0.645 0.03 |
| Axial plane | | Kappa value <i>p-Value</i> | 0.647 0.02 | 0.664 0.02 | 0.667 0.03 |
| Sagittal plane | | Kappa value <i>p-Value</i> | 0.667 0.03 | 0.664 0.03 | 0.647 0.02 |

Table X. Test of statistical significance of fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 using kappa-value.

| Imaging plane | Evaluation item | Statistical significance ($p < 0.05$) | Isotropic 3D FSE T1 | | |
|----------------|-----------------|--|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | | Shapes and continuity | Artifacts by partial volumes | Descriptions of lesions |
| Coronal plane | | Kappa value <i>p-Value</i> | 0.764 0.04 | 0.767 0.04 | 0.754 0.03 |
| Axial plane | | Kappa value <i>p-Value</i> | 0.763 0.03 | 0.784 0.04 | 0.783 0.04 |
| Sagittal plane | | Kappa value <i>p-Value</i> | 0.767 0.03 | 0.786 0.03 | 0.781 0.04 |

가 항목에서 더 높게 평가되었다. Kappa-value 검증을 이용한 두 관찰자 간 평가 결과의 일치도 검증에서는 통계적으로 유의한 결과($p < 0.05$)를 나타내었다[Table IX, X].

IV. 고 찰

삼각 섬유성 연골 복합체(triangular fibrocartilage complex, TFCC)는 섬유와 섬유 연골 조직체로 요골의 구불패임(sigmoid notch)에서 시작하여 월상골과 삼각골을 지나 5번째 중수골(metacarpal bone)의 손바닥 기저부위까지 펼쳐지는 구조로 되어있다. TFCC의 중앙 부위는 TFC와 단단한 V자 형의 자손목 인대(ulnocarpal ligament)로 구성 되어 있는데, 이 인대들은 척골의 경상돌기(ulnar styloid process)로부터 나와 월상골에 연결되고(ulnolunate ligament) 삼각골(ulnoligament)에 연결되어 있다. TFCC의 가장 자리는 여러 층의 아교질로 구성되어 있어 장력에 잘 견디며, 기늘고 혈관이 없는 원반형의 중앙 부위는 섬유 연골로 구성되며 투명하게 보인다. 이렇듯 복잡한 구조로 구성되어 있는 TFCC는 나이에 따라 변성을 하며 반복적인 움직임이나 외상에 의해 손상되거나 파열되는데 골프, 야구, 농구, 테니스 등 손목의 움직임이 많은 운동선수나, 헤어디자이너, 피아노 연주자 등 손목을 많이 사용하는 직업을 가진 사람들에게 손상이 발생하기 쉬우며, 낙상사고 시 넘어지면서 손을 짚고 넘어지거나 손목 뼈가 부러졌을 때 주로 손상된다[9, 10].

일반적으로 TFCC 손상의 진단에는 관절조영검사(arthrography)나 관절경검사(arthroscopy), MRI 검사가 보편적으로 시행되고 있다[3, 11, 12]. 관절조영검사나 관절경검사는 TFCC 손상의 진단 및 치료에 중요하고 필수적인 역할을 하고 있으나, 침습적이고 합병증이 생길 수 있는 단점이 있다. 반면 MRI 검사는 월등한 연부조직의 대조도를 가지고 있어 연골의 손상과 회복을 평가하는데 유용한 방법으로, 관절연골의 형태와 병변을 찾아내는데 효과적이다[13, 14]. 이러한 TFCC의 손상에 대한 MRI 검사에는 다양한 펄스 열(pulse sequence)을 이용한 방법들이 존재한다[5].

고식적 스핀 에코 T1 강조 영상(spin echo T1 weighted image) 기법에서는 TFCC가 암회색 혹은 흑색의 균질한 신호 강도를 나타내어 피질골과 명료하게 식별할 수 있는 장점이 있지만 관절연골과 관절액 사이의 비교가 되지 않기 때문에 다층모양은 나오지 않고 또한 표면의 불규칙성이나 국소결손은 파악하기 힘든 단점이 있다[6]. 고식적 스핀 에코 T2 강조 영상(spin echo T2 weighted image) 기법은 관절액이 고강도의 신호로 나오기 때문에 마치 관절 조영술을 시행한 것과 같은 효과가 나타나 관절표면의 불규칙성이나 국소결손의 진단에는 유용하나 T1 강조 영상보다 공간 해상력이 낮고 연골 하골과 연골의 구별이 잘 되지 않는 단점이 있다[6, 15]. T1 강조 영상에서 지방 억제(fat suppressed) 기법을 사용하면 연골하골과 관절연골의 비교가 잘 되게 된다. 즉 지방 억제 기법은 신호강도의 역동적 범위를 증가시키고 화학적 천

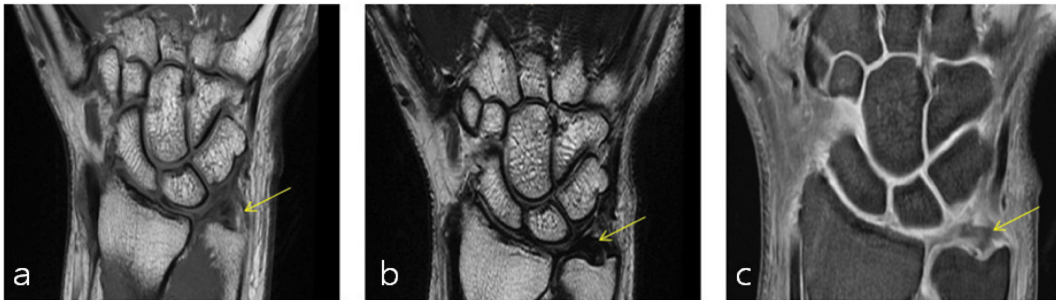


Fig. 6. (Color online) Conventional MR image of the TFCC, T1 weighted image (a), FSE T2 weighted image (b), fat suppressed T1 weighted image (c).

이(chemical shift)현상을 막을 수 있으며, 움직임이 있을 경우 지방의 신호강도로 인한 유령현상(phantom phenomenon)을 줄여 TFCC와 골 사이의 구별이 용이한 장점이 있다[4]. 고속스핀 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 금속에 의한 인공물에 덜 민감한 장점이 있다[4, 16], [Fig. 6]. Fat suppressed 3D SPGR(three dimensional spoiled gradient recalled) 기법은 앞서 설명한 여러 기법에 비해 연골이 고 신호강도로 나타나서 신호 강도로 나타나는 연골하골이나 관절액과 대조가 되는 밝은 흰색을 띄기 때문에 구별이 잘 되므로 연골의 정확한 형태와 병변을 찾아내는데 정확하다는 견해가 일치되어 있다[6-8].

본 연구에 사용된 fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 (GE Healthcare termed CUBE) 영상 기법은 앞서 설명한 기존의 여러 영상화 기법의 장점과 더불어 3차원의 일정한 등방성 복셀(isotropic voxel) 화소를 구성하여 영상을 획득하기 때문에 높은 해상력을 갖는 체적(volume) 영상의 획득이 가능하고, 이를 이용하여 필요에 따라 임의의 단면방향에 대해 얇은 두께의 영상으로 재구성이 가능하다[17]. 등방성 화소를 이용한 이러한 특징은 영상 내에서 복잡한 구조물의 묘사 시 부분체적(partial volume)에 의한 신호강도의 변화와 병변의 형태적 왜곡을 최소화 할 수 있다. 또한 종전에 주로 사용되어 왔던 fat suppressed 3D FSPGR T1 기법에 비해 SNR 및 CNR 값이 높아 TFCC의 이상 유무를 평가함에 있어 보다 명확한 진단적 정보를 제공할 수 있다 할 수 있으며, 본 연구를 통한 평가에서도 이러한 특징들을 직접적인 결과로 확인하였다[Fig. 7].

Isotropic 3D FSE T1 기법은 앞서 설명한 기존의 여러 가지 MR 영상화 기법에 비해 검사에 소요되는 시간이 다소 증가하는 단점이 있다. 따라서 영상획득 과정에서 움직임이

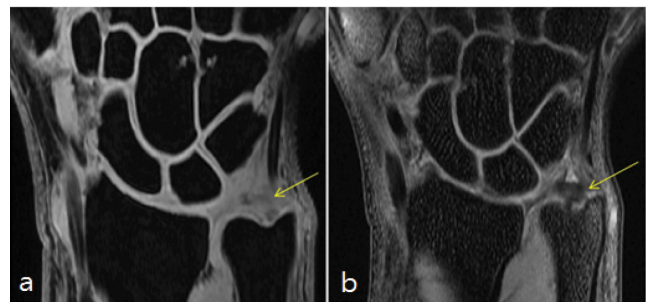


Fig. 7. (Color online) Comparing the TFCC injury (arrow) on images by fat suppressed 3D FSPGR T1 (a) and fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 (b), respectively.

있을 시 근원 영상(raw data image)을 비롯한 모든 재구성 영상이 흐려지는 영향을 미치기 때문에 영상 획득 도중 움직임에 대한 통제가 중요하다고 할 수 있다. 하지만 여러 방향으로의 고식적 단면 영상을 각각 얻지 않아도 되므로 전체적인 검사 소요시간에는 크게 차이가 없다고 할 수 있겠다.

V. 결 론

TFCC 손상 환자를 대상으로 3D FSPGR T1 기법과 Isotropic 3D FSE T1 기법을 이용하여 비교 평가한 결과, fat suppressed Isotropic 3D FSE T1 기법은 TFCC 손상의 감별에 보다 높은 수준의 진단적 정보를 제공할 수 있었으며, 이러한 결과는 TFCC 손상 감별을 포함하여 손목 관절을 이루고 있는 다양한 구조물들의 평가에 있어 관례적(routine) 검사 기법으로 자리매김할 수 있는 근거가 되리라 사료된다.

References

- [1] P. R. Stuart, R. A. Berger, R. I. Linscheid, and K. N. An, *J. Hand Surg. Am.* **25**, 689 (2000).
- [2] W. T. Gofton, K. D. Gordon, C. E. Dunning, J. A. Johnson, and G. J. King, *J. Hand Surg. Am.* **29**, 423 (2004).

- [3] M. B. Rominger, W. K. Bernreuter, P. J. Kenney, and D. H. Lee, *Radiographics* **13**, 1233 (1993).
- [4] T. R. McCauley and D. G. Disler, *Radiology* 209 (1998).
- [5] J. L. Hobby, B. D. Tom, P. W. Bearcroft, and A. K. Dixon, *Clin. Radiol.* **56**, 50 (2001).
- [6] C. B. Chung, L. R. Frank, and D. Resnick, *Clin. Orthop.* **391S**, 370 (2001).
- [7] M. P. Recht, J. Kramer, S. Marcelis, M. N. Pathria, D. Truedell, P. Haghghi, D. J. Sartoris, and D. Resnik, *Radiology* **187**, 473 (1993).
- [8] D. G. Disler, *AJR* **169**, 1117 (1997).
- [9] A. K. Palmer, *The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* **6**, 125 (1990).
- [10] T. Lindau, C. Adlercruetz, and P. Aspenberg, *J. Hand Surg.* **25**, 464 (2000).
- [11] W. P. Cooney, *J. Hand Surg.* **18A**, 815 (1993).
- [12] R. S. Richards, J. D. Bennett, J. H. Roth, and K. Milne Jr., *J. Hand Surg.* **22A**, 772 (1997).
- [13] E. Cerofolini, R. Luchetti, L. Pederzini, O. Soragni, R. Colombini, P. D'Alimonte, and R. Romagnoli, *J. Comput. Assist. Tomogr.* **14**, 963 (1990).
- [14] L. Pederzini, R. Luchetti, O. Soragni, M. Alfarano, G. Montagna, E. Cerofolini, R. Colombini, and J. Roth, *Arthroscopy* **8**, 91 (1992).
- [15] J. M. Timothy and S. W. Pruett, *Magnetic Resonance Imaging* **10**, 178 (1999).
- [16] A. H. Sonin, R. A. Pensy, M. E. Mulligan, and S. Hatem, *AJR* **179**, 1159 (2002).
- [17] K. J. Stevens, R. F. Busse, E. Han, A. C. Brau, P. J. Beatty, C. F. Beaulieu, and G. E. Gold, *Radiology* **249**, 1026 (2008).