대한방사선의학회지 2000;43:489 - 496

삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상 기법 (CISS)을 이용한 슬관절 연골 연화증의 평가[1]

윤삼현 · 하두회 · 곽진영 · 이영수[2]

목적: 슬관절 연골의 병변을 발견하고 진단하는데 있어서 자기 공명 영상의 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상 기법(three dimensional Fourier transformation constructive interference in steady state: CISS)의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 최근 1년간 슬관절경 검사와 수술전 자기 공명 영상을 시행한 110 슬관절을 대상으로 하였다. 자기 공명 영상은, 급속 스핀 에코의 양성자 밀도 영상과 T2 강조 영상을 시상면과 관상면으로 얻었으며, 자화 전이 기법을 이용한 고속 저각 영상(FLASH)의 축상면을 얻었고, 이들을 종합하여 이차원 영상으로 하였다. 이와 함께 CISS 영상의 시상면을 얻었다. 슬관절의 연골은 슬개골 내외측, 대퇴골 활차면 내외측, 내외 대퇴골과, 내외 경골 편평부의 8구획으로 나뉘었으며, 연골 연화증은 5등급으로 분류하였다. 자기 공명 영상은 이차원 영상과 CISS 영상에서 각각 연골 연화증의 등급을 구획별로 분류하였다.

결과: 슬관절경 검사 결과, 총 880구획 중 162구획에 연골 연화증이 있었으며, 1등급 77구획, 2등급 38구획, 3등급 21구획, 4등급 26구획에 있었다. 자기 공명 이차원 영상은 예민도 48.1%, 특이도 93.7%, 정확도 85.3%였으며, CISS 영상은 예민도 45.7%, 특이도 95.3%, 정확도 86.1%였다. 연골 연화증의 등급과 자기 공명 영상에서의 분류에 대한 일치도는 이차원 영상이 81.48%, CISS 영상은 82.16%였다. 판독 분류에 있어서 1등급의 차이를 인정하였을 때의 일치도는, 이차원 영상이 84.32%였으며, CISS 영상이 85.22%였다. 하지만, 이들간의 통계학적인 의의는 없었다.

결론: 연골 연화증의 등급을 분류하는데 있어서, CISS 영상은 급속 스핀 에코와 경사 에코의 이차원 단면 영상을 종합한 경우에 비하여 예민도는 낮으나, 이의 추가 영상으로 보다 정확한 분류를 할 수 있을 것이다.

연골연화증은 관절 연골의 퇴행성 변화에 의한 병적 상태로, 병리학적으로 두 가지 형태로 나눈다 (1 - 4). 하나는 연령에 따른 관절염에 오는 연골 표층으로부터의 변화이고, 다른 하나는 보통 젊은 나이에 발생하는 심층기저부의 퇴행성 변화이다. 자기 공명 영상은 주위 조직간의 대조도가 좋고, 관절과 함께 주위 구조와의 관계를 알 수 있어, 연골의 병변을 진단하는데 유용하다. 고식적인 스핀 에코는 주위 연부 조직의 대조도는 좋으나, 관절 연골의 신호대 잡음비가 높지 않다 (3, 5 - 7). 이와 함께 삼차원 영상 기법의 도입 (7 - 10)과 지방 억제 방법을 삼차원 영상에 추가하여 (11 - 16) 관절 연골의 대조도를 높이고 화학 전이 효과를 감소시켜 보다 높은 정확도를 얻어 왔다.

최근에 개발된 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상 (3 dimensional Fourier transformation constructive interference in steady state, CISS) 은 경사 에코 중 하나인 진성 항정 상태 세차 운동의 고속 영상 (true fast imaging with steady precession, true FISP)에 기초를 둔 고속 T2 강조 영상 기법이다 (17, 18). 이는 뇌척수액과 같은 물성분은 항상 고신호 강도로 나타나며, 고해상도 영상으로 주위 조직과의 대조도가 높아서 뇌신경 영상과 내이 영상에 사용하고 있으며 (19, 20), 최근에는 경추 신경 영상에도 이용하고 있다. 하지만, 저자들의 연구에 의하면 근골격계 영상에서의 유용성은 아직 보고한 바가 없다. 이에 슬관절 자기 공명 영상에서, 일반적으로 사용하는 급속 스핀 에코와 경사 에코를 종합한 이차원 단면 영상과 CISS 영상을 비교하여 관절 연골 영상에 대한 유용성을 알아보고자 하였다.

대상과 방법

최근 1년간 슬관절 동통이나 슬내장증을 주소로 슬관절 자

[1]포천중문의대 분당차병원 방사선과
[2]포천중문의대 분당차병원 정형외과
이 논문은 2000년 3월 17일 접수하여 2000년 8월 30일에 채택되었음.

기 공명 영상과 슬관절경 검사를 모두 받았던 108명의 환자를 대상으로 하였다. 이 중 2명의 환자가 양측 슬관절을 모두 검사하여 총 110개의 슬관절을 분석하였다. 남녀비는 58대 50이었고, 연령 분포는 13세에서 71세로 평균 40.1세였다. 자기 공명 영상 검사 후 슬관절경 검사까지의 기간은 0일에서 110일로 평균 14.6일이었다.

슬관절경 검사에서 연골의 병변을 제외한 다른 병변으로는, 내측 반월판 연골 파열이 51예, 외측 반월판 연골 파열 28예, 원판형 반월판 연골 14 예, 전십자 인대 파열 30예, 후십자 인대 파열 4예, 내측 측부 인대 파열 8 예, 슬개골 골절 3예, 경골과 골절 2예, 색소 침착성 융모결절성 활액막염(pigmented villonodular synovitis) 2예, 내측 슬개골 추벽이 19예 있었다.

자기 공명 영상은 1.5 tesla 초전도체 기기(Magnetom vision, Siemens, Erlangen, Germany)를 사용하였으며, 코일은 기기 회사에서 제공한 transmit - and - receive extremity coil을 사용하였다. 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상 (TR/TE 3000/16 - 98 msec, 에코열 길이 5회, 절편 두께 4.0 mm, 절편간 간격 0.8 mm, 영상 영역 14 - 16×16 - 18 cm, 행렬수 192×256)의 시상면과 관상면을 얻었고, 자화 전이 기법을 이용한 고속 저각 영상 획득(fast low angle shot, FLASH) 기법 (TR/TE 680/18 msec, 숙임각 40도, 절편 두께 3.0 - 4.0 mm, 절편간 간격 1.5 mm)의 축상면을 얻었고, 이들을 종합하여 이차원 영상으로 통칭하였다. CISS 영상은 시상면으로 얻었으며, 이의 계측 계수는 TR/TE 12.25/5.90 msec, 숙임각 35도, 판 두께 96 mm, 64 분할, 효과적 절편 두께 1.5 mm, 영상 영역 16 - 18×16 - 18 cm, 행렬수 256×512, 반복 회수 1회로 하였고, 평면내 해상도는 0.63 - 0.70×0.31 - 0.35 mm 이었으며, 전체 영상 획득 시간은 6분 42초이었다.

슬관절경 검사에서, 관절 연골은 슬개골 관절면 내측과 외측, 대퇴골 활차면의 내측과 외측, 내측과 외측 대퇴골과 관절면, 그리고 경골 편평부의 내측과 외측으로 총 8 구획으로 나누었으며, 연골 연화증 정도는 Outerbridge 가 제안하였던 5 등급으로 나누었다 (1, 4). 0등급은 정상이며, 1등급은 연골의 부종과 연화만 있고 슬관절경 탐촉자로 눌렀을 때 연골이 눌리는 경우이다. 2등급은 관절 표면의 열구와 분절화가 직경 1/2 인치 (1.3 cm) 미만이거나, 깊이가 관절 연골 두께의 1/2 이하인 경우이며, 3등급은 열구와 분절화가 직경 1/2 인치 (1.3 cm) 이상이거나 관절 연골 두께의 1/2 이상에서 있으나, 연골하 골의 노출이 없는 경우이다. 4 등급은 연골의 병변으로 인하여 연골하 골이 노출된 경우이다. 한 구획에서 여럿의 등급이 같이 있는 경우는 가장 심한 변화를 그 구획의 등급으로 하였다.

자기 공명 영상에서도 같은 등급 체계로 5등급 분류를 하였으며, 0등급은 연골의 정상 표면을 유지하고, 내부 신호 강도가 균일하거나 정상 층상 구조를 유지하는 경우로 하였다 (Fig. 1). 1등급은 관절 연골의 두께는 정상이고, 표면은 잘 유지되고 있으나, 그 내부의 신호 강도가 불균질하거나, 정상 층상 구조가 소실된 경우로 하였다. 2등급은 연골 표면이 불균질하고, 물결 모양 또는 열상 형태를 갖으며, 그 깊이가 연골 두께의 1/2 이하인 경우로 하였고 (Fig. 2), 3등급은 그 변화가 연골 두께의 1/2 이상을 침범하지만, 연골하 골까지 닿지않은 경우로 하였다 (Fig. 3). 4등급은 연골의 변화로 인해 연골하 골이 노출된 경우로 하였다 (Fig. 4). 자기 공명 영상 소견을 분석할 때는 슬관절경 검사 소견을 모른 상태에서 하였으며, 축상면의 경사 에코와 시상면과 관상면의 급속 스핀 에코를 함께 포함한 이차원 영상과 CISS 영상을 판독할 때 오차를 줄이기 위해, 먼저 이차원 영상을 전 슬관절에서 분석하였고, 5일에서 7일 후에 CISS 영상을 따로 판독하여 등급을 나누었다. 이차원 영상과 CISS 영상에서 각각의 예민도와 특이도, 그리고 정확도를 구하였으며, 각 방법간의 예민도, 특이도와 정확도에 대한 통계학적인 의미를 Chi - square method를 사용하여 알아보았다.

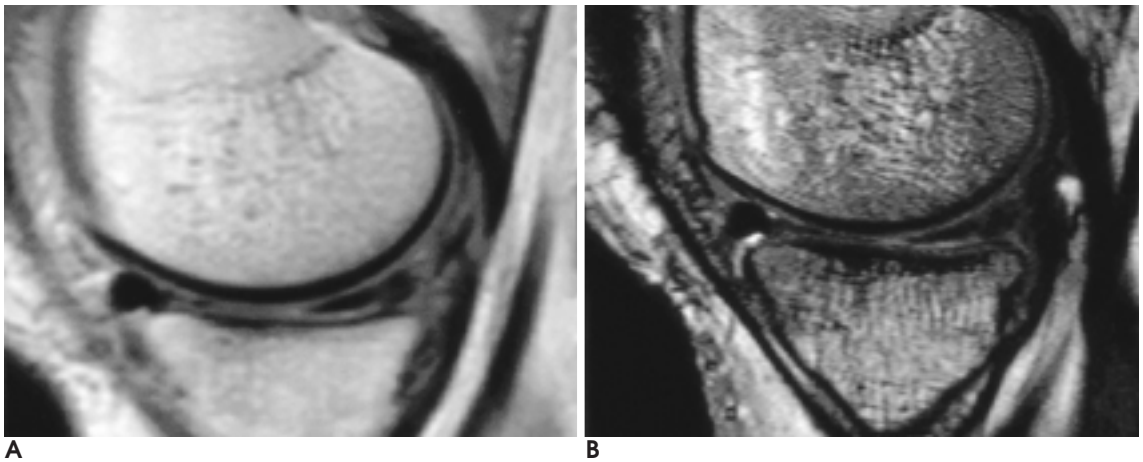
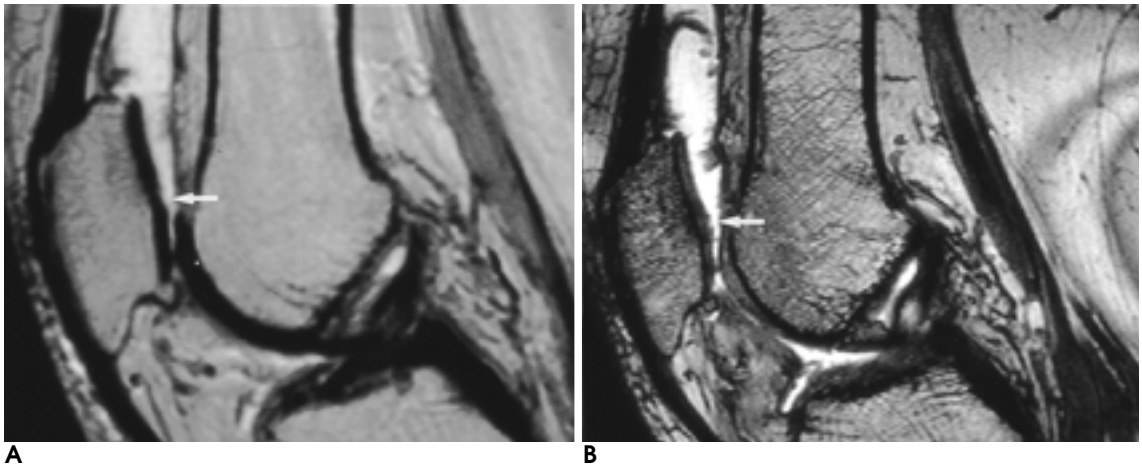
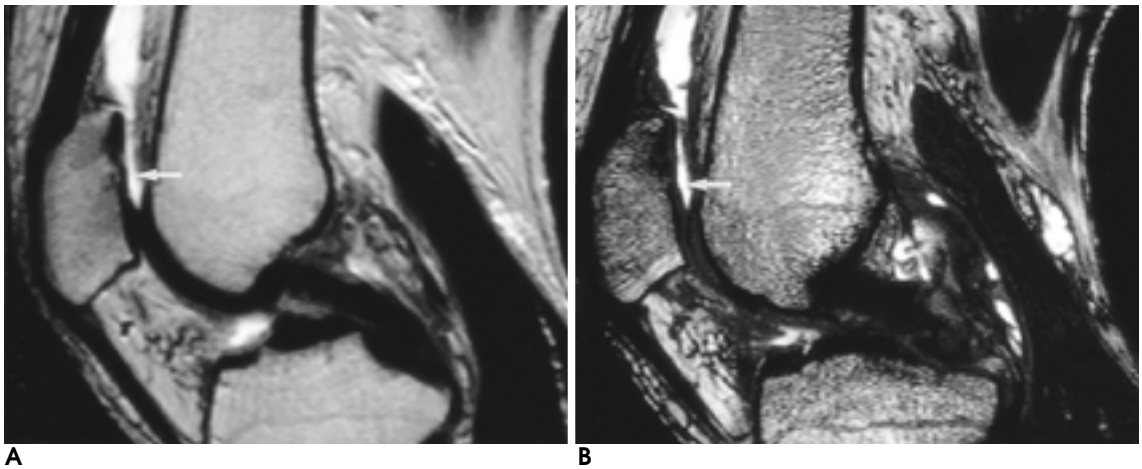


Fig. 1. Normal articular cartilage with tear of medial meniscus
Sagittal proton-density weighted image (**A**) and CISS image (**B**) represent smooth surface and normal intensity of the articular cartilages overlying medial femoral condyle and tibial plateau. Medial meniscus shows tear in the posterior horn with displaced fragment in the anterior horn.



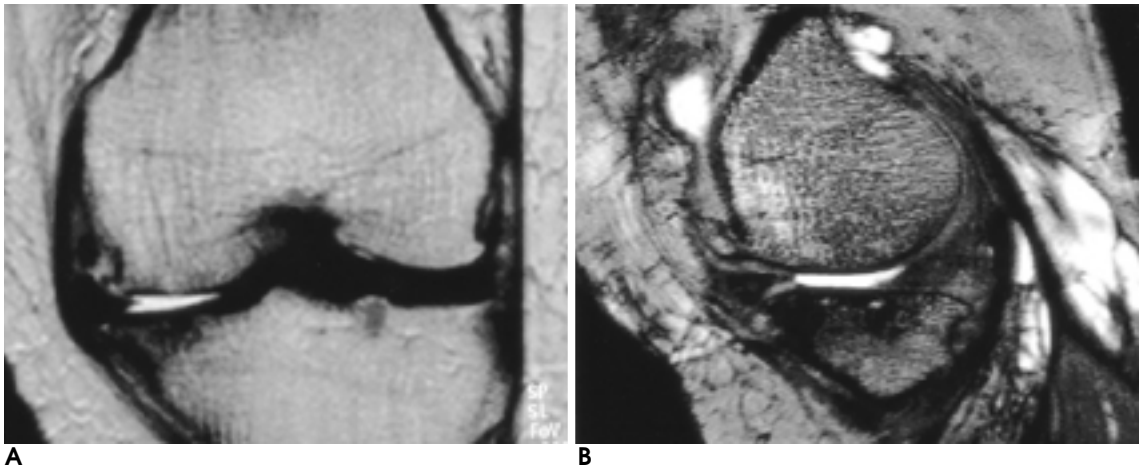
A B

Fig. 2. Arthroscopically confirmed chondromalacia, grade 2, in the patellar medial facet
Sagittal T2 weighted image (**A**) shows undulation of the cartilaginous surface of medial patellar facet (arrow). Sagittal CISS image (**B**) shows mild surface irregularity and superficial fissuring of the cartilage (arrow). Both images are interpreted as grade 2 of chondromalacia.



A B

Fig. 3. Arthroscopically confirmed chondromalacia, grade 3 in the lateral patellar facet
Both sagittal T2 weighted image (**A**) and CISS image (**B**) represent thinning of the articular cartilage and subchondral bony irregularity in the lateral patellar facet (arrows) but subchondral bone is not exposed.



A B

Fig. 4. Arthroscopically confirmed chondromalacia, grade 4, in the medial femoral condyle
Both coronal T2 weighted image (**A**) and sagittal CISS image (**B**) represent large defect of the cartilage overlying medial femoral condyle and tibial plateau with subchondral bony exposure, and subchondral sclerosis in the medial tibial plateau is also noted.

결 과

슬관절경 검사 결과, 연골 연화증은 총 880구획 중 162구획에 있었다. 부위별로는 대퇴골의 내측 관절면과 경골의 내측 관절면이 36구획과 29구획으로, 내측 대퇴골-경골 관절이 가장 많았다 (Table 1). 등급별로, 1등급은 77구획, 2등급은 38구획, 3등급은 21구획에 있었고, 4등급은 26구획에 있었다.

자기 공명 영상의 이차원 영상(시상면, 관상면, 축상면 영상)을 종합 분석한 결과, 연골 연화증이 없던 718구획 중 673 구획을 정상으로 판정하였으며, 1등급 77구획 중 65구획을, 2등급 38 구획 중 18 구획을 정상으로 분류하였다. 연골 연화증의 등급과 일치하여 판독한 경우는 1등급 6구획, 2등급 9구획, 3등급 9구획, 4등급은 20구획이었다 (Table 2).

자기 공명 영상의 CISS 영상을 분석한 결과에서는, 슬관절경에서 정상으로 분류된 718구획 중 684구획을 정상으로 분류하였으며, 1등급 중 68구획을, 2등급 중 17구획을 정상으로 분류하였다. 각 등급과 동일하게 분류한 구획은, 1등급 4구획, 2등급 8구획, 3등급 7구획, 4등급 20구획이었다 (Table 3).

슬관절경으로 분류한 연골 연화증의 등급대로 각 구획에서 등급을 분류한 경우, 이차원 영상이 CISS 영상에 비해 높았으며, 종합적으로 판독한 경우가 모든 등급에서 높은 일치도를 보였으나, 통계학적인 의의는 없었다 (Table 4).

이차원 영상을 종합 분석한 경우, 연골 연화증에 대한 예민도는 48.1% (78/162)였으며, 특이도 93.7%, 양성 예측도 63.4%, 정확도 85.3%이었다. CISS 영상에서는 예민도 45.7% (74/162), 특이도 95.3%, 양성 예측도 68.5%, 정확도 86.1%이었다. CISS 영상이 예민도는 낮은 반면, 특이도와 정확도는

Table 1. Distribution of Arthroscopically Confirmed Chondromalacia according to Area* and Grade†

Area	No. of Cartilage Abnormality	Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Patellar Medial Facet	27	83	16	5	3	3
Patellar Lateral Facet	18	92	6	7	2	3
Medial Trochlear Surface	22	88	11	5	5	1
Lateral Trochlear Surface	13	97	5	3	2	3
Medial Femoral Condyle	36	74	12	10	7	7
Lateral Femoral Condyle	4	106	2	1	0	1
Medial Tibial Plateau	29	81	16	6	2	5
Lateral Tibial Plateau	13	97	9	1	0	3

* The cartilaginous surface of the knee joint was divided into 8 areas.
† Grade of chondromalacia was followed by the modification scheme proposed by Outerbridge.

Table 2. Comparison of Distribution of Chondromalacia between Combined Two Dimensional (2D) MR Imaging* and Arthroscopy

Combined 2D MR Imaging	Arthroscopy				
	Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Grade 0	673	65	18	1	0
Grade 1	7	6	3	0	1
Grade 2	20	2	9	4	1
Grade 3	11	2	5	9	4
Grade 4	7	2	3	7	20
Total	718	77	38	21	26

* Combined two dimensional MR imaging were included sagittal and coronal turbo spin dual-echo sequences, and axial FLASH with magnetization tranfer technique

Table 3. Comparison of Distribution of Chondromalacia between CISS* Imaging and Arthroscopy

CISS Imaging	Arthroscopy				
	Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Grade 0	684	68	17	2	1
Grade 1	7	4	7	1	0
Grade 2	16	2	8	5	1
Grade 3	4	3	3	7	4
Grade 4	7	0	3	6	20
Total	718	77	38	21	26

* CISS: Constructive interference in steady state

Table 4. Agreement of Each MR Imaging for Arthroscopically Confirmed Chondromalacia

MR Imaging	Arthroscopy				
	Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Combined 2D MR Imaging*	93.74%	7.79%	23.68%	42.86%	76.92%
CISS Imaging†	95.26%	5.19%	21.05%	32.33%	76.92%

* Combined two dimensional MR imaging were included sagittal and coronal turbo spin dual-echo sequences, and axial FLASH with magnetization tranfer technique
† CISS: Constructive interference in steady state

높았으나 통계학적인 의의는 없었다. 자기 공명 영상에서 각 구획에서의 등급이 일치하였던 경우는 이차원 영상이 81.48%이었으며, CISS 영상이 82.16%이었다. 하지만, 이들간에도 통계학적인 의의는 없었다.

각 슬관절 구획에서 한 등급의 차이는 맞은 등급으로 인정하였을 때에는 이차원 영상의 일치도는 84.32%였으며, CISS 영상의 일치도 85.22%였다. 하지만, 이들간에도 통계학적인 의의는 없었다.

고 찰

슬내장증의 다양한 원인 중에서 연골 연화증이 그 일부를 차지한다. 관절 연골은 외상이나 퇴행성 원인만이 아니라, 감염, 활액막염이나 종양 등에 의해서도 미란이나 소실이 생긴다. 연골의 병변시 통증은 연골 자체 이상보다는 연골하 골의 변화나 주위 조직의 신전 등으로 온다 (1).

자기 공명 영상 검사는 기기의 특성과 코일의 특성에 따라 영상의 질이 다르며, 같은 영상 기기라 할지라도 영상 기법에 따라 다른 사진을 만든다. 관절 연골의 좋은 영상을 만들기 위해서는 신호대 잡음비와 대조 잡음비가 높아야 하며, 또한 공간 해상능이 좋아야 한다 (15, 21). 특히 관절 연골은 표층은 활액과 지방 조직과 연하여 있고, 심층은 연골하 골과 연하여 있어서 이들과의 대조도가 좋아야 보다 정확한 진단을 할 수 있다.

관절 연골에 대한 자기 공명 영상의 기법에 따른 예민도와 정확도는 연구자들에 따라 다양하다. 일반적인 T1 강조 영상은 연골과 주위 조직 특히 관절내 활액과의 대조가 낮아 연골 병변을 보기 위해 사용하지 않는다 (3, 7). 양성자 밀도 영상은 T1 강조 영상보다는 연골과 활액과의 대조도가 좋지만, 그 경계 부위가 뚜렷하지 않아서 예민도와 정확도는 다른 방법들에 비해 낮아서 예민도는 28 - 62%, 정확도는50 - 69% 정도로 보고하고 있다 (5, 22, 23). T2 강조 영상에서는 연골이 균일한 저 신호 강도로, 물성분은 고 신호 강도로 나타나서 연골과 활액과의 대조도는 높은 반면, 연골과 연골하 골과의 대조도는 낮아서 연골 심층의 변화에 대한 예민도는 낮다 (6). T2 강조 영상에 대한 예민도는 연구자들에 따라 30 - 72%로 보고하고 있고, 특이도는 58 - 100%, 정확도는 68 - 94%로 다양하다 (5, 10, 21 - 24). 이번 연구에서는 경사 에코와 급속 스핀 에코를 종합하여 영상을 분석하였으며, 예민도는 48.1% 정도로 낮았으나, 특이도와 정확도는 다른 저자들과 유사한 결과를 보였다. 반면에 각 구획에서의 등급 분류의 일치도는 81.48%를 보였으며, 1등급부터 4등급까지의 일치도는 27.16%로 다른 보고보다 낮았다. 이 이유는, 그동안의 다른 연구들에서는 1 등급의 연골 연화증의 비율이 적었으나, 이번 대상에서는 병변이 있던 총 162 구획 중 77 구획이 1 등급이었으며, 이 중 정상으로 판독한 경우가 65 구획이었고, 6 구획 (7.79%)만을 1 등급으로 분류하였던 것으로 생각된다.

스핀 에코 기법이나 일반적인 경사 에코 기법들은 절편 두께의 제한이 있으며, 또한 좋은 영상을 위해서는 절편간의 간격도 어느 정도 제한을 갖게 되어, 부분 용적 효과(partial volume effect)나 작은 병변에 대한 소실을 갖기도 한다. 이에 반해 삼차원 영상 기법은 연속적인 영상을 획득함으로써 부분 용적 효과나 작은 병변의 소실도 억제할 수 있다. 또한 이와 함께 얻어진 기초 자료를 이용하여 여러 평면으로 재구성할 수도 있다. 이런 이유로 많은 저자들이 이에 대한 유용성을 평가하였고, 35 - 87%의 예민도, 79 - 100%의 특이도, 73 - 95.4%의 정확도를 보고하였다 (9, 10, 22, 25). 하지만, 항정 상태 세차 운동의 고속 영상(FISP)도 화학 전이 효과를 갖고 있으며, 연골 연화증 초기 변화를 발견하는데 있어서는 0 - 30%의 낮은 예민도를 보였다 (9, 25). 또한 삼차원 기법에 지방 억제 기법을 추가하여 관절 연골을 주위 조직에 비해 양대조도를 갖게 하며, 연골의 층상 구조를 항상 유지하고, 지방에 의한 화학 전이 효과도 제거할 수 있다. 이를 이용하여 여러 저자들은 63 - 96%의 예민도, 95 - 99%의 특이도, 93 - 99%의 정확도를 보고하였다 (11 - 16, 22, 26 - 27). 하지만, 이 기법은 국소 자장의 변화, 예를 들면 공기나 금속 성분 등에 의한 자장의 변화에 민감하고, 지방의 억제가 간혹 비균질하게 될 수도 있으며, 섬유성 연골이나 인대 등의 주위 조직을 평가하는데는 유용하지 않다 (7, 21).

CISS 영상은 진성 항정 상태 세차 운동의 고속 영상 기법에 기초한 급속 T2 강조 영상 기법이다. 이 기법은 첫번 영상을 얻을 때에는 전자파 펄스의 위상을 양의 방향으로 계속 주고, 다음에 영상을 얻을 때는 같은 부위에서 펄스의 위상을 음과 양으로 교대로 주어 영상을 얻는다. 그렇게 하여 얻은 두 영상의 기초 자료를 혼합하여 하나의 영상으로 만들게 되면, 진성 항정 상태 세차 운동의 고속 영상에서 생길 수 있는 띠 형태의 인공 음영을 제거하여 균일한 영상을 얻을 수 있다. 또한 진성 항정 상태 세차 운동의 고속 영상에서 나타나는 잔여 횡축 자기화에 따른 영향도 제거할 수 있다 (17, 18). 이 기법은 고해상도 기법이며, 물 성분은 항상 고 신호 강도로 나타나기 때문에 뇌신경과 뇌척수액과의 대조도가 좋고, 최대 강도 투사 (maximum intensity projection) 방법을 이용하면, 내이의 구조도 보다 정확히 알 수 있어 내이의 병변과 뇌신경 병변에 주로 응용하여 왔다 (19, 20). 저자들은 슬관절 내에 관절 활액이 정상적으로도, 특히 슬개골 - 대퇴골 관절면에 존재하기 때문에 관절 연골을 평가하는데 있어서 CISS 영상의 유용성을 기대하였다. 이 기법만으로 연골 연화증을 판독하였을 때는 예민도는 45.7%로 다른 삼차원 영상의 결과보다는 낮았으나, 특이도와 정확도는 95.3%와 86.1%로 다른 삼차원 영상의 결과와 유사한 결과를 보였다.

이CISS 영상은 다른 영상 기법들에 비해 몇가지의 장점을 들 수 있다. 첫째, 이 CISS 영상을 획득하는데 걸린 시간은 6분 42 초로 다른 삼차원 영상 기법과 비슷한 반면, 위상 부호 단계의 수가 512 로 더 좋은 평면내 해상도를 제공한다. 위상 부호화 단계의 수를 다른 저자들과 같이 256으로 줄이면 보다 빨리 영상을 얻을 수 있다. 둘째, 비록 연골 연화증의 등급에 대한 일치도는 높지 않았으나, 실제로 영상을 판독할 때 주위와의 관계를 보다 선명하게, 명확히 판별할 수 있고, 주위 조

직과의 대조도가 높다. 셋째, 자유로이 움직일 수 있는 물성분은 밝은 영상으로 나타난다. 넷째, 정상 연골은 균일하게 층상 구조로 나타나며, 주위에 비해 음대조도를 갖는다. 표층은 근육보다 약간 높은 중간 정도의 신호 강도로 나타나며, 중간층은 저 신호 강도의 띠로 나타나고, 심층은 표층과 비슷한 정도의 신호 강도로 나타난다. 다섯째, 국소 자장의 자화율 변화에 민감하여 관절내 삼출액이 출혈성일 경우 신호 강도의 변화가 뚜렷하다.

반면에 CISS 영상의 단점도 몇 가지가 있다. 첫째로 자화율 감수성에 민감하여, 수상 후 며칠 내에 영상을 얻으면, 출혈성 삼출액이 저 신호 강도를 나타내어 관절 연골과의 대조도가 떨어진다. 이번 연구 대상 중에는 이런 급성 시기에 자기 공명 영상을 획득한 경우가 많아서 출혈성 삼출액이 많았고, 이에 의하여 연골 연화증의 정확한 등급의 분류가 힘든 경우도 있었다. 둘째, 이 기법은 같은 부위에 대한 두 영상을 혼합하는 것이기 때문에 환자의 움직임에 민감하다. 이번 연구에서도 환자들이 통증으로 인하여 약간의 미동이 있었던 경우들도 있었다. 셋째, 국소 자장의 변화에 민감하여, 피부의 굴곡이나 국소 자장의 변화를 일으키는 경우가 있을 때에는 그 부위를 중심으로 파동 형태의 인공 음영이 발생한다. 하지만, 이 인공 음영이 판독에 해를 끼치는 경우는 거의 없었다. 넷째, 자유로이 움직일 수 없는 양성자 성분에는 민감하지 않다. 골 좌상이나 골수의 부종이 있는 경우, 골수의 신호 강도는 낮게 나타나기 때문에 이에 익숙하지 않으면 골수의 변화를 발견하지 못 할 수 있다. 하지만, 연골하 골의 낭종은 항상 높은 신호 강도를 나타내어 연골하 골의 작은 변화에 대하여는 빠른 발견을 할 수 있다. 이번 연구에서 연골 연화증의 초기 변화를 정상으로 판독한 경우가 많았는데, 초기 변화에는 연골내에 수포나 부종 등이 생기는 경우이나, 이는 교원질에 의하여 싸여 있기 때문에 신호 강도의 변화가 적게 생기기 때문이다. 다섯째, 다른 영상 기법들과 마찬가지로 대퇴골 활차면과 같은 부위에서는 일부 마술각의 영향을 받는다. 여섯째, 지방 억제 기법과 같은 지방을 선택적으로 억제할 수 없으며, 이에 의하여 관절 연골을 양대조도로 만들 수 없다. 이런 이유들로 해서 CISS 영상의 예민도가 낮은 반면에 특이도는 높은 것으로 생각된다.

이번 연구의 제한점으로는 먼저 후향적 분석에 있다. 자기 공명 영상을 처음 진료를 위한 판독시에 연구대로 각 기법에서 연골 연화증의 등급을 분류하지 않았으며, 후에 이 대상 환자들의 사진을 판독하여 판독의 오차가 생길 수 있다. 또한 이차원 영상과 CISS 영상을 판독의 오차를 줄이려고 일주일 정도의 기간을 두고 분석하였지만, 이차원 영상의 기억에 의한 CISS 영상의 분석오차가 생길 수 있다. 셋째로는 슬관절경 검사를 기초로 하는 데의 문제점이 있다. 슬관절경 당시 기록을 자세히 하였지만, 세 명의 의사가 슬관절경을 시행하였기 때문에 기록의 자세한 것에 대한 차이가 있을 수 있고, 그 중 한 명의 정형외과 의사가 자기 공명 영상 소견을 모른 상태에서 수술시 녹화한 videoarthroscope 을 후향적으로 분석하여 시술자와의 다른 견해를 보일 수 있다. 슬관절경 검사는 관절의 표면만 보는 것이기 때문에 경우에 따라서는 연골 연화증의 깊이에 대한 판정이 부정확할 수 있고, 대퇴골 후면은 슬관절경시 불완전하게 검사할 수도 있다. 넷째로는 한 명의 의사가 판독하여 판독자간의 일치도를 알 수 없으며, 판독을 한 번씩 하여서 판독자의 오류에 대한 측정을 할 수 없다.

결론적으로 CISS 영상이 연골 연화증을 단독으로 판독할 경우의 예민도는 이차원 영상을 종합적으로 판독한 경우에 비해 높지 않았다. 그러나, 일반적인 다른 급속 스핀 에코와 병행함으로써 정확도를 높일 수 있을 것이며, 고해상도 영상으로서 다른 작은 관절에서의 인대나 관절 구조의 진단에 있어서의 유용성에 대한 평가도 필요할 것이다.

감사의 글

이번 연구에 도움을 주신 연세의대 진단방사선과교실의 서진석 교수님, 정은기 교수님, 정태섭 교수님과 아주의대 진단방사선과학 교실의 조재현 교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Outerbridge RE, Dunlop JAY. The problem of chondromalacia patellae. *Clin Orthop* 1975;110:177-196
2. Hamerman D. The biology of osteoarthritis. *N Engl J Med* 1989; 320:1322-1330
3. Hodler J, Resnick D. Current status of imaging of articular cartilage. *Skeletal Radiol* 1996;25:703-709
4. Waldschmidt JG, Rilling RJ, Kajadacsy-Bakka AA, Boynton MD, Erickson SJ. In vitro and in vivo MR imaging of hyaline cartilage: zonal anatomy, imaging pitfalls, and pathologic conditions. *Radiographics* 1997;17:1387-1402
5. McCauley TR, Kier R, Lynch KJ, Jokl P. Chondromalacia patellae: diagnosis with MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1992;158:101-105
6. Peterfy CG, Majumdar S, Lang P, van Dijke CF, Sack K, Genant HK. MR imaging of the arthritic knee: improved discrimination of cartilage, synovium, and effusion with pulsed saturation transfer and fat-suppressed T1-weighted sequences. *Radiology* 1994;191: 413-419
7. Link TM, Lindner N, Haeussler M, et al. Artificially produced cartilage lesions in small joints: detection with optimized MRI-sequences. *Magn Reson Imaging* 1997;15:949-956
8. Solomon SL, Totty WG, Lee JKT. MR imaging of the knee: comparison of three-dimensional FISP and two-dimensional spin-echo pulse sequences. *Radiology* 1989;173:739-742
9. Heron CW, Calvert PT. Three-dimensional gradient-echo MR imaging of the knee: comparison with arthroscopy in 100 patients. *Radiology* 1992;183:839-844
10. Guckel C, Jundt G, Schnabel K, Gachter A. Spin-echo and 3D gradient-echo imaging of the knee joint: a clinical and histopathological comparison. *Eur J Radiol* 1995;21:25-33
11. Disler DG, Peters TL, Muscoreil SJ, et al. Fat-suppressed spoiled GRASS imaging of the knee hyaline cartilage: technique optimization and comparison with conventional MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1994;163:887-892
12. Disler DG, McCauley TR, Wirth CR, Fuchs MD. Detection of knee hyaline cartilage defects using fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging: comparison with standard MR imaging and correlation with arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol* 1995;165:377-382

13. Disler DG, McCauley TR, Kelman CG, 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;167:127-132
14. Recht MP, Piraino DW, Paletta GA, Schils JP, Belhobek GH. Accuracy of fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient echo FLASH MR imaging in the detection of patellofemoral articular cartilage abnormalities. *Radiology* 1996;198:209-212
15. Suh JS, Cho JH, Shin KH, Kim SJ. Chondromalacia of the knee: evaluation with a fat-suppression three-dimensional SPGR imaging after intravenous contrast injection. *J Magn Reson Imaging* 1996;6: 884-888
16. Disler DG. Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-recalled MR imaging: assessment of articular and physeal hyaline cartilage. *AJR Am J Roentgenol* 1997;169:1117-1123
17. Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L. Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. *AJNR Am J Neuroradiol* 1993;14:47-57
18. Stehling MK, Nitz W, Holzknecht N. Fast and ultrafast MR imaging: basic principles and pulse sequences. *Radiologe* 1995;35:879-893
19. Casselman JW, Kuhweide R, Ampe W, et al. Inner ear malformations in patients with sensorineural hearing loss: detection with gradient-echo (3DFT-CISS) MRI. *Neuroradiology* 1996;38:278-286
20. Casselman JW, Kuhweide R, Ampe W, Meeus L, Steyaert L. Pathology of the membranous labyrinth: comparison of T1- and T2-weighted and gadolinium-enhanced spin-echo and 3DFT-CISS imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 1993;14:59-69
21. Bredella MA, Tirman PF, Peterfy CG, et al. Accuracy of T2-weighted fast spin-echo MR imaging with fat saturation in detecting cartilage defects in the knee: comparison with arthroscopy in 130 patients. *AJR Am J Roentgenol* 1999;172:1073-1080
22. Recht MP, Kramer J, Marcelis S, et al. Abnormalities of articular cartilage in the knee: analysis of available MR techniques. *Radiology* 1993;187:473-478
23. Gagliardi JA, Chung EM, Chandnani VP, et al. Detection and staging of chondromalacia patellae: relative efficacies of conventional MR imaging, MR arthroscopy, and CT arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol* 1994;163:629-636
24. 윤삼현, 하두회. 슬관절 연골 연화증의 진단에서의 dual echo in steady state(DESS) 영상의 유용성: 급속스핀에코 자기공명영상과 비교. *대한자기공명의과학회지* 1999;3:66-72
25. Kramer J, Recht MP, Imhof H, Stiglbauer R, Engel A. Postcontrast MR arthrography in assessment of cartilage lesions. *J Comput Assist Tomogr* 1994;18:218-224
26. Brossmann J, Frank L, Pauly JM, et al. Short-echo time projection reconstruction MR imaging of cartilage: comparison with fat-suppressed spoiled GRASS and magnetization transfer contrast MR imaging. *Radiology* 1997;203:501-507
27. 이영준, 주은영, 은충기. 관절 연골의 자기공명영상: 다평면 및 3차원 경사 에코, 스핀 에코, 터보스핀에코에서 자화 전이 및 지방 억제 기법의 비교. *대한방사선의학회지* 1999;40:577-584

J Korean Radiol Soc 2000;43:489 - 496

Evaluation of Chondromalacia in the Knee Joint using Three Dimensional Fourier Transformation Constructive Interference in Steady State(CISS)[1]

Sam Hyun Yoon, M.D., Doo Hoe Ha, M.D., Jin Young Kwak, M.D., Young Soo Lee, M.D.[2]

[1]Department of Radiology, Pundang CHA General Hospital, College of Medicine, Pochon CHA University
[2]Department of Orthopedic Surgery, Pundang CHA General Hospital, College of Medicine, Pochon CHA University

Purpose: To assess the usefulness of three-dimensional Fourier transformation constructive interference in steady state (CISS) for the evaluation of chondromalacia.

Materials and Methods: In 110 knee joints which underwent both MR imaging and arthroscopy, the findings were retrospectively reviewed. MR imaging sequences included two-dimensional dual-echo turbo spin-echo imaging along the sagittal and coronal planes, two-dimensional fast low-angle shot (FLASH) with magnetization transfer along the axial plane, and three-dimensional CISS along the sagittal plane. After the cartilage surfaces of each joint were divided into eight areas (each medial and lateral area of patellar facets, trochlear surfaces, femoral condyles, and tibial plateaux), a total of 880 areas were assessed. Using both combined two-dimensional (2-D turbo spin-echo and FLASH) and CISS imaging during different sessions, each chondromalacia case was assigned one of five grades.

Results: Arthroscopy revealed the presence of chondromalacia in 162 areas. This was first grade in 77 areas, second grade in 38, third grade in 21, and fourth grade in 26. The sensitivity, specificity, and accuracy of 2-D and CISS imaging were 48.1%, 93.7% and 85.3%, and 45.7%, 95.3% and 86.1%, respectively. Agreement between MR and arthroscopic staging occurred in 81.48% of 2-D imaging procedures and 82.16% of CISS procedures. If a difference of one grade was accepted, these proportions rose to 84.32% and 85.22%, respectively, though this increase was statistically insignificant.

Conclusion: Though CISS imaging was less sensitive than 2-D imaging in the grading of chondromalacia, additional CISS imaging can help improve the accuracy of this grading.

Index words : Knee, MR
Knee, ligaments, menisci, and cartilage
Magnetic Resonance(MR), three-dimensional
Magnetic Resonance(MR), pulse sequences

Address reprint requests to : Doo Hoe Ha, M.D., Department of Radiology, Pundang CHA General Hospital, College of Medicine, Pochon CHA University, 351 Yatap-dong, Pundang-gu, Sungnam-city, Kyonggi-do, 463-712, Korea.
Tel. 82-31-780-5681, 5422 Fax. 82-31-780-5381 E-mail: dhha@cha.ac.kr