

삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의
건설적 간섭 영상 기법을 이용한
슬관절 연골 연화증 평가

연세대학교 대학원

의 학 과

하 · 두 회

삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의
건설적 간섭 영상 기법을 이용한
슬관절 연골 연화증 평가

지도 정 은 기 조교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

1999년 12월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

하 두 회

하두회의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

1999년 12월 일

감사의 글

본 논문을 완성하기까지 격려와 세심한 지도를 하여 주신 정 은기 지도교수님께 감사를 드리며, 논문의 완성을 위해 처음부터 끝까지 세심한 조언을 해주신 서 진석 교수님과 정 태섭 교수님께 감사를 드립니다.

그리고, 바쁜 와중에도 논문을 완성하기 위하여 많은 도움을 주신 중문의대 정형외과 이 영수 교수님과 신 동배 교수님, 그리고 그 교실원들께 감사를 드립니다. 또한 많은 협조를 해주신 중문의대 진단 방사선과 교실원들께도 감사합니다.

마지막으로 오늘의 제가 있기까지 항상 보살피 주신 부모님과 항상 곁에서 힘이 되어준 사랑하는 처와 아들 성욱에게도 깊은 사랑의 마음을 전합니다.

저 자 씀.

목 차

국문요약	1
I. 서 론	3
II. 재료 및 방법	8
1. CISS 영상의 숙임각 결정	8
2. 환자군의 자기 공명 영상 촬영 및 분석	9
III. 결 과	13
1. 자원자의 슬관절 CISS 영상의 숙임각 결정	13
2. 슬관절경 검사의 연골 연화증 분석 결과	13
3. 슬관절경 검사와 자기 공명 영상간의 연골 연화증의 비교 분포	15
가. 이차원 영상과 슬관절경 검사와의 비교	15
나. CISS영상과 슬관절경 검사와의 비교	15
다. 이차원 영상과 CISS 영상을 종합한 자기 공명영상의 연골연화증 분류와 슬관절경 검사와의 비교	15
라. 슬관절경 분류의 각 등급에 따른 자기 공명 영상의 각 기법의 예민도	16

4. 자기 공명 영상 기법간의 연골 연화증 등급 분류 분석	17
가. 연골 연화증 발견도	17
나. 각 기법간의 예민도, 특이도 및 정확도 분석	17
IV. 고 찰	19
V. 결 론	26
참고문헌	27
Abstract	32

표 목 차

표 1. 자원자들의 슬관절 자기 공명 영상에서 CISS 영상의 숙임각에 따른 생리 식염수에 대한 각 조직의 대조잡음비	13
표 2. 구획과 등급에 따른 슬관절경의 연골 연화증 분포	14
표 3. 슬관절 이차원 영상과 슬관절경의 연골 연화증 비교분포	15
표 4. CISS영상과 슬관절경의 연골 연화증 비교 분포	16
표 5. 자기 공명 영상의 종합 영상과 슬관절경의 연골 연화증의 비교 분포	16
표 6. 각 자기 공명 영상 기법의 슬관절경의 연골 연화증 등급에 대한 예민도	17
표 7. 슬관절의 각 구획에서 연골 연화증을 정확한 등급으로 분류한 경우의 슬관절경 분류에 대한 자기 공명 영상 각 기법의 예민도, 특이도 및 정확도	18
표 8. 슬관절의 각 구획에서 자기 공명 영상에서 분류한 연골 연화증의 등급 중 슬관절경 등급에 대하여 한 등급의 차이를 인정하였을 경우의 자기 공명 영상 각 기법의 예민도, 특이도 및 정확도	18

그림 목차

그림 1. 정상 연골	11
그림 2. 연골 연화증 2등급	12
그림 3. 연골 연화증 3등급	12
그림 4. 연골 연화증 4등급	12
그림 5. 자원자들의 슬관절 자기 공명 영상에서 CISS영상의 숙임각에 따른 생리 식염수에 대한 각 조직의 대조잡음비 곡선	14

국문요약

삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭영상 기법을 이용한 슬관절 연골 연화증의 평가

슬관절 연골의 병변을 발견하고 진단하는데 있어서 자기 공명 영상의 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상 기법의 유용성을 알아보고자 하였다. 최근 1년간 슬관절경 검사와 슬관절 자기 공명 영상을 모두 시행한 110 슬관절을 대상으로 하였다. 자기 공명 영상은 급속 스핀 에코의 양성자 밀도 영상과 T2 강조 영상을 시상면과 관상면으로 얻었으며, 자화전이 기법을 이용한 고속 저각 영상 획득으로 축상면을 얻어 이들을 종합하여 이차원 영상으로 하였다. 이와 함께 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상 기법으로 시상면을 얻었다. 슬관절은 각 관절당 8 구획으로 나누어 총 880 구획이었으며, 연골 연화증은 Outerbridge가 제안한 5 등급으로 분류하였다. 자기 공명 영상은 이차원 영상과 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상에서 각각 연골 연화증을 각 구획별로 등급을 나누었으며, 이들을 모두 종합하여 등급을 다시 나누었다. 슬관절경 검사 결과, 총 880 구획 중 162 구획에 연골 연화증이 있었으며, 1 등급은 77 구획에 있었고, 2 등급은 38 구획, 3 등급은 21 구획, 4 등급은 26 구획에 있었다. 이차원 영상은 예민도 27.16 %, 특이도 93.73 %, 정확도 81.48 % 였으며, 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상은 예민도 24.07 %, 특이도 95.26 %, 정확도 82.16 % 이었고, 이들을 종합하여 판독한 경우, 예민도 29.01 %, 특이도 94.57 %, 정확도 82.39 % 였다. 판독 분류에 있어서 1 등급의 차이는 정확한 진단으로 인정하였을 때, 예민도와 정확도는 이차원 영상이 42.59 %와 84.32 %, 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상이 40.74 %와 85.22 %, 그리고 종합한 경우 43.83%와 85.11 % 이었다. 하지만 이들간의 통계학적인 의의는 없었다. 결론적으로

삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상은 급속 스핀 에코와 경사 에코를 종합한 경우에 비해 연골 연화증의 등급에 대한 정확도는 낮으나, 이를 추가하여 함께 판독함으로써 보다 정확한 등급을 분류할 수 있을 것이다.

핵심되는 말 : 슬관절, 자기 공명 영상 ; 관절 연골, 자기 공명 영상
자기공명 영상, 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상

삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상 기법을 이용한 슬관절 연골 연화증의 평가

< 지도 정은기 조교수 >

연세대학교 대학원

의 학 과

하 두 회

I. 서 론

관절의 유리질 연골은 마찰 계수를 줄이고, 힘의 부하를 분산시킴으로 해서, 관절의 정상 기능을 유지한다. 연골은 무혈관성 조직으로 거의 대부분이 활액에 의하여 영양 공급을 받으며, 심층은 연골하 골에서부터 영양 공급을 받는다. 관절 연골은 60 ~ 80 % 의 물성분과 연골 세포, 그리고 기질로 이루어져 있다(Hamerman, 1989). 기질을 이루는 것은 교원질과 proteoglycan 이 주성분으로, 교원질은 연골의 건조 중량의 50 % 를 차지하며, 특히 2 형 교원질이 이의 90 % 정도를 차지한다. 이는 섬유망의 형태를 취하여 proteoglycan이 팽창하는 것을 제한한다. proteoglycan은 건조 중량의 30~35%를 차지하며, 물 성분을 함유한다.

관절 연골은, 연골 세포의 모양, 교원질 섬유와 proteoglycan의 분포, 그리고 교원섬유의 방향성으로 4개층으로 나눈다(Hamerman, 1989; Rubinstein 등, 1993; Waldschmidt 등, 1997; Uhl 등, 1998). 표층(tangential zone)은 전체 연골 두께의 3~12 % 를 차지하며, 연골 세포는 작고 편평하다. 교원질은

작은 크기의 섬유가 표층과 평행하게 배열하며, 가장 높은 농도를 갖는다. 중간층(transitional zone)은 표층 보다는 두꺼우며, 연골 세포가 보다 구형이고, 교원질 섬유는 임의의 배열을 갖고, 깊이에 따라 평행한 배열에서 수직 배열로 바뀐다. 심층(radial zone)은 가장 두꺼운 층으로 약 50 % 정도의 두께를 차지한다. 연골 세포는 구형으로 관절면에 수직으로 배열하며, 교원질 섬유도 가장 두껍고, 연골하 골면에 수직으로 배열한다. 가장 심층의 석회화층(calcified zone)은 조수표(tidemark)에 의하여 구별된다.

연골 연화증은 관절 연골의 퇴행성 변화에 의한 병적 상태로, 나이에 따라 두 가지 형태로 나눈다(Outerbridge 및 Dunlop, 1975 ; Hamerman, 1989 ; Hodler 및 Resnick, 1996 ; Waldschmidt 등, 1997). 첫째는 연령에 따른 관절염에 오는 표층부터의 변화이다. 나이가 들어감에 따라 proteoglycan 의 숫자가 감소하게 되고, 이에 따른 장력이 감소한다. 이에 교원질 섬유망의 변화가 오고, 물성분의 함유가 늘어난다. 이는 proteoglycan 의 농도를 희석시키고, 연골 기질의 기능 장애를 초래한다. 지속적인 기계적인 부하가 가해지면, 연골 세포가 증식하며 기질 생산을 늘려 복구하는 능력을 넘게 되고, 연골하 골에 전해지는 압력이 증가한다. 점점 진행하면, 표면에 열구나 분절이 생기고, 연골의 종방향을 따라 깊어져서 결국에는 연골하 골의 노출이 일어난다. 둘째는 보통 젊은 나이에 발생하는 형태로 심층 기저부의 퇴행성 변화이다. 이는 보통 외상과 관련이 높으나, 비외상성 아탈구나 관절면간의 정렬의 장애 등도 원인으로 작용한다. 연골의 심층이 연골하 골에서 분리하여 관절경 검사에서 수포 형태로 나타나고, 점점 진행하여 표층의 변화가 온다. 슬관절내에서 내측의 대퇴골-경골 관절이 가장 호발 부위이며, 슬개골-대퇴골 관절이 다음 호발 부위이다. 연골 연화증으로 인한 통증은 연화증 정도와 일치하지 않을 수 있고, 통증의 원인은 신경 말단이 많이 분포하는 연골하 골의 변화가 주요 요인이다(Outerbridge 및 Dunlop, 1975).

일반 방사선 촬영에서는 관절내 유리체, 관절 간격의 좁아짐, 골극 생성, 연골하 골의 경화 등으로 연골의 병변을 유추할 수 있으나, 초기의 변화를 알 수 없고, 연골을 직접 관찰할 수 없다. 관절조영술이나, 컴퓨터 단층 촬영 관절 조영술은 방사선을 받아야 하며, 관절내 주사를 하는 침습적인 방법이고, 주위 조직과의 대조도가 떨어진다. 초음파 검사는 조직 대조도가 좋고, 관절 표면의 변화를 잘 볼 수 있으나, 관절면의 일부분만 검사할 수 있다. 이에 반해 자기 공명 영상 검사는, 방사선의 해도 없으며, 주위 조직과의 대조도가 좋고, 관절과 함께 주위 구조를 함께 관찰할 수 있고, 여러 평면으로 검사가 가능하여 연골의 병변을 진단하는데 유용한 검사이다(Hodler 및 Resnick, 1996). 자기 공명 영상으로 연골을 잘 보기 위해서는 높은 조직 대조도와 신호대 잡음비가 필요하다. 또한, 자기 공명 영상 기기의 특성과 영상 기법의 특성에 따라서 영상에 영향을 미치며, 각 영상 기법의 계측 계수에 따라서도 영향을 받는다.

자기 공명 영상에서 관절 연골은 영상 방법에 따라 2 층 또는 3 층으로 보이며, 보고자에 따라 각 층간의 신호 강도의 고저가 다르다. 또한 각 층간의 깊이도 다르다. 일반적으로 자기 공명 영상에서의 관절 연골은 3 층으로 나타나며, 표층은 관절 연골의 표층과 중간층이 이루며, 때로는 심층의 표층의 일부가 이루기도 한다. 중간층은 연골의 심층이 주로 차지한다. 심층은 연골 심층의 기저부와 석회화 층이 이룬다(Rubinstein 등, 1993 ; Waldschmidt 등, 1997 ; Uhl 등, 1998 ; 김 동준 등, 1999). 반면에 자기 공명 영상에서의 연골층은 조직학적인 원인이 아닌, 마술각 영향(magic angle effect), 화학 전이(chemical shift) 효과, 자장에 대한 감수성(magnetic susceptibility)나 절단 인공물(truncation artifact)등의 여러 인공 음영에 의하여 영상의 왜곡으로 발생 또는 소실하기도 한다(Erickson 등, 1996 ; Frank 등, 1997 ; Waldschmidt 등, 1997). 고식적인 스핀 에코와 함께 급속 스핀 에코의 발달로 근골격계 자기 공명 영상에서 많이 이용하고 있으며,

슬관절 영상에서도 많이 사용하고 있다. 그러나, 주위 연부 조직의 대조도는 좋으나, 관절 연골의 신호대 잡음비가 높지 않으며, T2 강조 영상은 관절내 삼출액이 있는 경우 관절 조영술의 효과가 있으나, 관절 연골의 심층과 연골하 골과의 대조도는 낮다(McCauley 등, 1992 ; Peterfy 등, 1994 ; Hodler 및 Resnick, 1996 ; Link 등, 1997). 또한 여러 경사 에코의 기법이 발달로 연골 영상에도 사용하고 있고, 이차원 영상보다 삼차원 경사 에코 기법이 신호대 잡음비와 대조도가 좋고, 연속적인 영상 획득으로 영상간의 간격이 없어서 영상의 손실이 없으며, 여러 평면으로 재구성할 수 있어서 많이 이용하고 있다 (Solomon 등, 1989 ; Heron 및 Calvert, 1992 ; Guckel 등, 1995 ; Link 등, 1997). 하지만, 이들 기법은 대부분이 연골이 주위 조직에 비해 음성 대조도를 갖는다. 최근에는 지방 억제 기법을 이용하여 연골을 양성 대조도로 만들고, 이와 함께 화학 전이 효과를 감소시켜 보다 높은 진단의 정확도를 얻어 왔다 (Disler 등, 1994 ; Disler 등, 1995 ; Disler 등, 1996 ; Recht 등, 1996 ; Suh 등, 1996 ; Disler, 1997).

최근에 개발된 삼차원 푸리에 변환 항정 상태에서의 건설적 간섭 영상(3 dimensional Fourier transformation constructive interference in steady state : 이후 CISS로 약칭)은 경사 에코 중 하나인 진성 항정 상태 세차 운동의 고속 영상(fast imaging with steady precession)에 기초를 둔 고속 T2 강조 영상 기법이다. CISS는 전자파 펄스의 숙임각을 양과 음으로 교대로 주는 것과 교대로 주지 않고 같은 방향으로 주는 기법을 연속하여 사용하여, 각각의 영상을 혼합하는 기법으로, 진성 항정 상태 세차 운동의 고속 영상에서 나타나는 단면간의 띠 모양의 인공 음영을 제거한다(Casselmann 등, 1993 ; Stehling 등, 1995). 이는 뇌척수액과 같은 물성분은 항상 고신호 강도로 나타나고, 고해상도 영상으로 주위 조직과의 대조도가 높아져, 뇌척수액과 뇌신경과의 높은 대조도를 이용하여 뇌신경 영상에 이용하며, 최대 신호 강도 투영법을 이용하여 내이의 영상과 내이 기형의 연구에 사용하고

있다(Casselman 등, 1993 ; Casselman 등, 1996).

일반적으로 연골 연화증의 진단에 사용하는 삼차원 경사 에코 기법들의 행렬수(matrix size)는 256 x 256 이하이나, CISS 영상은 비슷한 영상 획득 시간내에 위상 행렬수를 512로 할 수 있는 고해상도 기법이다. 그러나 근골격계 영상에서의 응용성은 아직 보고되지 않았다. 이에 슬관절 자기 공명 영상에서, 일반적으로 사용하는 급속 스핀 에코와 이차원 경사 에코와 CISS 영상을 비교하여 연골 영상에 대한 유용성을 알아보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. CISS 영상의 숙임각 결정

자기 공명 영상은 1.5 tesla 초전도체 기기(Magnetom vision, Siemens, Erlangen, Germany)를 사용하였다. 코일은 기기 회사에서 제공된 transmit-and-receive extremity coil을 이용하였다.

CISS 영상을 슬관절 영상에 이용하기 위한 최적의 조건을 찾기 위하여 슬관절 이상이 없던 25 세에서 35 세 사이의 자원자 6 명에서 영상을 얻었다. CISS 영상의 계측 계수는 대부분이 기기 회사에서 최적화되어 있었으며, 숙임각과 행렬수, 영상 영역은 임의로 정할 수 있었다. 정해진 계측 계수로는 전자파 펄스의 반복 시간 12.25 msec, 에코 시간 5.90 msec였고, 임의로 정한 계측 계수로는, 판두께 96 mm, 64 분할, 효과적 절편 두께 1.5 mm, 영상 영역 16-18 x 16-18 cm, 행렬수 256 x 512, 반복 회수 1회로 하였고, 평면내 해상도는 0.63-0.70 x 0.31-0.35 mm 이었으며, 전체 영상 획득 시간은 6 분 42 초이었다. 자기 공명 영상을 촬영할 때, 연골과 주위 조직간의 대조도를 구하기 위하여, 생리 식염수 10 ml를 10 ml 유리병에 진공 상태로 채워서 슬개골 상방, 대퇴사두근건의 전면부에 놓았다. 먼저 자원자 한 명에서는, 숙임각을 20 도에서 70 도까지 10 도 간격으로 변화시키며, 시상면 CISS 영상을 얻었다. 얻은 영상을 비교하여 주위 조직 대조도가 좋은 25 도에서 45 도까지의 범위 내에서 5 도 간격으로, 남은 5 명의 양측 슬관절의 시상면 CISS 영상을 시행하여 총 10 개의 슬관절 자기 공명 영상을 얻었다. 각 영상 중, 대퇴골의 과관 절흔 부위에서 생리 식염수, 관절내 활액, 대퇴골수, 이복근, 대퇴골 후면의 지방의 신호 강도를 측정하였으며, 관절 연골은 슬개골의 내측 관절면 중 관절 연골이 가장 두꺼운 부위와 대퇴골의 활차면(troclear surface) 중 연골의 신호 강도가 균일하며 두꺼운 부위

에서 신호 강도를 측정하였고, 내측 대퇴골 관절면과 내측 경골 관절면의 연골의 중앙 부위에서 신호 강도를 측정하였다. 신호 강도를 측정할 때는 각 부위의 관심 영역을 가능한 크게 하였으며, 주위 잡음의 신호 강도의 표준 편차는 생리 식염수의 신호 강도를 전 부위에서 경골의 전면부에서 가능한 크게 관심 영역을 두어 구하였다. 각 부위에서 세 번씩 신호 강도를 재어 평균치를 각 부위의 신호 강도로 하였다. 각 조직의 대조잡음비는 생리 식염수와 비교하여 아래와 같이 구하였으며, 관절 연골의 대조잡음비는 네 군데의 신호 강도를 모두 함께 처리하여 구하였다.

$$\text{조직의 대조 잡음비} = \frac{\text{생리 식염수의 신호 강도} - \text{조직의 신호 강도}}{\text{주위 잡음의 표준 편차}}$$

2. 환자군의 자기 공명 영상 촬영 및 분석

1998년 8월 1일부터 1999년 7월 31일까지 슬관절 동통이나 슬내장증으로 주소로 환자 408 명이 슬관절 자기 공명 영상을 시행하였으며, 동 기간에 슬관절경 검사를 183 명의 환자가 받았다. CISS영상을 포함한 슬관절 자기 공명 영상과 슬관절경 두 검사를 모두 받았던 환자 108 명을 대상으로 하였으며, 그 중 2명이 양측 슬관절을 모두 검사하여 총 110 개의 슬관절을 분석하였다. 남녀비는 58 대 50 이었고, 환자의 연령은 13 세에서 71 세로 평균 40.1 세 였다. 자기 공명 영상 촬영과 슬관절경 검사 간의 시간은 0 일에서 110 일로 평균 14.6 일이었다.

슬관절경 검사에서 연골의 병변을 제외한 다른 병변들로는, 내측 반월판 연골 파열이 51 례, 외측 반월판 연골 파열이 28 례, 원판형 외측 반월판 연골이 14 례, 전십자 인대 파열이 부분 파열 15 례, 완전 파열 15 례로 총 30 례, 후십자 인대 파열이 4 례, 내측 측부 인대 파열이 8 례가 있었으며, 슬개골 골절이 3 례, 외측 경골과 골절이 2 례, 색소 침착 용모결절성 활액막염 (pigmented villonodular synovitis) 2 례, 내측 슬개골 추벽이 19 례이었다.

자기 공명 영상은 이차원 영상과 삼차원 영상인 CISS 기법을 사용하였다.

이차원 영상으로는, 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상 (반복시간 3000msec, 에코 시간 16~98msec, 에코열 길이 5회, 절편 두께 4.0mm, 절편 간 간격 0.8mm, 영상 영역 14-16 x 16-18 cm, 행렬수 192 x 256)의 시상면과 관상면을 얻었고, 자화 전이 기법을 이용한 고속저각영상획득 (fast low angle short = FLASH) 기법(반복 시간 680msec, 에코 시간 18msec, 숙임각 40 도, 절편 두께 3.0-4.0mm, 절편간 간격 1.5mm, 영상 영역 16 x 16cm, 행렬수 192 x 256) 의 축상면을 얻었다. CISS영상의 계측 계수는 자원자에서 사용하였던 계측 계수와 같이 하였으며, 숙임각은 자원자들의 영상에서 결정한 값으로 하여 시상면 영상을 얻었다.

슬관절경 검사에서 연골 연화증의 정도는 수술 당시의 기록을 참조하였으며, 수술 당시 녹화하였던 videoscope 55개와 수술 당시 촬영하였던 슬관절경 사진을 자기 공명 영상 소견을 모른 상태에서 다시 판정하였다. 관절 연골은 슬개골 관절면 내측과 외측, 대퇴골 활차면의 내측과 외측, 내측과 외측 대퇴골과 관절면, 그리고 경골 편평부의 내측과 외측으로 총 8구획으로 나누었으며, 연골 연화증 정도는 Outerbridge 가 제안하였던 5등급으로 나누었다. 0등급은 정상이며, 1등급은 연골의 부종과 연화만 있고 슬관절경 탐촉자로 눌렀을 때 연골이 눌리는 경우이다. 2등급은 관절 표면의 열구와 분절화가 직경 1/2인치 (1.3cm) 미만이거나, 깊이가 관절 연골 두께의 1/2 이하인 경우이며, 3등급은 열구와 분절화가 직경 1/2 인치(1.3cm) 이상이거나 관절 연골 두께의 1/2이상에서 있으나, 연골하 골의 노출이 없는 경우이다. 4등급은 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(그림 1). 1 등급은 관절 연골의 두께는 정상이

고, 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 1/2이하인 경우로 하였고(그림 2), 3등급은 그 변화가 연골 두께의 1/2이상을 침범하지만, 연골하 골까지 닿지않은 경우로 하였다(그림 3). 4등급은 연골의 변화로 인해 연골하 골이 노출된 경우로 하였다(그림 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. 그후 두 달 후에 이차원 영상과 CISS 영상을 함께 다시 판독하였다.

자기 공명 영상 소견과 슬관절경 검사의 연골 연화증의 등급을 각 부위에서 비교분석하였다. 이차원 기법과 CISS 영상에서 각각의 예민도와 특이도, 그리고 정확도를 구하였으며, 함께 판독한 경우의 예민도와 특이도, 그리고 정확도를 구하여 CISS 영상의 독립적인 연골 연화증의 정확도와 이차원 기법에서 추가하였을 때의 정확도를 알아보아 CISS 영상의 유용성을 알아보았다. 각 방법간의 예민도, 특이도와 정확도에 대한 통계학적인 의미를 Chi-square method를 사용하여 알아보았다.

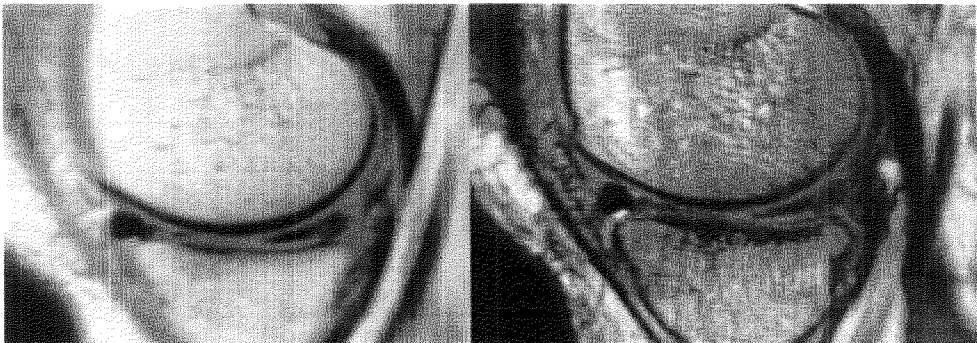


그림 1. 정상 연골. 양성자 밀도 시상면 영상과 CISS시상면영상에서 내측 대퇴골과 경골의 관절 연골의 표면이 균일하며, 연골 내부의 신호 강도도 정상이다.

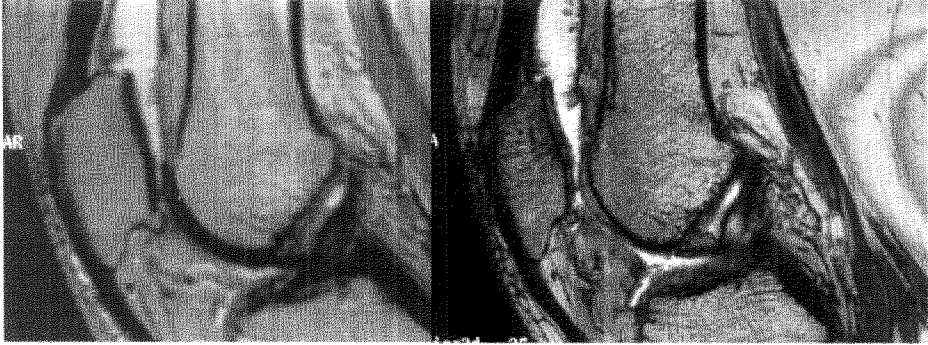


그림 2. 연골 연화증 2 등급. 슬개골의 내측 관절면의 연골이 좌측의 T2 강조 영상에서 표면의 물결치는 형태를 보이며, 우측의 CISS 영상에서 표면이 불균일하고 열구가 보인다.



그림 3. 연골 연화증 3 등급. 슬개골의 관절면에 골극이 형성되어 있으며, T2 강조 영상과 CISS 영상에서 모두 그 부위의 연골이 얇아져 있으나, 연골하 골의 노출은 없다.



그림 4. 연골 연화증 4 등급. 내측 대퇴골과의 관절면과 내측 경골 편평부의 관절면의 연골이 T2 강조 영상과 CISS 영상 모두 소실되어 있으며, 이들에 의해 연골하 골이 노출되어 있고, 경골의 연골하 골에는 경화성 변화가 있고, 대퇴골과 경골의 변연부에 골극이 형성되어 있다.

III. 결 과

1. 자원자의 슬관절 CISS 영상의 숙임각 결정

숙임각 35도 이상부터 관절 연골과 이복근의 대조 잡음비가 30도 이전에 비해 많이 증가하고, 그 이후부터는 서서히 증가하였다. 하지만, 영상을 눈으로 인식하는데 있어서는 40도 이후가 될수록 관절 연골과 근육의 신호 강도가 주위에 비해 낮아져서 내부위 변화를 알기 힘들어져, 숙임각을 35도로 정하였다 (표1, 그림 5).

표 1. 자원자들의 슬관절 자기 공명 영상에서 CISS 영상의 숙임각에 따른 생리 식염수에 대한 각 조직의 대조잡음비¹

숙임각	관절 활액	대퇴 골수	대퇴골 후면 지방	이복근	관절 연골
25 도	5.65 ± 10.47	38.58 ± 5.30	34.12 ± 6.34	52.15 ± 5.80	50.21 ± 5.65
30 도	6.24 ± 8.60	37.55 ± 7.25	34.13 ± 6.32	55.83 ± 7.21	54.65 ± 7.16
35 도	13.82 ± 7.80	42.76 ± 8.17	37.81 ± 8.32	64.77 ± 8.17	63.70 ± 7.78
40 도	15.82 ± 7.60	43.97 ± 8.75	40.47 ± 10.66	70.18 ± 9.17	68.91 ± 8.63
45 도	18.34 ± 9.35	42.91 ± 7.22	40.75 ± 9.96	72.13 ± 6.35	70.95 ± 7.14

1: 생리 식염수 10 ml를 담은 병을 대퇴사두근 전방에 두고 영상을 얻은 후 생리 식염수와 각 조직의 신호 강도를 세 번씩 측정하여 평균 값을 이용하였으며, 생리 식염수에 대한 각 조직의 대조 잡음비를 다음의 공식으로 계산하였고, 그 값은 평균 표준 편차로 표시하였음

$$\text{조직의 대조 잡음비} = \frac{(\text{생리 식염수의 신호 강도} - \text{조직의 신호 강도})}{\text{주위 잡음의 표준 편차}}$$

2. 슬관절경 검사의 연골 연화증 분석 결과

총 110 개의 슬관절의 880 구획에서 연골 연화증은 162 구획에 있었다. 부위별로는 대퇴골의 내측 관절면의 36 구획이 가장 많았으며, 경골의 내측 관절면

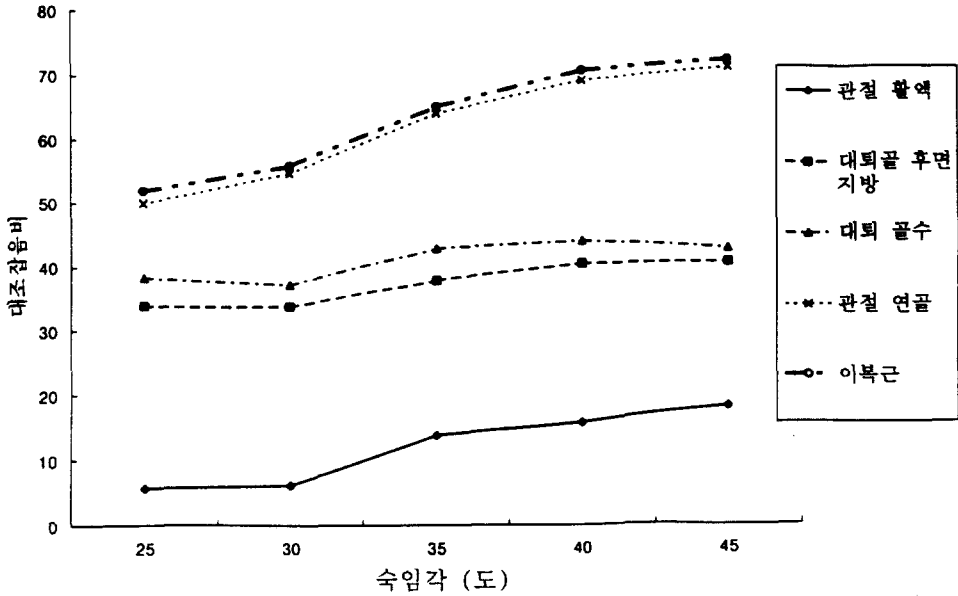


그림 5. 자원자들의 슬관절 CISS 영상에서 숙임각에 따른 생리 식염수에 대한 각 조직의 대조잡음비 곡선¹

1: 생리 식염수에 대한 대조잡음비 곡선은 표 1의 자료를 곡선으로 표시한 것이다. 숙임각 30도에 비해 35도에서 각 조직의 대조잡음비가 상승하여 그 이후에는 완만한 경사를 갖는다.

연골의 29구획, 슬개골의 내측 관절면 연골 27구획 순으로 슬관절의 내측이 외측보다 많았다(표 2). 이 중, 1등급은 77구획, 2등급은 38구획, 3등급은 21구획에 있었고, 4등급은 26구획에 있었다.

표 2. 구획과 등급¹에 따른 슬관절경의 연골 연화증 분포

구 획	병변수	0 등급	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급
슬개골 내측 관절면	27	83	16	5	3	3
슬개골 외측 관절면	18	92	6	7	2	3
대퇴골 활차면 내측	22	88	11	5	5	1
대퇴골 활차면 외측	13	97	5	3	2	3
내측 대퇴골과	36	74	12	10	7	7
외측 대퇴골과	4	106	2	1	0	1
내측 경골편평부	29	81	16	6	2	5
외측 경골편평부	13	97	9	1	0	3

1: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5 등급으로 분류하였다. 각 단위는 병변이 있었던 구획수로 총 162 구획에 있었으며, 각 구획마다 110개의 연골이 있다.

3. 슬관절경 검사와 자기 공명 영상간의 연골 연화증의 비교 분포

가. 이차원 영상과 슬관절경 검사와의 비교

이차원 영상을 종합 분석한 결과, 연골 연화증이 없던 718구획 중 673구획을 정상으로 판정하였으며, 나머지는 1등급 7구획, 2등급 20구획, 3등급 11구획으로 그리고 4등급 7구획으로 분류하였다. 1등급은 77구획 중 6구획만이 1등급으로 분류하였고, 65구획은 정상으로 분류하였다. 2등급 38구획 중에서는 18구획을 정상으로 분류하였고, 9구획을 2등급으로 하였다. 4등급은 26구획 중 20구획에서 4등급으로 분류하였다 (표 3).

표 3. 슬관절 이차원 영상¹과 슬관절경의 연골 연화증 비교 분포²

자기 공명 이차원 영상 등급 ³	슬관절경				
	0 등급	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급
0 등급	673	65	18	1	0
1 등급	7	6	3	0	1
2 등급	20	2	9	4	1
3 등급	11	2	5	9	4
4 등급	7	2	3	7	20
총 수	718	77	38	21	26

- 1: 이차원 영상은 축상면 경사 에코와 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상의 시상면과 관상면을 포함한 것임.
- 2: 단위는 구획의 수로 총 880구획임.
- 3: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5등급으로 분류하였다.

나. CISS 영상과 슬관절경 검사와의 비교

슬관절경에서 정상으로 분류된 718구획 중, 684구획을 정상으로 분류하였으며, 1등급을 7구획에서, 2등급을 16구획에서 분류하였다. 1 등급 77구획 중에서는 68구획을 정상으로 판독하였으며, 4구획만을 1등급으로 분류하였다. 2등급은 8구획에서, 3등급은 7구획에서, 4등급은 20구획에서 슬관절경 등급과 같이 분류하였다 (표 4).

다. 이차원 영상과 CISS 영상을 종합한 자기 공명 영상의 연골 연화증 분류와 슬관절경 검사와의 비교

이차원 영상과 CISS영상을 종합한 종합 영상에서는 718구획의 정상 중

표 4. CISS 영상과 슬관절경의 연골 연화증의 비교 분포¹

CISS 영상등급 ²	슬 관 절 경				
	0 등급	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급
0 등급	684	68	17	2	1
1 등급	7	4	7	1	0
2 등급	16	2	8	5	1
3 등급	4	3	3	7	4
4 등급	7	0	3	6	20
총 수	718	77	38	21	26

1: 단위는 병변이 있던 구획의 수로 총 880 구획임.

2: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5등급으로 분류하였다.

673구획에서 정상으로 분류하였고, 1등급 77구획 중 65구획을 정상으로 분류하였다. 1등급에서는 6구획을, 2등급에서는 11구획을, 3등급에서는 9구획을, 4등급에서는 20구획을 슬관절경과 같은 등급으로 분류하였다.(표 5).

표 5. 자기 공명 영상의 종합 영상과 슬관절경의 연골 연화증의 비교 분포¹

자기 공명 영상 종합 등급 ²	슬 관 절 경				
	0 등급	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급
0 등급	673	65	18	1	0
1 등급	7	6	3	0	1
2 등급	20	2	9	4	1
3 등급	11	2	5	9	4
4 등급	7	2	3	7	20
총 수	718	77	38	21	26

1: 단위는 병변이 있던 구획의 수로 총 880 구획임.

2: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5 등급으로 분류하였다.

라. 슬관절경 분류의 각 등급에 따른 자기 공명 영상의 각 기법의 예민도
 슬관절경으로 분류한 연골 연화증의 등급대로 각 구획에서 등급을 분류한 경우, 이차원 영상이 CISS 영상에 비해 높았으며, 종합적으로 판독한 경우가 모든 등급에서 높은 예민도를 보였으나, 통계학적인 의의는 없었다(표 6).

표 6. 각 자기 공명 영상 기법의 슬관절경의 연골 연화증 등급¹에 대한 예민도²

자기 공명 영상 기법	슬관절경				
	0 등급	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급
이차원 영상 ³	93.74	7.79	23.68	42.86	76.92
CISS 영상	95.26	5.19	21.05	32.33	76.92
종합 영상 ⁴	94.42	7.79	28.95	52.38	73.08

- 1: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5 등급으로 분류하였다.
- 2: 예민도의 단위는 %임.
- 3: 이차원 영상은 축상면 경사 에코와 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상의 시상면과 관상면을 포함한 것임.
- 4: 종합 영상은 이차원 영상과 CISS 영상을 종합적으로 판독한 것임

4. 자기 공명 영상 기법간의 연골 연화증 등급 분류 분석

가. 연골 연화증 발견도

슬관절 자기 공명 영상의 이차원 영상에서는 총 162구획 중 78구획(48.15%)을 발견하였으며, CISS영상에서는 74구획(45.68%)을 발견하였고, 이들을 종합적으로 판독한 결과 80 구획(49.38 %)을 발견하였다. 종합적으로 판독하였던 경우가 높은 발견율을 보였으나, 통계학적인 의의는 없었다.

나. 각 기법간의 예민도, 특이도 및 정확도 분석

슬관절 자기 공명 영상의 이차원 영상에서 각 구획과 연골 연화증이 일치하였던 경우, 27.16 %의 예민도를 나타내었고, CISS 영상에서는 24.07 %의 예민도를 보여 감소하였으나, 종합적으로 판독하였을 경우에는 29.01 %의 예민도로 증가하였다. 이와 함께 정확도는 이차원 영상이 81.48 %인 반면, CISS 영상이 82.16 %, 종합적 판독이 82.39 % 였다(표 7). 하지만 이들간의 통계학적인 의의는 없었다.

각 슬관절 구획에서 한 등급의 차이는 맞은 등급으로 인정하였을 때에는 이차원 영상의 예민도가 42.59%, CISS 영상의 예민도가 40.74%, 종합적인 판독이 43.83%였으며, 정확도는 CISS영상이 85.22%로 가장 높았다(표 8). 하지만, 이들간에도 통계학적인 의의는 없었다.

표 7. 슬관절의 각 구획에서 연골 연화증을 정확한 등급¹으로 분류한 경우의 슬관절경 분류에 대한 자기 공명 영상 각 기법의 예민도², 특이도² 및 정확도²

자기 공명 영상	예민도	특이도	정확도
이차원 영상 ³	27.16	93.73	81.48
CISS 영상	24.07	95.26	82.16
종합 영상 ⁴	29.01	94.57	82.39

- 1: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5 등급으로 분류하였다.
- 2: 예민도, 특이도 및 정확도의 단위는 % 임.
- 3: 이차원 영상은 축상면 경사 에코와 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상의 시상면과 관상면을 포함한 것임.
- 4: 종합 영상은 이차원 영상과 CISS 영상을 종합적으로 판독한 것임.

표 8. 슬관절의 각 구획에서 자기 공명 영상에서 분류한 연골 연화증의 등급¹ 중 슬관절경 등급에 대하여 한 등급의 차이를 인정하였을 경우의 자기 공명 영상 각 기법의 예민도², 특이도² 및 정확도²

자기 공명 영상	예민도	특이도	정확도
이차원 영상 ³	42.59	93.73	84.32
CISS 영상	40.74	95.26	85.22
종합 영상 ⁴	43.83	94.57	85.11

- 1: 연골 연화증의 등급은 Outerbridge 가 제안한 5 등급으로 분류하였다.
- 2: 예민도, 특이도 및 정확도의 단위는 % 임.
- 3: 이차원 영상은 축상면 경사 에코와 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상의 시상면과 관상면을 포함한 것임.
- 4: 종합 영상은 이차원 영상과 CISS 영상을 종합적으로 판독한 것임.

IV. 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(Outerbridge 및 Dunlop, 1975).

자기 공명 영상은 다른 방사선 검사에 비해서 X 선에 의한 방사선의 해가 없으며, 주위 조직간의 대조도가 좋아서 골, 근육, 인대, 연골 등의 여러 조직으로 이루어진 근골격계에서 일반 X 선 촬영 다음으로 초음파 검사와 함께 많이 이용하고 있다. 관절 연골을 평가하는데 있어서는 X선 촬영은 직접적인 연골의 이상을 알 수 없고, 간접적인 변화를 보게 되고, 초음파 검사는 일부 제한된 부위만 관찰할 수 있다. 반면에 자기 공명 영상 검사는 보고자 하는 관심 영역내의 모든 조직을 구별하여 관찰할 수 있다. 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(Suh 등, 1996; Bredella 등, 1999). 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(Hodler 및 Resnick, 1996 ; Link 등, 1997). 1등급이나 2등급 등의 초기 병변에서는 예민도가 0-20%정도로 낮게 보고한 경우도 있고, 전체 예민도와 정확도를 52%와 70%정도로 보고한 경우도 있다(Recht 등, 1993; Gagliardi 등, 1994).

고식적인 T2 강조 영상은 영상 획득 시간이 오래 걸린 반면에, 급속 스핀 에코는 시간을 줄일 수 있어서 근래에는 이 방법을 사용하고 있다. 하지만 이 기법으로는 지방 조직이 일반적인 T2 강조 영상에 비해 높은 신호 강도를 갖는 단점이 있다. 일반적으로 급속 스핀 에코 T2 강조 영상을 얻을 때에 두 개의 에코 펄스를 사용하여 양성자 밀도 영상과 T2 강조 영상을 동시에 얻는다. 양성자 밀도 영상은 T1 강조 영상보다는 연골과 활액과의 대조도가 좋지만, 그 경계 부위가 뚜렷하지 않아서 예민도와 정확도는 다른 방법들에 비해 낮아서 예민도는 28% 에서 62%, 정확도는 50%에서 69% 정도로 보고하고 있다(McCauley 등, 1992; Recht 등, 1993; Gagliardi 등, 1994). T2 강조 영상에서는 T1 강조 영상과 양성자 밀도 영상에서 보이는 관절 연골의 층상 구조가 보이지 않으며, 연골이 균일한 저 신호 강도로 나타난다. 이와 함께 물성분은 고 신호 강도로 나타나서 연골과 활액과의 대조도는 높은 반면, 연골과 연골하 골과의 대조도는 낮아서 연골 심층의 변화에 대한 예민도는 낮다 (Peterfy 등, 1994). T2 강조 영상에 대한 예민도는 연구자들에 따라 30% 에서 72%로 보고하고 있고, 특이도는 58%에서 100%, 정확도는 68%에서 94%로 다양하다(McCauley 등, 1992; Recht 등, 1993; Gagliardi 등, 1994; Guckel 등, 1995; 윤삼현 및 하두희, 1999; Bredella 등, 1999). 이번 연구에서는 경사 에코와 급속 스핀 에코를 병행하여 영상을 분석하였으며, 27.16%의 예민도와 93.73%의 특이도, 81.48%의 정확도를 보여 예민도는 낮았으나, 특이도와 정확도는 다른 연구들과 비슷한 결과를 보였다. 예민도가 특히 낮았던 이유는, 그동안의 다른 연구들에서는 1등급의 연골 연화증의 비율이 적었으나, 이번 대상에서는 병변이 있던 총 162구획 중 77구획이 1등급이었으며, 이 중 정상으로 판독한 경우가 65구획이었고, 6구획(7.79 %)만을 1등급으로 분류하였던 것으로 생각된다. 자기 공명 영상의 판독시 1등급의 차이를 인정하였을 때는 예민도는 42.59%로 증가하였다.

급속 스핀 에코는 지방이 높은 신호 강도를 갖기 때문에 지방 억제 기법을 이용하여 연골과 주위 조직의 대조도를 높여 보다 정확한 진단률을 보고하고도 있어서, 이에 대한 예민도는 59%에서 91%, 특이도는 91%에서 99%, 그리고 정확도는 68%에서 98%로, 진단의 특이도와 정확도를 높일 수 있다 (Broderick 등, 1994; Leersum 등, 1996; Bredella 등, 1999).

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 병변에 대한 소실도 억제할 수 있다. 또한 이와 함께 얻어진 기초 자료를 이용하여 여러 평면으로 재구성할 수도 있다. 이런 이유로 많은 저자들이 이에 대한 유용성을 평가하였고, 50%에서 100%의 예민도, 79%에서 100%의 특이도, 73%에서 100%의 정확도를 보고하였다 (Recht 등, 1993; Gagliardi 등, 1994; Kramer 등, 1994; Guckel 등, 1995; Brossmann 등, 1997; 이영준 등, 1999). 또한 이런 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%에서 96%의 예민도, 95%에서 99%의 특이도, 93%에서 99%의 정확도를 보고하였다(Recht 등, 1993; Disler 등, 1994; Disler 등, 1995; Disler 등, 1996; Recht 등, 1996; Suh 등, 1996; Disler, 1997). 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 (Link 등, 1997; Bredella 등, 1999).

관절 연골의 대조도를 높이기 위한 방법으로 자화 전이 기법을 이용하기도 한다. 자화 전이 기법은 거대 분자에 결합하여 있는 양성자를 선택적인

자장을 걸어 억제시켜서 자유로이 움직일 수 있는 양성자의 효과를 높이는 방법으로, 유리질 연골에는 교원질 섬유가 많아서 자화 전이 효과가 많이 일어난다. 이런 이유로 인해 관절 연골과 활액과의 대조도를 높일 수 있다. 또한 자화 전이 기법을 추가한 영상과 추가하지 않은 영상을 감산하여 영상을 얻으면 관절 연골이 양대조도를 갖게 되어 보다 높은 대조도를 가질 수 있다. 하지만, 이 경우에는 활액막 비후와 관절 연골과의 대조도는 낮아지게 된다(Peterfy 등, 1994; Seo 등, 1996; Yao 등, 1996; 이영준 등, 1999). 이번 연구에서도 축상면의 영상을 얻을 때는 경사 에코인 고속저각영상획득 기법에 자화 전이 기법을 응용하여 관절 연골의 대조도를 높였다. 하지만, 이 경우 슬와 동맥의 박동성 인공 음영에 의하여 연골내 가성 병변이 나타나기도 하였다.

이와는 달리 관절내에 직접 희석한 조영제를 주사하여 자기 공명 관절 조영술을 하기도 한다. 기법과 연골 연화증의 등급에 따라 80%에서 100%의 예민도를 갖으나, 1등급의 경우는 0%에서 29%로 보고하기도 하였다. 특이도는 등급에 따라 98%에서 100%, 정확도는 91%에서 100%로 보고하였다(Chandnani 등, 1991; Gagliardi 등, 1994; Kramer 등, 1994). 하지만, 이는 침습적인 방법이며, 이와 함께 시간과 돈의 소모를 초래한다.

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 (Casselmann 등, 1993; Stehling 등, 1995). 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(Casselman 등, 1993; Casselman 등, 1996). 최근에는 경추의 자기 공명 척수강 조영술에도 이용하기도 한다.

슬관절 내에는 관절 활액이 정상적으로 자기 공명 영상으로 나타나고, 특히 슬개골-대퇴골 관절면에 존재하기 때문에 관절 연골을 평가하는데 있어서 CISS 영상의 유용성을 기대하였다. 이 기법만으로 연골 연화증을 판독하였을 때는 예민도 24.07%, 특이도 95.26%, 정확도 82.16%로 급속 스핀 에코와 경사 에코를 함께 판독한 경우와 차이가 없었다. 1 등급의 연골 연화증을 제외하면 41% 정도의 예민도를 나타내었다. 하지만 특이도와 정확도는 다른 삼차원 영상과 유사한 결과를 보였다.

이 CISS 영상은 다른 영상 기법들에 비해 몇가지의 장점을 들 수 있다. 첫째, 이 CISS 영상을 획득하는데 걸리는 시간은 6분42초로 다른 삼차원 영상 기법과 비슷한 반면, 위상 부호 단계의 수가 512로 더 좋은 평면내 해상도를 제공한다. 둘째, 비록 연골 연화증의 등급에 대한 정확도는 높지 않았으나, 실제로 영상을 판독할 때 주위와의 관계를 보다 선명하게, 명확히 판별할 수 있고, 주위 조직과의 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 경우도 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 대하여 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. 시상면과 관상면의 급속 스핀 에코와 축상면의 경사 에코와 함께 CISS 영상을 판독하였을 때는 비록 통계학적인 의의는 없었으나, 예민도와 정확도가 증가하였다.

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, 연구자의 기억에 의한 오차가 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 videoarthroscope을 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.

CISS 영상이 연골 연화증을 단독으로 판독할 경우의 예민도는 높지 않으나, 일반적인 다른 급속 스핀 에코와 병행함으로써 정확도를 높일 수 있으며, 추후로는 전향적인 분석으로 수술 당시 보다 정확한 기록과 판독시의 정확한 기록을 통한 분석이 필요할 것이다. 또한 CISS 영상의 높은 해상도로 다른 관절에서의 유용성에 대한 평가도 필요할 것이다.

V. 결 론

슬관절 연골 연화증을 수술 전에 진단하는데 있어서 슬관절경을 시행한 110슬관절을 대상으로, 자기 공명 영상에서 CISS 영상의 유용성을 알아보기 위하여, 이차원 영상기법으로 급속 스핀 에코 양성자 밀도와 T2 강조 영상의 시상면과 관상면 영상과 자화 전이 기법을 이용한 고속 저각 영상 획득 기법의 축상면 영상으로 종합적으로 판독하고, CISS 영상을 단독으로 판독하였으며, 다시 이들을 종합하여 슬관절경의 분류와 비교하였다.

이차원 영상에서 연골 연화증의 등급과 위치를 정확하게 분류한 경우는 예민도가 27.16%, 정확도가 81.48% 였으며, CISS 영상이 예민도 24.07%, 정확도 82.16%로 예민도가 낮았으나, 이들을 모두 종합적으로 판독한 경우는 예민도가 29.01%, 정확도가 82.39%로 증가하였다. 하지만, 이들간의 통계학적인 의의는 없었다.

이상의 결과로 CISS 영상 단독은 급속 스핀 에코에 비해 연골의 병변을 진단하는데 있어서 낮은 결과를 보이나, 이를 추가함으로써 보다 정확한 진단에 도움이 될 것이다. 추후로는 근골격계에서 다른 부위의 연골에 대한 진단과 다른 연부 조직에 대한 CISS 영상의 유용성에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- 김동준, 서진석, 정은기, 신규호, 양우익: 관절연골의 자기공명영상에서의 층상구조와 조직학 소견의 상관관계. 대한방사선학회지 40:355-361, 1999
- 윤삼현, 하두희: 슬관절 연골 연화증의 진단에서의 dual echo in steady state(DESS) 영상의 유용성: 급속스핀에코 자기공명영상과 비교. 대한자기공명의과학회지 3:66-72, 1999
- 이영준, 주은영, 은충기: 관절 연골의 자기공명영상: 다평면 및 3차원 경사에코, 스핀 에코, 터보스핀에코에서 자화 전이 및 지방 억제 기법의 비교. 대한방사선의학회지 40:577-584, 1999
- Bredella MA, Tirman PF, Peterfy CG, Zarlingo M, Feller JE, Bost FW, Belzer JP, Wischer TK, Genant HK: 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* 172:1073-1080, 1999
- Broderick LS, Turner DA, Renfrew DL, Schnitzer TJ, Huff JP, Harris C: Severity of articular cartilage abnormality in patients with osteoarthritis: evaluation with fast spin-echo MR vs arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol* 162:99-103, 1994
- Brossmann J, Frank L, Pauly JM, Boutin RD, Pedowitz R, Haghighi P, Resnick D: Short-echo time projection reconstruction MR imaging of cartilage: comparison with fat-suppressed spoiled GRASS and magnetization transfer contrast MR imaging. *Radiology* 203:501-507, 1997
- Casselmann JW, Kuhweide R, Ampe W, D'Hont G, Offeciers EF, Faes WK, Pattyn G: Inner ear malformations in patients with sensorineural hearing loss: detection with gradient-echo (3DFT-CISS) MRI. *Neuroradiology* 38:278-286, 1996

Casselmann 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* 14:59-69, 1993

Casselmann 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* 14:47-57, 1993

Chandnani VP, Ho C, Chu P, Trudell D, Resnick D: Knee hyaline cartilage evaluated with MR imaging: a cadaveric study involving multiple imaging sequences and intraarticular injection of gadolinium and saline solution. *Radiology* 178:557-561, 1991

Disler DG: Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-recalled MR imaging: assessment of articular and physal hyaline cartilage. *AJR Am J Roentgenol* 169:1117-1123, 1997

Disler DG, McCauley TR, Kelman CG, Fuchs MD, Ratner LM, Wirth CR, Hospodar PP. 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* 167:127-132, 1996

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* 165:377-382, 1995

Disler DG, Peters TL, Muscoreil SJ, Ratner LM, Wagle WA, Cousins JP, Rifkin MD: Fat-suppressed spoiled GRASS imaging of the knee hyaline cartilage: Technique optimization and comparison with

- conventional MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 163:887-892, 1994
- Erickson SJ, Waldschmidt JG, Czervionke LF, Prost RW: Hyaline cartilage: Truncation artifact as a cause of trilaminar appearance with fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-recalled sequences. *Radiology* 201:260-264, 1996
- Frank LR, Brossmann J, Buxton RB, Resnick D: MR imaging truncation artifacts can create a false laminar appearance in cartilage. *AJR Am J Roentgenol* 168:547-554, 1997
- Gagliardi JA, Chung EM, Chandnani VP, Kesling KL, Christensen KP, Null RN, Radvany MG, Hansen MF: Detection and staging of chondromalacia patellae: Relative efficacies of conventional MR imaging, MR arthroscopy, and CT arthroscopy. *AJR Am J Roentgenol* 163:629-636, 1994
- 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* 21:25-33, 1995
- Hamerman D: The biology of osteoarthritis. *N Engl J Med* 320:1322-1330, 1989
- Heron CW, Calvert PT: Three-dimensional gradient-echo MR imaging of the knee: Comparison with arthroscopy in 100 patients. *Radiology* 183:839-844, 1992
- Hodler J, Resnick D: Current status of imaging of articular cartilage. *Skeletal Radiol* 25:703-709, 1996
- Kramer J, Recht MP, Imhof H, Stiglbauer R, Engel A: Postcontrast MR arthrography in assessment of cartilage lesions. *J Comput Assist Tomogr* 18:218-224, 1994

- Leersum M, Schweitzer ME, Gannon F, Finkel G, Vinitiski S, Mitchell DG: Chondromalacia patellae: An in vitro study. Comparison of MR criteria with histologic and macroscopic findings. *Skeletal Radiol* 25:727-732, 1996
- Link TM, Lindner N, Haeussler M, Reimer P, Allkemper T, Jerosch J, Peterfy C, Majumdar S, Peters PE: Artificially produced cartilage lesions in small joints: Detection with optimized MRI-sequences. *Magn Reson Imaging* 15:949-956, 1997
- McCauley TR, Kier R, Lynch KJ, Jokl P: Chondromalacia patellae: Diagnosis with MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 158:101-105, 1992
- Outerbridge RE, Dunlop JAY: The problem of chondromalacia patellae. *Clin Orthop* 110:177-196, 1975
- 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 saturatio transfer and fat-suppressed T1-weighted sequences. *Radiology* 191:413-419, 1994
- Recht MP, Kramer J, Marcelis S, Pathria MN, Trudell D, Haghghi P, Sartoris DJ, Resnick D: Abnormalities of articular cartilage in the knee: analysis of available MR techniques. *Radiology* 187:473-478, 1993
- 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* 198:209-212, 1996
- Rubenstein JD, Kim JK, Morava-Protzner I, Stanchev PL, Henkelman RM: Effects of collagen orientation of MR imaging characteristics of bovine articular cartilage. *Radiology* 181:219-226, 1993

- Seo GS, Aoki J, Moriya H, Karakida O, Sone S, Hidaka H, Katsuyama T: Hyaline cartilage: in vivo and in vitro assessment with magnetization transfer imaging. *Radiology* 201:525-530, 1996
- Solomon SL, Totty WG, Lee JKT: MR imaging of the knee: Comparison of three-dimensional FISP and two-dimensional spin-echo pulse sequences. *Radiology* 173:739-742, 1989
- Stehling MK, Nitz W, Holzknrecht N: Fast and ultrafast MR imaging: Basic principles and pulse sequences. *Radiologe* 35:879-893, 1995
- 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* 6:884-888, 1996
- Uhl M, Ihling C, Allmann KH, Laubenberger J, Tauer U, Adler CP, Langer M: Human articular cartilage: In vitro correlation of MRI and histologic findings. *Eur Radiol* 8:1123-1129, 1998
- 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* 17:1387-1402, 1997
- Yao L, Gentili A, Thomas A: Incidental magnetization transfer contrast in fast spin-echo imaging of cartilage. *J Magn Reson Imaging* 1:180-184, 1996

Abstract

Evaluation of of chondromalacia in the knee joint using three dimensional Fourier transformation constructive interference in steady state

Doo Hoe Ha

Department of Medicine

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Assistant Professor Eun-Keel Jeong)

The purpose of this study was to assess the usefulness of 3 dimensional Fourier transformation constructive interference in steady state(CISS) in detecting and grading chondromalacia of the knee joint. Total 110 knee joints which had undertaken MR imaging and arthroscopy were analyzed. MR imaging sequences included two dimensional(2D) turbo spin-echo dual echo imaging along the sagittal and the coronal planes and 2D fast low angle shot(FLASH) with magnetization transfer along the axial plane, and 3D sagittal CISS. After cartilage surface was divided into 8 areas in each joints, total 880 areas were assessed. Chondromalacia was graded into 5 scales according to modification scheme proposed by Outerbridge. Grading of the chondromalacia was done with 2D imaging and CISS imaging, respectively at different session and then redone with 2D imaging and CISS imaging. On arthroscopy, chondromalacia was evident in 162 areas. The first grade was in 77 areas, 2nd grade in 38 areas, 3rd grade in 21 areas, and 4th grade in 26 areas. Sensitivity, specificity and accuracy of 2D imaging and CISS imaging were 27.16%, 93.73%, 81.48%, and 24.07%,

95.26% and 82.16% respectively. When reviewing the imaging all together, sensitivity, specificity and accuracy tended to increase to 29.01%, 94.57% and 82.39%, respectively. If one grade difference was accepted, sensitivity of 2 D imaging, CISS imaging, and combined imaging were 42.59%, 40.74%, and 43.83%, respectively. But these were statistically insignificant. In conclusion, CISS imaging was not as much sensitive for detecting and grading chondromalacia as 2D imaging, but combination with CISS imaging and 2D imaging improved accuracy for grading of chondromalacia.

Key Words : Knee, MR imaging ; articular cartilage, MR imaging ;
MR imaging, constructive interference in steady state