

# MR Arthrography

## 충남의대 권순태

자기공명 관절조영술 (MRA)은 견관절에서 중점적으로 연구되어왔고 최근에는 고관절에서 관절순의 병변을 보기 위해 시도되고 있고, 슬관절 및 주관절에서도 일부병변에서 응용되고 있다. MRA의 기법으로는 관절강내에 조영제나 생리식염수를 주입후 영상을 얻는 침습적인 직접 MRA와 Gadolinium (Gd)-복합체를 정주하고 일정시간 운동을 한후 관절강내 조영제의 확산에 의해 대비를 얻는 간접 MRA로 대별할 수 있다. 이에 MRA의 기전 및 기법과 각 관절에서의 그 유용성과 응용을 살펴보고자 한다.

### 1. MRA의 기전 및 영상기법

관절내 정상 구조물과 병적 변화를 영상화하는데 MRI의 역할은 잘 확립되어 있다. 다소의 활막액이 관절강 구조물의 조영에 유리하지만 없는 경우 관절강내에 Gd-복합체나 생리 식염수를 주입하여 영상을 얻을 수 있다. Gd-복합체를 생리식염수에 희석한후 관절강내에 주입하고 짧은 TR/TE pulse sequence를 얻거나 생리식염수만을 주입후 긴 TR/TE pulse sequence를 얻으면 관절강내 구조물과 관절액 사이의 좋은 신호대조비를 얻을 수 있다. 또한 정맥내 조영제를 주입하고 일정시간 운동후 (10 내지 15분) 관절강내로 확산된 조영제의 신호강도 대비로 좋은 영상을 얻을 수도 있다.

#### 1) 직접 MR 관절조영술

일부 제한된 경우에 활막 등 관절을 검사하기 위해 관절강내 유체를 주입후 영상을 얻는 MRA가 최근 유익한 기법으로 응용되고 있다. 관절강내에 활막액이 거의 없는 경우 생리식염수에 Gd-복합체를 희석시켜 (0.5-2 mmol/L solution) 관절강내 주입후 T1-강조영상을 얻을 수 있다. 관절강내의 Gd-복합체 희석액의 용량은 일반적으로 견관절 15-20 mL, 주관절 8-12 mL, 완관절 1.5-3 mL, 고관절 10-20 mL, 슬관절 30-40 mL가 적당하다. T1-강조영상의 장점으로서 영상획득시간이 짧고 대비와 공간분해능이 아주 좋은 점을 들 수 있다. 다른 방법으로는 생리식염수만을 관절강내에 주입후 T2-강조영상을 얻어 고신호강도의 액체와 낮은 신호강도의 다른 구조물들과의 좋은 대조도를 얻게된다. 고식적 이중-조영 관절조영술과는 달리 공기가 들어가지 않도록 하여 인공영상을 피하여야한다. 영상면은 시상면, 관상면, 축상면의 지방억제 T1-강조영상이 기본이지만 관절에 따라 사위면을 추가하거나 응용하여 얻는다. 골수와 근육 등의 연부조직의 신호강도를 파악하기 위해 지방억제 없이 관상면 T1-강조영상과 이중에코 시상면 양자밀도 및 T2-강조영상을 추가로 얻기도 한다. 특히 고관절의 경우 지방억제 영상면만 얻으면 무혈성괴사 등의 골수변화를 알 수 없는 경우도 있다. 조영제의 농도가 너무 높거나 사진의 조작

과정에서 (film processing) window width 및 level이 적절하지 않으면 병변이 왜곡되어 위양성 및 위음성을 초래할 수 있다.

## 2) 간접 MR 관절조영술

간접 MRA의 이론적 배경은 활막 (synovium) 구조의 특이성과 Gd의 작은 분자량 (591.6)에 근거한다. 정상 활막은 활막내막과 활막하조직으로 구성되어 있는데 내막은 한 두개의 얇은 활막세포로 구성되어 있고, 세포간에 확실한 접합부 (tight junction) 및 기저막 (basement membrane)이 없어 투과성이 아주 크기 때문에 활액은 사실상 세포외액으로 간주된다. 정주된 분자량이 작은 Gd-복합체는 쉽게 간질에 분포되고 관절강내에 확산되게 된다.

Winalski (1991), Drape (1992) 등에 의하면 Gd 정주후 외상을 받은 슬관절강내 확산에 대한 연구에서 정주후 활막액이 조영증강이 되었고 운동후에는 신호강도가 더 증가하였으며, 조영제 정주후 지연영상에서 반월판과 연골의 손상을 잘 관찰할 수 있었다. 이후 특히 견관절과 고관절 등에서 활발하게 임상적 연구가 진행중이다. Vahlensieck 등에 의하면 간접 MRA의 적절한 방법과 임상적 응용에서 sequence로는 지방억제 조영증강후 SE영상이 관절강내와 주위조직과의 대비가 6배정도 증가되었고, 운동의 효과로는 운동후 (10내지 15분) 관절강내 신호강도가 약 330%정도 증가되어 약 40분 정도 지속되었다. 조영제의 농도는 0.1, 0.2, 0.4 mmol/kg중에서 관절강 내 연골의 대조비는 0.4 mmol/kg에서, 관절강 대 골수의 대조비는 0.2 mmol/kg이 가장 높았다.

영상면은 직접 MRA와 마찬가지로 시상면, 관상면, 축상면을 지방억제 T1-강조 영상을 기본으로 얻고 사위면을 관절에 따라 추가한다.

간접 MRA의 단점으로는 첫째, 직접 관절강조영술에 비해 확장이 되지 않아 관절낭 또는 연조직의 손상을 잘 볼 수 없다는 점이다. 두 번째의 단점으로는 혈관, 점액낭, 건초를 포함한 관절에 인접한 관절의 구조물의 조영증강이다. 급성 및 아급성 슬관절 외상의 경우 손상주변 인대의 조영증강으로 진단의 정확도가 떨어지고, 특히 견관절에서는 견봉하 점액낭의 조영증강으로 점액낭염과 극상근의 진단의 특이도가 떨어진다. 그 외에 관절강 주변의 조영증강으로 관절강과의 가성교통을 볼 수 있고 T2-강조영상보다 관절강이 확대되어 보인다.

## 2. MR 관절조영술의 유용성 및 각 관절에서의 응용

### 1) 견관절

견관절의 불안정성의 진단에 MRA가 유용하고, 관절순의 파열 및 정상변이, 관절낭의 이완성 및 파열 정도, 유리체 등의 진단에 그 민감도 및 특이도의 향상을 기대할 수 있다. 충돌 증후군에서도 일부 관절면의 부분파열의 진단에 MRA의 유용성이 보고되고 있다.

#### (1) 영상진단 및 기법

단순촬영소견에서 상완골 두와 관절와의 골 병변을 파악하고 관절강 내부의 병변

의 진단을 위해 이중관절조영술을 사용해왔지만 최근에는 일반적으로 고식적 관절 강조영술 단독보다는 CT 또는 MRI를 병행한다. CT 및 CT 관절조영술로 Hill-Sachs 및 관절순 병변의 진단은 민감도가 거의 100%로 보고되어 고식적 MRI와 같거나 우월하다. 그러나 MRI로 안정성의 수동적 기전에 중요하게 기여하는 인대와 관절낭 및 관절순 등 연 조직 손상의 유형과 동반손상의 정도를 평가할 수 있다. 고식적 MRI로 견관절의 안정성에 주요 구조물인 관절낭을 비롯한 상완와 인대, 관절순의 병변을 평가하는데 민감도와 특이도는 다소 낮으나 12-14 cm의 작은 FOV (field of view) 및 표면코일의 사용과 직간접 MR 관절조영술로 민감도 및 특이도가 90-95%로 진단의 정확도가 향상되었다. 영상면으로써 축상면, 사위관상면 및 사위시상면이 기본영상면이고 때로는 견관절을 외회전 및 외전 시키는 소위 탈구자세에서 축상면을 얻으면 전방관절순 또는 극상근의 관절면에서 부분 파열을 잘 관찰할 수 있다고 제안되어 있다

## (2) 견관절의 불안정성에서의 MRA

방향에 따른 견관절의 불안정성은 외상성 및 비외상성으로 대별할 수 있는데 외상성 불안정성 (TUBS)의 소견으로 관절순 및 관절낭을 포함하는 일반적 병변은 연골성 Bankart, 골성 Bankart, 관절낭 파열 및 감약 (attenuation), Glenolabral articular disruption (GLAD), Anterior labroligamentous periosteal sleeve avulsion (ALPSA), Humeral avulsion of glenohumeral ligament (HAGHL), BHAGL (bony humeral avulsion of the glenohumeral ligaments)병변을 들 수 있고 동반병변으로 Hill-Sachs 병변, SLAP 병변, 회전근개 파열, 유리체 (Loose body), 신경손상 (esp. axillary nerve), 근위축 등을 들 수 있다. 이중 SLAP병변의 유무 및 유형의 진단에 최근에 MRA에 의해 민감도와 특이도가 향상되는 것으로 보고되고 있다.

비외상성 불안정성 (AMBRI)은 일반적으로 뚜렷한 Hill-Sachs 병변 또는 Bankart 병변을 볼 수 없다. 고식적 MR영상에서도 TUBS와의 중복된 소견이 있으므로 MRA의 진단이 도움이 될 수 있고, 무엇보다도 병력과 이학적 검사가 중요하다. MRA 소견으로는 중 상완와 인대가 아주 작거나 없는 경우, 관절낭이 크거나, 느슨한 경우 (loose and redundant), 회전근개 간격 (rotator interval)이 넓은 경우도 불안정성의 한 원인이 될 수 있다.

## (3) 관절순의 변이

정상변이로는 관절순하 공 (sublabral foramen or hole)이 11-17%까지 보고되어 있고 SLAP 및 Bankart 병변과 감별을 요한다. 이외에 Buford 복합체, 반월판형 관절순, 전상방 관절순하 구 (sulcus), 가성 SLAP 병변 (상관절순과 상완 이두 건사이의 구)등이 보고되어 있다.

## (4) 관절낭의 관절와 부착 유형

Zlakin 등은 전방 관절낭의 부착에 따라 세 유형으로 나누었는데 Type 1은 관절순부착부위에 Type 2는 관절순에서 1 cm 이내 Type 3는 좀더 내측에 부착되는 유형으로 Type 3가 전방 견관절 탈구의 환자에서 빈도가 높다고 하였으나 조영제가

충만된 MRA에서는 측상면에서 특히 견갑하 동 (subscapular recess)과 감별을 요한다.

## 2) 주관절

상지에서 주관절의 병변은 견관절 및 완관절에 비해서 흔하지는 않다. 그러나 특정 운동선수나 직업적으로 팔을 많이 쓰는 사람에서 종종 병변을 볼 수 있다. 대부분 고식적 MRI로도 알맞은 표면코일과 영상 기법의 개발로 이들 병변에서 진단에 있어 골의 병변뿐만 아니라 인대 및 인접 연조직의 병변을 진단할 수 있다. 주관절의 안정성에 내외 측부인대의 역할이 중요한데 불안정성의 진단에 최근 MRA의 응용이 보고되고 있다. 이외에 골 연골의 손상 및 유리체의 진단에 응용할 수 있다.

### (1) 내측부인대의 손상

내측부인대 복합체는 전후방속 (anterior and posterior buldle) 및 횡 인대 (transverse ligament)로 구성된다. 전방속은 일차적으로 외반력에 저항한다. 측상면 및 관상면 MRI에서 단절되거나 부종으로 두꺼워진 인대를 관찰할 수 있다. 특히 전방속 및 LUCL의 주행에 평행하게 영상을 얻으려면 주관절의 완전 신전후 사위 관상면 (상완골에 대하여 후방으로 20도정도 기울여 scan)을 얻거나 20도 굴곡후 상완골에 평행하게 영상을 얻는다 (Cotten 등). 전방속의 심재 부분파열의 경우 고식적 MRI로는 진단이 어렵고 MR 관절조영술이 도움이 된다.

### (2) 외측부인대의 손상

외측부인대 복합체는 요측부인대 (radial collateral lig.), 윤상 인대, 외측 척측부인대 (LUCL, lateral ulnar collateral lig.)로 구성되고 LUCL는 외반력에 저항하고 후외측 회전 안정성에 중요하다. 외 상과염에서 총 신건의 파열과 더불어 외측부인대의 손상 (특히 LUCL)을 MRI에서 파악할 수 있다.

### (3) 박리성 골연골염 (OCD, Osteochondritis Dissecans)

청소년기의 투수 또는 체조선수에서 만성적으로 주관절의 외측 압축력은 상완골 소두 및 요골두에 OCD를 초래할 수 있다. 반복적 외반긴장 및 소두내의 상대적으로 적은 혈류가 그 기전으로 설명된다. 임상적으로는 병변의 안정성이 중요한데 고식적 MRI로도 진단에는 문제없지만 Gadolinium 주입후 시행한 MR 관절조영술에서 병기의 정확도가 향상된다.

## 3) 완관절

손목관절과 손은 인체에서 가장 섬세한 운동을 하는 관절로, 다수의 작은 뼈들과 연부조직이 복잡한 구조를 하고 있어 영상 진단이 어렵다. 최근 MRI의 해상력이 증가되고, 영상 기법 및 표면코일의 개발로 점차 그 이용이 증가되고 있는 추세이다. 또한 운동학적 (kinematic) 및 동적 (dynamic) 영상기법의 개발로 복잡한 손목관절의 불안정성에 그 응용이 기대된다. 대부분 고식적 MRI 진단이 가능하나 TFC

복합체 및 완관절인대 파열의 진단 등에 MRA가 응용되고 있다.

(1) 주상월상간 인대 파열 (SLL, scapolunate ligament tear)

SLL이 파열되면 월상골은 삼각골을 따르게 되고, 주상골은 월상골에 대하여 좀 더 굴곡이 되며, 주상월상각 (SL angle, 정상 30-60 도)이 증가된다. 월상골은 신전 (후굴곡) 되며 유두골이 근위부로 전위되며, 월상유두골각 (LC angle, 정상 0-30도) 역시 증가될 수 있다. 결국, DISI 양상을 보이게 된다. 시상면 MRI에서 각 수근골에 따라 이러한 각도를 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 축상면 MRI에서 파열된 수근골간 인대를 직접 진단할 수 있다. MRI의 진단은 관절경 소견과 비교하면 민감도, 특이도, 정확도가 각각, 86%, 100%, 95%로 보고된다.

(2) 월상삼각골간 인대 파열 (LTL, lunotriquetral ligament tear)

LTL가 파열되면 월상골은 주상골을 따르게 되고, 월상골은 굴곡되며 VISI양상을 보이게 된다. SL 각은 30도 이하로 감소되고 LT 각은 30도까지 측정될 수 있다. 관상면 T2\*WI 또는 지방억제 T2WI (FSE)에서 파열된 인대를 직접 확인할 수 있고, MR 관절조영영상에서 이의 파열 또는 천공을 확인할 수 있다. MRI상 73%에서 낮은 신호강도로, 25%에서는 인대내 중등도의 신호강도가 정상적으로 보인다. MRI의 진단은 관절경 소견과 비교하면 민감도, 특이도, 정확도가 각각, 50%, 100%, 80%로 보고된다

(3) 삼각 섬유연골성 복합체 (TFCC, triangular fibrocartilagenous complex)

TFC 파열은 보통 요측 부착부위에서 불연속성, 조각형태로 보이고 전후방향으로 파열면을 볼 수 있다. 반월판 상동은 T2\*WI에서 정상적으로 TFC보다 높은 신호강도로 보여 부분파열을 진단하기가 어렵다. MRI는 특히 수술후의 TFC의 평가 및 동반된 불안정성의 영상에 유용하다. TFC 파열의 진단에 MRI의 정확도는 관절 조영술과 비교할 때 95%, 관절경검사 및 관절절개술과 비교할 때 89%로 보고된다. 관절강 조영술시 투시상에서만뿐만 아니라 MR 관절조영영상에서 조영제가 각 관절강 분획내에 있는지의 유무로 파열 또는 천공을 확인할 수 있다.

#### 4) 고관절

대퇴골 두의 무혈성 골 괴사, 연부조직의 병변, 관절염, 종양 등은 고식적 MRI로도 진단이 가능하지만 최근 관절순, 관절낭 및 인대, 연골, 유리체의 병변을 진단하는데 MRA의 역할이 증대되고 있다. 직간접 MRA모두 응용할 수 있다. 특히 대부분의 고관절 MRI 검사에 사용되는 body 코일은 FOV (field of view)가 32-40 cm으로 해상도의 한계가 있으나, 견관절 코일을 응용하거나 최근에 개발된 표면코일 (Torso phased array coil)을 이용하면 작은 FOV (16-20 cm)에서 우월한 공간분해능과 신호 대 잡음비를 얻을 수 있다. 최근 보고된 관절순 파열에 대한 MRA의 민감도 및 정확도는 90% 및 91%로 고식적 MRI의 30 % 및 31%보다 월등하게 높다. 관절순의 검사에는 특히 scan의 방향이 중요한데 관절순의 방향에 직각이 되는 사위관상면과 사위시상면 (사위축상면)을 기본으로 포함시킨다. 사위관상면은 시상면

으로부터, 사위시상면은 관상면으로부터 각각 얻는다.

#### 4) 슬관절

슬관절에서도 관절강내에 조영제 (gadolinium)를 주입후 얻은 MRA에서 관절연골의 표면을 좀더 잘 볼 수 있고, 활액막의 병변 수술후의 반월판의 상태, 유리체의 발견 등에 응용할 수 있겠다. 간접 MRA로도 반월판 및 인대의 병변을 파악하는데 유용하고 최근에도 임상적 연구가 시도되고 있다.

##### (1) 관절연골 (Articular Cartilage)의 병변

###### (가) 박리성 골연골염 (Osteochondritis Dissecans, OCD)

단순촬영이나 이중-조영 관절조영술 또는 CT로도 관절연골의 작은 변화를 파악하기에는 적합하지 않다. 또한 OCD의 처치나 예후에 중요한 관절연골 표면의 상태나 연골편의 안정성의 유무를 결정하는데도 고식적 MRI로는 부적절하다고 보고되어 있다. SE T2-강조영상으로도 골편 사이의 유체와 육아조직을 구별하기 힘들기 때문이다. MRA에서는 OCD 유형 III 및 IV의 진단에 유용하다. Kramer 등에 의하면 OCD 진단의 정확도가 고식적 MRI의 39.3% (SE T1-강조영상) 및 57.4% (GRE)에서 MRA의 경우 92.9% (T1-강조영상) 및 100% (GRE)로 증가되었다고 보고하고 있다.

###### (나) 슬개골 연골 연화증 (Chondromalacia Patella)

슬관절에서 반월판, 인대 및 건의 병변을 진단하기 위한 MRI의 임상적 유용성은 잘 알려져 있으나 연골 연화의 진단은 아직까지 그 역할이 논쟁점으로 남아 있다. 연골 연화증의 단계별 진단의 민감도는 초기에는 상대적으로 낮고 진행된 경우 31%에서 100%까지 다양하다. 연골병변의 진단은 고식적 MRI에서는 지방억제후 2-D SPGR이 추천되고, 침습적인 MRA가 임상적으로 적용되고 있다. 최근 Giovangoni 등의 전반적 연골 연화증의 진단에 대한 침습적인 MRA의 진단 민감도, 특이도 및 진단 신뢰도는 93%, 97.6%, 91.5%로 동시에 실행한 고식적 MRI의 25%, 77.9%, 77.9%보다 높은 결과를 보였다. Gagliardi 등은 슬개골 연골 연화증의 발견과 진행 정도의 평가를 영상진단기별로 비교하였는데, 초기병변의 진단 민감도는 전부 낮고, 중등도 (grade 2 or 3)의 병변은 CTA 및 MRA가 지방억제 SPGR을 포함한 고식적 MRI보다 그 진단의 민감도가 높았다. 또한 관절조영술이 T2-강조영상보다 유의하게 우월하지는 않지만 T2-강조영상이 위양성 진단이 훨씬 많은 것으로 보고하고 있다. 그러나 Gylys-Morin 등은 MRA가 T2-강조영상보다 더 작은 연골성 병변을 진단할 수 있어 더 민감한 검사로 보고하였다. 슬개골 연골 연화증의 진단에서 CTA와 MRA를 비교하면 손상된 연골에서 조영제 흡수가 MRA에서 더 뚜렷하나, 초기 병변의 정확한 진단을 위해서는 좀 더 개발된 영상기법이 요구된다.

기타 골 및 연골표면의 작은 결손의 진단에 CTA 및 MRA가 유용한 이유는 조영제가 관절낭을 팽창시켜 연골 표면이 노출되기 때문이다.

## (2) 반월판 (Meniscus)의 병변

수술을 요하지 않는 Grade II 및 수술이 필요한 Grade III 반월판 병변을 진단하는 것이 중요하다. MRA는 다음과 같은 형태의 반월판 손상 즉, 1) 반월판-관절낭 분리 2) bucket-handle 형 파열 3) 가장자리(free edge)의 불규칙한 파열, 4) 노인, 5) 수술후의 반월판 평가 등의 진단에 유용하다. 특히 수술로 제거하거나 수술적 처치된 반월판의 재발성 파열인 경우 임상적 증상이 있어도 치유된 부위의 비정상적 신호강도로 고식적 MRI로는 정확한 진단이 쉽지 않다. Applegate 등에 의하면 재발성 파열된 반월판의 진단에 고식적 MRI와 MRA를 비교에서 전체적인 진단의 정확도는 66% 및 89%였지만 진단의 민감도는 절제정도에 따라 다양하였다. 즉, 25%-75% 또는 그 이상 절제된 경우 고식적 MRI로는 진단의 정확도가 낮지만 MRA 경우 정확도는 증가하였다.

## (3) 활액막 (Synovium)의 병변

활액막 추벽 증후군 (Synovial Plica Syndrome)은 임상적으로 슬개골 연골 연화증, 반월판 손상, 외측 지대 (retinaculum)의 병변, 슬개골 압박 증후군 등이 유사한 증상을 보여 영상진단의 역할이 크다. 그러나 활액이 거의 없거나 소량 있을 경우 고식적 CT 및 MRI로는 그 진단의 민감도 및 특이도가 낮다. 또한 슬개골 연골 연화증과 추벽이 동반되었던 경우가 37%에서 78%까지 다양하게 보고되고 있어 연골 연화증 및 비정상적인 내측 추벽의 진단에 CTA 및 직접 MRA의 역할이 크다. 간접 MRA에서는 관절낭의 충분한 팽창을 기대할 수 없어 진단의 민감도는 낮을 것으로 생각된다. 내측 추벽 및 슬개골 연골 연화증의 진단에 대한 CTA의 민감도/특이도는 각각 95%/100% 및 100%/73%로 보고되고 있다. 추벽 자체의 진단에 대한 MRA의 연구보고는 없지만 연골 연화증 및 연조직의 병변의 파악 및 다양한 절편을 얻을 수 있는 장점으로 진단의 정확도가 더 향상되리라 여겨진다.

이외에 골화가 되기 이전의 활액막성 연골종종 및 유리체의 발견에 단순촬영이나 고식적 CT에서의 진단 민감도는 낮아 CTA 및 MRA이 요구되기도 한다.

## 3. 결론

일반적으로 고식적 MRI만으로도 비침습적 영상획득, 다면영상, 뛰어난 연부조직 대비로 관절의 영상에 유용하다. 견관절에서는 침습적인 MRA의 이용이 받아들여지고 있고 최근에는 일부 고관절 및 슬관절에서 선택된 일부 질병 및 병변에서는 MRA가 진단의 민감도 및 정확도가 다른 영상법보다 높아 최근 임상적으로 많이 시도되고 있다. 결론적으로 관절 병변의 진단에 있어 MRA는 사전에 임상적으로 정확한 추정진단이 필요하고 이에 따른 적절한 영상기기 및 영상획득법의 선택이 요구된다.