

# 자기공명영상의 안전성

순천향의대 진단방사선과  
교수 김 일영

## 1. 자기공명영상 장치의 안전지침

1. 정 자기장
  2. 경사 자기장
  3. 라디오파 전 자기장
- ## 2. 급성 위해
- ## 3. 아급성 위해
1. 정자장 위해
  2. 시간 또는 경사 자장에 따라 변화하는 자장
  3. RF장(場)

## 4. 임신부의 자기공명영상 검사

## 5. 자기공명영상에 의한 협소공포증, 불안, 정서적 걱정

자기공명영상 촬영을 하는 동안 환자는 세가지 종류의 다른 전자기 방사선 (electromagnetic radiation)인 정자장 (static magnetic field), 경사 자장 (gradient or time varying magnetic fields)과 라디오파 (radiofrequency) 전자파에 노출되게 된다. 이러한 전자파는 많은 양이 노출될 경우 심각한 생물학적 영향을 미칠 수 있다.

자기공명영상 촬영중에 주로 노출되게 되는 정자장, 시간 또는 자장 경사에 따라 변화하는 자장, RF 펄스 장 등에서 생기는 세가지 위해에 대해서 설명 한다. 이들 세가지는 자장내에 있는 환자와, 종사원 및 환자나 다른 사람들에게 영향을 미칠 수 있다. MRI 검사하는 동안에는 모든 환자의 약 5%는 협소 공포증이 발생한다. 또한 환자의 약 10%는 검사 동안에 잠을 자는 경우도 있으며 그외 고가의 장비에 의한 검사에 대해 환자가 불안감을 느낄 수도 있다.

## 1. 자기공명영상 장치의 안전지침

1988년 미국의 식품안전국 (FDA)에서는 자기공명영상장치를 class III에서 class II로 변경하고 원래의 1982년 권장 안전 사항도 변경하였다. 현재의 미국 식품안전국의 자기공명영상 촬영중 노출되는 전자기 방사선노출 지침은 다음과 같다.

### 1. 정 자기장

정 자기장의 세기는 2.0T을 넘지않을것을 권장한다. 만약 촬영장치가 2.0T 이상인 경우에는 기기를 생산한 회사가 그 장치가 안전하다는 것을 입증하여야 한다.

### 2. 경사 자기장

적절한 경사자기장은 말초 근신경자극이 초래되지 않는 양이 허용기준이 된다. 이러한 것을 수치적으로 표시하면 다음과 같다. 자기공명장치의 최대 dB/dt는 6T/sec 이하이어야 한다. 단층 경사에서  $r > 120$  msec에서  $dB/dt < 20$  T/sec이하 일것을 권장한다.

### 3. 라디오파 전자기장

허용 노출량은 평균 특수 흡수율 (specific absorption rate, SAR)은  $< 0.04$  W/kg을 권장하며 그외 인체의 온도를  $1^{\circ}\text{C}$  이상 상승 시켜서 않된다. 머리에 있어서는  $38^{\circ}\text{C}$  이상이 되면 않되며, 몸통은  $39^{\circ}\text{C}$ , 팔다리는  $40^{\circ}\text{C}$  이상이 되어서는 않된다.

또 국제 방사선 방어위원회(IRPA, International Radiation Protection

Association)의 추천은 표 1와 2이다.

표 1. RF에 폭로되는 특수 흡수율(SAR)의 제한

직업	전신 폭로	인체 조직 폭로
직업적 근무자	0.4 W/kg	4.0 W/kg
일반인	0.08 W/kg	0.8 W/kg

쉬고 있을 때에 1W/Kg이고 운동을 할 때는 대사율이 15 W/Kg까지 증가한다. 그러나 MRI 자장에 장기간 노출된 효과는 알려지지 않았다. 어떤 개체에 특수 흡수율을 견디는 범위는 여러 인자 특히 산소 공급량과 습도에 달려있다. 혈액과 산소 공급이 부족한 경우 고환과 눈의 렌즈는 RF 에너지에 의해서 생물화적인 손상을 더 잘 받는다. 뼈의 골질의 치료는 골절 부위에 놓인 저주파 코일에 의해서 촉진 되지만 일시적인 맥박형 자장에 의해서는 촉진되지 않는다.

표 2. 국제 방사선 방호 협회(IRPA)가 추천하는 RF 방사선 폭로 한계.

주파수범위(MHz)	RF동력 밀도(단위 W/cm <sup>2</sup> )	
	직업적 폭로	일반인
0.1-1	100	20
>1-10	100/주파수	20/주파수
>10-400	10	2
>400-2 K	주파수f/40	주파수/200
>2K-300K		

## 2. 급성 위해

급성 위해는 항상 MR 영상 장치의 중앙에서 등자장 지역 근처에서 3차원적인 타원형 공간에 해당되는 정자장에 의해서 생겨난다. 이 장치의 가장 자리 또는 공전장(空電場, stray field)의 범위는 그 장치의 자장 강도와 자석의 형태에 의하지만, 초저 및 저자장과 영구 자석들은 등자장인 중앙으로부터, 많은 경우에 반경 1 m 보다는 작은 제한된 공전장을 갖는다. 자석의 구경이 큰 고자장 장치의 공전장은 이 자석이 잘 자장 보정(shimming) 되지 않는한 반경 15 m 또는 20 m에 해당되며 이런 것은 저 및 중자장 장치에 비교했을 때 더 크게 복잡하고 어렵게 한다.

사고를 예방하기 위하여 모든 사람은 MR장치가 있는 방으로 들어가기 전에 철저히 금속 탐지기로 검사를 받거나 손에 질 수 있는 작은 자석으로 대상물을 자성이 있나 없나를 검사하는 것이 필요하다. 자석이 있는 방이나, 자장내에 포함되는 기계의 이웃 방에서 일하는 모든 사람들은 중환자실 근무자, 청소부와 지역 소방서 직원을 포함 고자장의 위험에 대해서 교육을 받아야만 한다.

환자 자신에게서 특히 위험한 것은 작은 외과적 금속 이식물로, 중추 신경계에 있는 지혈 클립이나 기타 클립들은 자석이 끌어 당기거나 비틀리게 해서 그 위치가 바뀌면 출혈의 위험이 생긴다. 인체의 다른 곳에서는 치료후에 클립을 섬유화 등으로 둘러싸서 안정된 위치에 있기 때문에 비교적 위험이 적다.

1.5 T와 그 이하에서는 자석의 힘과 열력이 필터나 stent와 코일을 제자리에서 벗어나게 하지는 않지만 인공물, 그 중의 어떤 것은 매우 심한 공동 모양(black-hole)의 인공물을 만들 수 있다. Greenfield 필터 중에 경피적으로 사용되는 것같은 titanium은 강자성이 없으므로 MRI에서 가장 적합한 금속중에 하나라는 것이 밝혀졌다(표 3).

표 3. 많은 이식물들의 자기공명에 대한영향

물체	비껴짐(deflection)	최고 자장(T)
<b>동맥류 크립</b>		
Drake(301 SS)	yes	0.15
Drake(DR 14,16,20,24)	yes	1.5
Downs(Multipositional 17-PH)	yes	1.44
Heifetz(17-7PH)	yes	1.89
Heifetz(Elgiloy)	no	1.89
Kapp straight(404SS)	yes	1.44
<b>지혈 클립</b>		
Hemoclip(316L SS)	no	1.5
Hemoclip(tantalum)	no	1.5
Ligaclip(316L SS)	no	1.5
<b>심장 밸브</b>		
Beall	yes	2.34
Bjork-Shiley (convexo/concave)	no	1.5
Bkork-Shiley (universal-spherical)	yes	2.34
Starr-Edwards, Model 1260	yes	2.34
Starr-Edwards, Model 2400	no	1.5
<b>정형외과 물질</b>		
Kirschner(intramedullary nail, Zimmer)	no	1.5
Orthopedic SS plate(Zimmer)	no	1.5
<b>필터, 막, 기타 이식물</b>		
Greenfield Filter	yes/no	1.5
Gianturco embolization coil	yes	
Gianturco bird nest IVC filter	yes	

일시적인 맥박형 자장과 RF 펄스중에서 일시적인 맥박형 자장은 자성 눈섬광 (magnetic phosphenes) 을 일으켜서 뼈에서의 치유를 자극하고, 심장의 세동 (fibrillation) 을 0.5 mA/cm<sup>2</sup>의 전류에서 일으킨다고 알려졌다. RF 펄스에 노출되는 것은 조직에 열을 내게하며, 혈액의 임파구 억제 같은 비특이적 변화를 일으키며, 또 백내장을 일으킨다고 알려졌다.

심전도, 홀터 모니터, 보청기, 맥박으로 산소 농도 측정기 기타에 연결된 쇠줄이 있을 경우에 특히 ECG의 전극 leads가 화상을 입힐 수 있다. 미국의 FDA는 SAR를 4 W/Kg으로 제한하는데 1 W/Kg은 조직 1 Kg을 1시간 동안에 1°C 상승시킬 수 있어서 특히 신속 SE처럼 많은 180° 펄스를 쓰면 이 제한을 곧 넘는다.

심장에서의 다른 영향으로는 심박 조율기 (pacemakers)에 관한 자장과 RF파장의 영향에 관한 것으로 relay와 스위치 (switch)를 비동시적인 양상으로 닫아버려서 demand pacemaker의 기능의 방해할 수 있는데, 자장을 변화시키는 것은 심장 활동과 유사할 수도 있다. 자력에 의해서 심박 조율기가 박혀 있는 심근에서부터 이동되어 전도하는 전기 판을 움직이게 하므로 이 심박 조율기가 박혀 있는 환자는 MRI나 MRS 체제에서 검사 받거나 가까이 오면 안된다. 5 G (Gauss)라인을 자기공명영상실에 설치하는데 이라인은 지구의 평균 자장보다도 10배나 높지만 약 7 G 가량인 지하철 같은 전철의 자장 보다는 낮으며,

전화의 수신기 표면에서 측정된 자장의 크기는 35 G이며 오디오의 헤드폰 세트에서는 100 G이다.

경동맥동 (carotid sinus)이나 체내 인슐린 펌프에서 쓰는 심박 조율기에는 여하한 부작용도 발견되지 않았으나 전기적인 내이의 이식과 강자성 기계적인 등골 치환 (stapedius replacement)에서 방해가 보고 되었다. 인공 심장 밸브는 저자장에서는 위험하지 않다고 생각 되지만, 만일 임상적으로 밸브의 파열이 의심될 때는 고자장에서 MRI를 시행하면 안된다. MRI 동안의 혈압, 호흡, 온도등의 vital sign등 생리적인 감시와 기계적인 호흡에 또 전기적인 주입 펌프를 쓰는 것은 어려움이 많고 어떤 경우에는 그런 검사는 금기이다.

### 가. 절대 금기

- 가) 전자적으로, 자기적으로 또 기계적으로 작동되는 심박 조율기 같은 이식물,
- 나) 강자성 등자골 이식
- 다) 지혈 크립 (뇌신경계)

### 나. 상대적 금기

- 가) 전자적으로, 자기적으로 또 기계적으로 작동되는 이식물
- 나) 기타로 내동맥동 신경 자극 기계 같은 조율기, 비강자성 등자골 이식, 달팽이 기관 이식, 고자장에서 인공 심장 판막 파열이 의심될 때
- 다) 인체 내 지혈 크립과 강자성 화장품
- 라) 생리적 감시에 의존
- 마) 보상 안된 심장 부전을 가지며 임신한 분
- 바) 밀폐 공포증 환자

## 3. 아급성 위해

### 1. 정자장 위해

모든 MRI 검사에서는 큰 정자장이 적용된다. 자석의 중심에서 직경 r인 곳의 자장 강도 I는 자석 중심의 강도가  $I^0$ 라면  $I=I^0/r^3$ 이다. 중심에서 10 ft 떨어진 곳에서 거의 힘을 받지 않는다. MRI의 생물학적인 효과를 정자장 4.0 T MR장치에서 일하던 사람들은 구토, 오심, 두통, 혀의 금속 맛과 눈의 섬광 (magnetophosphenes)을 경험하였다.

#### (1) 조직 발열

1.5 T까지의 정자장은 사람의 피부와 체온에 영향이 없으며 자장의 크기는 사용된 기계에 따라서 0.02- 2.0 T (200- 20,000 G)가 사용된다. 아직까지는 인간에 대한 정자장의 영구적인 효과가 발견되지는 않았으며 4.0 T의 자석에 전신이 폭로되고 금속 맛과 오심이 보고 되었지만, 정자장에 폭로된 사람을 아주 오랫동안 추구 검사한 보고는 없다.

임신한 의료인은 정자장 최대 10 G 또는 그 이하까지만 허용되겠다.

RF 파는 핵인 프로톤을 흥분시키려고 MRI에서 사용되는데, RF장은 조직과 환자에 있는 금속 이식물 같은 이물질 모두에 상호 작용할 수 있다. 이 결과는 발열로서 조직에 대한 발열 효과는 RF파의 주파수와 파 형태에 의하며, 가정에서 쓰는 전자 레인지 (microwave oven)로 조리하는 것과 같다. 특수 흡수율은 RF의 발열 효과를 측정하는 것을 돕는다. 그것은 자장의 강도, RF 주파 힘과 duty cycle, 송신기 코일의 형태와 사람 신체의 크기가 클수록 커지겠다. 고자장에서는 많은 다 에코 다 절편 펄스 파형을 쓰며 이는 안정국이나 부에서 추천한 것보다도 더 큰 특수흡수율을 만들어 낼 수 있다. 열점 (hot spots)은 노출된 조직에서 생길 수 있다. 현재로는 그런 뜨거운

점이 존재하지만 그런 이론적 합병증을 피하거나 적어도 최소화 하기 위하여 RF 방사의 주파와 힘은 가능하면 최저 수준으로 유지 되어야만 한다.

(2) 효소 동태

알맞은 변화, 자유기 운동의 혼란 또는 초전도를 시켜서 효소 동태 (kinetics)의 변화가 생물학적으로 분자 수준에 있는 것으로 생각되지만 45 T 까지는 효소 체제에 중요한 효과가 관찰되지 않았다.

(3) 신경 전도

일찍이 1893년에 신경 조직에 대한 정자장의 가능한 영향에 대한 첫 실험 결과를 얻었는데 이 실험과 이후에 나온 모든 시험에서 영향이 없었으며, 전기 저항이나 흥분의 전위를 변화시켜서 생겨난 0.1 T 자장 강도까지는 신경 섬유 흥분 전도에는 명백히 아무런 효과가 없다.

(4) 심장 변화

몇개의 관찰 가능한 일시적인 효과들 중에는 균질한 정자장에 폭로되는 동안에 ECG의 크기가 자장의 크기에 의존해서 증가하는 것이다. 이 증가가 관찰될 수 있는 최소 수준은 0.3 T로, 2.0 T에서는 평균 400 %가 증가되었다.

(5) 자기 물 동태 효과 (Magnetohydrodynamic effect)

자장과 물의 형태를 보면 10 T의 자장에서는 이론적으로 혈압의 상승이 28%의 증가가 예견된다. 이것은 혈액 같은 용액내에서 유도된 전기의 전위와 전류의 상호 작용과 액체의 흐름의 반대 방향으로 지연을 일으키는 전기 용적력에 의해서 생겨지는 것이라고 하며, 유속의 감소는 압력의 증가로 보상시켜야 하지만, 1.5 T에서는 의미 있는 변화가 없고, 6.0 T에서는 10 %의 압력 변화가 기대된다.

(6) 유전에 미치는 효과

유전에 미치는 효과로는 정자장이 유전자 돌연변이, 성장률의 변이, 백혈구에 대한 영향 기타 효과를 일으킨다는 몇몇 보고도 있다.

(7) 세포막 운송과 혈침

정자장에서 생기는 다른 가능한 위해는 예를 들면 자장에 의해서 생기는 세포막 운송과 혈침(hematocrit)으로 0.01 T/cm (100 G/cm)의 정자장 경사는 세포막 운송 과정에 아무런 영향을 미치지 못한다.

2. 시간 또는 경사자장에 따라 변화하는 자장

생체 조직 같은 도체에 전장과 전류를 유도한다. 이런 경사 자장과 생물 조직간의 상호 작용의 가능성은 진동하는 자장의 주파수, 최대 유출 농도 (T/sec), 평균 유출 농도, 조화 주파수의 여하, 신호 펄스 커브 형태의 특징, 신호의 극성, 체내의 전류 분포 및 어떤 특성 세포 막의 전기적 성질과 민감도에 의존된다.

귀에 들리는 소음 (acoustic noise)은 경사 자장의 구동과 탈구동에 의하여 생기며 이 소음은 정자장 강도가 클수록, 경사 자장 주파수가 크면 클수록 그리고 펄스모양이 더 예민하게 변하면 예민할 수록 크겠다.

3. RF장(場)

MRI 중에 생겨나는 특수 흡수율은 여러 변수의 복합적인 기능인데 이들 중에는 정자장의 강도에 의존하는 주파수, 90°인가 180°인가 하는 RF 펄스의 형태, TR, 펄스의 넓이, 사용된 RF 코일의 형태, 코일내에 있는 조직의 용적, 조직의 저항성, 영상화 되는 곳에 해부학적인 모양과 기타 인자의 복합 기능이다.

#### 4. 임신부의 자기공명영상 검사

현재 미국 식품안전국의 자기공명영상 기기의 안전지침에 있어서 태어나 영아에서의 안전 지침은 정해진 것이 없다. 영국에서 국립방사선 보호협회가 1983년에 자기공명영상에서의 허용기준에 임신 초기 3개월까지는 자기공명영상 검사를 하지않는 것이 바람직하다고 권장하였다.

현재까지는 자기공명영상이 태아에 위험하다는 보고는 없으며 이러한 연구의 일환으로는 자기공명영상의 유전자 유해성에 대한 연구등이 있었다.

이러한 검사를 하기전에 임신부에게 임신중 자기공명영상 촬영을 하는것인 임신에 유해하다는 보고는 없다는 것을 알려주는 것이 좋겠다. 그러나 이미 기술한 바와 같이 미국 식품 안전국에서는 임신중 검사에 대해 안전이 증명되지는 않았다. 건강한 근무자인 경우 정자기장에서 노출은 10 G을 넘지 않는 것이 바람직하다. 이것은 작업종사자의 허용노출치와 같거나 적은 양이며 일반적으로 방호된 1.5T 자기공명영상기기의 조작실에서의 최대 허용치이다.

#### 5. 자기공명영상에 의한 협소공포증, 불안, 정서적 걱정

협소공포증과 그외 다양한 형태의 심리적 반응 예를 들면 공포, 공황, 정서적 걱정등이 자기공명영상 검사를 하기전 혹은 검사 중에 발생할 수 있다. 이러한 반응들은 자기공명영상 촬영기의 구경, 검사자장에 의한 소음, 검사 과정등 다양한 요소들에 의해 발생한다. 어떤 종류의 자기 공명영상기기는 수직 자장에 의해 촬영기기의 공간이 열려 있어 협소공포증을 줄일수 있는 경우도 있으나 이러한 기기는 저자장의 기기에서만 가능하하며 임상적으로 널리 이용되고 있지 않은 기기들이다.

다행히도 자기공명영상에 대한 심리적 반응은 일반적으로 일시적 현상으로 나타난다.

1. 환자에 검사전에 자기공명영상검사에 있어서 그 특수성에 대해 충분히 설명해주며 그내용에는 검사기기의 내부 공간이 좁다는 것, 검사 자장에 의한 소음 등에 대해 설명해준다.
2. 환자 옆에 환자와 가까운 친척이나 친지를 검사중에 같이 있게한다.
3. 환자와 신체적으로 혹은 말로 계속 접촉한다.
4. 환자를 엎드려 눕혀 기기가 너무 좁다는 느낌을 완화하거나 혹은 환자의 발쪽부터 기기에 들어가게 하는 방법 등을 이용한다.
5. 검사기기에 선풍기 등을 설치하여 공기의 순환을 원활히 한다.
6. 환자가 보거나 들을수 있는 자기공명영상 촬영에 지장이 없는 텔레비죤이나 헤드폰을 설치한다.
7. 환자가 검사기기내에서 외부를 볼 수 있는 프리즘이나 거울을 검사기기내부에 설치한다.
8. 눈가리개를 이용하여 환자가 주위 환경에 대해 알지 못하게 한다.
9. 환자에게 심호흡을 하게 하거나 어떤 상상을 하게하는등 심리적 이완 방법을 이용할 수 있다.
10. 최면술이나 심리적 으로 안정을 얻는 방법을 이용한다.

## 참 고 문 헌

1. Rinck PA, Peterson SB, Lauterbur PC: NMR imaging von fluorohaltigen Substanzen. 19-Fluor-Ventilations- und Perfusionsdarstellungen. Fortschr Roentgenstr 1984;141:239-243
2. US Food and Drug Administration: Magnetic resonance diagnostic device: Panel recommendation and report on petitions for MR reclassification. Fed Reg. 1988;53:7575-7579
4. US FDA: Guidelines for evaluating electromagnetic exposure for trials of clinical NMR systems. Washington DC, 1982 Radiological Health Bureau of the United States.
5. New PFJ, Rosen BR, Brady TJ, Buonanno FS, Kistler JP, Burt CT et al: Potential hazards and artifacts of ferromagnetic and nonferromagnetic surgical and dental materials and devices in nuclear magnetic resonance imaging. Radiol 1983;147:139-148
6. Pavlicek W, Geisinger M, Castle L, Borkowski GP, Meaney TF, Gallagher JH: The effects of nuclear magnetic resonance of patients with cardiac pacemakers. Radiol 1983;147:149-153
7. Milham S: Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. N Eng J Med 1982;307:249-256
8. Bassett CA, Pilla AA, Pawluk RJ: A non-operative salvage of surgically resistant pseudoarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic fields. Clin Orthop 1977;124:128-143
9. Adey WR: Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. Physiol Rev 1981;61:435-514
10. Shellock FG, Kanal E. Policies: Guidelines, and recommendations for MR imaging safety and patient management. J Magn Reson Imaging 1991;1:97-101