

논문 2015-52-9-14

# T1영상에서 TR, TE 매개변수에 따른 Gadoteridol의 신호강도 변화 (Gadoteridol's Signal Change according to TR, TE Parameters in T1 Image)

정 현 근\*, 정 현 도\*\*, 남 기 창\*\*\*, 김 호 철\*\*\*\*

(Hyun Keun Jeong, Hyun Do Jeong, Ki Chang Nam, and Ho Chul Kim<sup>©</sup>)

## 요 약

본 논문에서는 조영증강 MRI 검사 시 T1 effect를 만들기 위한 물리적 매개변수 중 대표적인 TR과 TE가 가돌리늄과 결합한 H<sub>1</sub> 스핀의 신호강도에 어떤 영향을 미치는지를 정량적으로 평가 분석하고자 하였다. 이를 위해 MR 가돌리늄 조영제인 0.5 mol Gadoteridol로 제작된 MR팬텀을 이용하여 1.5T MRI 장비에서 FSE(Fast Spin Echo)시퀀스로 실험하였다. 이때 FSE 매개변수 중 TR과 TE의 값들을 서로 달리하였다. 이 때 TR 수치는 각각 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 msec, TE는 6.2, 12.4, 18.6, 21.6 msec로 임상적인 T1 effect를 구현하는데 있어 매개변수 값이 물리적으로 벗어나지 않는 범위 내에서 설정하였고, TR, TE가 서로 교차되어 실험되었다. 획득된 영상 데이터를 통해 신호강도 변화를 측정 한 후 이를 분석하였다. 이 때 조영증강 반응시작 지점인 RSP(Reaction Starting Point)는 TR과는 무관하게 TE 6.2 msec에서 100 mmol, TE 12.4 msec에서 50 mmol, TE 18.6 msec에서 40mmol, TE 21.6 msec에서 30 mmol을 나타내었다. 최대 신호강도인 MPSI(Max Peak Signal Intensity)는 TR 200 msec에서는 TE모두 4mmol에서 형성되었고, TR 250에서 600 msec까지는 모두 4, 2, 1, 0.8, 0.6 mmol의 저 농도 영역으로 피크치가 지연되었다. 반응면적적인 RA(Reaction Area)는 TR 200-600 msec에서 각각 21183.2, 21536.6, 21875.9, 22114.3, 22419.1, 22895.8, 23208.6, 23189.1, 23210.4 [a.u]로 TE 6.2 msec일 때 가장 수치가 높았다. 본 연구를 통하여 가돌리늄 조영증강 정도는 MR매개변수에 의해 조정 가능하다는 것을 알 수 있었고, 이는 실제 임상에서의 T1 조영증강 검사에 있어서 본 연구의 정량적 데이터를 통하여 진단학적으로 효율적인 TR, TE 매개변수 값으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## Abstract

In this paper, we introduce how to control TR, TE physical MR parameters for managing H<sub>1</sub> spin's SI(Signal Intensity) which is combined with gadolinium following administration MR agent in T1 effect for diagnostic usefulness. We used MRI phantom made with 0.5 mol Gadoteridol. This phantom was scanned by FSE sequence with different TR, TE parameters. In this study, to make T1 effect, TR was 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 msec. In addition to, TE was 6.2, 12.4, 18.6, 21.6 msec. The results were as follows ; Each RSP(Reaction Starting Point) was 100, 50, 40, 30 mmol in TE 6.2, 12.4, 18.6, 21.6 msec being irrelevant to TR. In MPSI(Max Peak Signal Intensity), 4 mmol was showed in TR 200 msec while peak signal was decreased to low concentration mol in TR 250-600 msec. In terms of RA(Reaction Area), the highest SI was TE 6.2 msec in TR 200-600msec. According to the study, we are able to recognize it is possible to control enhance rates by managing TR and TE of MR parameters; moreover, we expect that enhanced T1 image in MR clinical field can be performed in a practical way with this quantitative data.

**Keyword :** MR parameter, TR, TE, Gadolinium, Gadoteridol

\* 정희원, 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과

(Department of Medical Imaging of Engineering, The Graduate School of Bio-Medical Science, Korea University)

\*\* 정희원, 한국인지및생물심리학회(Korean Society for Cognitive &amp; Biological Psychology)

\*\*\* 정희원, 동국대학교 의과대학 의공학교실(Department of Medical Engineering, Dongguk University College of Medicine)

\*\*\*\* 정희원, 을지대학교 방사선학과(Department of Radiological Science, Eulji University)

© Corresponding Author(E-mail: [tiger1005@gmail.com](mailto:tiger1005@gmail.com))

Received ; July 9, 2015

Revised ; August 12, 2015

Accepted ; September 4, 2015

## I. 서 론

인체의 60~70%는 물(H<sub>2</sub>O)로 구성되어져 있으며, 임상에서의 MRI(Magnetic Resonance Imaging) 검사는 체내의 H<sub>2</sub>O중, 자장에 민감한 H<sub>1</sub>을 활용하여 영상을 추출하는 원리이다. 이런 MRI와 더불어 가돌리늄 조영제는 상자성 효과를 이용하여 병변의 유무를 판단하는데 있어 임상에서 유용하게 사용되고 있다. 리간드와 결합되어 킬레이트 상태로 체내에 투약된 가돌리늄 성분은 인체 내 H<sub>1</sub> spin과 결합하여 R<sub>1</sub> 이완시간을 줄여 주게 되는데, 이는 가돌리늄과 결합하지 않은 H<sub>1</sub> spin에 비해 MR영상에서 높은 신호강도를 보여주게 된다<sup>[1~2]</sup>. 이는 진단학적으로 종양의 존재 유무를 평가하는데 유용하며, 특히 조영증강 dynamic검사에 있어서는 비침습 적인 방법으로 wash out 패턴에 따라 종양의 양성, 악성 유무를 판가름하는 기준이 되기도 한다.

란탄 계열에 속하는 희토류 원소중 하나인 가돌리늄(Gd)은 자장에 민감하게 반응하는 상자성 물질로 MR 검사에서는 T1영상에서 주로 사용되어왔다. 그러나 최근에는 기존의 SE(Spin Echo), FSE(Fast Spin Echo) 시퀀스 이외의 IR(Inversion Recovery)계열의 T2 FLAIR(Fluid Attenuated Inversion Recovery)에서도 조영증강 검사를 사용하고 있고. 최근의 MR장비에서 사용되어지는 3D MP-RAGE (Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo), FLASH (Fast Low Angle Shot Imaging), SPACE (Sampling Perfection with Application-optimized Contrasts using different flip-angle Evolution), SPCIR(SPACE Inversion Recovery)등의 다양한 3D시퀀스를 조영증강 검사에 활용하고 있기도 하다. 더불어 이러한 3D 시퀀스의 가돌리늄 조영제 반응에 대하여 일부 연구자들에 의해 실험 평가되어지기도 하였다<sup>[1, 5~8]</sup>.

그러나 위와 같이 서로 다른 펄스 다이어그램을 갖는 시퀀스별 가돌리늄 조영제의 반응 정도에 대해서는 이미 실험된 바가 있으나, 아직 MR 매개변수와 가돌리늄 조영제와의 상호 관계에 대해서는 알려진 바가 없다. 임상에서는 Post contrast로 대부분 T1영상을 활용하고 있는데, 이때 대표적인 매개변수로는 TR(Time to Repeat), TE(Time to Echo)가 있다. 통상적인 시퀀스에서의 TR은 90° RF pulse가 부여된 후 다음 90° RF pulse를 가하는데 까지 걸리는 시간(msec)을 이야기하

며, TE는 RF Pulse이후 발생하는 Echo까지의 시간(msec)을 의미한다. 이런 물리적 시간배열을 의미하는 TR, TE에 의해 다양한 이완시간을 지나는 체내 각 조직에서의 영상 대조도를 조절할 수 있는데, 보통 인체에서 T1 effect를 구현하기 위한 TR은 200-600 msec, TE는 10-30 msec 사이의 값들을 SE 또는 FSE 시퀀스를 기반으로 임상에서는 사용하고 있다. 그러나 시퀀스(SE, FSE)에 따라 또는 연계된 파라메타 그리고 장비 성능, 인디케이션, 검사 시간 등의 여러 요소에 의해 임상현장마다 모두 다르게 적용되어지고 있는 TR, TE 매개변수가 T1 조영증강검사에 있어서 올바르게 사용되어지고 있는지 고려해 볼 필요가 있다. 이유는 물리적 시간배열을 결정하는 TR, TE 매개변수가 조영증강 반응정도에 영향을 미칠 것으로 보기 때문이다. 기존에 선행되었던 연구는 시퀀스에 대한 가돌리늄 반응에 대한 데이터는 있으나, Post contrast로 가장 많이 사용하는 T1영상에서의 TR, TE 매개변수에 따른 조영반응도에 대한 자료는 아직 없다.

따라서 본 연구의 목적은 자체 제작된 MR팬텀을 활용하여 TR, TE 매개변수 조절에 따른 가돌리늄의 신호강도 변화를 정량적으로 분석하여 T1 조영증강에서의 적정 값을 제시 하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. MR Phantom

#### 가. MR 조영제 및 MR Phantom 구성

가돌리늄 조영제는 0.5 mol Gadoteridol (ProHance ; Bracco, Milan, Italy)를 사용하였다. Gadoteridol은 그림 1(a)와 같이 macrocyclic 화학구조를 가진 MRI조영제로서 다음과 같은 특성을 지닌다<sup>[1, 3~4]</sup>.

- 1) Chemical structure : Macrocyclic
- 2) Chemical formula : C<sub>17</sub> H<sub>29</sub> GdN<sub>4</sub> O<sub>7</sub>
- 3) Osmolality (mOsmol/kg, 37) : 630 mOsm/kg
- 4) Viscosity (cP, 37) : 1.3 mPas
- 5) Relaxivity (1.5T - r<sub>1</sub> mM<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) : 4.1

MR phantom은 그림 1의 b, c 같이 비자성체인 용기 28개로 구성하였으며, 1번부터 28번까지의 각각의 용기

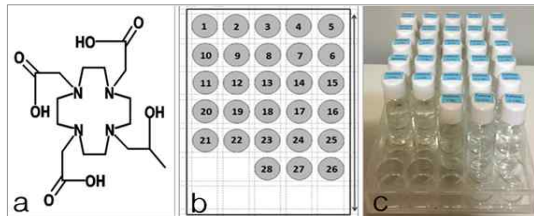


그림 1. 화학구조 및 MR 팬텀  
(a) 화학구조 (b) 제작도, (c) 실사  
Fig. 1. Chemical structure and MR phantom.  
(a) Chemical structure, (b) drawing, (c) picture

표 1. mol 농도와 GBCA 희석 비율  
Table 1. Mol concentration and GBCA rate.

No	Saline	Gadoteridol	mmol	GBCA%	No	Saline	Gadoteridol	mmol	GBCA%
1	0.00	30	500	100%	15	29.46	0.54	9	1.80%
2	6.00	24	400	80%	16	29.52	0.48	8	1.60%
3	12.00	18	300	60%	17	29.58	0.42	7	1.40%
4	18.00	12	200	40%	18	29.64	0.36	6	1.20%
5	24.00	6	100	20%	19	29.70	0.3	5	1.00%
6	24.60	5.4	90	18%	20	29.76	0.24	4	0.80%
7	25.20	4.8	80	16%	21	29.82	0.18	3	0.60%
8	25.80	4.2	70	14%	22	29.88	0.12	2	0.40%
9	26.40	3.6	60	12%	23	29.94	0.06	1	0.20%
10	27.00	3	50	10%	24	29.95	0.048	0.8	0.16%
11	27.60	2.4	40	8%	25	29.96	0.036	0.6	0.12%
12	28.20	1.8	30	6%	26	29.98	0.024	0.4	0.08%
13	28.80	1.2	20	4%	27	29.99	0.012	0.2	0.04%
14	29.40	0.6	10	2%	28	30.00	0	0	0.00%

에는 500 - 0 mmol까지 Gadoteridol의 몰 농도를 달리 하였다. 표 1에는 28번까지의 각 용기별 mol농도 및 가돌리늄 조영제의 혼합비율을 표기하였다. 이를 통해MR 조영제를 체내 투약 후 각 희석비율에서의 매개변수에 따른 인위적인 신호 변화를 확인 하고자 하였다.

## 2. MR 장치 및 매개변수

### 가. MRI Specification

- 1) Field strength: 1.5 Tesla
- 2) Gradient strength: 33 mT/m, Slew rate : 150 T/m/s
- 3) Coil: Head coil (16 elements, 8 channel)

### 나. Parameters

그림 2에서 보듯이 실험은 1.5 T 초전도 MRI 장비를 사용하였으며, 사용된 시퀀스는 SE보다는 TE minimum에 제한이 적은 FSE를 사용 하였다. 실험의 목적인 MR 매개변수는 표 2에서 기록되어진 대로 TE를 각각 6.2, 12.4, 18.6, 21.6 msec로 두었고, TR은200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 msec로 세팅

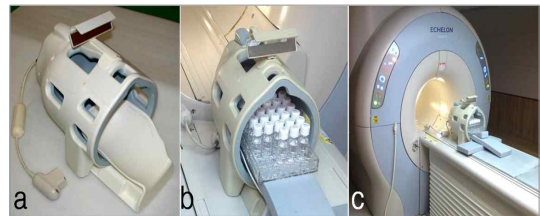


그림 2. Head 코일(a,b) 및 MRI 장비(c)  
Fig. 2. Head coil(a,b) MRI device(c).

표 2. MR 매개변수  
Table 2. MR parameters.

	1st parameters	2nd parameters	3rd parameters	4th parameters
<b>Sequence</b>	FSE	FSE	FSE	FSE
<b>TR</b>	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600
<b>TE</b>	6.2 msec	12.4 msec	18.6 msec	21.6 msec
<b>FOV</b>	300x300	300x300	300x300	300x300
<b>Thickness</b>	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
<b>Flip Angle</b>	90°	90°	90°	90°
<b>NSA</b>	4	4	4	4
<b>ETL</b>	3	3	3	3
<b>Inter E.</b>	6.2	6.2	6.2	6.2
<b>Echo Shift</b>	1	0	2	2
<b>Acquisition Time</b>	1:10, 1:27, 1:44, 2:01, 2:18, 2:35, 2:52, 3:09, 3:26	1:10, 1:27, 1:44, 2:01, 2:18, 2:35, 2:52, 3:09, 3:26	1:10, 1:27, 1:44, 2:01, 2:18, 2:35, 2:52, 3:09, 3:26	1:10, 1:27, 1:44, 2:01, 2:18, 2:35, 2:52, 3:09, 3:26

하였다. 이때 TE를 변경하기 위해 Echo Shift를 컨트롤 하였으며, TR조정에 있어서는 TR을 제외한 다른 매개변수는 조정하지 않았다. 검사시간은 TE와는 무관하게 단지 TR의 변화에 따라 각각 1:10, 1:27, 1:44, 2:01, 2:18, 2:35, 2:52, 3:09, 3:26으로 증가 되었고, 그 외 검사 시간을 조정하기 위한 다른 매개변수는 가돌리늄의 신호 변화를 고려하여 전혀 사용하지 않았다.

## 3. 실험방법

MR 팬텀을 Head coil 내에 장착 시킨 후, 팬텀 중심부를 bore내의 센터에 위치시킨다. Scout scan후 메인 영상을 얻기 위한 검사방향은 Coil의 디자인에 맞춰 Coronal로 영상을 획득 하였다. 실험은 그림 3과 같은 순서로 진행 하였고, 횟수는 모두 동일한 방법으로 20 회를 반복하여, 추출된 팬텀 단면의 28개의 영상에서 각 SI(Signal Intensity) Mean 값을 측정하여 평균값을 분석하였다.

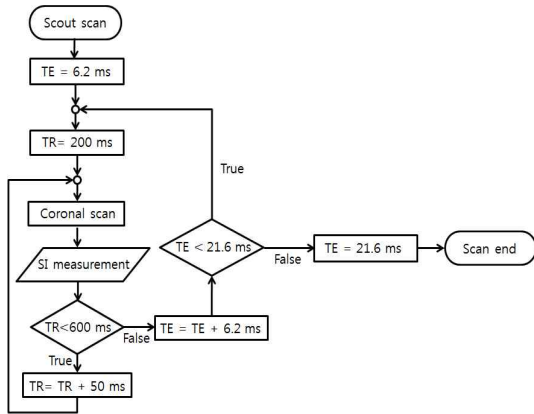


그림 3. MR scan 순서도  
Fig. 3. MR Scan flow chart.

III. 결 과

1. MR 팬텀영상과 SI(Signal intensity)

그림 4에서는 TR, TE 매개변수 변화에 따라 얻어진 MR 팬텀 영상에서 각각의 신호강도를 확인할 수 있으며, 영상에서 보이는 bottle 단면에 circle ROI를 설정하고 SI의 평균값을 측정하였다.

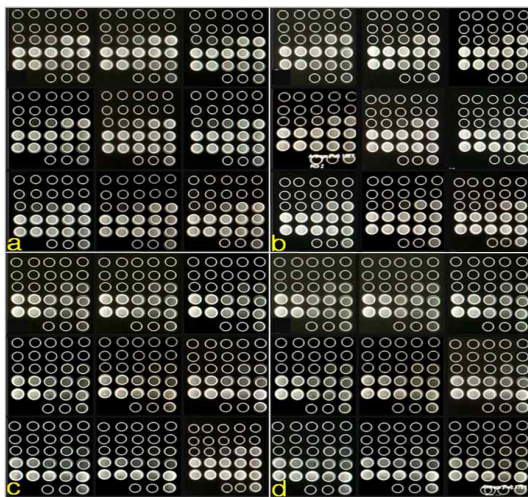


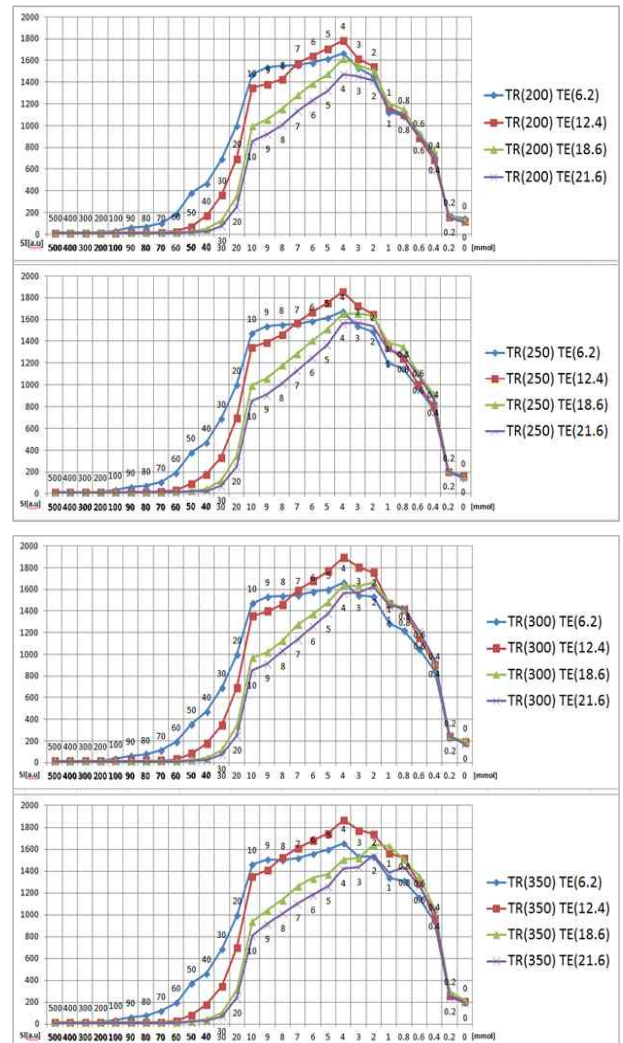
그림 4. MR phantom 영상  
(a) TE 6.2 msec, TR 200-600 msec  
(b) TE 12.4 msec, TR 200-600 msec  
(c) TE 18.6 msec, TR 200-600 msec  
(d) TE 21.6 msec, TR 200-600 msec

Fig. 4. MR phantom images.  
(a) TE 6.2 msec, TR 200-600 msec  
(b) TE 12.4 msec, TR 200-600 msec  
(c) TE 18.6 msec, TR 200-600 msec  
(d) TE 21.6 msec, TR 200-600 msec

2. MR매개변수에 따른 가돌리늄의 신호강도변화

TR, TE 매개변수 변화에 따른 가돌리늄의 농도별 신호강도의 평균값을 그래프로 나타내었다. 이때 조영 증강의 시작 지점을 RSP(Reaction Starting Point)로 표기하였고, RSP는 육안으로 일정이상 확인이 가능한 33 [a.u]이상을 기준으로 두었다. 정점을 이루는 신호강도를 MPSI(Max Peak Signal Intensity), 그리고 mol 농도에 따른 SI전체 합(그래프 면적)을 RA(Reaction Area)로 하였다.

그림 5에서는 TR 200-600 msec와 TE 6.2-21.6 msec에서 측정된 신호강도 변화를 그래프로 나타내었다. RSP는 표 3에서 볼 수 있듯이 모든 TR에서 TE 6.2 msec에서 100 mmol, TE 12.4 msec에서 50 mmol, TE 18.6 msec에서 40 mmol, TE 21.6 msec에서는 30 mmol로 측정되었다. 즉 TR과는 무관하게 TE 수치가 낮을수록 가돌리늄의 반응이 빨리 일어나는 것을 확인할 수 있었다.





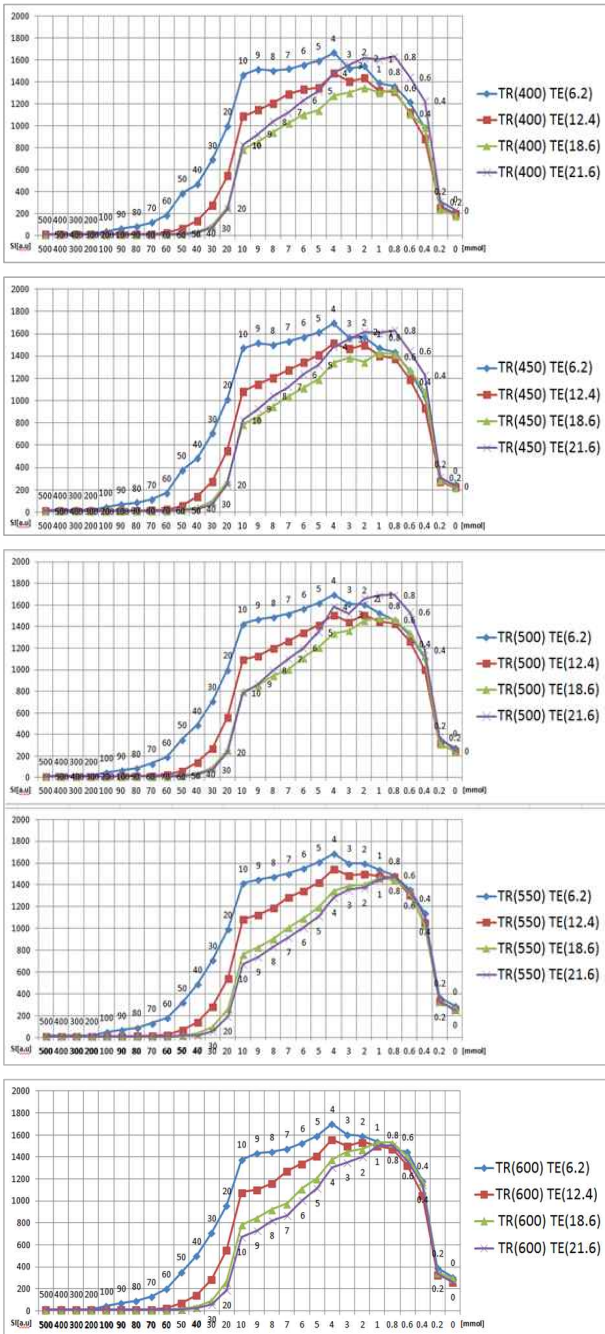


그림 5. T1영상에서의 TR, TE에 따른 SI변화그래프  
Fig. 5. SI graph according to TR, TE in T1 effect.

더불어 MPSI는 표 3에서 보듯이 TR 200 msec에서는 TE 6.2-21.6 msec 모두 4mmol에서 가장 높은 신호강도를 보인다. 그러나 TR이 증가 할수록 전반적으로 MPSI가 그래프 후반부인 저 농도에서 형성 되는걸 확인할 수 있다. TR 250msec에서는 TE증가에 따라 각각 4, 4, 4, 3 mmol에서 피크점이 형성되었으며, TR 300 msec에서는 각 TE에 따라 4, 4, 2, 2 mmol, TR 350 msec에서는 4,

4, 2, 2 mmol, TR 400 msec에서 4, 4, 2, 1 mmol, TR 450 msec에서 4, 4, 1, 0.8 mmol, TR 500 msec에서 4, 4, 1, 0.8 mmol, TR 550 msec에서 4, 4, 1, 0.8 mmol, TR 600 msec에서 4, 4, 0.6, 0.8 mmol에서 가장 높은 신호강도를 보였다. 즉, TR이 증가할수록 그래프 후반부인 저 농도에서의 신호강도가 비례하여 유지됨을 알 수 있었다.

표 3. TR, TE에 따른 RSP, MPSI, RA  
Table 3. RSP, MPSI, RA according to TR, TE.

	Unit	TR(200) TE(6.2)	TR(250) TE(6.2)	TR(300) TE(6.2)	TR(350) TE(6.2)	TR(400) TE(6.2)	TR(450) TE(6.2)	TR(500) TE(6.2)	TR(550) TE(6.2)	TR(600) TE(6.2)
RSP	mmol	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MPSI	mmol	4	4	4	4	4	4	4	4	4
RA	[a.u]	21183.2	21536.6	21875.9	22114.3	22419.1	22895.8	23208.6	23189.1	23210.4
	Unit	TR(200) TE(12.4)	TR(250) TE(12.4)	TR(300) TE(12.4)	TR(350) TE(12.4)	TR(400) TE(12.4)	TR(450) TE(12.4)	TR(500) TE(12.4)	TR(550) TE(12.4)	TR(600) TE(12.4)
RSP	mmol	50	50	50	50	50	50	50	50	50
MPSI	mmol	4	4	4	4	4	4	4	4	4
RA	[a.u]	17054.2	18180.9	18327.4	18453.2	15474.3	16288	16591.3	16331.3	16983.3
	Unit	TR(200) TE(18.6)	TR(250) TE(18.6)	TR(300) TE(18.6)	TR(350) TE(18.6)	TR(400) TE(18.6)	TR(450) TE(18.6)	TR(500) TE(18.6)	TR(550) TE(18.6)	TR(600) TE(18.6)
RSP	mmol	40	40	40	40	40	40	40	40	40
MPSI	mmol	4	4	2	2	2	1	1	1	0.6
RA	[a.u]	17054.2	18180.9	18327.4	18453.2	15474.3	16287.8	16591.3	16331.3	16983.3
	Unit	TR(200) TE(21.6)	TR(250) TE(21.6)	TR(300) TE(21.6)	TR(350) TE(21.6)	TR(400) TE(21.6)	TR(450) TE(21.6)	TR(500) TE(21.6)	TR(550) TE(21.6)	TR(600) TE(21.6)
RSP	mmol	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MPSI	mmol	4	3	2	2	1	0.8	0.8	0.8	0.8
RA	[a.u]	15449.1	16618.9	17284.7	16722.2	17594.6	18069.5	18265.8	15648.9	15767.2

마지막으로 RA는 표 3에서 보듯이, TE 6.2 msec일 때 각 TR에 따라 21183, 21537, 21876, 22114, 22419, 22896, 23209, 23189, 23210 [a.u]를 기록하였고, TE 12.4 msec일 때 17054, 18181, 18327, 18453, 15474, 16288, 16591, 16331, 16983 [a.u], TE 18.6 msec일 때 17054, 18181, 18327, 18453, 15474, 16288, 16591, 16331, 16983 [a.u], TE 21.6 msec일 때 15449, 16619, 17285, 16722, 17595, 18070, 18266, 15649, 15767 [a.u]가 측정되었다. 즉, 대체적으로 각각의 TR에서 TE가 짧을수록 반응이 빨라지면서 이와 함께 그래프상의 반응면적이 증가했음을 알 수 있다.

#### IV. 고찰

위 실험을 통하여 통상적인 T1 effect에서의 가돌리늄 조영증강 정도가 대표적인 MR매개변수인 TR, TE에 따라 모두 다르게 반응한다는 것을 알 수 있었다.

MR 물리학에서의 TR은 검사범위를 결정하는 슬라이스 수와 직접적 연관이 있으며, 더불어 수많은 파라메타들 중에서 Phase Encoding Number, NEX(Number of Excitation)와 함께 검사시간을 결정하는 3 가지 인자중 하나에 속한다. 이러한 이유로 임상에서는 TR을 최소화하여 검사시간을 단축시켜 피검사자의 편의적인 부분과 영상에서의 Moving artifact를 줄이고자 하는 것이 일반적인 방법이다. 이때 위 실험에서 보듯이 가돌리늄 역시 TR 설정에 따라 반응정도가 달라지는데, 대체적으로 TR이 증가할수록 그래프상의 저 농도 부분이 상승하는 것을 볼 수 있다. 즉, TR의 증가는 MR 조영제 투약 후 조영증강 시간을 유지시켜주는 기능을 하고 있음을 알 수 있다. 6.2 msec의 낮은 경우는 MPSI도 일부 상승했으며, 더불어 Peak 이후 TR이 증가할수록 저 농도에서의 신호수신강도 역시 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 RA의 증가를 가져와 TR 200-600 msec까지 반응면적 역시 늘어나는 것을 볼 수 있었다. 즉, 6.2 msec같은 낮은 TE에서는 TR의 증가는 확실히 조영증강 시간을 유지시켜주는 기능을 하고 있다. 다만, 한 가지 염두 해야 할 부분은 TE가 일정이상 증가되면, TR 증가수치에 따라 TR이 갖는 인헨스 유지율에 대한 신호 수신정도가 분리되어졌다. TE가 12.4 msec에서는 TR 200-350 msec까지는 지속적으로 SI가 증가하나 TR 400-600 msec 범위에서는 일부 신호감소를 보인 이후 다시 동일 패턴을 보인다. 이어서 TE 18.4, 21.6 msec에서도 역시 일정 TR이 넘어가면 전체적으로 신호가 감소한 후 다시 SI 증가를 볼 수 있다. 이렇듯 가돌리늄과 결합한 H<sub>1</sub>스핀의 이완정도가 빨라져 신호를 수신하는 TE가 증가할수록 RF pulse를 가하는 TR의 포인트 지점에 따라 신호변화가 일부 보여 진다. 하지만 전체적으로 TR의 증가는 저 농도에서의 신호 증강을 갖고 오는 결과를 보인다. 이는 TR을 증가시켜 조영증강 시간을 인위적으로 유지시키고자 한다면, TE를 10 msec이하로 낮게 세팅 후 TR을 증가시킨다면 신호감소 없이 증강 시간을 유지할 수 있다는 이야기가 되겠다. 하지만 서술한 바와 같이 TR은 스캔 시간과 직접적인 관계가 있기 때문에 이 부분을 고려해야 한다.

반면에 TE는 가돌리늄의 반응시간을 결정하는 중요 인자로 작용한다. 그림 5의 그래프에서 보듯이 TE 6.2 msec에서는 RSP가 모든 TR에서 100 mmol, TE 12.4

msec에서는 50 mmol, TE 18.6 msec에서는 40 mmol, TE 21.6 msec에서는 30 mmol로 TE의 증가에 따라 가돌리늄의 반응시작이 늦어지고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 MR조영제의 희석 정도로는 TE 6.2 msec에서는 20%, TE 12.4 msec에서는 10%, TE 18.6 msec에서는 8%, TE 21.6 msec에서는 6%일 때 반응을 시작하였다는 의미이다. 즉, MR조영제 투약 후 TE를 최소화 하여 사용하면 MR 조영증강을 앞당길 수 있게 된다. 다만, 여기에는 시퀀스 선별에 대한 부분을 염두 해야 하는데, Conventional SE의 경우 MR 영상에서 T1 effect를 구현하는데 오랫동안 사용되어져 왔다. 하지만 검사시간이 긴 단점과 더불어 TE를 최소화 하는데 물리적 어려움이 따른다. 이러한 이유로 근래에는 T1 effect구현에 FSE를 많이 사용하고 있는데, 이는 ETL에 따라 검사시간을 단축 할 수 있으며, 무엇보다도 Echo Shift를 통해 TE를 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 또한 일반적인 T1검사에서의 TE가 최소화 된다면, 서로 이완율이 다른 체내의 지방과 물의 SI격차가 커지기 때문에 대조도가 증가하며, 비교적 SI가 높은 영상을 얻을 수 있는 이점이 있다. 여기에 가돌리늄을 이용한 T1 effect를 얻고자 한다면, 위와 같은 이유로 SE 보다는 FSE를 사용하는 것이 합리적이며, 매개변수는 가능한 낮은 TE를 설정하는 것이 가돌리늄 반응을 앞당길 수 있는 방법이 될 수 있다. 더불어 TE가 낮아지면, 가돌리늄의 반응이 빨라지기 때문에 TR과는 무관하게 TE 6.2 msec에서의 RA의 수치가 가장 높음을 확인할 수 있었다.

본 연구의 데이터는 T1 effect에서의 TR, TE 두 가지 매개변수로만 실험 되었으며, 추후 위 연구와 더불어 MR 조영제를 체내에서 진단학적으로 가장 적합하게 영상화하기 위한 추가적인 실험들이 더 이루어져야 할 것으로 사료된다. 분명한건 위 연구를 통하여 관행적으로 사용되는 기존의 MR 매개변수들을 T1 조영증강 검사에 있어서 적합하게 사용하고 있는지 재 판단하게 되었으며, 이에 TR, TE조정만으로도 조영증강 정도를 향상시킬 수 있다는 것을 본 실험을 통해 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

가돌리늄 조영제가 체내 H<sub>1</sub>스핀과 결합하여 일으키

는 반응이 외부 물리적인 MR 매개변수에 따라 조정 가능함을 본 연구를 통해서 정량적 수치로 확인 하였다. 여기서 매개변수중 하나인 TR의 증가는 TE가 짧은 조건하에서 일정하게 조영증강 시간을 유지시켜주는 패턴을 보였다. 반면에 TE는 수치가 낮을수록 조영증강 반응을 앞당길 수 있는 결과를 얻었고, 이에 따라 RA의 증가를 보이는 장점이 있었다. 이는 가돌리늄 조영제를 이용한 T1 enhance에 있어서는 SE 보다는 FSE 시퀀스를 사용하여 검사시간을 고려한 적절한 TR과 함께 TE를 가능한 낮추어서 사용하는 것이 RSP와 RA 그리고 MPSI에 더욱 효과적임을 알 수 있다. 본 연구를 통하여 실제 임상에서의 조영증강 T1 영상 검사 시행에 있어 TR, TE 매개변수를 데이터에 맞게 조정하여 사용한다면, 더 정확하고 진단학적으로 유용한 T1 enhance 영상을 얻을 수 있을 것으로 사료 된다.

## REFERENCES

- [1] HK. Jeong, H. Jung, and H. Kim, "Quantitative Analysis of GBCA Reaction by Mol Concentration Change on MRI Sequence", The Institute of Electronics and Information Engineers, vol.52, pp.182-192, Feb, 2015.
- [2] E. Hagberg, and K. Scheffler, "Effect of r(1) and r(2) relaxivity of gadolinium-based contrast agents on the T(1)-weighted MR signal at increasing magnetic field strengths", ContrastMediaMolImagingvol.8, no.6, pp. 456- 65, Nov-Dec, 2013.
- [3] H. S. Thomsen, S. K. Morcos, T. Almen, M. F. Bellin, M. Bertolotto, G. Bongartz, O. Clement, P. Leander, G. Heinz-Peer, P. Reimer, F. Stacul, A. van der Molen, J. A. Webb, and E. C. M. S. Committee, "Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media: updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines", EurRadiol,vol.23,no.2,pp.307-18,Feb,2013.
- [4] S. K. Morcos, "Nephrogenic systemic fibrosis following the administration of extracellular gadolinium based contrast agents: is the stability of the contrast agent molecule an important factor in the pathogenesis of this condition?", BrJRadiol,vol.80,no.950,pp.73-6, Feb, 2007.
- [5] C. Zhu, U. Sadat, A. J. Patterson, Z. Teng, J. H. Gillard, and M. J. Graves, "3D high-resolution contrast enhanced MRI of carotid atheroma--a technical update", MagnResonImaging, vol.32, no.5, pp.594-7, Jun, 2014.
- [6] S. J. Ahn, M. R. Yoo, S. H. Suh, S. K. Lee, K. S. Lee, E. J. Son, and T. S. Chung, "Gadolinium enhanced 3D proton density driven equilibrium MR imaging in the evaluation of cisternal tumor and associated structures: comparison with balanced fast-field-echo sequence", PLoSOne, vol.9, no.7, pp.e103215, 2014.
- [7] R. Jablonowski, D. Nordlund, M. Kanski, J. Ubachs, S. Koul, E. Heiberg, H. Engblom, D. Erlinge, H. Arheden, and M. Carlsson, "Infarct quantification using 3D inversion recovery and 2D phase sensitive inversion recovery; validation in patients and ex vivo", BMCCardiovascDisord, vol.13, pp.110, 2013.
- [8] H. Fukuoka, T. Hirai, T. Okuda, Y. Shigematsu, A. Sasao, E. Kimura, T. Hirano, S. Yano, R. Murakami, and Y. Yamashita, "Comparison of the added value of contrast-enhanced 3D fluid-attenuated inversion recovery and magnetization-prepared rapid acquisition of gradient echo sequences in relation to conventional postcontrast T1-weighted images for the evaluation of leptomeningeal diseases at 3T", AJNRAmJNeuroradiol, vol.31,no.5, pp.868-73, May, 2010.

저 자 소 개



정 현 근(정회원)  
 2014년 고려대학교 의용과학대학  
 원 의료영상공학과  
 2003년~2013년 HITACHI  
 MRI Application  
 Specialist  
 2013년~현재 Bracco Imaging  
 KoreaMRI Application  
 Specialist

<주관심분야 : 의료영상처리, 의료기기>



정 현 도(정회원)  
 2005년 국민대학교 신소재공학과  
 2015년 백석대학교 교육대학원 심  
 리학과 석사  
 2015년 인터내셔널 센트럴 대학원  
 법심리학 박사  
 2015년~현재 한국인지및생물  
 심리학회 교수

<주관심분야 : 의료영상처리, 의료기기>



남 기 창(평생회원)  
 1997년 연세대학교 의용전자공학  
 (공학사)  
 1999년 연세대학교 대학원  
 생체공학협동과정  
 (공학석사)  
 2004년 연세대학교 대학원  
 생체공학협동과정  
 (공학박사)

2004년~2005년 연세대학교 의과대학 의학공학교  
 실 연구강사  
 2005년~2006년 SIEMENS 선임연구원  
 2006년~2007년 National Institute of Advanced  
 Industrial Science and Technology  
 (Post Doc.)  
 2007년~2010년 한국전기연구원 선임연구원  
 2010년~2014년 연세대학교 의과대학 의학공학교  
 실 연구조교수  
 2014년~현재 동국대학교 의과대학 의공학교실  
 조교수

<주관심분야: 생체신호계측, 생체신호처리, 의료  
기기>



김 호 철(정회원)-교신저자  
 2002년 고려대학교 응용전자공학  
 과 학사 졸업  
 2004년 고려대학교 의학과  
 석사 졸업  
 2009년 고려대학교 의학과  
 박사 졸업

2012년~현재 을지대학교 방사선학과 교수  
 <주관심분야 : 의료영상처리, 방사선계측>