

◆ 원 저 ◆

뇌혈관 자기공명영상에서 Time-of-flight(TOF) 기법을 이용한 영상의 질 평가: 1.5 T 와 3.0 T 자기공명영상 비교

구은희

청주대학교 방사선학과

The Evaluation of Image Quality using Time of Flight in Intracranial Magnetic Resonance Imaging : Comparison with 1.5 T and 3.0 T

Eunhoe, Goo

Department of Radiological Science, Cheongju University

Abstract

Intracranial 3D TOF MR angiography was performed in 30 normal volunteers with both 1.5 and 3.0 T MRI system with high resolutions. Used Voxel sizes were 0.39 x 0.39 x 0.2(1.5 T) and 0.19 x 0.19 x 0.35(3.0 T), respectively. High image quality and depiction of small vessel branches were equality demonstrated with 1.5 T and 3.0 T HR TOF MRA($p < 0.05$). Intracranial high resolution TOF MRA with 1.5 T and 3.0 T provides high diagnostic information with having merits and demerits in depiction of vascular branches.

Key words : Magnetic resonance imaging, high resolution, time of flight.

I. 서론

뇌졸중(brain stroke)은 뇌혈관이 막히거나 터져서 발생하는 뇌혈관(cerebral vascular) 질환을 총칭하는 것으로 암 다음으로 흔한 질환으로 장기질환으로서는 사망률이 아주 높다. 뇌혈관 특징으로는 갑자기 말이 둔해지고 팔다리가 마비가 오는 증상이 나타난다. 이러한 증상이 발생할 경우 진단적 장비로는 일반적으로 뇌전산화단층촬영(computed tomography, CT)이나 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)기기를 이용하여 진단을 하게 된다.¹⁾ CT 검사는 조영제를 사용하여 혈관을 묘출할 수 있는 진단기기로서 침습적인 방법이 적용되고 있지만 MRI는 조영제를 사용하지 않고 혈관을 묘출할 수 있는 비 침습적인 방법으로 많은 뇌졸중 환자에게 적용되고 있는 방법이다. 조영제를 사용하지 않고 혈관을 나타낼 수 있는 방법으로 유속증가(flow-related enhancement)효과를 이용하는 3D TOF 기법이다. 3D TOF 기법은 일반적으로 동맥혈관을 묘출할 수 방법으로 gradient pulse sequence를 사용한다.^{2),3)} 3D TOF 기법의 특징으로 고자기장을 검사에 적용할수록 혈관이 잘 묘사되는 특징을 가지고 있다. 반면에 자기감수성이 효과가 발생하여 작은 혈관을 묘출할 때 신호감소를 발생하는 단점을 가지고 있다. 기존 보고에 의하면 3.0 T 가 1.5 T MRI 에 비해 신호대 잡음비와 영상의 질적인 면에서 높다고 보고되었지만 고자기장의 여러 가지 단점으로 인하여 영상정보를 저해하는 여러 가지 요인이 있다.⁴⁾ 이에 본 저자는 1.5 T 와 3.0 T 기기가 뇌혈관영상에 미치는 특징을 파악하기 위하여 정량적인 SNR, CNR 값과 정성적 분석을 하여 환자에게 최적의 정보를 제공하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

2014 년부터 10 월부터 2015 2월 까지 1.5 T 와 3.0 T를 이용하여 TOF MRA 검사를 시행한 총 30 명(1.5 T: 15 명, 3.0 T: 15 명)의 데이터를 PACS 네트워크(network)로 분석을 하였다. 분석한 데이터는 남자 12 명 여자 18 명으로 25세에서 ~ 30 세 까지 분석을 하였고, 평균 연령은 26. 26 ± 3.5 세였다.

2. 방법

검사한 모든 데이터는 조영제(contrast media)를 사용하지 않았으며, 검사한 기기로는 1.5 T 와 3.0 T(Philips, Medical System, Achieva, The Netherlands) 자기공명 영상기기를 이용하였다. 수신코일(received coil)로는 16 channel Head coil 이었다. 분석에 사용된 Pulse sequence 는 혈관묘출이 잘 되는 경사자장에코로 3D FFE를 사용하였고, 획득한 영상들은 MIP(maximum intensity projection) 로 재구성(reconstruction) 후 PACS 네트워크로 전송을 하였다. 분석에 적용된 3D FFE(3D fast field echo) 의 매개변수로 Table 1 과 같았다.

Table 1. Scan parameters for 3D TOF high resolution MR angiography

parameter**	1.5 T	3.0 T
TR	25	24
TE	6.9	3.5
Voxel MPS	0.39×0.39×0.2	0.19×0.19×0.35
Matrix MP	384×384	600×600
FOV	200	200
Th./gap	20/10	20/10
Scan time	12 : 10	08 : 39

**TR(ms) : repetition time, FOV(mm) : field of view, Th./G(cm): slice thickness/gap, Matrix MP :frequency and phases encoding matrix, Voxel MPS: frequency, phase and slice encoding voxel, ST: scan time.

3. 분석방법

두 MRI 기기에서 DICOM(digital imaging and communications in medicine) 파일로 PACS(INFINIT Healthcare, Co., Ltd, Korea) system 에 전송 된 데이터를 분석하였다. 전송된 DICOM 파일은 Zoom configuration은 200 % 로 하였고, 12 Bits 로 저장을 하였다. 두 기기에 대한 circle of wills 묘출 정도를 분석하기 위해 PACS 네트워크로 전송된 DICOM 파일을 Image Viewer 프로그램을 이용하여 일정한 크기의 관심영역(region of interest)을 설정한 후 Internal carotid artery(ICA), Middle cerebral artery(MCA, M1), Anterior cerebral artery(ACA,

A1), Anterior cerebral artery(ACA, A2), Vertebral artery(VA) 에 대한 SNR(signal to noise ratio, eq. 1), CNR(contrast to noise ratio, eq. 2)를 정량적 분석을 하였다.

$$SNR = \frac{Signal_{vessel}}{\sigma_{background}} \quad (\text{eq. 1}),$$

$$CNR = \frac{Signal_{tissue1} - Signal_{tissue2}}{\sigma_{background}} \quad (\text{eq. 2})$$

정성적 분석방법으로 Middle cerebral artery(M1, M2, M3, M4), Posterior cerebral artery(P1, P2, P3, P4), Anterior cerebral artery(A1, A2, A3) 에 대한 모출정도를 3 단계로 구분하여 평가를 하였다. 구분단계는 Vessel segments가 보이지 않을 경우(poor 1), Vessel segments 가 희미하게 보일 경우 (good 2), Vessel segments 가 뚜렷하게 보일 경우 (excellent 3) 이었고 각 영상에 대하여 얻어진 점수를 평균화 하여 비교 하였다. 두 기기에 대한 데이터들은 3차 의료기관에서 임상경력 10년 이상인 경험 있는 MRI 국제전문 방사선사가 평가를 하였다.

4. 통계분석

두 기기 대한 정량적 분석으로 SNR 와 CNR 에 대한 통계적 유의성은 Independent sample t-test 로 계산 되었으며, circle of wills를 포함하여 전반적인 혈관 모출에 대하여 Mann - whitney U test를 적용하였다. 통계에 사용된 프로그램은 PASW Statistics(release 18.0) 프로그램을 이용하여 p 값이 0.05 이하 일 때 유의성을 두었다.

III. 결과

총 30 명에 대하여 1.5 T 와 3.0 T 3D TOF HR 데이터 분석을 하였다. 두 MRI 기기에서 ICA, M1, A1, A2, VA 에 대한 평균 SNRs 는 (1.5 T: 4654.4 ± 226.3, 3.0 T: 5383.2 ± 152.5) 3.0 T 가 높은 값을 나타났으며, 또한 각각의 branches 와 주변조직의 평균 CNRs (1.5 T: 3201.2 ± 61.6, 3.0 T: 3978.6 ± 34.8)도 3.0 T가 높은 값을 얻어 유의성 있는 결과

를 얻었다(t: -3.310, p=0.0014, Table 2).

Table 2. SNR and CNR values obtained at 1.5 T and 3.0 T TOF HR MRA(n=30).

locations	SNR		CNR	
	1.5 T	3.0 T	1.5 T	3.0 T
ICA	5382 ±716	5216 ±524	3836 ±359	3920 ±124
M1	4545 ±246	6210 ±186	3390 ±200	4689 ±214
A1	3408 ±151	4230 ±143	2515 ±229	3217 ±198
A2	4393 ±258	5140 ±210	3554 ±231	3958 ±163
VA	5544 ±219	6120 ±218	2711 ±267	4109 ±183
Mean ±SD	4654.4 ±226.3	5383.2 ±152.5	3201.2 ±61.6	3978.6 ±34.8

Numbers: Average values ± standard deviation.

SNR: signal to noise ratio. CNR: contrast to noise ratio, HR: high resolution, SNRs and CNRs(p<0.05), p-value: independent t-test.

Table 3 은 관찰자가 시각적 평가에 의하여 3 등급으로 나타낸 것이다. 관찰자 시각에서 A1, A2, A3 에 대한 branches 모출은 3.0 T TOF MRA 기법이 높은 점수(1.5 T: 2.70 ± 0.08 , 3.0 T: 2.72 ± 0.01)를 얻었지만, 유의성은 없었다(p>0.05). M1(2.66 ± 0.47 vs. 2.88 ± 0.13), M2(2.56 ± 0.50 vs. 2.79 ± 0.10) 모출에서는 3.0 T 기법이 높은 점수를 얻었지만, 유의성은 없었다(p>0.05). M3(2.87 ± 0.35 vs. 2.70 ± 0.07), M4(2.86 ± 0.35 vs. 2.52 ± 0.09)에서는 1.5 T 기법이 높은 점수를 얻었으며, 유의성 있는 결과를 얻었다(p<0.05). 또한 P1, P2 모출에서도 3.0 T 기법이 높은 점수를 얻었지만, 유의성은 없었다(p>0.05). P3(2.73 ± 0.45 vs. 2.44 ± 0.07), P4(2.33 ± 0.47 vs. 2.19 ± 0.18)에서는 1.5 T 기법이 높은 점수를 얻었으며, 유의성 있는 결과를 얻었다(p<0.05).

Table 3. Qualitative analysis on 1.5 T and 3.0 T TOF HR MRA.

	1.5 T	3.0 T
A1	2.53 ± 0.51	2.86 ± 0.18
A2	2.73 ± 0.45	2.74 ± 0.16
A3	2.86 ± 0.35	2.58 ± 0.17
Mean ±SD	2.70 ± 0.08	2.72 ± 0.01
M1	2.66 ± 0.47	2.88 ± 0.13
M2	2.56 ± 0.50	2.79 ± 0.10
M3	2.87 ± 0.35	2.70 ± 0.07
M4	2.86 ± 0.35	2.52 ± 0.08
Mean ±SD	2.73 ± 0.07	2.72 ± 0.02
P1	2.13 ± 0.73	2.41 ± 0.65
P2	2.40 ± 0.49	2.53 ± 0.49
P3	2.73 ± 0.45	2.44 ± 0.07
P4	2.33 ± 0.47	2.19 ± 0.18
Mean ±SD	2.39 ± 0.12	2.39 ± 0.26

Numbers: Average values ± standard deviation.

p-value: Mann-Whitney U-test.

Figure 2 는 1.5 T 기법과 3.0 T 기법으로 영상화한 것이다. 1.5 T 기법이 C(M3, M4), E(P3, P4) 와 같이 vessel branches 가 3.0T 기법과 비교 했을 때 의미 있게(significantly) 우위에 결과를 얻었다. 시각적으로 평가했을 때 신호강도(signal intensity)는 F 의 VA 혈관을 포함하여 B 영상이 A 영상에 비해 ICA, M1, A1, A2 혈관이 모두 높게 나타났다. 영상의 질(image quality)적 측면에서 뚜렷하게 두 MRA 기법에 큰 차이는 없었지만, 3.0 T 기법이 자기감수성 인공물에 의하여 작은 혈관의 신호강도가 낮게 나타났다.

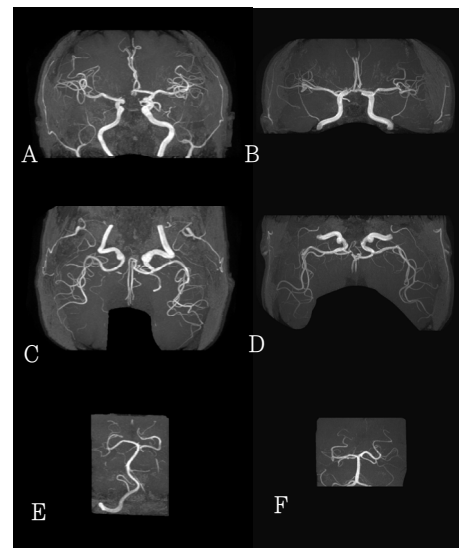


Fig. 2. 3D TOF HR maximum MIP images of 1.5 T(A,C,E) and 3.0 T(B, D, F).

IV. 고찰

본 실험에 적용된 3D FFE TOF pulse sequence 는 일반적으로 뇌혈관(intracranial vessel) 검사에 적용하는 기법으로 임상에서 주로사용하고 있는 방법이다. 최근에는 3.0 T MRI 가 많이 보급되어 임상적으로 많은 정보를 제공하고 있지만, 고자기장(high magnetic field strength) 영향으로 인공물을 유발하는 단점을 가지고 있다.^{5),6)} 인공물 중에는 susceptibility artifact 와 dielectric resonance artifact 가 3.0 T TOF MRI 검사 시 주로 발생한다. Susceptibility artifact 는 주자기장(main magnetic field, B_0)과 TE(echo to time)에 비례하지만, Bandwidth는 반비례 관계를 가지고 있다(eq. 1). Dielectric resonance artifact⁷은 3.0 T 이상의 고자기장을 이용하여 검사 할 때 영상의 중앙부분에 높은 신호강도(high signal intensity)가 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 TOF MRA 검사에서 많이 볼 수 가 있다.

Susceptibility artifact size

$$= \frac{(\Delta \text{Susceptibility}) \times B_0 \times TE}{\text{Bandwidth}} \quad (\text{eq. 1})$$

3.0 T MRI에서 강하게 발생하는 Susceptibility artifact 로 본 데이터 분석에서 M3, M4 와 P3, P4

segments 가 3.0 T 기법에 비해 1.5 T 기법이 우위의 결과를 얻었다. Figure 3 는 1.5 T 와 3.0 T TOF HR MRA 에서 Dielectric resonance artifact 에 관하여 비교한 것이다. 1.5 T 와 3.0 T 영상을 비교 했을 때 1.5 T 의 Volume data 와 MIP 영상에서 전반적으로 신호강도가 균일(white dotted line, A) 하게 나타났지만, 3.0 T 에서는 중앙부분이 신호강도가 밝고(white dotted line, C) 불균일하게 나타난 것을 알 수가 있었다. 이러한 Dielectric resonance artifact를 해결하는 방법으로는 Flip angle 에 민감하지 않는 imaging protocol를 선택하거나, 다중채널 (multi-channel) receive coil를 선택하여 감소시킬 수가 있다.

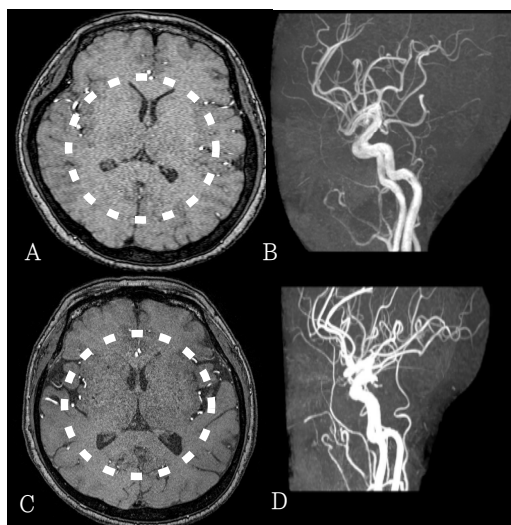


Fig. 3. Axial 3D TOF HR MRA volume(A, C) and MIP(B, D) images at 1.5 T(A, B) and 3.0 T(C, D).
0.39 × 0.39 × 0.2(1.5 T) and

1.5 T 와 3.0 T TOF HR MRI 에 대한 Voxel 크기가 0.39×0.39×0.2와 0.19×0.19×0.35 로 설정하였고 Matrix MP는 384×384 와 600×600로 혈관영상에서 해상력을 나타낼 수 있는 매개변수를 적용하였다. Scan time은 1.5 T 가 12 분 10초, 3.0 T 가 8 분 39 초로 1.5 T 가 검사 소요시간이 긴 단점이 있었다. 본 연구에 있어서 몇 가지 제한점이 있다면 첫째, 질환의 종류에 따라 두 기법에 대한 분석을 하지 않았기 때문에 향후 분석이 필요하였다. 둘째, 최적의 매개변수로

변화 후 검사를 하지 못한 점, 일반적으로 임상에서 TOF HR 검사 시 사용되는 매개변수이기 때문에 진단적 정보를 제공하는 데에는 문제가 없다고 생각한다.

V. 결론

결론적으로, 본 데이터 분석에서 두 기기에 대한 HR 기법적용은 영상에 질적 차이를 보였다. 정량적 분석에서 신호대 잡음비 와 대조도대 잡음비가 3.0 T MRI 가 높은 값을 나타냈지만, Susceptibility artifact 로 인하여 정성적 분석에서는 1.5 T MRI가 A3, M3, M4, P3, P4 가 높은 점수를 획득하였다. 1.5 T MRI 가 검사 소요시간이 긴 단점을 가지고 있었지만 신호강도가 균일성(uniformity) 있는 영상을 얻었고, 3.0 T MRI 는 검사 소요시간이 짧은 장점이 있는 반면 신호강도가 불 균일(ununiformity)한 영상을 얻었다. 그러나 뇌혈관 묘출에 있어서 1.5 T 와 3.0 T 3D HR 기법은 영상의 질 평가가 모두 가능한 영상이었다. 따라서 본 데이터 분석을 통하여 뇌혈관 3D TOF HR MRA 는 각각의 기법에 따라 장 · 단점을 가지며 뇌혈관을 묘출하는데 있어서 높은 진단적 정보를 제공하였다.

참고문헌

1. Hacke W, Furlan AJ, Al-Rawi Y, Davalos A, Fibach JB, Gruber F, et al. Intravenous desmoteplase in patients with acute ischaemic stroke selected by MRI perfusion-diffusion weighted imaging or perfusion CT (DIAS-2): a prospective, randomised, double-blind, placebo-controlled study. *Lancet Neurol* 2008; 73: 141-50.
2. Attali J, Benaissa A, Soize S, Kadziolka K, Portefaix C, Pierot L. Follow-up of intracranial aneurysms treated by flow diverter: comparison of three-dimensional time-of-flight MR angiography (3D-TOF-MRA) and contrast-enhanced MR angiography (CE-MRA) sequences with digital subtraction angiography as the gold standard *J Neurointerv Surg*. 2014; doi:10.1136/neurintsurg-2014-011449.

3. Volonghi P, Tresoldi D, Cadioli M, Usuelli A, M, Ponzini R, Morbiducci U, et al. Automatic extraction of three-dimensional thoracic aorta geometric model from phase contrast MRI for morphometric and hemodynamic characterization. *Magn Reson Med*. 2015; doi: 10.1002/mrm.25630.
4. Lin C, Bernstein M, Huston J, Fain S. In vivo and in-vitro measurements of T1 relaxation at 3.0 (abstr). In: Proceedings of the Ninth Meeting of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Berkeley, Calif: International Society for Magnetic Resonance in Medicine 2001; 1391.
5. Field Strength Dependence in MRI: Advantages and Artifacts at 3T, Bernstein MA. *ISMRM 2006-7*:1-8.
6. Schmitz BL, Aschoff AJ, Hoffmann MH, Gron G. Advantages and pitfalls in 3TMR brain imaging: a pictorial review. *AJNR* 2005; 26: 2229-37.
7. Collins CM, Liu W, Schreiber W, Yang QX, Smith MB. Central brightening due to constructive interference with, without, and despite dielectric resonance. *J Magn Reson Imaging* 2005; 21: 192-6.