초급성 허혈성 뇌졸중 환자에서 3.0T 유속증강 자기공명 혈관 조영술을 이용한 임상적 유용성 고찰: 1.5T 기준참고 프로토콜

구 은 회[1] · 성 경 정[2,3,*]

[1]청주대학교 방사선학과, [2]성가롤로병원 영상의학팀, [3]조선대학교 공과대학 원자력공학과

A Clinical Usefulness Study on 3.0T Flow-Related Enhancement Magnetic Resonance Angiography in Hyper-Acute Stroke Patient: 1.5T Standard Reference Protocol

Eunhoe Goo[1] and Kyeong-Jeong Seong[2,3,*]

[1]*Department of Radiological Science, Cheongju University, 298, Daeseong-ro, Cheongwon-gu, Cheongju, Chungbuk 28503, Republic of Korea*
[2]*Department of Radiology, Saint-Carollo Hospital, 221, Sungwang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do 57931, Republic of Korea*
[3]*Department of Nuclear Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Republic of Korea*

Abstract - The purpose of this study was to provide information on the quality of the images of the fast 3D TOF MRA by analyzing retrospective the Flow-Related Enhancement Magnetic Resonance Angiography need to check for Hyper-Acute Stroke according to parameters using the 1.5T Standard Reference. The study randomly chose transferred data to PACS (Picture Archiving Communication System) targeted 30 patients who perform MRA and Hyper-Acute Stroke MRI examination at C university hospital from February 2018 to January 2019. For quantitative evaluation, we measured SNR, CNR to measure average value and standard deviation of signal intensity after setting constant area of interest about cerebral vascular 7 parts according to 3 technique (1.5T SRP, 1.5T HAS, 3.0T HAS)protocol. Measurement result is high or in comparison 1.5T SRP with 3.0T HAS, it showed 3.0T HAS more higher or same result. Consequently, the analysis of 7 parts showed that the values of SNR and CNR were 3.0T HAS≥1.5T SRP>1.5T HAS. Therefore, the 3.0T fast 3D TOF MRA technique showed significant results in the quality evaluation of the images.

Key words : 3D TOF MRA, Hyper-Acute Stroke, SNR, CNR

서 론

뇌졸중은 뇌혈관질환을 말하며 비가역적인 신경학적 손상을 말한다. 뇌혈관 파열로 인한 출혈성 뇌혈관질환(뇌출

* Corresponding author: Kyeong-Jeong Seong, Tel. +82-61-720-2191, Fax. +82-61-720-2501, E-mail. sk201011@naver.com

혈)과 뇌 혈류가 감소하여 나타나는 허혈성 뇌혈관질환(뇌경색)으로 크게 분류된다. 뇌혈관질환은 3대 주요 사망원인이다. 3대 주요 사망원인에는 암과 심장질환이 있다(Song and Son 2008). 또한 뇌졸중은 치명적일 수 있는 뇌질환이다. 단일 장기 질환으로서는 사망률 1위의 심각한 질병이다. 허혈성 질환의 종류에는 PCA Infarction, ACA Infarction, MCA Infarction, Basilar Artery 질환이 있다(Vanikieti *et al*. 2018; Li *et al*. 2018; Lee *et al*. 2019). PCA Infarction은 Occipital Infarction과 Thalamic Infarction으로 나뉜다. Occipital Infarction일 경우 환각, 얼굴인식불능증, 읽기불능증이 발생하고 Thalamic Infarction일 경우 조화운동불능, 정신혼돈, 기억상실, 안구의 수직운동장애가 발생한다. ACA Infarction은 전체 Ischemia 중 0.6~3%를 차지하고 Frontal & Parietal Lobe 내측, 뇌량의 앞쪽, Contralateral Weakness를 동반(Arm < Leg), 단일부분마비가 발생한다. MCA Infarction은 중간뇌 경색, 뇌교 경색을 발생한다. 뇌경색 발생 후 경과된 시간은 초급성, 급성, 아급성, 만성으로 분류한다. 3~6시간의 경우 초급성, 6~24시간의 경우 급성, 24시간~6주의 경우 아급성, 6주 이상을 만성이라 한다. Stroke 환자 발생 시 응급환자가 도착을 하면 신경학적 결손 Scale (National Institutes Of Health Stroke Scale: NIHSS)를 진행하여 CT, MRI 촬영을 한 후 Angiography 시술이나 약물 시술을 하고 CT, MRI 재촬영을 통해 환자의 시술결과를 재확인한다(Dancer *et al*. 2017). NIHSS (NIH Stroke Scale)는 주로 급성기 뇌경색에서 신경학적 결손 정도를 측정하는 데 가장 널리 쓰이는 Scale로 15개 항목, 42점 만점으로 구성되어 있다. 비교적 간단하고 시행하기 용이하며 신뢰도도 잘 연구되어 있는 편이다. 그러나 연하장애 항목이 없고 일부 항목의 신뢰도가 낮으며 Vertebrobasilar Stroke를 제대로 평가하지 못하고 좌우 대뇌반구 경색에서 점수 차이가 난다는 점이 있다(Abuzinadah *et al*. 2016). 혈관이 막히면 Embolism, Large Artery Atherosclerosis가 생길 수 있다(Kuo *et al*. 2009; Wacker *et al*. 2018). 3차 의료기관을 비롯하여 일반 대학병원에서 주로 Hyper Acute 검사에 일반적으로 사용되는 검사 프로토콜은 Perfusion Study, Gradient Echo, Diffusion Study, 조영제주입 Flair (Post Fluid Attenuated Inversion Recovery), 조영제 주입 T1 Axial, Contrast-Enhanced MR Angiography가 있다. Hyper Acute 검사는 최대한 빠른 시간 안에 검사를 마무리하고 처치하는 것이 최선의 방책이다. Hyper Acute Protocol 중 검사 시간이 가장 오래 소요되는 영상기법은 3D TOF MRA 기법이다(Lin *et al*. 2016). 임상에서는 검사를 빨리 마무리하고 다음 처치를 위하여 영상의 질에 대하여 고려하 않는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 1.5T와 3.0T 기기를 이용하여 최적의 영상정보를 제공하기 위하여 매개변수를 변화시켜 Gradient Echo Signal (Hodel *et al*. 2014; Goo 2015)을 인

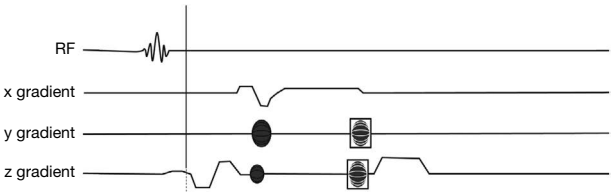

Fig. 1. 3D TOF GE pulse diagram for MRA in hyper acute stroke.

Table 1. Scan parameters for 3 MRI techniques

Parameters	Description		
	1.5T HAS[d)]	1.5T SRP[e)]	3.0T HAS
TR (ms)[a)]	25	25	24
TE (ms)[b)]	6.9	7	3
FA (degree)[c)]	20	20	20
Slice thickness (mm)	1.2	1.2	1.2
Gap (mm)	0.6	0.6	0.6
Voxel MPS	396×187	332×157	500×250
FOV	200	200	200
Scan time (sec)	265	201	158

[a)]TR: repetition time, [b)]TE: echo time, [c)]FA: flip angle, [d)]HAS: hyper-acute stroke, [e)]SRP: standard reference protocol

가하는 3가지 그룹의 3D TOF MRA Protocol를 설정하였다(Fig. 1). 이에 본 데이터 분석은 1.5T Standard Reference Protocol를 이용하여 Hyper-Acute Stroke 검사에 필요한 급속 유속증강자기공명 혈관조영술을 후향적으로 분석하여 매개변수 변화를 적용한 fast TOF MRA의 영상의 질에 대한 정보를 SNR과 CNR로 평가하여 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

2018년 2월부터 2019년 1월까지 C 대학병원에서 MRA 및 초급성 뇌졸중 MRI 검사를 시행한 총 30명의 환자를 대상으로 의료영상저장전송시스템(Picture Archiving Communication System: PACS)으로 전송된 데이터를 무작위로 선정하였으며, 성별은 남자 12명 여자 18명으로 구성되어 있다. 검사 환자 30명의 평균나이는 52±3.24세였다.

2. 자료수집

두 기기(1.5T, 3.0T; Achieva, Philips Medical System, Netherland)에 대한 Hyper Acute Stroke와 Standard Reference Protocol 검사에 적용된 매개변수는 Table 1과 같이 적용하였다.

3. 분석방법

측정 부위는 Acom, a1, m1, p1, basilar, ICA의 왼쪽, 오른쪽 총 7부위의 1.5T Hyper Acute Stroke, 1.5T Standard Reference Protocol, 3.0T Hyper Acute Stroke의 SNR과 CNR 값을 구하였다. SNR은 MIP로 재구성한 혈관의 측정된 신호강도(Signal Intensity: SI)를 영상의 백그라운드 신호강도의 표준편차(Standard Deviation: SD) 값의 평균으로 나누어 계산하였다. 백그라운드 표준편차는 SNR 값을 보다 정확하게 측정할 수 있도록 영상의 좌상단, 우상단, 좌하단, 우하단 4곳의 영역(Region Of Interest)을 설정하여 Eq. 1과 같이 표준편차의 평균값으로 구하였다.

$$\mathrm{SNR} = \frac{\text{measurement SI} \times 0.655}{\text{background noise SD}} \quad (1)$$

대조도 대 잡음비(Contrast To Noise Ratio; CNR)는 MIP로 재구성한 혈관 영상부위의 측정된 신호강도와 인접한 조직의 신호강도의 차를 영상의 백그라운드 신호강도의 표준편차의 평균값으로 나누어 Eq. 2와 같이 계산하였다.

$$\mathrm{CNR} = \frac{(\text{measurement SI} - \text{adjacent SI}) \times 0.655}{\text{background noise SD}} \quad (2)$$

4. 통계분석

본 연구에 사용된 장비에 대한 유의성 평가는 ANOVA test를 사용하였으며, 사후분석으로는 Tuckey를 사용하였다. 모든 실험 데이터는 p 값이 0.05 미만일 경우 통계적 유의성이 있는 것으로 판정하였다. 본 연구에 대한 자료 분석을 위해 사용한 프로그램은 SPSS ver. 24.0을 사용하여 통계학적 분석을 실행하였다.

결 과

1. SNR 분석

본 연구에서 측정한 총 30명의 SNR에 대한 결과는 Table 2와 같다. Acom, m1, a1, p1, Basilar, Rt ICA, Lt ICA의 모든 SNR 값은 3.0T가 가장 높게 나타났으며 3.0T HAS＞1.5T SRP＞1.5T HAS 순이었고 오차범위는 최대 ±1.55로 3.0T Acom에서 가장 크고 1.5T Acom에서 ±0.21로 가장 작았다. F 값이 57.674, p＝0.000으로 세 개의 그룹 중 적어도 하나의 그룹에서는 차이가 있는 것으로 보였다.

2. CNR 분석

각각의 기법에 따른 주변 조직과 차이를 확인하기 위한 평가로 CNR를 분석했을 때 Table 3과 같이 나타났다. Acom, m1, a1, p1, Basilar, Rt. ICA, Lt. ICA의 모든 CNR 값은 3.0T가 가장 높게 나타났으며 3.0T HAS＞1.5T SRP＞1.5T HAS 순이었고 오차범위는 최대 ±0.58로 3.0T Rt. ICA에서 가장 크고 3.0T Acom에서 ±0.21로 가장 작았다. 평균적으로 3.0T Hyper Acute Stroke 값이 높지만 부분적으로는 1.5T Standard Reference Protocol 값이 높은 부위가 있음을 확인할 수 있다. F 값이 25.42, p＝0.000으로 세 개의 그룹 중 적어도 하나의 그룹에서는 차이가 있는 것으로 보였다.

Table 2. Quantitative analysis values of measured SNR

	3.0T (HAS)	1.5T (SRP)	1.5T (HAS)	p-values
Acom	14.45±1.55	7.22±0.82	2.45±0.21	0.0000
m1	12.12±1.32	6.77±0.77	3.64±0.33	0.00003
a1	10.30±1.13	5.02±0.62	2.82±0.22	0.0000
p1	14.31±1.53	7.25±0.83	3.31±0.38	0.00004
Basilar	12.05±1.31	6.39±0.73	4.10±0.31	0.0003
Rt. ICA	14.27±1.52	7.60±0.86	3.55±0.38	0.0001
Lt. ICA	12.90±1.38	6.62±0.75	3.72±0.39	0.0001

Note - Numbers are mean±standard deviation (ANOVA test, p＜0.05).

Table 3. Quantitative analysis value of measured CNR

	3.0T (HAS)	1.5T (SRP)	1.5T (HAS)	p-values
Acom	2.81±0.21	2.91±0.38	1.28±0.23	0.0002
m1	3.91±0.50	3.06±0.40	2.48±0.35	0.0001
a1	2.78±0.37	2.97±0.39	1.64±0.27	0.0000
p1	4.11±0.54	3.71±0.46	2.11±0.31	0.0002
Basilar	3.21±0.48	3.36±0.44	2.93±0.39	0.0000
Rt. ICA	4.05±0.58	3.69±0.46	2.35±0.34	0.0002
Lt. ICA	3.73±0.49	3.63±0.46	2.35±0.34	0.0000

Note - Numbers are mean±standard deviation (ANOVA test, p＜0.05).

3. 영상평가의 결과

3종류의 MRA 기법을 이용하여 검사했을 때 각각 영상에서 다르게 보여주는 것을 알 수가 있었다(Fig. 2). a 영상은 1.5T 기기를 이용하여 Stroke 환자를 검사한 영상이다. 이 영상은 검사를 빠르게 마무리하기 위하여 검사 시간을 줄이는 방법으로 매개변수를 조절한 후 검사한 영상이다. b 영상은 1.5T 기기를 이용하였지만 Stroke을 위한 검사 프로토콜이 아니며 일반 환자에게 적용하는 3D TOF MRA 프로토콜 영상이다. c 영상은 3.0T 기기를 이용하여 검사를 하였으며 검사 프로토콜은 Hyper Acute Stroke로 매개변수를 변환하여 검사한 영상이다. 3종류의 영상을 비교해 보았을 때 a에서 c 영상으로 갈수록 영상의 해상도가 우수한 것

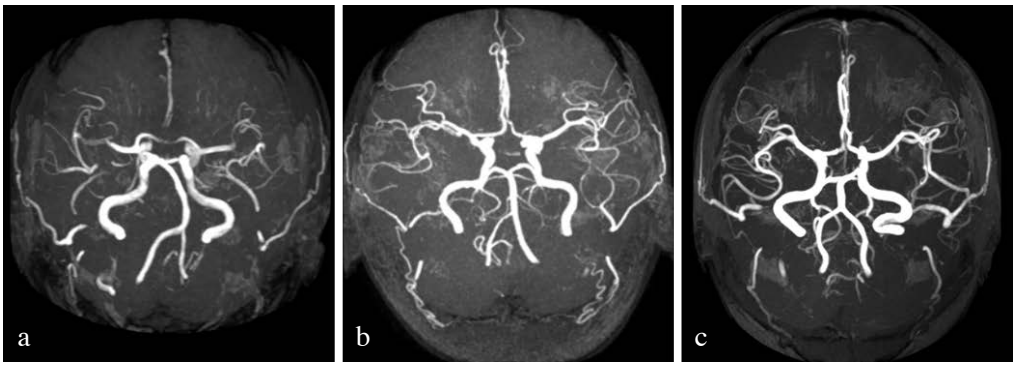

Fig. 2. MIP (maximum intensify projection) image for magnetic resonance angiography techniques. a: 1.5T HAS, b: 1.5T SRP, c: 3.0T HAS.

을 알 수가 있었다. 또한 전반적으로 Small Vessel이 c 영상으로 갈수록 더욱더 많이 나타난 것을 알 수가 있었다. 또한 Background Subtraction이 잘 되어 보이며 신호강도가 높게 보이는 것을 확인할 수가 있었다. 데이터의 정량적 분석 결과에서 3.0T HAS와 1.5T SRP에서 SNR에서는 모두 3.0T HAS가 높게 나타났지만 CNR 값으로 비교했을 때 m1, p1, Rt. ICA, Lt. ICA 외에 나머지 조직은 1.5T SRP가 높게 나타났다. 이러한 결과는 3.0T HAS가 일반적인 프로토콜인 1.5T SRP과 같거나 높다는 결과로 3.0T HAS 영상은 매개변수를 변화시켰지만 영상의 질적 면에서 크게 뒤지지 않는 최적의 Stroke Protocol로서 확인할 수가 있었다.

4. 사후분석 결과

본 연구에서 측정한 3가지 기법에 대한 평가결과 3.0T HAS와 1.5T SRP에서 최적의 영상의 질을 나타냈다. 본 연구에서 적용된 모든 뇌 혈관조직에서 SNR, CNR에 대한 3기법 평가에서는 모두 유의성 있는 결과를 얻었다($p=0.0000$). 그러나 사후분석 결과 3.0T HAS 기준으로는 1.5T SRP와는 차이가 없었고($p=0.54$) 나머지는 차이가 있었다($p=0.000$). 또한 1.5T SRP 기준도 마찬가지로 1.5T HAS만 차이가 있었다($p=0.54$). 결론적으로 3.0T HAS와 1.5T SRP은 CNR 값에 차이는 있었지만 통계적으로 유의하지 않았기 때문에 영상의 질에서는 두 기법 모두 우수하였다. 이에 3.0T HAS 영상이 1.5T SRP와 대등하기 때문에 Hyper Acute Stroke 환자에게 3.0T HAS 기법을 사용하여도 무방할 것이다.

고 찰

혈관 내 혈액의 흐름은 일정한 속도와 다르게 맥동성으로 변화하면서 흐르는 경향이 있다. 또한 심장박동에 따라 수축기에는 빨라지고 이완기에는 느려져 물에 비하여 약 3배의 점도를 가지고 여러 가지 양상으로 나타나는데 혈관에 형태

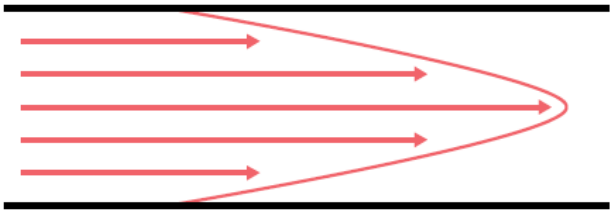

Fig. 3. Vascular type flowing the through the human body. Laminar flow.

에 따라서 다양한 흐름의 변화를 보인다. 혈류의 유형으로는 층류, 용적류, 난류, 분리유체 등으로 나눈다. 층류(Laminar Flow) 형태는 혈관 내에서의 유속의 양상이 혈관벽 쪽으로 갈수록 혈류와 혈관 벽의 마찰에 의해 저항이 생겨 혈류의 속도가 느려지는 것을 알 수 있으며, 혈관중심부에 위치할수록 유속이 빨라짐을 볼 수 있다(Han *et al*. 2014). 이러한 형태의 혈류는 혈관의 크기가 중간이나 작은 일반적인 대부분의 혈관에서 관찰된다(Fig. 3). 이와 같은 혈관을 묘출하기 위하여 매개변수의 변화는 필수적이다. 특히, 본 연구에서 3.0T HAS 기법에서 작은 혈관 묘출이 다른 기법에 비해 우위에 있었다.

뇌혈관 부위에서 3D TOF MRA 기법으로 혈관묘출이 어려운 형태는 난류(Turbulent Flow)이다. 난류 또는 와류, 소용돌이 혈류(Vortex Flow)라고도 불리운다. 이는 처음에는 Laminar Flow나 Plug Flow와 같은 형태로 진행을 하다가 갑자기 좁은 혈관이나 넓은 혈관으로 통과하게 되면 소용돌이 현상이 발생되고 이후 다시 Laminar Flow나 Plug Flow 형태로 진행하는 혈류이다(Ziegler *et al*. 2017). 주로 비정상적인 혈관이나 협착이 생긴 혈관, 또는 혈관의 분지부에서 발생되는 형태이다.

이러한 층류, 난류에 대한 혈류흐름 현상에 대한 영상화는 매개변수와 밀접한 관계가 있다. MR 영상은 신호강도에 따라 영상의 밝기가 결정되어진다. 고 신호강도는 밝게 또는 희게 표현되고, 저 신호강도는 어둡게 또는 검게 나타내어진다. 이러한 신호강도의 차이를 만들어 내고 밝게 또

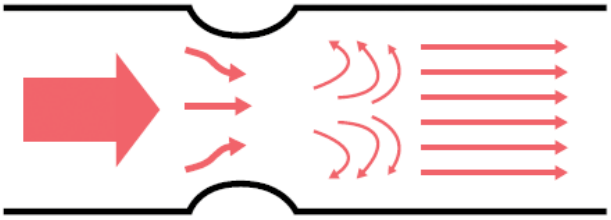

Fig. 4. Vascular type flowing the through the human body. Turbulent flow.

는 어둡게 영상의 농도를 조절할 수 있는 것이 바로 MR Parameter 즉, 매개변수인 것이다. 매개변수의 역할을 수행하는 각각의 인자들을 살펴보면 수많은 인자들이 있겠지만 대략 펄스시퀀스, 반복시간 및 에코시간, 숙임각, 단면두께, 흐름보상법, 심장동기화, 포화펄스, 혈류의 속도, 자기장의 세기 등이 있다(Choi *et al*. 2011). 이와 같이 위에 제시된 여러 가지 매개변수들의 변화나 조정을 통해 본 연구에서도 3.0T HAS, 1.5T HAS의 영상의 질을 1.5T SRP와 비교평가를 하였다. 혈관영상을 획득하기 위해서는 숙임각이 작은 경자자기장 신호(Gradient Echo: GE)를 이용하게 된다. Gradient Echo는 Spin Echo보다 검사 시간이 짧기 때문에 Fast Scan이라고 불려 왔으며 90°보다 작은 하나의 RF pulse 파형을 이용하여 FID 신호로부터 영상을 얻는다(Nakane *et al*. 2008). GE 방식은 90°보다 적은 숙임각을 사용하기 때문에 TR을 짧게할 수 있어 짧은 검사 시간으로 영상을 얻을 수 있다. TR, TE가 짧아 영상단면 내로 들어오는 밝은 혈액의 신호를 나타낼 수 있기 때문에 MRA의 Pulse Sequence로 사용된다. 본 연구에서는 Hyper Acute 환자의 경우 검사 시간이 짧아야 하므로 짧은 스캔타임의 특징을 가진 Gradient Echo 방식을 사용하였다. 3D TOF는 3D 기법이기 때문에 얇은 Slice 선택 및 Matrix 수의 대폭적인 증가가 가능하여 공간해상도가 높고 3D Slab의 Volume에서 얻는 신호이기 때문에 신호대 잡음비가 높은 것이 장점이다(Hiai *et al*. 2008). 그러나 정맥 같은 느린 혈류에 덜 예민하고 두꺼운 절편 즉, Slab에서 Data를 획득하므로 2D TOF보다 포화효과에 민감한 것이 단점이다. Tesla란 자장의 세기를 나타내는 단위이므로 클수록 자장의 세기가 크며 혈관묘출이 우수한 것이 장점이다(Turkbey *et al*. 2014). 본 연구에서도 3.0T 기기를 분석에 포함된 이유도 TOF 기법에 관련하여 혈관묘출에 대한 우수성 때문이다. 혈관에 대한 해상도 역시 자장의 세기에 따라 유속증가효과가 높기 때문에 3.0T MRI가 고해상도 영상화가 가능하다. SNR 측정값에서 3.0T HAS의 값이 Acom에서 14.45, m1에서 12.12, a1에서 10.3, p1에서 14.31, Basilar에서 12.05, Rt. ICA 14.27, Lt. ICA, 12.9로 1.5T SRP와 1.5T HAS의 결과 값보다 더 높은 값이 나왔다. 하지만 CNR 측정값에서는 Acom, a1, Basilar 부위

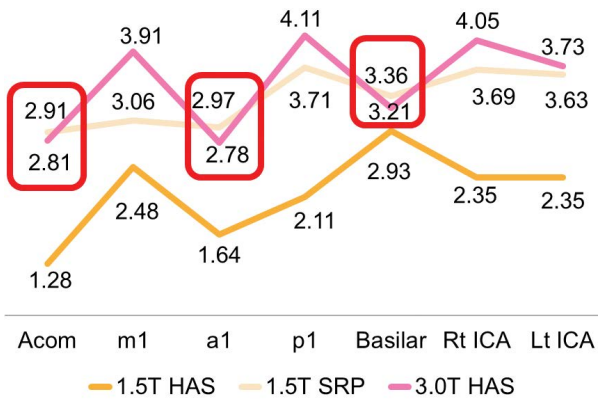

Fig. 5. CNR results by obtained with 3D MRA TOF technique in hyper acute stroke protocol.

에서는 1.5T SRP 값이 더 높게 나왔다(Fig. 5). 이러한 결과는 3.0T HAS 매개변수가 적절히 조정이 되어 Stroke 환자를 위한 Protocol로서 우수한 영상을 얻었다고 할 수 있다. 본 연구에서 제한점이 있다면 정성적인 분석 및 질환별 영상의 질을 비교하지 못한 점, 향후 이를 보완하여 정량화된 데이터를 도출해 낼 것이다.

결 론

본 연구에서 초급성 뇌졸중 프로토콜로 본 데이터 분석 결과, 매개변수 변화에 따라 3.0T fast 3.0T TOF MRA와 1.5T SRP을 비교했을 때 SNR과 CNR 값이 3.0T Hyper Acute Stroke가 1.5T Standard Reference보다 크거나 같고 1.5T Hyper Acute Stroke가 가장 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 결론적으로 3.0T fast 3D TOF MRA 영상에서 Scan Time을 줄임과 동시에 영장의 질을 보상할 수 있는 적절한 Hyper Acute Stroke 기법이었다. 본 연구를 토대로 향후 임상적 기초자료가 되었으면 한다.

참 고 문 헌

Abuzinadah AR, Alanazy MH, Almekhlafi MA, Duan Y, Zhu H, Mazighi M, Lutsep HL, Donnon T and Hill MD. 2016. Stroke recurrence rates among patients with symptomatic intracranial vertebrobasilar stenoses: systematic review and meta-analysis. *J. Neurointerv. Surg*. **8**(2):112-116.

Choi JW, Roh HG, Moon WJ, Chun YI and Kang CH. 2011. Optimization of MR Parameters of 3D TOF-MRA for Various Intracranial Stents at 3.0T MRI. *Neurointervention* **6**(2):71-77.

Dancer S, Brown AJ and Yanase LR. 2017. National Institutes

of Health Stroke Scale in Plain English Is Reliable for Novice Nurse Users With Minimal Training. *J. Emerg. Nurs.* **43**(3):221-227.

Goo EH. 2015. The Evaluation of Image Quality using Time of Flight in Intracranial Magnetic Resonance Imaging : Comparison with 1.5T and 3.0T. *Korean J. Digit. Imag. Med.* **7**(1):43-48.

Han YS, Kim HC, Lee DY, Lee SC, Ha SH and Kim MG. 2014. The Research to Correct Overestimation in TOF-MRA for Severity of Cerebrovascular Stenosis. *J. Inst. Electron. Inf. Eng.* **51**(12):2816-2824.

Hiai Y, Kakeda S, Sato T, Ohnari N, Moriya J, Kitajima M, Hirai T, Yamashita Y and Korogi Y. 2008. 3D TOF MRA of intracranial aneurysms at 1.5 T and 3 T: influence of matrix, parallel imaging, and acquisition time on image quality - a vascular phantom study. *Acad. Radiol.* 15(5):635-640.

Hodel J, Leclerc X, Khaled W, Tamazyan R, Rodallec M, Gerber S, Blanc R, Benadjaoud M, Lambert O, Rabrait C, Zuber M, Rahmouni A and Zins M. 2014. Comparison of 3D multi-echo gradient-echo and 2D T2* MR sequences for the detection of arterial thrombus in patients with acute stroke. *Eur. Radiol.* **24**(3):762-769.

Kuo WT, Gould MK, Louie JD, Rosenberg JK, Sze DY and Hofmann LV. 2009. Catheter-directed therapy for the treatment of massive pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis of modern techniques. *J. Vasc. Interv. Radiol.* **20**(11):1431-1440.

Lee HS, Ahn JS, Park JC, Lee S, Kim M and Park W. 2019. Dominance of the Anterior Cerebral Artery as a Predictor of Vasospasm-Related Cerebral Infarction After Surgical Treatment of Ruptured Blood Blister-Like Aneurysm in the Internal Carotid Artery. *World Neurosurg.* e513-e524: doi: 10.1016/j.wneu.2019.06.143.

Li C, Zhao W, Wu C, Shang S, Chen J, Ren M, Duan J, Ma Q, Li G, Zhang Y, Zhang H, Jiao L and Ji X. 2018. Outcome of endovascular treatment for acute basilar artery occlusion in the modern era: a single institution experience. *Neuroradiology* **60**(6):651-659.

Lin Z, Guo Z, Qiu L, Yang W and Lin M. 2016. The applied research of MRI with ASSET-EPI-FLAIR combined with 3D TOF MRA sequences in the assessment of patients with acute cerebral infarction. *Acta. Radiologica.* **57**(12):1515-1523.

Nakane T, Nihashi T, Kawai H and Naganawa S. 2008. Visualization of neuromelanin in the Substantia nigra and locus ceruleus at 1.5T using a 3D-gradient echo sequence with magnetization transfer contrast. *J. Magn. Reson. Imaging* **7**(4):205-210.

Song EK and Son YJ. 2008. The analysis of type D personality research as a psychosocial risk factor in cardiovascular disease for elders with a chronic disease. *Taehan Kanho Hakhoe Chi.* **38**(1):19-28.

Turkbey B, Merino MJ, Gallardo EC, Shah V, Aras O, Bernardo M, Mena E, Daar D, Rastinehad AR, Linehan WM, Wood BJ, Pinto PA and Choyke PL. 2014. Comparison of endorectal coil and nonendorectal coil T2W and diffusion-weighted MRI at 3 Tesla for localizing prostate cancer: correlation with whole-mount histopathology. *J. Magn. Reson. Imaging* **39**(6):1443-1448.

Vanikieti K, Poonyathalang A, Jindahra P, Cheecharoen P and Chokthaweesak W. 2018. Occipital lobe infarction: a rare presentation of bilateral giant cavernous carotid aneurysms: a case report. *BMC Ophthalmol.* **18**(1):563-572.

Wacker BK, Dronadula N, Bi L, Stamatikos A and Dichek DA. 2018. Apolipoprotein A-I Vascular Gene Therapy Provides Durable Protection Against Atherosclerosis in Hyperlipidemic Rabbits. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* **38**(1):206-207.

Ziegler M, Lantz J, Ebbers T and Dyverfeldt P. 2017. Assessment of turbulent flow effects on the vessel wall using four-dimensional flow MRI. *Magn. Reson. Med.* **77**(6):2310-2319.

Received: 9 February 2020
Revised: 28 February 2020
Revision accepted: 17 March 2020