Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 18, No. 4, pp. 453-458, 2024
https://doi.org/10.23042/radin.2024.18.4.453

Technical article

정상 뇌혈관 영상에서 3D-TOF 기법과 3D-CTA 기법을 이용한 정량, 정성적 비교 평가

구 은 회[1,*]

[1]청주대학교 보건의료과학대학 방사선학과

Quantitative and Qualitative Comparative Evaluation using 3D-TOF and 3D-CTA Techniques in Normal Cerebrovascular imaging

Eun-Hoe Goo[1,*]

[1]Department of Radiological Science, Cheongju University, 298, Daeseong-ro, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do 28503, Republic of Korea

ABSTRACT This study was evaluated as having high diagnostic value among DSA, flow rate-enhanced magnetic resonance imaging (3-D-TOF) and computed tomography angiography (3D-CTA), which are mainly used to examine cerebrovascular diseases with the second-highest mortality rate after cancer, and studied which test method is useful through quantitative and qualitative comparative analysis of 3D-CTA and 3D-TOF, which are relatively safe methods. The Image J program was used to analyze the signal-to-noise ratio (SNR) and the contrast noise ratio (CNR) of 3D-TOF and 3D-CTA for quantitative comparison and analysis, and the Willcoxon signed rack test program was used to perform qualitative comparison and analysis. Data from 30 normal patients who performed 3D-TOF and 3D-CTA at University C from April 2022 to August 2022 were collected through the PACS program. The ROI was analyzed by setting left and right M1, M2, M3, P1, P2, and P3 in 3D-TOF and 3D-CTA images, respectively, and the significance evaluation of the analysis results was confirmed through the Independence test. As a result of quantitative evaluation, SNR and CNR measured 3D-TOF approximately 30% higher than 3D-CTA, and even in qualitative evaluation, 3D-TOF was approximately twice as high as 3D-CTA. Therefore, if the patient can understand the shortcomings of the long test time, the 3D-TOF test method has higher diagnostic value. And it is believed that these results can be provided as clinical basic data.

Key words: Cerebrovascular diseases, 3D-TOF, 3D-CTA

1. 서 론

뇌혈관 질환은 뇌혈관이 터지거나 막혀서 나타나는 질환으로 뇌내출혈, 뇌경색 등이 해당한다. 뇌혈관 질환은 발생 시 짧은 기간 내에 환자를 사망에 이르게 하고 사망하지 않더라도 심각한 후유증을 유발하여 환자 개인의 삶과 나아가 사회적으로도 손실을 가져다줄 수 있는 질환이다. 또한 우리나라 사망원인 순위 중 암에 이어서 2위를 차지하고 있을 정도로 우리에게 있어서 매우 위험한 병이다[1,2]. 더욱 심각한 것은 최근 노인 연령층뿐만 아니라 젊은 연령층에서도 꾸준히 증가하는 추세여서 사회적으로도 큰 문제가 될 수 있는 질환이다. 뇌혈관 질환은 주로 심장이나 그 주변 기관들에서 혈전이 떨어져 나와 뇌혈관을 막는 뇌색전증에 의해 발생하기도 하므로 이러한 경화반을 발견하고 혈관의 협착 정도를 발견하는 것은 치료에 큰 역할을 하므로 영상 의학적 기술들이 뇌혈관 질환의 검사 방법으로 이용되고 있다. 뇌혈관 질환 검사 방법에는 침습적인 방법인 디지털 감산 촬영법(DSA; Digital Subtraction Angiography)과 전산화 단층 촬영 혈관 조영술(3D-CTA; Three Dimensions Computed Tomography Angiography)가 있고 비침습적인 방법인 유속증강 자기공명 혈관 조영술(3D-TOF; Three Dimensions Time of flight Magnetic Resonance Angiography)가 사용되고 있다[3,4]. DSA는 뇌혈관 질환을 정확하게 검사하여 과거 주로 사용되었으나 침습적인 검사 방법과 검사 시간이 길고 시술의 위험성을 가지고 있고, 불가피한 방사선 피폭이 있다는 단점을 가지

ISSN 1976-2402 http://www.ksri.kr/

Copyright© 2024 by Korean Society of Radiation Industry

*Corresponding author: Eun-Hoe Goo
Tel: +82-43-229-7994, Fax: +82-43-229-7947, E-mail: gooeh@cju.ac.kr

Received 5 November 2024 Revised 27 November 2024 Accepted 27 November 2024

고 있다[5]. 3D-CTA 방법은 DSA와 가장 근접한 영상을 제공한다고 하며 DSA보다 검사 시간이 적게 걸리고 DSA보다 비침습적이며 위험성이 적은 장점이 있다. 그리고 3D-CTA는 현재 동맥류 평가에서 장점을 가지고 있어 동맥류에 대한 우수한 성적이 보고 되고 있다. 하지만 침습적인 방법이고 환자에게 방사선 피폭이 가해질 수밖에 없다는 단점이 있다[6]. 3D-TOF 방법은 유입되는 스핀들의 신호를 수집하는 기법으로 최근 신호도 대 잡음 비(SNR; Signal to Noise Ratio)를 개선하여 혈관을 더욱 더 선명하고 명료하게 파악하는 검사로 이용되고 있다. 또한 검사 방법이 비침습적이고 비전리방사선을 이용하기 때문에 방사선 피폭에 있어서 자유롭다. 최근 기술의 발전으로 인하여 해상도가 향상되고 미세한 병변의 발견이 가능하게 되어 유용성이 인정되어서 적용 범위가 점점 더 증가하고 있는 추세이다. 하지만 검사 시간이 3D-CTA보다 길다는 단점이 있다. 지금까지 연구에서 3D-CTA는 3D-TOF의 비해 혈류에 대한 의존도가 낮고, 높은 공간 분해능 등의 장점이 있다는 것으로 알려져 있다. 하지만 최근 환자들의 인식 변화와 기술의 발전으로 인해 침습적인 방법보다는 비침습적인 검사 방법의 선호도가 과거에 비해 점점 높아지고 있는 추세이다. 그리고 최근 MRA의 비약적인 발전으로 인하여 MRA 영상의 질이 크게 향상되었기 때문에 MRA의 사용 하는 빈도가 점점 늘어나고 있다[7]. 그러므로 본연구에서는 지금까지 연구에서 3D-CTA가 3D-TOF보다 진단적 가치가 높다고 보고되는 것처럼 3D-CTA와 3D-TOF 중 뇌혈관 질환 진단적 유용성에 있어서 어느 검사 방법이 더 높은지 정량적 정성적 평가를 통하여 비교 분석을 하고자 한다. 그리고 이러한 결과는 추후에 임상적 기초 자료로 제공될 수 있다고 사료된다.

2. 대상 및 방법

2.1. 유속신호증강효과의 물리적 이론

2.1.1. 유속신호증강효과

유속 신호 증강 효과란 속도가 있는 곳에서 신호를 얻는 방법. Fig. 1의 a, b, c의 스핀 중 b 스핀은 혈관으로 유입되는 스핀이고 a, c 스핀은 유입이 없는 정지한 스핀이다. 첫 RF 펄스를 가하고 또 한 번 RF 펄스를 가하면 Fig. 1의 오른쪽 그림과 같이 a, c 스핀은 Saturation이 되고 b 스핀은 계속된 유입으로 인해 종축자화 되어 신호를 얻는 방법이다.

2.2. 분석 대상

2022년 4월부터 2022년 8월까지 C 대학병원에서 3D-TOF와 3D-CTA를 같이 검사한 환자의 영상을 PACS로 무작위로 전송한 환자 중 정상 부위로 분석한 30명(남: 18명, 여: 12명, 평균나이: 63.16±3.97)을 대상으로 분석하였다. 본 분석에 사용된 Parameter는 Table 1과 같이 적용하였다.

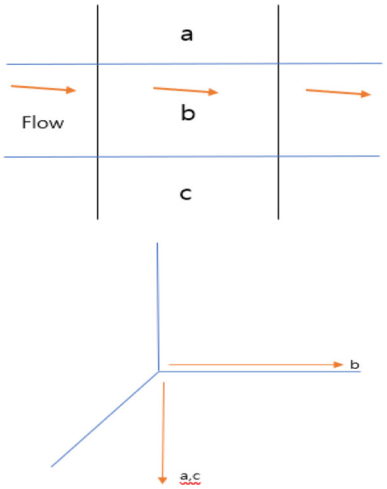

Fig. 1. In-plane 3D TOF MR angiography.

Table 1. Parameters

3D-TOF		3D-CTA	
TR (ms)[a)]	25	Kvp	120
TE (ms)[b)]	3.45	mAs	300
FA (°)[c)]	20	Filter	Std (B)
Technique	GE	Pitch	0.671
Recon	MIP	Rotation Time	0.5

[a)]TR: Repetition Time
[b)]TE: Echo Time
[c)]FA: Flip Angle

2.3. 분석 장비

3D-TOF 기법은 3.0 T MRI (Phillips, Medical system Achieva, The Netherlands)를 사용하였고 3D-CTA는 Brelliance iCT Elite, Phillips, The Netherlands를 사용하였다.

2.4. 분석방법

정량적 분석은 뇌혈관중 M1, M2, M3, P1, P2, P3 영역에 관심 영역을 설정 후 SNR과 CNR을 측정하였고, 정성적 분석은 영상의 질, 움직임 인공물, 경계면, 신호의 균일성을 기준으로 5점 척도로 측정하였다.

2.4.1. SNR

총 6 부위에 4.1 mm^2 관심 영역을 설정한 후 측정하였고, 배경의 잡음의 신호는 위상부호화 방향으로 혈관 중심 좌,우측에 잡음이 포함되도록 4.2 mm^2의 관심 영역을 잡고 측정하였다. SNR을 측정하는 방법으로 Eq. (1)을 적용하였다.

$$SNR = \frac{signal_{tissue} \times 0.655}{\sigma_{backgroundnoise}} \quad (1)$$

2.4.2. CNR

총 6 부위의 관심 영역을 설정한 후 인접 부위의 평균 신호강도의 차를 배경 잡음의 표준편차로 나누었다. CNR을 측정하는 방법으로 Eq. (2)을 적용하였다.

$$CNR = \frac{signal_{regions} - signal_{adjacnttissues} \times 0.655}{\sigma_{backgroundnoise}} \quad (2)$$

2.5. 분석프로그램

SNR과 CNR의 유의성은 독립표본 T 검증(Independent t-test)을 사용하였고 유의 수준은 $p<0.05$로 측정하였다. 정성적 평가는 Wilcoxon signed rank test를 사용하였고 통계 프로그램은 SPSS (Version 23.0)을 사용하였다. 그리고 Image J를 사용하여 영상 분석을 시행하였다.

3. 결 과

3.1. 정량적 평가(SNR, CNR)

데이터 분석을 위해 측정한 총 30명의 환자에서 왼쪽 M1, M2, M3, P1, P2, P3를 정량적 분석 결과 Table 2에서와 같이 3D-TOF와 3D-CTA에서 M1의 평균 SNRs는 43.33±1.12, 35.76±1.28 (p=0.001), M2의 평균 SNRs는 44.43±1.78, 33.64±0.86, (p=0.001), M3의 평균 SNRs는 43.21±0.96, 29.55±1.38 (p=0.001), P1의 평균 SNRs는 43.76±1.54, 34.56±2.08 (p=0.001), P2의 평균 SNRs는 52.07±2.1, 32.20±1.96 (p=0.001), P3의 평균 SNRs는 51.88±1.64, 25.41±1.82 (p=0.001)의 값으로 분석되었다. 오른쪽 M1, M2, M3, P1, P2, P3를 정량적 분석 결과 Table 3에서와 같이 3D-TOF와 3D-CTA에서 M1의 평균 SNRs는 SNRs는 45.01±1.04, 34.18±1.19 (p=0.001), M2의 평균 SNRs는 42.07±1.89, 32.87±1.56 (p=0.001), M3의 평균 SNRs는 37.81±2.02, 29.28±0.92 (p=0.001), P1의 평균 SNRs는 53.56±0.86, 34.46±1.43 (p=0.001), P2의 평균 SNRs는 49.16±1.44, 34.65±1.63 (p=0.001), P3의 평균 SNRs는 44.25±1.06, 31.29±1.52 (p=0.001)의 값으로 분석되었다. 양쪽 뇌혈관 분석 결과 3D-TOF가 3D-CTA보다 SNR값이 평균 30% 정도 높게 측정되었다. 다음은 CNR에 관한 결과이다. 왼쪽 M1, M2, M3, P1, P2, P3를 정량적 분석 결과 Table 4에서와 같이 3D-TOF와 3D-CTA에서 M1의 평균 CNRs는 19.14±2.35, 11.26±1.63 (p=0.001), M2의 평균 CNRs는 21.38±3.45, 10.47±2.48 (p=0.001), M3의 평균 CNRs는 20.65±1.69, 12.14±1.26 (p=0.001), P1의 평균 CNRs는 20.79±1.12, 13.65±3.28 (p=0.001), P2의 평균 CNRs는 25.69±3.38, 12.79±2.59 (p=0.001), P3의 평균 CNRs는 24.75±2.26, 11.37±3.35 (p=0.001)의 값으로 분석되었다. 오른쪽 M1, M2, M3, P1, P2, P3를 정량적 분석 결과 Table 5에서와 같이 3D-TOF와 3D-CTA에서 M1의 평균 CNRs는 21.02±2.05, 10.09±3.1

Table 2. Signal-to-noise ratio (SNR) comparison using 3D-TOF and 3D-CTA (Left)

	M1	M2	M3	P1	P2	P3
3D-TOF	43.33±1.12	44.43±1.78	43.21±0.96	43.76±1.54	52.07±2.1	51.88±1.64
3D-CTA	35.76±1.28	33.64±0.86	29.55±1.38	34.56±2.08	32.20±1.96	25.41±1.82
p-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

Numbers are mean ± standard deviation ($p<0.05$*), Independent t-test.

Table 3. Signal-to-noise ratio (SNR) comparison using 3D-TOF and 3D-CTA (Right)

	M1	M2	M3	P1	P2	P3
3D-TOF	45.01±1.04	42.70±1.89	37.81±2.02	53.56±0.86	49.16±1.44	44.25±1.06
3D-CTA	34.18±1.19	32.87±1.56	29.28±0.92	34.46±1.43	34.65±1.63	31.29±1.52
p-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

Numbers are mean ± standard deviation ($p<0.05$*), Independent t-test.

Table 4. Contrast-to-noise ratio (CNR) comparison using 3D-TOF and 3D-CTA (Left)

	M1	M2	M3	P1	P2	P3
3D-TOF	19.14±2.35	21.38±3.45	20.65±1.69	20.79±1.12	25.69±3.38	24.75±2.26
3D-CTA	11.26±1.63	10.47±2.48	12.14±1.26	13.65±3.28	12.79±2.59	11.37±3.35
p-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

Numbers are mean ± standard deviation ($p<0.05$*), Independent t-test.

Table 5. Contrast-to-noise ratio (CNR) comparison using 3D-TOF and 3D-CTA (Right)

	M1	M2	M3	P1	P2	P3
3D-TOF	21.02±2.05	20.72±2.46	23.68±1.19	26.34±4.25	24.14±2.63	19.67±3.04
3D-CTA	10.09±3.1	12.38±1.47	13.56±2.29	11.88±1.58	14.35±2.97	8.87±1.21
p-value	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

Numbers are mean ± standard deviation, (p<0.05*), Independent t-test.

(p=0.001), M2의 평균 CNRs는 20.72±2.46, 12.38±1.47 (p=0.001), M3의 평균 CNRs는 23.68±1.19 (p=0.001), P1의 평균 CNRs는 26.34±4.25, 11.88±1.58 (p=0.001), P2의 평균 CNRs는 24.14±2.63, 24.14±2.63 (p=0.001), P3의 평균 CNRs는 19.67±3.04, 8.87±1.21 (p=0.001)의 값으로 분석되었다. 양쪽 뇌혈관 분석 결과 3D-TOF가 3D-CTA보다 CNR값이 평균 2배 이상 높게 측정되었다.

3.2. 정성적 평가

정성적 분석은 Wilcoxon signed rank test를 사용하여 Fig. 2의 영상의 질(Image Quality, 움직임 인공물(Motion Artifact), 혈관의 경계면(Vascular Boundary), 신호의 균일성(Uniformity of Signals)을 기준으로 5점 척도로 하여 측정하였다. 3D-TOF와 3D-CTA의 정성적 평가 결과 Table 6과 같이 영상의 질은 평균 3.86±0.77, 1.86±0.57 (p=0.000*), 움직임 인공물은 평균 3.93±0.58, 2.03±0.66 (p=0.000*), 혈관의 경계면은 평균 4.36±0.55, 2.76±0.50 (p=0.000*), 신호의 균일성은 평균 4.43±0.50, 1.90±0.40 (p=0.000*)의 값을 얻었다. 정성적 평가 결과 3D-TOF가 3D-CTA보다 높은 값을 얻은 것을 확인하였다.

Fig. 2 영상은 TOF와 CTA 영상에 대하여 5점 척도로 평가한 것이다. 두 기종에 대하여 비교했을 때 전반적으로 3D-TOF가 영상의 질적 측면에서 우수하였다. 특히 조영제를 사용하는 CTA (b), (d) 영상보다 (a), (c) TOF 영상이 배경 잡음에 대하여 우수하게 제거된 것을 알 수 있어 관찰자로부터 높은 점수를 얻은 경우이다. (c), (d) 영상에서 작은 혈관에 대한 묘출에서는 3D TOF 영상에서 신호강도와 혈관의 균일성을 비롯하여 경계 부위

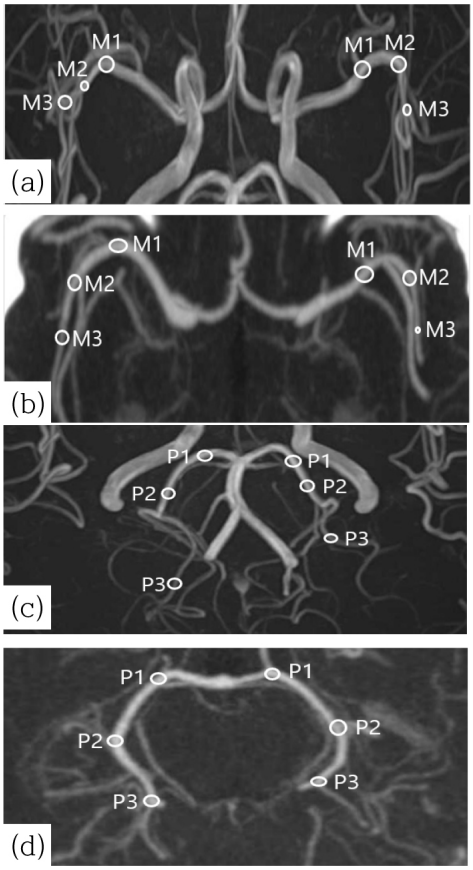

Fig. 2. Qualitative Evaluation of Image Quality. (a) Image of 3D-TOF (Left and Right M1, M2, M3), (b) Image of 3D-CTA (Left and Right M1, M2, M3), (c) Image of 3D-TOF (Left and Right P1, P2, P3), (d) Image of 3D-CTA (Left and Right P1, P2, P3).

Table 6. Quantitative Analysis Value of Measured

	3D-TOF	3D-CTA	p-value
Image Quality	3.86±0.77	1.86±0.57	0.000*
Motion Artifact	3.93±0.58	2.03±0.66	0.000*
Vascular Boundary	4.36±0.55	2.76±0.50	0.000*
Uniformity of Signals	4.43±0.50	1.90±0.40	0.000*

Numbers are mean ± standard deviation, (p<0.05*).

가 뚜렷하게 잘 묘출된 것을 알 수가 있었다.

4. 고 찰

우리 나라는 현재 고령화 사회로 접어들게 되면서 고령 인구가 늘고 있고, 100세 시대에 접어들고 있는 상황이다. 그에 따라 노인성 질환들의 관심이 늘어 가고 있다[8]. 그 중 뇌혈관 질환은 사망률이 매우 높은 질환으로 현재 우리나라 암에 이어 사망률 2위를 기록하고 있는 매우 치명적인 질환이다. 하지만 뇌혈관 질환은 조기 발견 시 사망률이 낮아지고 추후의 치료에 큰 역할을 하기 때문에 뇌혈관 질환의 조기 발견은 매우 중요하다[9]. 조기 발견을 하기 위한 검사 방법으로는 DSA 혈관 촬영술과 3D-CTA, 3D-TOF가 있다. 그중 DSA 기법은 가장 많이 사용되어 왔고, 가장 정확한 검사 방법으로 알려져 있다. 하지만 DSA 기법은 침습적인 검사 방법으로 검사 시 시술의 위험성이 있고, 방사선 피폭에 자유롭지 못하다는 단점이 있다. 3D CTA기법은 DSA 기법보다 비교적 비침습적이고 DSA 기법과 가장 근접한 영상을 얻을 수 있다고 알려져 있으며 비교적 짧은 검사 시간과 높은 공간분해능으로 인해 뇌혈관 진단에 효과적으로 사용되어 왔다. 하지만 CTA는 영상을 얻기 위해서 신독성이 있는 조영제를 불가피하게 사용하여야 하고, 방사선 피폭에 있어서 자유롭지 못하다는 단점이 있다. 특히 병이 오래 지속되어 장기간 검사가 필요한 환자들에게는 주의가 필요하다. 3D-TOF 기법은 유속이 있는 혈류가 있으면 신호를 나타내며 유속이 없는 혈관에서는 그 신호가 약해지는 특징을 이용하여 검사하는 방법이다[10]. 이 검사 방법은 비침습적이고 비전리방사선을 이용하기 때문에 방사선 피폭에 있어서 자유롭다는 큰 장점을 지니고 있다. 그리고 현재 의료기기의 꾸준한 성장과 발전으로 인하여 검사 시간도 단축되고 영상의 질이 매우 향상 되었고, 인공물 또한 많이 개선되어 미세한 병변들의 발견도 가능하여 그 유용성을 인정받고 있다[11,12]. 최근 의료기기의 발달과 의료기술의 발전으로 인하여 침습적이지 않은 비침습적인 검사 방법의 선호도가 나날이 증가하고 있다. 이에 따라 3D-CTA 와 3D-TOF 기법을 사용하는 비율이 증가 하고 있는데 현재까지는 3D-CTA가 3D-TOF에 비해 영상의 질이 높고 DSA와 근접한 영상을 얻을 수 있다고 하지만 현재 MRA 기술의 급성장과 많은 연구들로 인하여 영상의 질이 매우 개선되었고, 방사선 피폭에 있어서 자유롭다는 장점이 있어서 사용하는 비율이 증가하는 추세이다. 본 연구는 앞에 설명한 검사 방법중 3D-CTA가 정말 3D-TOF에 비해 진단적 가치가 우수한지 실험을 하기 위하여 정량적 정성적 분석을 시행하여 그 유용성을 평가해 보고 하였다. 연구 결과 기존 연구들과 달리 3D-CTA에 비해서 3D-TOF가 SNR은 평균 30%, CNR은 2배 이상 더 높게 나타나는 것을 알 수 있었고, 정성적 평가에서도 3D-TOF가 3D-CTA보다 더 높게 측정되는 것을 알 수 있었다. 본연구의 제한점으로는 동일한 장비를 사용할 수 없기 때문에 관찰자의 의견으로 최대한 동일한 관심영역 (ROI)를 측정하였고, 환자의 수가 30명으로 최적의 정량적 분석을 위해서는 더 많은 환자를 연구해야 할 필요가 있다. 그리고 이번 연구에서는 M1, M2, M3, P1, P2, P3 혈관만을 연구하였기 때문에 더 정확한 연구를 위해 더 다양한 작은 혈관들을 비교 분석할 필요가 있다고 사료된다. 그리고 질환을 대상으로 비교 분석을 하지 못한 아쉬운 점이 있고, 본 연구의 영상의 데이터들은 기존의 매개변수로 얻은 영상이여서 매개변수를 변경시켜 환자 데이트를 분석하지 못한 제한점이 있었다. 그리고 본연구는 후향적 분석으로 분석의 한계점 있었다. 그리고 3.0T 장비만 사용되어 신호가 상대적 떨어지는 1.5T와의 비교가 필요하다고 생각된다. 하지만 앞으로 이러한 제한점이 없는 연구가 실행되어 다양한 자료들이 확립되어야 한다고 사료된다.

5. 결 론

결론적으로, 정량적 정성적 비교 분석 결과 3D-TOF가 3D-CTA기법보다 높은 결과를 얻었다. 이에 따라 검사 시간이 긴 단점을 환자가 이해할 수 있다면 3D-TOF검사 방법이 진단적 가치가 더 높다는 것을 알 수 있었고, 추후에 1.5T 장비와의 비교와 더 다양한 혈관의 연구가 필요 할 것이라는 결론을 얻었다. 본연구의 아쉬운 점이라면 더 많은 환자의 자료를 수집하지 못한 점이다. 하지만 본연구를 통하여 비침습적이고 방사선 피폭에 있어서 자유로운 3D-TOF기법에 대한 유용성을 평가할 수 있었고, 이러한 결과를 통하여 향후 임상적 기초 자료로 제공될 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Kim JR and Park SH. 1995. A Hospital-based Case-control Study on the Risk Factors of Cerebrovascular Disease. *JPMPH* **28**(2):473-486.
2. Sim JH and SON MA. 2009. The Relationship between Cerebrovascular Mortality and Community Health Indicators in Gangwon-do. *JAMCH* **34**(1):1-12. https://doi.org/10.5393/jamch.2009.34.1.001.
3. Seo YH and Hong CG. 2019. Analysis of the Entrance Surface Dose (ESD) and Contrast Usage of Trance Femoral Cerebral Angiography (TFCA) and Cerebral Computed Tomographic Angiography (CCTA) for Cerebrovascular Disease Examining. *JKSR* **13**(4):495-502. https://doi.org/10.7742/jksr.2019.13.4.495.
4. Byun JS and Goo Eh. 2017. A Study on Selection of Optimal Imaging Diagnostic Device for Cerebral Angiography: Focusing on MRA, CTA, and DSA Imaging Diagnosis Devices. *JKSR* **11**(7): 637-645. https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.7.637.
5. Lee DR and Lee HM. 2018. Comparison of conventional 2D, 3D DSA and 4D DSA in the diagnosis of cerebrovascular disease. *Journal of the korean society of intervention and imaging technology (JKSI)* **21**(1):40-48.
6. Cha YC, Lee MS, Lee SJ, Im HS and Son CH. 2012. Mage Quality and Radiation Doses of 320-MDCT for Whole Brain CT Angiography

(CTA): Comparison with 64-MDCT. *JKSCT* **14**(2):85-95.
7. Goo EH. 2017. Quantitative Assessment using SNR and CNR in Cerebrovascular Diseases: Focusing on FRE-MRA, CTA Imaging MethodEun-Hoe Goo. *JKSR* **11**(6):1-8. https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.6.493.
8. Chin SA. 2018. Deducting the elements for VR medical simulation based on the Biomechanism of Insulin and Diabetes Diseases. *AJMAHS* **8**(8):19-26.
9. Rundek T and Sacco RL. 2012. Cerebrovascular disease, *Curr Opin Neurol* **25**(1):1-4. https://doi.org/10.1097/wco.0b013e32834f89b1.
10. Back SH, Jeong JH, Lee YE, Gwak MY, Yoon J, Jung DB, Oh HS and Heo YC. 2020. Quantitative Analysis of Fluid Velocity and Signal Loss of the TOF-MRA in a 3.0T MR System: Using the Flow Rate Control Phantom. *JKSR* **14**(7):965-973. https://doi.org/10.7742/jksr.2020.14.7.965.
11. Choi YJ, Kweon DC. 2016. Evaluation of TOF MR Angiography and Imaging for the Half Scan Factor of Cerebral Artery. *JOM* **26**(3):92-98. https://doi.org/10.4283/jkms.2016.26.3.092.
12. 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. *IEIE* **51**(12):180-188. https://doi.org/10.5573/ieie.2014.51.12.180.