

<원저>

2D 혈관조영술에서 직접 측정된 혈관 직경과 MR 영상에서 단면적 기반 환산 직경의 비교 분석

이기백¹⁾·김미현²⁾¹⁾충북보건과학대학교 방사선과·²⁾서울아산병원 영상의학과

Comparative Analysis between Directly Measured Diameter in 2D Angiography and Cross-Sectional Area-Converted Diameter in MR Image

Ki-Baek Lee¹⁾·Mi-Hyeon Kim²⁾¹⁾Department of Radiologic Technology, Chungbuk Health & Science University²⁾Department of Radiology, Asan Medical Center

Abstract This study aimed to quantitatively compare the diameters measured directly from the coronal plane or sagittal plane of 2D digital subtraction angiography (DSA) and the cross-sectional area-converted diameters calculated from contrast-enhanced MR (CE-MR) imaging. A retrospective analysis was conducted on 20 patients who underwent both 2D DSA and CE-MR imaging. Firstly, the venous diameters of the superior sagittal sinus (SSS) and transverse sinus (TS) were directly measured from 2D DSA. Subsequently, the axial planes for SSS diameter and the sagittal plane for TS in CE-MR imaging were utilized to calculate cross-sectional area-based converted diameters. The numerical values obtained from 2D DSA and CE-MR imaging were compared pairwise at each location. For SSS, the diameter measured by 2D DSA was 27% larger than the conversion-based diameter from CE-MR imaging (9.8 ± 1.4 mm vs. 7.1 ± 1.3 mm, $P < 0.05$). Similarly, for the right TS, the difference was 16% (8.8 ± 3.2 mm vs. 7.4 ± 2.0 mm, $P < 0.05$), and for the left TS, the difference was 22% (8.4 ± 2.8 mm vs. 6.6 ± 1.3 mm, $P < 0.05$). In conclusion, the diameter measured directly in conventional 2D DSA may be larger than the diameter converted based on the cross-sectional area. Therefore, when selecting the size of the stent, it is crucial to make precise determinations while keeping this fact in mind.

Key Words: DSA, CE-MR, Diameter Measurement, SSS, TS, Dural Venous Sinus

중심 단어: 디지털감산혈관조영술, 조영증강 자기공명영상, 직경측정, 상시상정맥동, 횡행정맥동, 경막정맥동

1. 서론

경막정맥동은 뇌 내부의 혈액 순환에 중요한 역할을 한다. 심장에서 산소가 풍부한 혈액은 내경동맥과 척추동맥을 통해 뇌에 공급이 되고, 탈산소화된 혈액은 뇌정맥이라는 작은 정맥을 거쳐서 뇌정맥동에 합류를 한다. 이런 경막정맥동(dural venous sinus; DVS)은 크게 상시상정맥동(superior sagittal sinus; SSS), 해면정맥동(cavernous

sinus; CS), 오른쪽, 왼쪽 횡행정맥동(transverse sinus; TS), S상정맥동(sigmoid sinus; SS)으로 나뉘며, 최종적으로 경정맥을 통하여 산소가 제거된 혈액을 심장과 폐로 순환하며 재산소화한다. 위와 같은 역할 외에 경막정맥동은 두개내압을 유지하는 역할을 하는데, 여러 원인에 의해 좁아지게 되면 혈류 순환이 잘 안 되고, 뇌압 상승을 일으킬 수도 있다[1,2]. 정맥동 협착의 원인은 경정맥 기형, 두부의 상, 악성 종양 등 다양한데 최근에는 특발성 두개내 고혈압

Corresponding author: Ki-Baek Lee, Department of Radiologic Technology, Chungbuk Health & Science University, 10, Deogam-gil, Naesu-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, 28150, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea / Tel: +82-43-210-8204 / E-mail: beall34@chsu.ac.kr

Received 01 August 2023; Revised 30 August 2023; Accepted 13 September 2023
Copyright ©2023 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

(idiopathic intracranial hypertension; IIH)이 원인으로 부상하고 있다[3, 4].

경막정맥동 협착증을 치료하는 방법에는 헤파린 또는 와파린과 같은 항응고 약물을 이용한 항응고 요법과 혈관성형술, 그리고 스텐트 삽입술이 있다. 그 중, 가장 효과적인 방법이라고 알려진 것은 정맥동 스텐트 삽입술(dural venous sinus stenting; DVSS)이며 현재 널리 사용되는 치료법이다[5, 6]. DVSS를 진행함에 있어 가장 중요한 요소는 삽입하는 스텐트 크기의 결정인데, 스텐트 크기를 너무 크게 이용해서 치료한다면 과도한 압력의 증가로 인해 관심 부위(좁아진 부위) 주변에 재협착 또는 악영향을 미칠 수 있기 때문이다[7]. 실제로 임상 현장에서 스텐트 크기는 환자의 시술 전 2D 혈관조영 영상의 관상면(coronal plane)과 시상면(sagittal plane)을 기반으로 직접 영상에서 직경을 측정 한 후 결정한다[6]. 그러나 2D 영상 기반 혈관 직경 측정 방법(관상면과 시상면을 이용하여 측정된 수치를 평균화해서 이용하는 방법)보다 3D 영상 기반 직경 측정 방법이 더 정확한 직경을 제시할 것으로 판단된다. 실제로 DVSS를 수행하기 전에 협착이 예상되는 환자들은 조영증강 자기공명검사(contrast-enhanced MR; CE-MR)를 2D 혈관조영술과 함께 수행하는 경우가 많은데[8], 본 연구에서 두 가지 영상 기반으로 DVS 직경을 측정해서 비교해 보고자 한다.

결과적으로 본 연구의 목적은 2D 혈관조영 영상에서 측정된 DVS 직경과 CE-MR 영상에서 단면적 기반으로 환산한 DVS 직경을 비교하여 차이를 확인하고 임상에서 스텐트 크기 결정 시 도움이 되고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 대상

본 연구는 후향적, 단일기관, 의무 기록 분석연구로 진행되었고, AMC IRB(No.2021-1310)의 승인을 받았습니다. 2021년 1월에서 2021년 12월 사이에 스텐트 시술 전 MR 장비를 사용하여 CE-MR 검사를 수행하고, 뇌혈관 조영검사(transfemoral cerebral angiography; TFCA)를 시행하여 2D 디지털감산영상(digital subtraction angiography; DSA)를 획득한 환자 데이터를 분석하였다.

연구 기간에 CE-MR 검사와 TFCA 검사를 한 달 내 수행하지 못한 경우와 두 검사 중 한 검사라도 횡행정맥동(TS)과 상시상정맥동(SSS)을 미포함한 경우는 본 연구대상자에게서 제외하였고, 결과적으로 최종 20명의 데이터가 선정되

었다. 20명 데이터 중 10명의 데이터는 SSS 분석 그리고 나머지 10명의 데이터는 TS 분석을 위해 이용되었다.

2. 연구 방법

MR 검사 시 획득된 TS와 SSS 모두 T1 강조영상(T1 weighted image)이며, 재구성 두께는 3 mm이었다. 그 구체적인 영상획득 파라미터는 TR/TE, 9.8/4.6 ms; flip angle, 10°, FOV, 256 mm; matrix, 512 × 512를 사용하였다. 그 중, TS는 시상면(sagittal plane) 영상, SSS는 단면(axial plane) 영상을 이용하여 Image J 프로그램(Wright Cell Imaging Facility, Toronto Western Research Institute, Toronto, Canada)을 통해 면적(area)을 측정하였다[9]. 그리고 면적 크기 기반으로 변환 직경(conversion diameter)을 구하였다. 이렇게 측정된 DVS 직경은 TFCA 검사의 2D DSA에서 직접 측정된 DVS 직경과 짝비교되었다.

1) 상시상정맥동(SSS) 직경 비교

CE-MR 검사의 단면 영상에서 SSS와 정맥동합류(torcular herophili)를 찾는다(Fig. 1a). 정맥동합류를 기준으로 위 1.5 cm의 일정한 간격으로 다섯 군데 면적을 각각 측정한 후 공식(1)을 이용하여 직경을 환산하였다(Fig. 1a, 1b). 환산된 SSS 직경과 비교를 위해 TFCA의 DSA 영상 중 관상면 및 시상면에서 MR 영상과 동일한 위치에서 직접 측정 및 평균화하여 수치를 획득하였다(Fig. 1c, 1d).

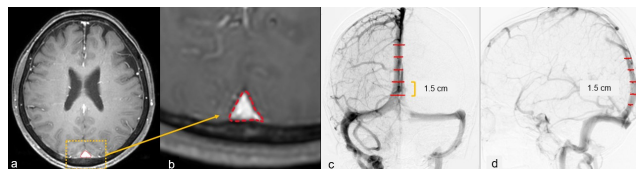


Fig. 1. Diameter measurement method of the superior sagittal sinus (SSS): converted diameter versus, directly measured diameter

- (a) An axial image of the SSS in MR imaging
- (b) The magnified axial image of the SSS in MR imaging
- (c) A coronal plane image of digital subtraction angiography (DSA) for the SSS
- (d) A sagittal plane image of DSA for the SSS

2) 횡행정맥동(TS) 직경 비교

CE-MR 검사의 시상면 영상에서 면적을 측정한 후 면적 기반으로 직경을 환산하였다. TS의 경우 정맥동합류를 중심으로 왼쪽, 오른쪽으로 향하게 되는데, 중심인 정맥동합

류를 중심으로 1.5 cm 간격으로 네 군데의 시상면 면적을 획득하였다. 그 후, TFCA의 DSA 영상 중 관상면에서 MR 영상과 동일한 위치에서 직접 직경을 측정하여 짝비교를 하였다.

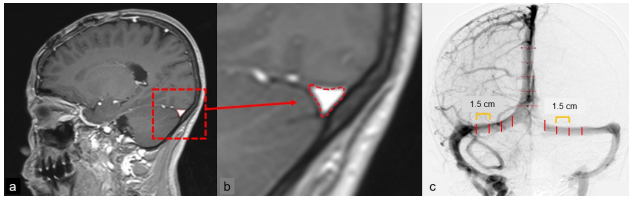


Fig. 2. Diameter measurement method of the bilateral transverse sinus (TS): converted diameter versus directly measured diameter

- (a) An sagittal image of the TS in MR imaging
- (b) The magnified sagittal image of the TS in MR imaging
- (c) A coronal plane image of digital subtraction angiography (DSA) for the TS

3. 통계분석

통계분석 프로그램은 IBM SPSS Statistics 23.0 (Armonk, NY: IBM Corp, USA)을 이용하였다. DV의 환산 직경과

직접 측정 직경 간의 짝비교를 위해 대응표본 t-검정을 이용하였다. 데이터 수치들은 평균±표준편차로 표시하였고, p-value는 0.05를 사용하였다.

III. 결과

전체 환자 데이터의 평균 연령은 63±5세(범위: 53-71세)였다. SSS의 직경 비교 결과 DSA를 이용한 직접 측정 직경의 평균값은 9.8±1.4 mm였고, MR 영상을 이용한 환산 직경은 7.1±1.3 mm로 통계적으로 유의하게 직접 측정 직경이 약 27% 크게 나왔다(p<0.05)(Table 1)(Fig. 3a).

TS의 분석 결과 오른쪽, 왼쪽 TS 모두 DSA에서 직접 측정된 직경이 면적 기반 직경보다 컸으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 오른쪽 TS의 경우 DSA를 이용한 직접 측정 직경이 8.8±3.2 mm 그리고 환산 직경이 7.4±2.0 mm를 나타내어 약 16% 큰 값을 나타냈고(Table 1)(Fig. 3b), 왼쪽 TS의 경우도 DSA를 이용한 직접 측정 직경이 8.4±2.8 mm 그리고 환산 직경이 6.6±1.3 mm로 22% 크게 직경을 나타냈다(Table 1)(Fig. 3c).

Table 1. Numerical comparison between directly measured diameter and the converted diameter

		Paired comparison			
		Patients	Number of data (N)	Size (mm)	p-value
SSS	Direct measured diameter	10	50	9.8±1.4	<0.05
	Converted diameter	10	50	7.1±1.3	
Right TS	Direct measured diameter	10	40	8.8±3.2	<0.05
	Converted diameter	10	40	7.4±2.0	
Left TS	Direct measured diameter	10	40	8.4±2.8	<0.05
	Converted diameter	10	40	6.6±1.3	

*Note: Superior sagittal sinus; SSS, Transverse sinus; TS, Direct measured diameter = measurement based on the 2D DSA, Converted diameter = measurement based on the CE-MR imaging

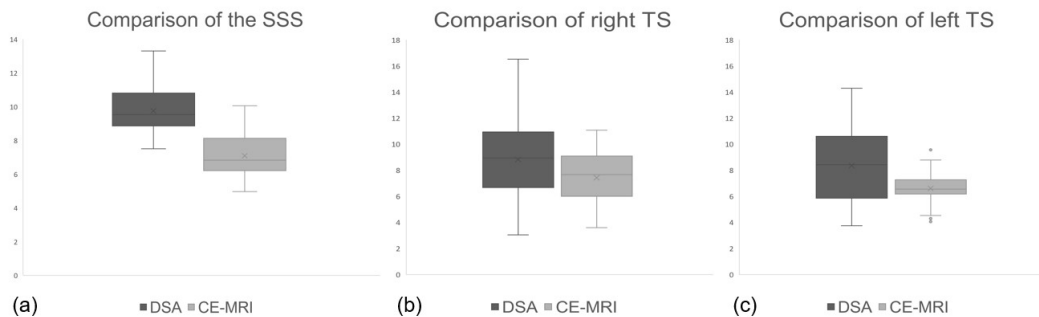


Fig. 3. Comparison of the results obtained from the two methods using the box plot
(a) SSS (b) Right TS (c) Left TS

결과적으로 SSS와 양쪽 TS 모두 2D DSA 기반으로 직접 측정된 직경이 면적 기반으로 환산 직경보다 크게 나온 것을 확인할 수 있었다.

IV. 고 찰

본 연구는 경막정맥동 크기 측정을 기존 방법인 2D DSA에서 직접 측정했을 때와 단면적 데이터 기반 면적을 이용 및 환산하여 측정된 직경을 비교한 연구이다. 결과적으로 2D DSA를 이용하여 측정된 직경이 CE-MR 영상에서 획득한 면적 기반 환산 직경보다 SSS와 양쪽 TS 모두 큰 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 우선 2D 혈관조영술에서 X선 영상의 원리에 의한 기하학적 확대와 함께 투영된 혈관 음영 길이를 검사자가 직접 측정하는 것이 생길 수 있는 결과라고 생각된다. 또한, 그동안 DSA 기반 혈관 측정은 실제 혈관의 모양이 원기둥 형태임에도 관상면과 시상면 내 단면에서 측정함으로써 더 크게 나타낼 수 있다고 판단된다.

기존에 대동맥 박리나 동맥류 환자 치료 목적으로 혈관에 스텐트를 삽입하고자 할 때, 삽입 위치 및 크기를 결정하는데 3D 영상이 정확하다는 연구가 있었다[10]. 또한, 최근 임상에서 3D 회전 혈관조영술도 뇌동맥류 위치 및 크기 확인을 위해 이용하고[11], 3D DSA 사용이 뇌혈관 직경 측정 시 CT 혈관조영술과 동일하거나 더 좋은 방법일 수 있다는 연구도 있었다[12]. 하지만 실제 3D 회전 혈관조영술이 뇌동맥류 목 크기를 과대평가한다는 연구 결과들이 도출되었다[13,14]. 이 결과는 임상에서 신경 중재를 전문으로 수행하는 경험있는 영상의학과 의사들도 동의하는 부분이다. 혈관 질환 및 동맥류의 진단 및 시술을 위해서 DSA가 가장 최적의 방법(gold standard)이지만 CT 혈관조영술, MR 검사가 비침습적으로 널리 사용되고 함께 이용되는 것도 같은 맥락이다. 실제로 DSA는 혈관의 형태만 묘사하며, 특히 혈관벽을 정확히 나타내는 것에 한계가 있기에 혈관 내 기하학적 구조 및 혈역학적 정보를 정확하게 나타낼 수 있는 CT 영상과 MR 영상을 함께 이용하게 된다[8]. 이런 상황에서 상대적으로 비침습적인 CT와 MR 검사를 이용하여 DSA를 일부 대체할 수 있는 연구들도 존재하는데[15-17], 결과적으로 DSA와 다른 영상 기반 조영술을 함께 이용되는 것이 가장 좋을 것으로 보인다. 이런 배경에서 본 연구는 경막정맥동 및 혈관의 협착(stenosis) 시 3D 회전 혈관조영술보다 2D 혈관조영술을 통한 2D DSA에서 직경을 측정하는 것에 주목하였다. 이런 상황은 3D 회전 혈관조영술은 X선 튜브와 디텍터가 일정 각도 이상 회전해야 하는 상태에서 디텍터를

검사 부위와 일정 거리를 두게 됨으로써 영상의 확대가 생기기 때문이다. 그리고 본 저자들은 2D DSA에서 측정 시 실제 혈관은 원기둥 형태인데 이를 단면(사각형 형태)으로 보면서 직접 측정하기에 오차가 생기지 않을까 생각되어 연구를 수행하게 되었다. 또한, 경막정맥동 내 협착으로 인한 스텐트 삽입 시술 시 MR 영상도 획득한다는 사실을 확인하여 MR 영상의 단면적 기반 데이터에서 환산 직경을 측정하면 더 정확할 수 있다는 가설로 연구가 진행되었다. 이 때, CT 영상 대신 MR 영상을 이용한 이유는 CT 영상을 획득하기 위한 조건도 3D 회전 혈관조영술과 비슷하게 검사 부위와 디텍터까지의 거리가 상당히 존재하기에 확대될 수 있다는 생각 때문이었다.

본 연구에서 정맥동에 적용한 이유는 다음과 같다. IIH에 관련된 치료 중 정맥동 협착을 치료하는 스텐트 삽입술 즉 DVSS가 대뇌 정맥의 압력 및 두개강 내 압력을 감소시키며, 선택된 IIH 환자에서 증상을 개선할 수 있다고 알려져 있다[18,19]. 이 때, DVSS에서 가장 중요한 이슈는 스텐트 이탈(migration)을 방지하기 위한 정확한 정맥동 직경 측정 및 스텐트 크기 설정인데 이에 도움이 되고자 연구를 수행하였다. 또한, 정맥동 협착은 주로 SSS와 TS에서 형성되기 때문에 관심 영역으로 설정하였다.

연구 결과를 보면 기존 2D DSA 이용 시 혈관 직경이 크게 측정될 수 있는데, 일반적으로 스텐트 이탈을 방지하기 위해 임상에서 측정 결과보다 한 단계 크게 결정되는 경향이 있는 것을 고려하면 이는 좋지 않은 영향이 될 것으로 판단된다. 특히, 특발성 내압 상승을 겪는 환자는 이미 두개내 압력이 증가되어 있는 상태인데[20,21] 스텐트 크기를 크게 해서 치료를 한다면 그 압력의 증가로 인해 관심 부분 주위의 재협착 또는 두개내 다른 부분에 악영향을 미칠 수도 있다. 최근 연구들도 재발성 협착증의 위험 요소가 스텐트의 크기가 너무 커서 생기는 것으로 보고했으며[21], 정확한 크기 결정을 위해서 면적 기반으로 환산하여 정확한 정맥동 크기를 제시하는 방법은 유용할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 정확한 결과를 제시하기 위해서 많은 환자 수를 획득하여 분석해야 할 필요가 있다는 점과 실제 정맥동이 원형이 아닌데, 환산 공식이 원의 면적 공식을 이용했다는 점이다. 먼저, 환자 수에 대한 이슈는 실제 TFCA 검사와 MR 검사를 4주 안에 함께 진행한 데이터가 충분하지 않아서 환자 수가 적었지만, 그래도 각 환자에서 짝비교를 위해 많은 위치를 분석하여 결과에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 총 SSS에서 50개, 양쪽 TS에서 각각 40개를 이용했고, 통계적으로도 유의한 차이가 있음을 밝혔다. 그리고 원의 면적을 이용한 공식으로 인한 수치는

실제 삼각형 면적 공식을 이용할 때보다 더 크게 제시될 것으로 보이지만, 스텐트 자체 모양이 원기둥 형태인 것을 감안하면 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단했으며, 정맥동 이외 동맥에서의 적용은 더 적절할 수 있다고도 생각된다. 면적을 통한 직경 설정과 정확한 정량적 수치 설정은 기존에 제시되었던 디지털 영상처리기법을 참고하여[22-24] 추후 연구에는 더 정확한 직경 설정을 위한 방법을 제안할 예정이다. 또한, 본 연구의 정확한 연구 방법은 2D DSA에서 직접 측정 수치와 MR 영상 기반 단면적 환산 직경 수치를 실제 정맥동 수치랑 비교해야 하는 것이 가장 정확하다. 하지만 이 방법은 수행할 수 없으므로 2D DSA 기반 측정 수치가 확대된 것인지 아니면 단면적 기반 환산 직경이 축소된 수치를 제시한 것인지는 좀 더 추후 연구가 필요할 것이다. 그럼에도 불구하고 최근 경동맥 협착 진단 정확도 평가를 DSA와 실제 표본(specimens)과 비교한 연구에서 현재 DSA 기반 지침의 타당성을 의심한다는 결과가 나온 것은 본 연구 결과와 일맥상통할 수 있는 부분이 있다고 판단되며[25], 단면적 정보를 이용한 정확한 해부학 크기 측정에 관한 연구 활성화에 이바지할 수 있다고 판단된다[26].

위와 같은 제한점이 일부 존재하지만, 본 연구는 기존의 2D DSA에서 직접 측정했던 직경이 환산된 정맥동 직경과 비교 시 과대평가할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 즉, 스텐트 크기 결정 시 이에 대한 사실을 인지한 상태에서 정밀하게 결정될 필요가 있다.

V. 결론

2D DSA에서 직접 측정된 경막정맥동의 직경은 단면적 기반의 환산 직경보다 상대적으로 직경이 15-20% 크게 나왔다. 혈관 협착 부위의 치료를 위해 적절한 크기의 스텐트 선택은 중요한데, 기존 최적의 방법으로 알려져 있는 2D DSA를 이용한 직접 측정이 더 큰 스텐트를 결정하게 할 수도 있는 확률이 존재한다. 따라서 이에 대한 사실 인지와 함께 정확한 혈관 직경 측정 방법과 관련된 후속 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- [1] Li K, Ren M, Meng R, Ding Y, Rajah GB, Wang F, et al. Efficacy of stenting in patients with cerebral venous sinus thrombosis-related cerebral venous sinus stenosis. *J Neurointerv Surg*. 2019;11(3):307-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/neurintsurg-2018-014328>
- [2] Levitt MR, Albuquerque FC, Gross BA, Moon K, Jadhav AP, Ducruet AF, et al. Venous sinus stenting in patients without idiopathic intracranial hypertension. *J Neurointerv Surg*. 2017;9(5):512-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/neurintsurg-2016-012405>
- [3] Fargen KM, Liu K, Garner RM, Greenway GP, Wolfe SQ, Crowley RW. Recommendations for the selection and treatment of patients with idiopathic intracranial hypertension for venous sinus stenting. *J Neurointerv Surg*. 2018;10(12):1203-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/neurintsurg-2018-014042>
- [4] Nicholson P, Brinjikji W, Radovanovic I, Hilditch CA, Tsang ACO, Krings T, et al. Venous sinus stenting for idiopathic intracranial hypertension: A systematic review and meta-analysis. *J Neurointerv Surg*. 2019;11(4):380-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/neurintsurg-2018-014172>
- [5] Giridharan N, Patel SK, Ojugheli A, Nouri A, Shirani P, Grossman AW, et al. Understanding the complex pathophysiology of idiopathic intracranial hypertension and the evolving role of venous sinus stenting: A comprehensive review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2018;45(1):E10. DOI: <http://dx.doi.org/10.3171/2018.4.FOCUS18100>
- [6] Peterson KA, Kittel C, Lee KE, Garner R, Nechtman CM, Brown P, et al. Angiographic cerebral venous sinus calibers and drainage patterns in patients with normal intracranial pressure and idiopathic intracranial hypertension. *J Neurointerv Surg*. 2021;13(10):958-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/neurintsurg-2020-016976>
- [7] Saber H, Lewis W, Sadeghi M, Rajah G, Narayanan S. Stent survival and stent-adjacent stenosis rates following venous sinus stenting for idiopathic intracranial hypertension: A systematic review and meta-analysis. *Interv Neurol*. 2018;7(6):490-500. DOI: <http://dx.doi.org/10.1159/000490578>
- [8] Lee NJ, Chung MS, Jung SC, Kim HS, Choi CG, Kim SJ, et al. Comparison of high-resolution mr imaging and digital subtraction angiography for the characterization and diagnosis of intracranial artery

- disease. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2016;37(12):2245–50. DOI: <http://dx.doi.org/10.3174/ajnr.A4950>
- [9] Loiodice P, Pellegrini M, Marino M, Mazzi B, Ionni I, Covello G, et al. Choroidal vascularity index in thyroid-associated ophthalmopathy: A cross-sectional study. *Eye Vis (Lond)*. 2021;30;8(1):18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s40662-021-00242-6>
- [10] Kim DO, Kim HJ, Jung HJ, Son HK, Hong JO, Jeong HK, et al. Clinical usefulness of 3-D image rendering using DICOM images in cardiovascular system. *Journal of the Korean Society of Picture Archiving and Communications System*. 2001;7:41–7. Retrieved from <https://www.ksiam.org/site/journal/search/archives>
- [11] Yoon JT, Lee KB. Radiation dose reduction of lens by adjusting table height and magnification ratio in 3D cerebral angiography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2022;45(4):313–20. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2022.45.4.313>
- [12] Kim SG, Kim SH. Usefulness of 3D rotational angiography for cerebral vascular diameter measurement. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2023;46(1):9–14. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2023.46.1.9>
- [13] Schneiders JJ, Marquering HA, Antiga L, Van den Berg R, VanBavel E, Majoie CB. Intracranial aneurysm neck size overestimation with 3D rotational angiography: The impact on intra-aneurysmal hemodynamics simulated with computational fluid dynamics. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2013;34(1):121–8. DOI: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3179>
- [14] Brinjikji W, Cloft C, Lanzino G, Kallmes DF. Comparison of 2D digital subtraction angiography and 3D rotational angiography in the evaluation of dome-to-neck ratio. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009;30(4):831–4. DOI: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1444>
- [15] Timaran CH, Rosero EB, Valentine RJ, Modrall JG, Smith S, Clagett GP. Accuracy and utility of three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance angiography in planning carotid stenting. *J Vasc Surg*. 2007;46(2):257–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.03.051>
- [16] Lee J, Chung TS, Lee KY, Suh SH. Comparison of non-invasive imaging studies in the evaluation of carotid artery stenosis and occlusion: CT angiography, time-of-flight MR angiography and contrast-enhanced MR angiography. *J Korean Soc Magn Reson Med*. 2011;15:234–41. Retrieved from <https://synapse.koreamed.org/upload/synapsedata/pdfdata/040jksmrm/jksmrm-15-234.pdf>
- [17] Bharatha A, Yeung R, Durant D, Fox AJ, Aviv RI, Howard P, et al. Comparison of computed tomography angiography with digital subtraction angiography in the assessment of clipped intracranial aneurysms. *J Comput Assist Tomogr*. 2010;34(3):440–5. DOI: <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3181d27393>
- [18] Dinkin MJ, Patsalides A. Venous sinus stenting in idiopathic intracranial hypertension: Results of a prospective trial. *J Neuroophthalmol*. 2017;37(2):113–21. DOI: <https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000000426>
- [19] Leishangthem L, SirDeshpande P, Dua D, Satti SR. Dural venous sinus stenting for idiopathic intracranial hypertension: An updated review. *J Neuroradiol*. 2019;46(2):148–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neurad.2018.09.001>
- [20] Boyter E. Idiopathic intracranial hypertension. *JAAPA*. 2019;32(5):30–5. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000554732.85914.91>
- [21] Garner RM, Aldridge JB, Wolfe SQ, Fargen KM. Quality of life, need for retreatment, and the re-equilibration phenomenon after venous sinus stenting for idiopathic intracranial hypertension. *J Neurointerv Surg*. 2021;13(1):79–85. DOI: <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2020-016124>
- [22] Lee KB, Nam KC, Jang JS, Kim HC. Feasibility of the quantitative assessment method for CT quality control in phantom image evaluation. *Appl. Sci*. 2021;11:3570. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11083570>
- [23] Lee KB, Cho YB, Jeong HK, Nam KC, Kim HC. The study on automatized quantitative assessment method of CT image in quality control: Focusing on spatial and low contrast resolution. *Journal of*

The Institute of Electronics and Information Engineers, 2017;54(12):186-94. DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2017.54.12.186>

[24] Lee JM, Park JH, Kim JS, Lim CH, Lee KB. Comparison of sizes of anatomical structures according to scan position changes in patients with interstitial lung disease using high-resolution thoracic CT. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2021;44(2):91-100. DOI: <https://doi.org/10.17946/JRST.2021.44.2.91>

[25] Svoboda N, Bradac O, Mandys V, Netuka D, Benes V. Diagnostic accuracy of DSA in carotid artery stenosis: A comparison between stenosis measured on carotid endarterectomy specimens and DSA in 644 cases. *Acta Neurochir(Wien)*. 2022;164(12):3197-202. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00701-022-05332-5>

[26] Kim HG. Normal corpus callosum dimensions measured by MRI. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2008;31(3):277-85. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO200804748557363.page>

구분	성명	소속	직위
제1저자/교신저자	이기백	충북보건과학대학교	조교수
공동저자	김미현	서울아산병원	연구원