

Multidetector-Row CT Angiography of Cerebral Vasospasm after Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: Comparison of Bone Subtraction and Standard CT Angiography with Digital Subtraction Angiography¹

동맥류성 거미막밑출혈 후 발생한 뇌혈관 연축의 다중검출기 CT 혈관조영술: 골감산 및 표준기법의 CT 혈관조영술과 디지털감산혈관조영술의 비교¹

Yong Hee Lee, MD¹, Dae Seob Choi, MD^{1,2}, Jae Wook Ryoo, MD³, Jin Jong You, MD¹,
Ho Cheol Choi, MD¹, Ji Eun Kim, MD¹

¹Department of Radiology, Gyeongsang National University Hospital, Jinju, Korea

²Gyeongsang Institute of Health Science, Gyeongsang National University School of Medicine, Jinju, Korea

³Department of Radiology, Samsung Seoul Hospital, Seoul, Korea

Purpose: To evaluate the usefulness of multidetector-row CT angiography (MDCTA) for the diagnosis of cerebral vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage (SAH) by comparison of digital subtraction angiography (DSA) and to compare the bone subtraction CT angiography (BS-CTA) and standard CT angiography (S-CTA).

Materials and Methods: Thirty-three patients who were treated with intraarterial nimodipine infusion for the cerebral vasospasm after aneurysmal SAH were evaluated with MDCTA and DSA. BS-CTA images were reconstructed from the S-CTA and unenhanced CT source images. A total of 207 vascular segments were evaluated. A four-step scale for the degree of stenosis was applied for each segment. With DSA as the standard images, BS-CTA and S-CTA images were compared.

Results: On DSA, 56 segments (27%) presented vasospasm. Concordance between the DSA and S-CTA and between DSA and BS-CTA were 94.7% and 82.1%, respectively. Overestimation for the degree of stenosis was shown in 37 segments on BS-CTA and in 8 segments on S-CTA, but underestimated segments were only shown on S-CTA ($n = 4$).

Conclusion: MDCTA with standard technique seems to be a useful imaging tool for the evaluation of the cerebral vasospasm after aneurysmal SAH. However, BS-CTA is not needed because of additional radiation and overestimation of the degree of stenosis.

Index terms

Intracranial Aneurysm
Subarachnoid Hemorrhage
Vasospasm, Intracranial
Cerebral Angiography
Tomography, X-Ray Computed

Received June 13, 2011; Accepted August 4, 2011

Corresponding author: Dae Seob Choi, MD
Department of Radiology, Gyeongsang National
University Hospital, 79 Gangnam-ro, Jinju 660-702,
Korea.
Tel. 82-55-750-8211 Fax. 82-55-758-1568
E-mail: choids@gnu.ac.kr

Copyrights © 2011 The Korean Society of Radiology

서론

뇌동맥류의 파열에 의한 거미막밑출혈(subarachnoid hemorrhage; 이하 SAH) 후 발생하는 뇌혈관연축(cerebral vasospasm)은 환자의 이환율(morbidity) 및 사망률(mortality)에 영향을 미치는 주요 원인 중의 하나로 알려져 있다(1). 따라서 혈관연축의 정확하고 빠른 진단은 뇌혈관연축에 의한 허혈성 뇌손상을 예방하기 위한 적절한 치료방침의 결정에 대단히 중요하다.

디지털감산혈관조영술(digital subtraction angiography; 이하 DSA)은 혈관연축의 진단에 있어 표준 진단법으로 알려져 있다. 그러나 DSA는 시술과 관련하여 합병증을 수반할 수 있는 침습적인 검사로 모든 환자들에게 일괄적으로 시행하기에는 어려움이 있다. 따라서 혈관연축의 진단에 있어 비침습적 검사의 필요성이 대두되었다. 경두개 도플러초음파(transcranial Doppler sonography; 이하 TCD)는 병상에서 쉽게 수행할 수 있는 장점이 있으나 검사자에 의존적이며, 재현성이 낮고, 표준화된 한계 속도가 명확하지 않은 문제점을 가지고 있다(2).

나선식 컴퓨터단층촬영기(computed tomography; 이하 CT)의 도입 후 시작된 CT 혈관조영술(CT angiography; 이하 CTA)은 비침습적인 방법으로 혈관영상을 획득할 수 있어 뇌동맥류를 포함한 다양한 뇌혈관 병변의 진단에 널리 사용되고 있으며, 여러 연구를 통하여 그 임상적 유용성이 입증된 바 있다(3, 4). 최근 다중검출기 CT (multidetector-row CT; 이하 MDCT)의 개발에 힘입어 짧은 시간에 넓은 범위의 스캔이 가능하게 되었고, 이를 활용한 CTA도 넓은 범위의 혈관을 높은 해상도의 영상으로 획득할 수 있게 됨으로써 임상적 활용성이 더욱 증가하고 있다(5, 6). 그러나 뇌혈관 병변의 진단에 있어 CTA는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 두개 기저부의 경우 뼈와 혈관을 분리하는 데 어려움이 있을 수 있고, 두개골을 혈관으로부터 완전히 분리해내지 못하면 완전한 3차원 CTA영상의 구성이 어렵다. 골감산기법을 이용한 CTA (bone subtraction CTA; 이하 BS-CTA)나 이중에너지 CT (dual energy CT; 이하 DECT)를 이용한 방법으로 이를 쉽게 해결할 수 있다(7, 8). 동맥류성 SAH에 의한 뇌혈관연축의 평가에 있어 DSA와 비교하여 MDCT를 이용한 CTA가 매우 유용하다는 보고가 있다(6). 그러나 연구의 수가 아직 충분하지 않고, 대부분 제한된 수의 증례를 대상으로 한 연구였다. 또한 저자들이 알기에 BS-CTA를 이용한 연구는 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 동맥류 파열에 의한 SAH 후 발생하는 뇌혈관연축의 진단에 있어 DSA와 비교하여 골감산을 시행하지 않은 기존방식의 CTA (standard CTA; 이하 S-CTA)와 BS-CTA의 유용성을 평가하는 데 있다.

대상과 방법

대상 환자

2006년 10월부터 2010년 9월까지 뇌동맥류성 SAH로 수술 또는 분리코일을 이용한 색전술로 치료한 후 혈관연축이 발생하여 뇌동맥내 니모디핀(nimodipine) 주입술을 시행한 44명의 환자 중 수술 또는 시술 전후에 MDCT와 DSA를 모두 시행한 33명의 환자를 대상으로 하였다. 배제기준으로는 수술이나 코일색전술 시술 전에 CTA를 시행하지 않은 경우($n = 2$), DSA를 시행하지 않은 경우($n = 4$)가 있었고 수술이나 시술 후 CTA를 촬영하지 않은 경우($n = 1$)가 있었다. 수술이나 시술 후 촬영한 CTA와 DSA 검사 사이의 시간 간격이 24시간 이상인 경우 또한 제외하였다($n = 4$). 최종적으로 33명의 환자를 대상으로 하였으며 남자가 16명, 여자가 17명이었다. 나이는 28세부터 72세까지 평균 52.7세였다. 31명의 환자가 뇌동맥류에 대한 클리핑 수술을 받았으며 2명의 환자는 분리코일을

이용한 색전술로 치료하였다.

수술 후 MDCT와 DSA의 적응증은 두통이 심해지거나 의식수준이나 신경학적 징후에 변화가 있거나, 두부 CT 스캔상 다른 원인이 관찰되지 않거나, TCD 검사에서 두개내 동맥의 혈류속도가 증가되어 있을 때를 대상으로 하였다. 수술 후 MDCT를 시행하기까지의 기간은 2일에서 13일까지 평균 8.8일이었다. 니모디핀 주입 시술 전의 MDCT와 DSA의 시간 간격은 1시간에서 18시간까지 평균 3.8시간이었다.

CTA Protocol

모든 CTA 검사는 64채널 CT (Brilliance 64, Philips Medical Systems, Best, Netherlands; LightSpeed VCT, GE Medical Systems, Milwaukee, WI, USA)를 이용하였다. 조영제 주입 전 나선식 CT 데이터를 얻은 후 조영증강 CTA영상을 획득하였다. CTA영상은 영상영역(field of view; FOV) 130 mm, 검출기 폭조절(detector collimation) 64×0.625 mm, 테이블 이동속도 26.8 mm/rotation, 갠트리 회전속도(gantry rotation speed) 0.75 초, 120 kVp, 100 mAs(조영전 CT), 200 mAs(조영증강 CTA)를 각각 이용하여 획득하였으며, 1 mm 절편두께, 0.5 mm 간격으로 영상을 재구성하였다. 스캔범위는 제1경추 하단에서부터 양측 측뇌실의 1 cm 상방까지로 하였다. 총 75 mL의 비이온성 조영제(Ultravist 370; Bayer-Shering-Pharma, Berlin, Germany)를 초당 4 mL의 속도로 상지의 말초정맥을 통하여 급속으로 주입하면서 스캔 시작시점은 덩어리추적(bolus-tracking) 기법을 사용하여 결정하였다. 상행대동맥 내에 20~50 mm² 크기의 관심영역(region of interest; ROI)을 그린 후 조영제 주입과 함께 초당 한 번씩 저선량(20 mAs) 스캔을 시행하면서 대동맥의 하운스필드수치(Hounsfield number)가 100 이상이 된 8초 후부터 스캔이 시작되도록 하였다.

영상 후처리

S-CTA는 CT 콘솔 자체에서 조영증강 CTA 데이터를 이용하여 축상, 시상, 관상면의 다평면용적재구성 최대강도투사(multiplanar volume reformatted maximum intensity projection) 기법으로 1 cm 두께, 2.5 mm 간격으로 각각 얻었다.

BS-CTA는 획득된 CT 데이터를 개인용 컴퓨터로 전송한 후 상업용 소프트웨어(Rapidia; Infinitt, Seoul, Korea)를 이용하여 골감산 처리와 3차원 CTA영상을 재구성하였다. 조영전과 조영증강 CT 데이터 세트를 메모리에 로딩한 후 변형(translation)과 회전(rotation) 과정을 통하여 움직임을 보정하였다. 감산된 CT 데이터를 최대강도투사(maximum intensity projec-

tion; 이하 MIP) 기법을 이용하여 3D CTA 영상을 재구성하였다. X축과 Z축을 중심으로 10도 간격으로 각각 36개의 투사 영상(projection image)을 얻었으며, 의료영상저장전송시스템(picture archiving communication system; 이하 PACS)으로 전송하였다. 전송시간을 포함하여 BS-CTA 영상의 재구성에 소요된 시간은 평균 5.5분이었다.

DSA

DSA는 단일평면 DSA기기(Angiostar, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany; Integris Allura, Philips Medical Systems, Best, Netherlands)를 이용하여 대뇌동맥을 경유한 표준적인 방법으로 시행하였다. 양쪽($n = 30$) 또는 한쪽($n = 3$) 내경동맥조영술을 시행하였으며, 6명에서는 한쪽 추골동맥조영술을 시행하여 후전면과 측면촬영 영상을 얻었다.

영상분석

혈관연축의 유무나 그 정도의 평가는 DSA를 기준으로 하였다. DSA와 CTA 영상에서 혈관연축의 정도는 0~24%의 협착(stenosis)을 보일 때 정상으로, 25~49%를 경도, 50~74%를 중등도, 75~100%를 고도 협착으로 분류하였다. 협착의 평가는 수술이나 시술 전의 영상과 비교하여 미만성의 혈관연축이 있는 경우를 제외하고는 수술이나 시술 후의 DSA와 MDCTA 영상에서 Warfarin-Aspirin Symptomatic Intracranial Disease Study (WASID) 방법(9) { $\% \text{ stenosis} = [1 - (D_{\text{stenosis}}/D_{\text{normal}})] \times 100$, D_{stenosis} = 가장 협착이 심한 부위의 직경, D_{normal} = 원위부 정상혈관의 직경을 이용하여 평가하였다. 미만성 협착이 있는 경우는 같은 축의 내경동맥 추체분절(petrous segment)과의 비율과 수술 또는 시술 전의 영상에서 같은 부위에서의 비율을 구해 혈관연축 정도를 평가하였다. 혈관을 여러 분절[원위내경동맥(distal internal cerebral artery; 이하 DICA), 전대뇌동맥(anterior cerebral artery; 이하 ACA), 중대뇌동맥(middle cerebral

artery; 이하 MCA), 후대뇌동맥(posterior cerebral artery; 이하 PCA), 추골-기저동맥(vertebrobasilar artery; 이하 VBA)]로 나누어 좌우를 따로 구분하여 평가하였다(Table 1).

회상 바이어스(recall bias)를 배제하기 위하여 DSA, S-CTA, BS-CTA 영상을 별도로 각각 분리하여 평가하였으며 평가 후 최소 2일 이상 지난 후 다른 기법의 영상에 대한 평가를 시행하였다.

결과

CTA와 DSA 영상 모두를 얻은 총 207개의 분절에 대해 분석을 시행하였다. DSA에서 56개의 분절에서 혈관연축이 관찰되었다(27%). 가장 협착이 많이 관찰된 분절은 MCA ($n = 39$, 69.6%)였으며 54개의 분절(54/56, 96.4%)이 전 순환(DICA, ACA, MCA)에서 관찰되었고, 2개의 분절(2/56, 3.6%)이 후 순환(VBA, PCA)에서 관찰되었다(Table 1). 경도의 협착(25~49%)이 42분절, 중등도의 협착(50~74%)이 9분절, 고도 협착(75~100%)이 5분절에서 관찰되었다(Tables 2, 3). 협착정도의 평가에 있어 DSA의 결과와 BS-CTA 및 S-CTA 결과는 각각 82.1%(170/207), 94.7%(196/207)의 일치율(concordance rate)을 보였으며 BS-CTA에서는 과대평가(overestimation)되는 분절만이 관찰되었으나($n = 37$), S-CTA에서는 과대평가되는 분절($n = 8$) 외에도 과소평가(underestimation)되는 분절($n = 4$)이 관찰되었다(Figs. 1, 2).

고찰

동맥류성 SAH 후 합병증으로 발생하는 뇌혈관연축은 주요한 이환율, 사망률의 원인이다(1). DSA는 전통적인 뇌혈관연축의 진단방법으로 니모디핀의 주입이나 풍선을 이용한 혈관성형술과 같은 치료를 함께 시행할 수 있다는 장점이 있으나, 보통

Table 1. Number of Segments Showing Vasospasm on DSA

	Number of Segments (%) ($n = 56$)	Number of Segments (%) ($n = 56$)	Number of Segments (%) ($n = 56$)
Right ICA	1 (1.8)	4 (7.1)	54 (96.4)
Left ICA	3 (5.4)		
Right ACA	7 (12.5)	11 (19.6)	
Left ACA	4 (7.1)		
Right MCA	17 (30.4)	39 (69.6)	
Left MCA	22 (39.3)		
Right PCA	1 (1.8)	1 (1.8)	2 (3.5)
Left PCA	0 (0)		
VBA	1 (1.8)	1 (1.8)	

Note.—ACA = anterior cerebral artery, DSA = digital subtraction angiography, ICA = internal cerebral artery, MCA = middle cerebral artery, PCA = posterior cerebral artery, VBA = vertebrobasilar artery

Table 2. Concordance between DSA and BS-CTA

		BS-CTA (%)				Total
		0-24	25-49	50-74	75-100	
DSA (%)	0-24	134	11	5	1	151
	25-49	0	25	7	10	42
	50-74	0	0	6	3	9
	75-100	0	0	0	5	5
Total		134	36	18	19	207

Concordance = 170/207 = 82.1%

Note.—BS-CTA = bone subtraction CT angiography, DSA = digital subtraction angiography

Table 3. Concordance between DSA and S-CTA

		S-CTA (%)				Total
		0-24	25-49	50-74	75-100	
DSA (%)	0-24	150	1	0	1	151
	25-49	5	36	1	0	42
	50-74	0	2	6	1	9
	75-100	0	1	0	4	5
Total		155	40	7	5	207

Concordance = 196/207 = 94.7%

Note.—DSA = digital subtraction angiography, S-CTA = standard CT angiography

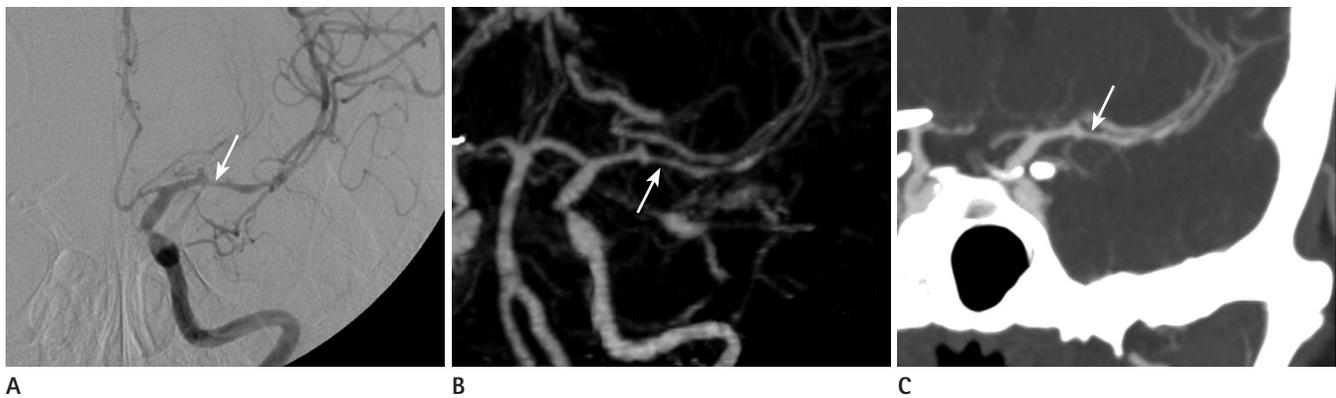


Fig. 1. A 46-year-old woman who had a clipping operation for the right posterior communicating artery aneurysm. All of the digital subtraction angiography (A), bone subtraction CT angiography (B) and standard CT angiography (C) show 25-49% stenosis in the left middle cerebral artery (arrows).

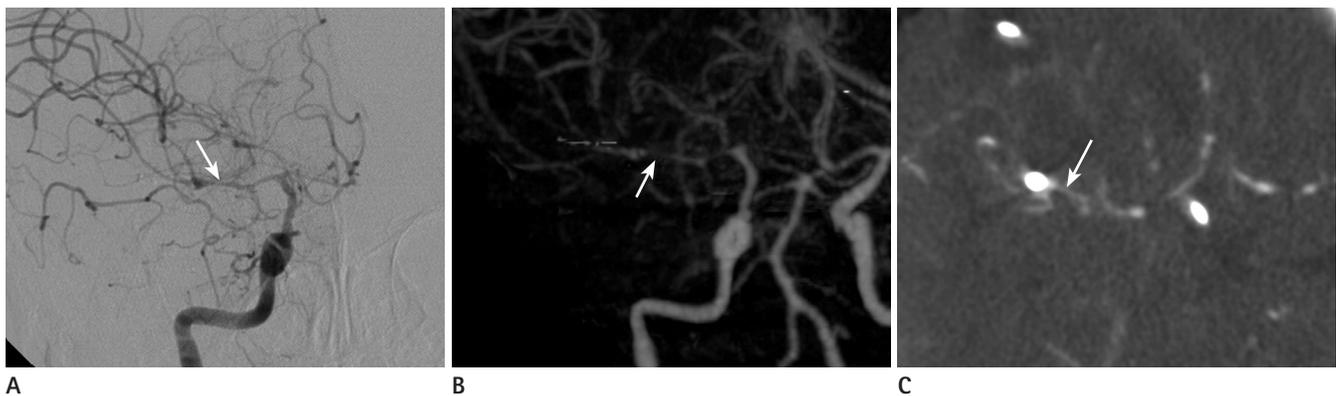


Fig. 2. A 49-year-old woman who had clipping surgery due to right middle cerebral artery aneurysm. Digital subtraction angiography (A) shows 25-49% stenosis in the right middle cerebral artery (arrow). However, bone subtraction CT angiography (B) overestimates the degree of the stenosis (50-75%) (arrow) and standard CT angiography (C) underestimates the degree of the stenosis (less than 24%) (arrow).

수술 후 중환자실 치료를 받게 되는 상황에서 침습적인 시술을 비특이적인 임상증상만으로 시행하기에는 부담이 따른다.

최근 뇌혈관연축의 진단에 DSA에 비하여 비침습적인 CTA가 사용되고 있으며(4, 10), MDCT가 활용되면서 짧은 시간에 넓은 범위의 스캔이 가능하게 되어 환자의 움직임에 의한 인공물을 최소화하면서 높은 해상도의 CTA영상을 얻을 수 있게 됨으로써 진단적 정확도 또한 향상되고 있다(6, 11, 12). 본 연구의 결과에서도 뇌혈관연축의 정도를 평가하는 데 있어 DSA 결과와 비교하여 S-CTA는 94.7%라는 높은 일치도를 보였다. 이는 MDCTA를 이용한 최근의 다른 연구자들의 보고와 비슷한 결과이다.

뇌혈관 병변의 진단에 있어 S-CTA의 문제점으로 두개 기저부의 단단한 뼈의 존재로 인하여 혈관과 뼈를 분리하는 데 많은 시간이 소요되고 시술자의 경험에 매우 의존적이며, 두개골을 혈관으로부터 완전히 분리해내지 못하면 모든 각도에서 접근할 수 있는 완전한 3차원 CTA영상의 구성이 어렵다는 것이다. 최근 BS-CTA와 DECT를 이용한 방법으로 짧은 시간에 반자동적으로 쉽게 뼈를 분리할 수 있게 되었다(7, 8). 그러나 본 연구의 결과에서 BS-CTA는 DSA의 결과와 비교하여 뇌혈관연축의 평가에 있어 82.1%의 일치도를 보여 S-CTA의 94.7%와 비교하여 매우 떨어지는 결과를 보였다. 또한 BS-CTA를 위해서는 조영전 CT를 추가적으로 시행하여야 함으로써 방사선 피폭이 늘어날 수밖에 없는 단점을 가지고 있다. 비록 본 연구에서는 조영전 CT를 얻을 때 선량을 100 mAs로 낮추어 방사선 피폭량을 줄이고자 하였으나 S-CTA에 비해서는 추가적인 피폭이 있었다. BS-CTA를 이용한 경부 및 두개내 혈관의 협착성 병변을 평가한 최근의 연구에 의하면 협착정도의 평가에서 과장되어 나타난다는 보고가 있다(13). 본 연구의 결과에 있어서도 DSA와 일치하지 않은 분절 모두가 BS-CTA에서 협착정도를 과대평가한 경우였다. 뼈와 인접하여 혈관이 있을 때, 혈관벽에 석회화를 동반한 병변의 경우 과도한 감산에 의한 가상협착(pseudostenosis)과 협착정도가 과장되어 보이는 인공물이 생길 수 있으며, 협착의 정도가 매우 심한 경우 부분용적효과(partial volume effect)에 의해서도 협착정도가 과장되어 보일 수 있다고 하였다. 본 연구의 결과에서 BS-CTA에서 협착의 정도가 과장된 경우들을 살펴보았을 때 석회화를 동반한 경우는 없었지만 수술 클립으로 인한 인공물도 같이 감산이 되어 병변으로 간주되거나 실제의 연축정도보다 심하게 평가된 경우가 있었고, 협착의 정도가 심한 경우에 과장된 경우가 많아 부분용적효과에 의한 결과일 가능성이 있다. 또한 조영전 CT와 조영증강 CTA 스캔 사이의 환자의 움직임에 의한 효과와 이를 보정하는 과정과 관련하여 생겼을 가능성이 있

을 것으로 추정된다. 최근 개발된 DECT를 활용하면 BS-CTA와 달리 추가적인 방사선 피폭 없이 골감산을 시행할 수 있다. 그러나 이 방법 역시 BS-CTA와 같이 협착성 병변을 평가하는데 있어 협착정도를 과장되게 나타내는 것으로 알려져 있다(8, 14). 동맥류성 SAH에 의한 뇌혈관연축의 경우 상상돌기상의 (supracaloid) 내경동맥과 그 원위부의 혈관들을 침범하기 때문에 뇌기저부의 뼈를 완벽히 제거하여 완전한 3차원 CTA영상이 꼭 필요하지 않으며, 축상면 원천영상, 2차원 MPR영상 및 제한된 각도의 3차원 영상만으로도 충분한 경우가 대부분이다. 따라서 추가적인 방사선피폭을 요하는 BS-CTA는 불필요할 것으로 생각되며, DECT를 활용한 CTA영상에서도 이를 고려한 판단이 필요할 것으로 생각된다. 그러나 뇌동맥류나 추체분절의 내경동맥과 척추동맥의 협착성 병변을 평가하는 경우에는 BS-CTA나 DECT를 이용한 골감산 기법의 유용성은 있을 것으로 생각된다.

CTA영상의 3차원 영상 구성방법으로 현재 볼륨렌더링(volume rendering; 이하 VR) 기법과 MIP 기법이 주로 사용되는데 본 연구에서는 MIP 기법의 영상만을 분석에 이용하였다. VR영상의 경우 영상을 구성하는 데 있어 개별 환자나 시술자에 따라 문턱(threshold)을 달리 설정할 수밖에 없고 이 차이에 의하여 혈관의 협착정도가 과장되거나 과소평가될 수 있으며, PACS로 넘어온 영상의 경우 상대적인 밝기와 대비(contrast)만을 조절할 수밖에 없는 문제점을 가지고 있다. 그러나 MIP영상의 경우 특별히 문턱을 설정할 필요가 없고, 본 연구에 사용된 소프트웨어의 경우 PACS에서도 각 화소의 CT값이 그대로 넘어와서 이를 활용하여 창폭(window width)과 높이(level)를 조절할 수 있어 보다 객관적인 평가가 가능하였기 때문이다.

본 연구의 제한점으로는 후향적인 분석이 이루어져 선택바이어스 개입 가능성이 있다. 두 번째로 본 연구의 BS-CTA 영상에서는 3차원 MIP영상을 이용하여 평가하였으나 S-CTA 영상에서는 2차원 MIP영상을 이용하여 평가함으로써 평가에 영향을 주었을 수 있다. 마지막으로 수술 또는 시술 후 MDCTA와 DSA의 시간 간격이 달라 환자의 뇌혈관 상태가 달라졌을 가능성이 있다. 그러나 시간경과에 따라 혈관상태가 변할 가능성이 높은 협착정도가 심한 환자는 MDCTA 후 가능한 빨리 DSA를 시행하였으며 협착정도가 심하지 않은 경우에도 24시간이 지난 경우는 혈관상태의 변화가 있을 것으로 생각하여 연구대상에서 제외하였으므로 DSA와 CTA 검사 사이의 혈관상태는 큰 차이가 없었을 것으로 생각이 된다.

결론적으로 MDCT를 이용한 S-CTA는 동맥류성 SAH에 의한 뇌혈관연축을 진단하는 데 DSA와 필적할만한 비침습적인 검사로 생각된다. 그러나 BS-CTA는 협착의 정도를 과대평가

하는 경향이 있고 추가적인 방사선 노출이 따르므로 불필요한 검사로 생각된다.

참고문헌

1. Weir B, Grace M, Hansen J, Rothberg C. Time course of vasospasm in man. *J Neurosurg* 1978;48:173-178
2. Sloan MA, Haley EC Jr, Kassell NF, Henry ML, Stewart SR, Beskin RR, et al. Sensitivity and specificity of transcranial Doppler ultrasonography in the diagnosis of vasospasm following subarachnoid hemorrhage. *Neurology* 1989;39:1514-1518
3. Schwartz RB, Tice HM, Hooten SM, Hsu L, Stieg PE. Evaluation of cerebral aneurysms with helical CT: correlation with conventional angiography and MR angiography. *Radiology* 1994;192:717-722
4. Anderson GB, Ashforth R, Steinke DE, Findlay JM. CT angiography for the detection of cerebral vasospasm in patients with acute subarachnoid hemorrhage. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:1011-1015
5. Teksam M, McKinney A, Casey S, Asis M, Kieffer S, Truwit CL. Multi-section CT angiography for detection of cerebral aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004;25:1485-1492
6. Yoon DY, Choi CS, Kim KH, Cho BM. Multidetector-row CT angiography of cerebral vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: comparison of volume-rendered images and digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006;27:370-377
7. Tomandl BF, Hammen T, Klotz E, Ditt H, Stemper B, Lell M. Bone-subtraction CT angiography for the evaluation of intracranial aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006;27:55-59
8. Watanabe Y, Uotani K, Nakazawa T, Higashi M, Yamada N, Hori Y, et al. Dual-energy direct bone removal CT angiography for evaluation of intracranial aneurysm or stenosis: comparison with conventional digital subtraction angiography. *Eur Radiol* 2009;19:1019-1024
9. Samuels OB, Joseph GJ, Lynn MJ, Smith HA, Chimowitz MI. A standardized method for measuring intracranial arterial stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:643-646
10. Ochi RP, Vieco PT, Gross CE. CT angiography of cerebral vasospasm with conventional angiographic comparison. *AJNR Am J Neuroradiol* 1997;18:265-269
11. Chaudhary SR, Ko N, Dillon WP, Yu MB, Liu S, Cricqui GI, et al. Prospective evaluation of multidetector-row CT angiography for the diagnosis of vasospasm following subarachnoid hemorrhage: a comparison with digital subtraction angiography. *Cerebrovasc Dis* 2008;25:144-150
12. Otawara Y, Ogasawara K, Ogawa A, Sasaki M, Takahashi K. Evaluation of vasospasm after subarachnoid hemorrhage by use of multislice computed tomographic angiography. *Neurosurgery* 2002;51:939-942; discussion 942-943
13. Buerke B, Poesken M, Wittkamp G, Stehling C, Ditt H, Seidensticker P, et al. Bone subtraction CTA for transcranial arteries: intra-individual comparison with standard CTA without bone subtraction and TOF-MRA. *Clin Radiol* 2010;65:440-446
14. Hegde A, Chan LL, Tan L, Illyas M, Lim WE. Dual Energy CT and its use in neuroangiography. *Ann Acad Med Singapore* 2009;38:817-820

동맥류성 거미막밑출혈 후 발생한 뇌혈관 연축의 다중검출기 CT 혈관조영술: 골감산 및 표준기법의 CT 혈관조영술과 디지털감산혈관조영술의 비교¹

이용희¹ · 최대섭^{1,2} · 유재욱³ · 유진종¹ · 최호철¹ · 김지은¹

목적: 동맥류의 파열에 의한 거미막밑출혈(이하 SAH) 후 발생한 뇌혈관연축을 진단하는 데 있어 디지털감산혈관조영술(이하 DSA)과 비교하여 다중검출기 CT 혈관조영술(MDCTA)의 유용성을 평가하고자 하였으며, 골감산기법의 CT 혈관조영술(이하 BS-CTA)과 표준기법의 CT 혈관조영술(이하 S-CTA)을 비교하였다.

대상과 방법: 동맥류성 SAH에 의한 뇌혈관연축으로 동맥내 니모디핀 주입술을 시행한 33명의 환자를 대상으로 하였다. S-CTA 원천영상에서 조영전 CT 원천영상을 감산하여 BS-CTA영상을 재구성하였다. 총 207개의 두개내 혈관분절을 분석하였으며 DSA영상을 표준으로 하여 S-CTA와 BS-CTA영상을 분석하였다. 혈관연축의 정도를 4단계로 구분하여 평가하였고, DSA와 S-CTA 및 DSA와 BS-CTA 결과의 일치도를 구하였다.

결과: DSA 결과에서 56개의 분절(27%)에서 혈관연축이 있는 것으로 확인되었다. 협착정도의 평가에 있어 DSA와 S-CTA 및 BS-CTA 결과의 일치도는 각각 94.7%, 82.1%였다. 협착의 정도가 일치하지 않은 경우는 BS-CTA에서는 37분절 모두에서 과대평가하였고, S-CTA에서는 8분절에서는 과대평가, 4분절에서는 과소평가하였다.

결론: MDCT를 이용한 S-CTA는 동맥류성 SAH에 의한 뇌혈관연축을 진단하는데 DSA와 필적할만한 비침습적인 검사로 생각된다. 그러나 BS-CTA는 협착의 정도를 과대평가하는 경향이 있고 추가적인 방사선 노출이 따르므로 불필요한 검사로 생각된다.

¹경상대학교병원 영상의학과, ²경상대학교 의학전문대학원 건강과학연구원, ³삼성서울병원 영상의학과