대한방사선의학회지 2001;45:575 - 580

이차원 위상 대조 자기공명영상과 도플러 초음파를 이용한 총뇌혈류량의 정략적 측정[1]

서 금 수 · 최 순 섭 · 이 영 일

목적: 이차원 위상 대조 자기공명영상(2 - dimensional phase - contrast MRI)과 도플러 초음파를 이용하여 총뇌혈류량(total cerebral blood flow)을 정량적으로 측정하여 비교 관찰하고자 하였다.

대상과 방법: 뇌신경계의 특별한 이상 병력이 없는 남자 지원자 16명을 대상으로 하였다. 지원자의 연령은 23 - 31세(평균: 26세)였으며, 몸무게는 58 - 75 kg(평균: 66 kg)이었다. 자기공명영상은 제 2 - 3 경추 추간판 부위에서 이차원 위상 대조 자기공명영상을 시행하여 양쪽 내경동맥과 추골동맥의 혈류량을 측정하였다. 도플러 초음파 혈류검사는 총경동맥 분지 상방 약 2 cm 부위에서 내경동맥 혈류량을 측정하였고, 갑상선 상부 부위에서 추골동맥 혈류량을 측정하였으며, 세 번의 반복 검사의 평균값을 측정값으로 하였다. 네 혈관 각각의 이차원 위상대조 자기공명영상 및 도플러 초음파의 측정값은 Wilcoxon and Median score 방법으로 상관관계를 분석하였다. 각 검사법에서의 네 혈관의 측정값을 합한 총뇌혈류량을 구하여 16명 지원자의 평균값을 구하였다.

결과: 지원자 16명의 이차원 위상대조 자기공명영상 및 도플러 초음파의 측정값은 우측 내경동맥은 각각 233 ml/min와 239 ml/min, 좌측 내경동맥은 각각 250 ml/min와 248 ml/min 였고, 우측 추골동맥은 각각 62 ml/min와 56 ml/min, 좌측 추골동맥은 각각 83 ml/min와 68 ml/min 였다. 이차원 위상대조 자기공명영상 및 도플러 초음파의 측정값의 상관관계 계수는 우측 및 좌측 내경동맥과 우측 및 좌측 추골동맥이 각각 0.48, 0.54, 0.49, 0.62였으며, 두 검사의 총뇌혈류량의 평균은 각각 628±68 ml/min(517 - 779 ml/min), 612±79 ml/min(482 - 804 ml/min)였다.

결론: 정상 지원자에서 위상 대조 자기공명영상과 도플러 초음파를 이용하여 총뇌혈류을 정량적으로 측정할 수 있었으며, 두 검사 모두 비침습적인 방법으로서 쉽게 임상적용이 가능하다고 생각된다.

뇌의 혈류는 뇌의 활동을 유지하게 하는 근본 요소이며, 뇌활동 상태를 반영하여 변화한다. 뇌의 혈류나 활동과 관련하여 최근에 관류 영상이나 기능적 영상을 얻어 뇌의 혈류변화 정도나 부위를 관찰하고 있다. 그러나 이 영상들은 국소뇌혈류의 상대적인 차이를 관찰하는 것으로서 전체 뇌의 혈류정도를 평가 할 수는 없는 실정이다. 뇌혈류의 정량 측정은 국소 혈류 변화에 기여하는 주요 동맥의 혈류에 대한 정보를 제공할 수 있으며 (1), 국소 뇌혈류량 뿐 아니라 전체 뇌의 혈류량의 정도와 뇌의 전반적인 기능정도는 밀접한 관계가 있으므로, 총뇌혈류량의 정도로 환자의 잠재 뇌기능 정도를 평가 할 수 있으리라 생각된다. 그러나 총 뇌혈류량의 측정 방법이 확립된바 없으며, 특히 한국인에서의 정상치는 측정된바 없다. 종래의 뇌혈류량(total cerebral blood flow) 측정은 N_2O (2)나, ^{133}Xe 가스 (3)등을 이용하거나, Xe - CT (4), PET (5)등의 방법을 이용하기도 하였으나, 가스농도 측정이나 동위원소를 이용하여야 하는 등 검사방법이 복잡하여 널리 이용되지 않는 실정이다. 또한 도플러 초음파도 각종 경동맥 질환에서 혈류 속도와 혈류 양상의 관찰에 유용하다고 하나 혈류량 측정에는 널리 이용되지 않는 실정이다. 최근에는 자기공명영상의 위상 변위(phase shift)를 근거로 하여 혈류 속도(flow velocity) 및 혈류량(cerebral blood flow)을 측정할 수 있게 되었다.

이에 저자들은 이차원 위상 대조 자기공명영상과 도플러 초음파를 이용하여 뇌혈류량을 측정하고 비교 관찰하여 이들을 이용한 총뇌혈류량의 정량적 측정이 새로운 측정법으로 이용

[1]동아대학교 의과대학 진단방사선과학교실
이 논문은 2001년 6월 11일 접수하여 2001년 10월 15일에 채택되었음.

가능한지 알고자 본 연구를 시행하였다.

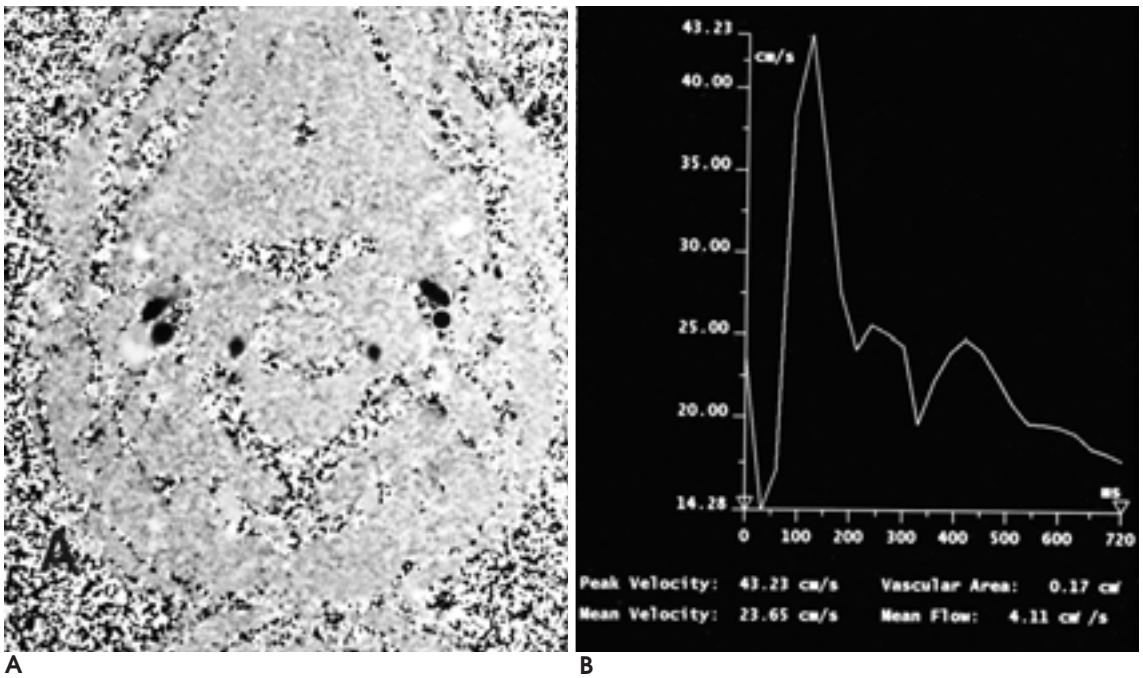
대상과 방법

뇌신경계나 심장기능의 특별한 병력이 없는 건강한 젊은 남자 지원자 16명을 대상으로 하였으며, 이들의 연령분포는 23-31세(평균 26세), 몸무게는 58-75 kg(평균 66 kg)이었다.

이차원 위상 대조 자기공명영상을 이용한 혈류측정에는 1.5 tesla의 초전도형 자기공명영상기기(Magnetom Vision, Siemens, Erlangen)를 이용하였다. 영상지표는 반복시간(repetition time) 29 msec, 에코시간(echo time) 7 msec, 숙임각(flip angle) 30도, 영상영역(field of view) 150×150 mm, 절편두께(slice thickness) 6 mm, matrix 수 192×256, 속도부호화(velocity encoding)의 범위는 150 cm/sec로 하였으며, 검사시간은 2분-4분 30초였다. 뇌혈류량 측정을 위하여 심전도 유발(cardiac gating)하에 양측 내경동맥과 추골동맥이 거의 모두 횡단면에 수직이 되는 제 2-3 경추 추간판 부위에서, 이차원 위상 대조 자기공명영상을 시행하였다 (Fig. 1). 위상부호화(phase encoding)는 심장주기(cardiac cycle)에 따라서 30 msec마다 하여 20-34회로 하였다. 획득한 위상대조(phase contrast) 영상에서 양측 내경동맥과 추골동맥 각각의 전체 혈관 크기를 관심영역으로 그려서 혈류량을 산출하였는데, 관심혈관영역을 그려주면 기계 자체 프로그램이 혈류량을 자동 산출하여 주며 (Fig. 2A, B), 3회 반복 측정하여 평균값을 혈류량으로 취하였다.

도플러 초음파를 이용한 뇌혈류량 측정을 위해서는 7.5 MHz 선형탐촉자(Sonoline Elegra, Siemens, Erlangen)를 이용하였다. 영상의 변수는 혈관벽의 움직임에 의한 알리에이징(Aliasing) 인조상을 없애기 위해서 벽여과기(wall filter)를 50 Hz로, 펄스반복주파수(pulse repetition frequency)는 1500 Hz 이상으로, 초음파기의 탐촉자의 입사각(θ)은 60도로 지정하였다. 도플러 초음파에서 내경동맥의 측정 부위는 경동맥구(carotid bulb)의 와류를 피하기 위해 경동맥 분지 부위보다 약 2 cm 상방에서 실시하였으며 (Fig. 3), 추골동맥의 혈류 측정 부위는 상부에서는 추골동맥 관찰이 어려워서 내경동맥의 측정 부위보다는 약 5 cm 정도 아래인 갑상선 상부에서 실시하

Fig. 1. Sagittal scout image shows the level of the scanning of the 2D phase-contrast MR image at the C2-3 intervertebral disc space.



A B

Fig. 2. A. Phase contrast image shows region of interest (ROI) at the left internal carotid artery for flow measurement.
B. Flow velocity curve shows volume flow as 4.11 cm3/sec. Vertical axis is flow velocity and transverse axis is one cardiac cycle.

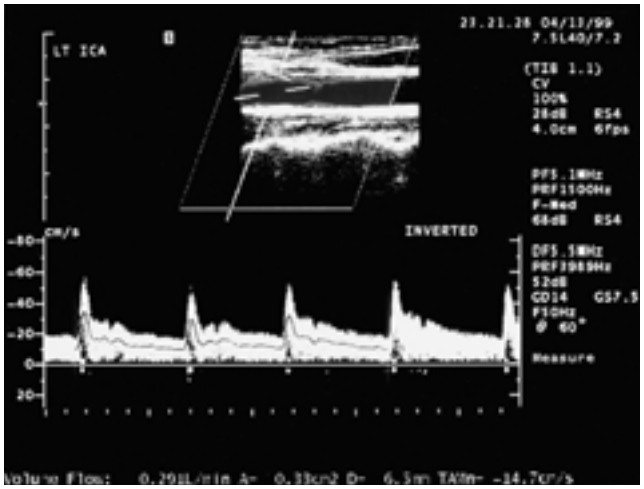


Fig. 3. Doppler ultrasound measuring volume flow is shown at the internal carotid artery about 2 cm above of the carotid bifurcation. Volume flow is 0.291 l/min.

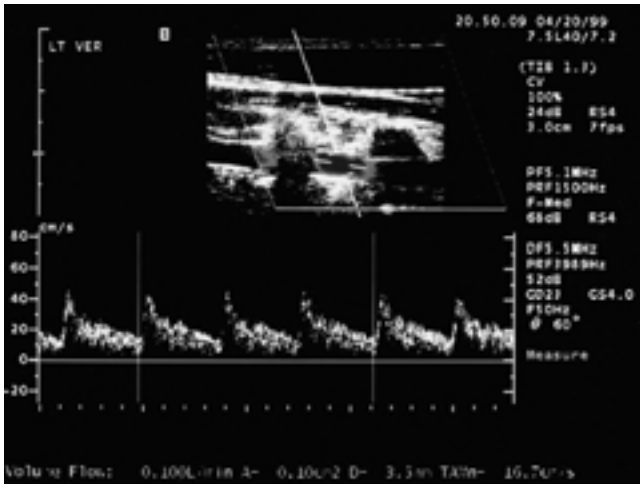


Fig. 4. Doppler ultrasound measuring volume flow is shown at the vertebral artery of the thyroid gland level. Volume flow is 0.1 l/min.

Table 1. Volume Flow measured by 2D Phase-Contrast MR Image and Doppler Ultrasound of Internal Carotid Arteries and Vertebral Arteries in Sixteen Volunteers

(Unit; ml/min)

Case	Rt ICA	Lt ICA	Rt VA	Lt VA	Total
	MRI/US	MRI/US	MRI/US	MRI/US	MRI/US
1	254/273	187/152	83/78	108/93	632/596
2	203/236	295/196	92/105	89/97	679/634
3	322/294	313/274	74/75	63/72	772/715
4	124/201	364/248	49/99	71/75	608/623
5	233/247	247/263	65/52	54/29	599/591
6	263/309	194/242	69/59	96/38	622/648
7	282/277	306/337	59/64	132/126	779/804
8	235/218	256/276	32/69	120/123	643/686
9	210/259	240/261	109/76	37/21	596/617
10	223/204	192/206	35/23	102/49	552/482
11	227/205	318/317	34/17	50/30	629/569
12	273/230	220/258	31/15	73/29	597/532
13	198/202	240/212	62/31	98/88	598/533
14	280/227	206/254	41/40	80/62	607/583
15	190/229	170/181	81/59	76/76	517/545
16	210/219	250/296	71/39	80/80	611/634
Mean	233/239 (±47/±34)	250/248 (±56/±49)	62/56 (±23/±27)	83/68 (±26/±33)	628/612 (±68/±79)

Rt: right, Lt: left, ICA: internal carotid artery, VA: vertebral artery

였다 (Fig. 4). 도플러 초음파를 이용한 각 혈관의 혈류량은 각 혈관에 대해 탐촉자가 가능한 한 직각을 이룬 종단스캔에서 심장주기 중 수축기의 영상에서 가장 짧은 직경을 표본부피(sample volume)로 하여 도플러 스펙트럼을 구하고, 여기에 혈관 직경을 지정하면 기계가 자동으로 혈류를 산출해 주었으며, 각 혈관마다 3회 반복 측정하여 평균값을 혈류량으로 취하였다.

이차원 위상 대조 자기공명영상 및 도플러 초음파 검사로 측정된 양측 내경동맥과 추골동맥의 혈류량을 ml/min 단위로 환산하여, 두 방법에 의해 측정된 네 혈관의 혈류량의 상관관계를 Wilcoxon and Median score로 분석하였고, 네 혈관의 측정값을 합하여 총뇌혈류량을 구하였다.

결 과

위상대조 자기공명영상과 도플러 초음파를 이용한 전체 16명의 각 혈관의 혈류량은 Table 1과 같으며, 우측 내경동맥은 각각 233 ml/min와 239 ml/min, 좌측 내경동맥은 각각 250 ml/min와 248 ml/min였고, 우측 추골동맥은 각각 62 ml/min와 56 ml/min, 좌측 추골동맥은 각각 83 ml/min와 68 ml/min

였다. 우측 및 좌측 내경동맥과 우측 및 좌측 추골동맥 각각의 이차원 위상대조 자기공명영상 및 도플러 초음파의 측정값의 상관관계 계수는 각각 0.48, 0.54, 0.49, 0.62였다. 총뇌혈류량은 이차원 위상 대조 자기공명영상에서 517 ml/min부터 779 ml/min까지의 범위로 평균 628±68 ml/min였으며, 도플러 초음파에서는 482 ml/min부터 804 ml/min까지의 범위로 평균 612±79 ml/min였다.

고 찰

뇌혈류와 뇌기능은 아주 밀접한 관계가 있으므로 각종 질환에서 국소 뇌혈류 뿐 아니라 뇌전체로 가는 혈류량을 보다 정확히 측정하려는 노력들이 있어 왔다. 과거에는 아산화질소(N_2O)를 흡입한 후 요골동맥 및 경정맥에서 동정맥 혈액을 채취하여 농도를 측정하여 총뇌혈류량을 계산하거나 (2), 제논(^{133}Xe) 가스를 정맥 주입 또는 흡입한 후 섬광측정기(scintillation detectors)로 가스의 제거율을 측정하여 총뇌혈류량을 계산하였다 (3). 또한, 제논 전산화단층촬영술(Xe-CT)을 이용하여 비방사능 제논 가스의 흡입에 의한 CT 감약계수의 변화로부터 국소 뇌혈류량을 측정하거나 (4), 양전자방출단층촬영술(positron emission tomography)을 이용하여, ^{15}O을 부착한 이산화탄소나 산소 분자의 흡입에 의한 방사능의 측정으로 부위별 뇌혈류량을 측정하였으나 (5), 방사선의 방출과 검사과정이 복잡하여 임상적으로는 거의 이용되지 않는 실정이다.

도플러 초음파 검사는 혈류에 민감한 특성으로 인해 다양한 혈류이상 질환에 이용할 수 있는데, 주로 혈류 속도를 측정하여 혈관의 협착정도 등을 평가하고 있으며, 혈류량 측정에는 활발하게 이용되고 있지 않은 상태이다. 도플러 혈류검사는 비침습적인 혈역동 검사법이기는 하나 경동맥의 혈류측정 위치에 따라서 혈류의 속도와 혈류량의 차이가 나고 (6), 심장주기(cardiac cycle)가 일정하지 않거나, 환자의 자세변화나 혈관의 부위에 따라 측정치가 일정하지 않을 수 있어서 여러번 측정하여야 하므로 (7), 검사 시간이 길다.

이차원 위상 대조 자기공명영상을 이용한 혈류량 측정은 혈류에 민감한 스핀의 탈위상(dephasing)의 정도의 차이를 이용한 것으로써 여러 부위에서 이용되고 있다. Caputo 등 (8)은 심유발 이차원 위상 대조 자기공명영상으로 주폐동맥과 좌, 우 폐동맥의 혈류량 측정시 정확하고 재현성이 높아서 각종 심질환의 평가가 가능하고, 심에코 검사의 측정치와 잘 일치함을 보고 하였다. Pena 등 (9)은 이차원 위상대조 자기공명영상은 운동전후의 혈류량 측정으로 말초혈관 질환의 평가에 유용하다고 하였으며, Vanninen 등 (10)은 이차원 위상대조 자기공명영상으로 경동맥 협착에서 수축기 최고 속도와 혈류량이 의미있게 감소한 것을 관찰하여 경동맥 협착의 혈류역동학적 의의를 판단 할 수 있을 것이라고 하였다. Marks 등 (1)은 이차원 위상대조 자기공명영상을 이용하여 비침습적으로 뇌의 동정맥 기형에서 혈류량이 증가하고, 색전술 후에는 혈류량이 감소함을 관찰하였으며, Levine 등 (11)은 이차원 위상 대조 자기공명영상으로 제 2 경추부위에서 혈류량을 측정하여 협착부위와 비협착부위의 혈류량의 차이를 관찰하였다. Enzmann 등 (12)은 이차원 위상 대조 자기공명영상은 근위부 해면정맥동부위 내경동맥과 여러 두개내 혈관에서 혈류량의 측정이 용이하며, 경두개 도플러에서 측정한 혈류속도와는 상관관계가 없었다고 하였으며, Alperin 등 (13)은 이차원 위상대조 자기공명영상은 뇌의 혈류량과 뇌압의 측정에 이용 가능하다고 하였다.

자기공명영상을 이용한 혈류 측정은 대부분 심전도 유발(cardiac gating)을 하여 측정하나 (8, 9, 12), 심전도 유발 없이(without cardiac gating) 더 간편하고 빨리 측정하는 방법도 연구되고 있다 (14, 15). Buijs 등 (16)은 전해면정맥동 부위(precavernous portion)의 내경동맥과 기저동맥 부위에서 비심유발 이차원 위상 대조 자기공명영상으로 뇌혈류를 측정하였으며, 여기에는 전,후 하소뇌동맥은 포함되지 않은 상태로서, 젊은 연령층(19-29세)의 평균 총뇌혈류량이 748±143 ml/min으로 보고하였는데, 본 연구에서는 심유발 이차원 위상대조 자기공명영상으로서 628±68 ml/min로 약간 낮게 나타났으나, 이 측정치는 뇌의 무게를 1200-1350 gm을 기준으로 할 때 (17), 기존에 100 gm당 50 ml/min으로 알려져 있는 혈류량과 유사한 결과였다. 비심전도 유발과 심전도 유발 측정의 차이나 정확성은 알려져 있지 않으며, 심전도 유발 방법은 시간이 더 소요되는 단점이 있으며, 이차원 위상대조 자기공명영상을 이용한 혈류 측정의 오차는 3% 이하로 알려져 있다 (16). Buijs 등 (18)은 비심유발 이차원 위상 대조 자기공명영상에서 모든 연령군의 총뇌혈류량은 남, 여 차이가 없으며, 총뇌혈류량이 나이의 증가에 따라 연간 평균 4.8 ml/min씩 감소한다고 보고하였으며, 몸무게나 인종적인 뇌혈류량의 차이는 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 건강한 젊은 지원자를 대상으로 하여 혈류량을 측정하였으므로, 환자에 적용시 나이에 따른 혈류량 감소를 고려하여 평가하여야 할 것으로 생각된다.

도플러 초음파 검사는 네 혈관 각각의 측정 순간의 혈류를 즉시 반영한 것으로서, 피검자가 목을 과신전 시키므로 혈류의 변화를 초래하여 측정값이 수시로 달라질 가능성이 있었고, 심장주기가 규칙적이지 않으면 측정 혈류량의 오차가 발생할 수 있다. 또한 혈류량 측정은 심장 주기 중 수축기의 영상에서 하여야 하는데, 알리에이징 인조상에 의한 혈관 직경이 과장되지 않도록 여러 변수를 적절히 조절하여야 하며, 혈관의 직경 측정시 작은 오차가 있는 경우 등은 현저한 측정치의 차이를 초래할 수 있으므로 주의가 필요하였다. 저자들의 측정에서 이차원 위상대조 자기공명영상을 이용한 측정치보다 표준편차가 대개 높았고, 검사 시간은 약 15분 정도로서 자기공명영상에 비해 시간은 세배 정도 소요되었다. 자기공명영상은 2분-4분 30초 동안의 이완된 상태에서의 위상대조(phase contrast) 영상을 획득하고, 얻어진 영상에서 반복하여 혈류량을 측정하는 것이므로 피검자의 불편이 덜하였으며, 혈관의 만곡으로 인해 영상 단면이 혈관에 대해 수직이 되지 않는 경우는 오차를 초래할 수 있으나, 영상획득 동안의 평균 혈류를 측정한 것이므로 전체적으로 오차가 적으리라 생각된다.

자기공명영상과 도플러 초음파 검사의 혈류량 측정 위치는

내경동맥은 거의 같은 부위였으며, 추골동맥은 상부에서는 도플러 초음파 검사에서 관찰이 어려워서 약 5 cm 아래 부위에서 측정하였으나, 이 사이에는 분지하는 동맥이 거의 없으므로, 측정 위치에 따른 혈류량 차이는 고려하지 않아도 되리라 생각된다. 두 검사는 모든 예에서 1 - 2 시간 내에 시행하였으므로 현저한 신체적인 변화는 없는 상태였으며, 대개는 두 검사의 측정치가 비슷하였으나, 같은 혈관의 두 장치에서의 측정치가 116 ml/min 차이가 나는 경우도 있었다 (Table 1, 4번 예, 좌경동맥). 이차원 위상대조 자기공명영상 및 도플러 초음파의 측정값의 상관관계 계수는 우측 및 좌측 내경동맥과 우측 및 좌측 추골동맥에서 각각 0.48, 0.54, 0.49, 0.62로서 두 검사의 일치도는 보통이었는데, 두 검사의 측정값의 일치도가 높지 않은 이유는 주로 도플러 초음파 검사의 특성에 기인하리라 생각되며, 뇌의 활동상태에 따라서 좌우의 혈류량의 차이가 수시로 야기되어 측정치가 달라질 수도 있으리라 생각된다. 경동맥 혈류량은 개인별로 각 혈관들의 좌우 측정치가 큰 차이를 보이기도 하였으나, 이는 뇌내 혈관들의 정상변이에 의할 것으로 생각되며, 평균 혈류량은 이차원 위상 대조 자기공명영상과 도플러 초음파검사 모두에서 좌측이 약간 높게 측정되었다. 16명 지원자 각각의 총뇌혈류량은 이차원 위상 대조 자기공명영상이 도플러 초음파검사에 비해 최고 70 ml/min 많게 측정되거나(10번 예), 43 ml/min 적게 측정되었으며(8번 예), 평균 16 ml/min 정도 많게 측정되었다. 두 검사 방법에 의한 총뇌혈류량 측정은 비교적 용이하였으며, 뇌허혈 및 뇌경색의 위험 요인을 가진 환자에서 뇌 자기공명영상 시에 이차원 위상대조 자기공명영상을 추가하여 혈류량을 측정하면, 국소의 허혈 뿐 아니라 뇌전체 영역의 허혈 정도를 판단하는데 도움이 되리라고 생각된다.

요약하면, 이차원 위상대조 자기공명영상과 도플러 초음파 검사를 이용한 총뇌혈류량의 측정에서 평균 각각 628 ml/min와 612 ml/min로 유사하게 측정되었으며, 두 검사 모두 간단한 비침습적인 뇌혈류 측정 방법으로 임상 적용이 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Marks MP, Pelc NJ, Ross MR, Enzmann DR. Determination of cerebral blood flow with a phase-contrast cine MR imaging technique: evaluation of normal subjects and patients with arteriovenous malformations. *Radiology* 1992; 182:467-476
2. Kety SS, Schmidt CF. The nitrous oxide method for the quantitative determination of cerebral blood flow in man: theory, procedure and normnal values. *J Clin Invest* 1948; 27:476-483
3. Matsuda H, Maeda T, Yamada M, Gui LX, Tonami N, Hisada K. Age-matched normal values and topographic maps for regional cerebral blood flow measurements by Xe-133 inhalation. *Stroke* 1984; 15:336-342
4. Tachibana H, Meyer JS, Okayasu H, Kandula P. Changing topographic patterns of human cerebral blood flow with age measured by xenon CT. *AJNR Am J Neuroradiol* 1984; 5:139-146
5. Leenders KL, Perani D, Lammertsma AA, et al. Cerebral blood flow, blood volume and oxygen utilization. *Brain* 1990; 113:27-47
6. Meyer JI, Khalil RM, Obuchowski NA, Baus LK. Common carotid artery: variability of Doppler US velocity measurements. *Radiology* 1997; 204:339-341
7. Westra SJ, Levy DJ, Chaloupka JC, et al. Carotid artery volume flow: in vivo measurement with time-domain-processing US. *Radiology* 1997; 202:725-729
8. Caputo GR, Kondo C, Masui T, et al. Right and left lung perfusion: in vitro and in vivo validation with oblique-angle, velocity-encoded cine MR Imaging. *Radiology* 1991; 180:693-698
9. Pena CS, McCauley TR, Price TB, Sumpio B, Gusberg RJ, Gore JC. Quantitative blood flow measurements with cine phase contrast MR imaging of subjects at rest and after exercise to assess peripheral vascular disease. *AJR Am J Roentgenol* 1996; 167:153-157
10. Vanninen RL, Manninen HI, Partanen PL, Vainio PA, Soimakallio S. Carotid artery stenosis: clinical efficacy of MR phase-contrast flow quantification as an adjunct to MR angiography. *Radiology* 1995; 194:459-467
11. Levine RL, Turski PA, Holmes KA, Grist TM. Comparison of magnetic resonance volume flow rates, angiography, and carotid dopplers: preliminary results. *Stroke* 1994; 25:413-417
12. Enzmann DR, Ross MR, Marks MP, Pelc NJ. Blood flow in major cerebral arteries measured by phase-contrast cine MR. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15:123-129
13. Alperin NJ, Lee SH, Loth F, Raksin PB, Lichtor T. MR-intracranial pressure(ICP): A method to measure intracranial elastance and pressure noninvasively by means of MR imaging: Baboon and human study. *Radiology* 2000; 217:877-885
14. Moller HE, Klocke HK, Bongartz GM, Peters PE. MR flow quantifiation using RACE: clinical application to the carotid arteries. *J Magn Reson Imaging* 1996; 6:503-512
15. Bakker CJG, Hartkamp JM, Mali WP. Measuring blood flow by nontriggered 2D phase-contrast MR angiography. *Magn Reson Imaging* 1996; 14:609-614
16. Enzmann DR, Marks MP, Pelc NJ. Comparison of cerebral artery blood flow measurements with gated cine and ungated phase-contrast techniques. *J Magn Reson Imaging* 1993; 3:705-712
17. Ho KC, Roessmann U, Straumfjord JV, Monroe G. Analysis of brain weight. II. Adult brain weight in relation to sex, race, and age. *Arch Pathol Lab Med* 1980; 104:635-639
18. Buijs PC, Krabbe-Hartkamp MJ, de Lange EE, et al. Effect of age on cerebral blood flow: measurement with ungated two-dimensional phase-contrast MR angiography in 250 adults. *Radiology* 1998; 209:667-674

J Korean Radiol Soc 2001;45:575 - 580

Quantitatve Measurement of Total Cerebral Blood Flow Using 2D Phase-Contrast MRI and Doppler Ultrasound[1]

Keum-Soo Seo, M.D., Sun-Seob Choi, M.D., Young-Il Lee, M.D.

[1]Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Dong-A University

Purpose: To compare of quantitative measurement of the total cerebral blood flow using two-dimensional phase-contrast MR imaging and Doppler ultrasound.

Materials and Methods: In 16 volunteers (mean age, 26 years; mean body weight, 66 kg) without abnormal medical histories, two-dimensional phase-contrast MR imaging was performed at the level of the C2 - 3 intervertebral disc for flow measurement of the internal carotid arteries and the vertebral arteries. Volume flow measurements using Doppler ultrasound were also performed at the internal carotid arteries 2 cm above the carotid bifurcation, and at the vertebral arteries at the level of the upper pole of the thyroid gland. Flows in the four vessels measured by the two methods were compared using Wilcoxon's correlation analysis and the median score. Total cerebral blood flows were calculated by summing these four vessel flows, and mean values for the 16 volunteers were calculated.

Results: Cerebral blood flows measured by 2-D phase-contrast MR imaging and Doppler ultrasounds were 233 and 239 ml/min in the right internal carotid artery, 250 and 248 ml/min in the left internal carotid artery, 62 and 56 ml/min in the right vertebral artery, and 83 and 68 ml/min in the left vertebral artery. Correlation coefficients of the blood flows determined by the two methods were 0.48, 0.54, 0.49, and 0.62 in each vessel, while total cerebral blood flows were 628±68 (range, 517 to 779) ml/min and 612±79 (range, 482 to 804) ml/min, respectively.

Conclusion: Total cerebral blood flow was easily measured using 2-D phase-contrast MR imaging and Doppler ultrasound, and the two noninvasive methods can therefore be used clinically for the measurement of total cerebral blood flow.

Index words : Brain, blood flow
Magnetic resonance (MR), vascular studies
Carotid arteries, US

Address reprint requests to : Sub-Seob Choi, M.D., Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Dong-A University, 1, 3-Ga, Dongdaesin-Dong, Seo-Gu, Busan 602-103, Korea.
. Tel. 82-51-240-5368 Fax. 82-51-253-4931 E-mail: sschoi@damc.or.kr