

Neck and Cerebral MR Angiography

전남의대 진단방사선과학교실 서 정 진

자기공명혈관조영술(MR Angiography, 이하 MRA로 줄임)은 고식적 혈관조영술(Conventional angiography, 이하 CA로 줄임)처럼 인체내 정맥이나 동맥을 직접영상화 할 수 있는 자기공명영상기법중의 하나로 인체내 혈관상태를 파악하는 중요한 진단방법이 되었다. CA가 갖는 단점인 침습성이 없고 가능한 많은 조영제를 쓰지 않는 장점이 있으며 다양한 기법과 컴퓨터의 발달로 발전 가능성이 많아 임상이용이 더 많아질 것이다. 이에 MRA영상의 질을 최고로 유지하고 적절한 영상판독을 위해 기본원리의 이해가 필요하며 효과적인 임상이용을 위해 영상기법의 종류 등을 알아둘 필요가 있다.

MRA는 MRI 장치에서 얻은 영상을 적절히 처리하여 혈관의 영상을 얻는 방법이므로 혈류에 민감한 영상기법으로 영상을 얻고 혈관이외의 조직에서 나오는 신호를 억제한 후 이 영상들을 투사(projection)하여 영상을 얻는다.

혈류는 MR 영상에서 독특한 신호특성을 갖는다. 즉 영상방법에 따라 높은 신호강도를 보이기도 하고, 혹은 신호소실을 보이기도 하는데, 스핀-에코 영상에서 혈류는 통상 신호소실효과에 의해 낮은 신호강도를 보이게 된다. 혈류의 신호소실은 영상절편이 얇고 에코타임(TE)이 길수록 심해지는데 급속(fast) 스핀-에코에서 더욱 두드러지며, 이 밖에 presaturation, dephasing gradients, 그리고 preinversion pulses 등을 사용하여 신호소실을 강조할 수 있다. 두개내에서 사용하는 혈류의 신호강도를 높여주는 MRA 기법은 크게 time-of-flight(TOF) 방법과 phase contrast(PC) 방법으로 대별할 수 있다.

(1) Time-of-flight(TOF)

TOF 방법에서는 gradient-echo pulse sequences를 사용하여 혈류신호를

높혀 주게 되는데, gradient-echo 영상 법에서는 (a) 한 TR 사이에 RF 펄스를 한번만 가해주므로 spin-echo의 90° 펄스와 180° 펄스 사이 시간에서 유발되던 신호소실효과가 없고, (b) 반면에 매 위상부호화단계(phase encoding step)마다 여러 번의(multiple) RF 펄스가 short TR interval로 가해지므로 정체조직의 신호강도는 심하게 saturation 되어 저신호(lower signal)의 steady state에 이르고, 반면에 혈류는 완전히 자화된 스핀의 상태로 영상절편 내로 유입됨으로 강한 신호를 보여 혈류와 정지조직간의 신호대비가 극대화 되게 된다. 기존영상기법과 마찬가지로 2D(dimensional), 3D영상법을 모두 사용할 수 있으며 2D 혹은 3D TOF라고 부른다. 혈류에 의한 신호증강 효과를 극대화시키기 위하여 혈류방향과 수직인 thin section의 영상 면을 선택하여야 하고, 이 밖에 flow compensation, 상자성조영제(paramagnetic contrast media), 적절한 TR과 flip angle 등을 사용하여야 한다. 혈관이 선택영상면내를 비스듬히 달릴 때 혈액은 상대적으로 많은 RF 펄스를 받게 되므로 영상면내에서 saturation 될 수 있어, 영상면내로 평행하게 달리는 혈관이 잘 보이지 않게 될 수 있다. 그러나, 절편 두께를 매우 얇게 하여 이러한 in plane signal loss를 감소시킬 수 있다. 짧은 T1 의 물질(지방, 아급성출혈의 methemoglobin)이 고신호강도를 보이는 단점이 있다.

1) 2D TOF

영상에 영향을 미치는 요인으로는 혈류속도, 방향, 혈관의 모양, 혈액 및 조직의 T1, 펄스 parameter등이 있다. 급경사의 gradient가 필요하게 되고 큰 혈류보상 gradient가 필요하여 TE를 증가시켜야 하는 단점이 있다. 조영제를 주입하여 느린 혈류의 신호를 증가시킬 수 있으나 배후잡상(background noise)을 증가시키는 단점이 따른다. 획득시간(acquisition time)이 짧고 사용방법이 간편하여 임상이용이 많으며, 느린 혈류에 민감하고, 정상적인 혈류 속도에 saturation효과가 적은 것이 장점이다. 2D TOF기법은 정맥 혹은 말초부위의 혈관검사에 유용하다. 반면에 in plane blood flow에 신호소실을 초

래하고, 환자의 움직임에 의하여 축상면에 misregistration을 할 수 있으며, minimum TE와 MIP기법의 제한 때문에 협착부위를 과대 평가하게 되는 단점이 있다.

Clinical applications

- Demonstration of the carotid bifurcation
- Evaluation of suspected basilar artery occlusive disease
- Cortical venous mapping in the brain
- Evaluation of suspected intracranial venous thrombosis

2) 3D TOF

3D TOF는 2D TOF보다 대체로 더 좋은 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio)를 얻을 수 있고 매우 얇은 slice의 영상이 가능하여 voxel size를 감소시켜 intravoxel dephase를 줄일 수 있다. 영상에 영향을 미치는 요소로서는 혈류속도, imaging slab에 대한 혈관의 방향, imaging volume 크기 등이다. 공간분해능(spatial resolution)이 좋고, 영상획득 시간이 비교적 짧으며, 고속이나 중정도의 혈류속도를 갖는 혈관을 파악하는데 좋으며, 대단히 짧은 TE를 시행할 수 있고, 대조도 대 잡음비(contrast-to-noise ratio)가 높으며 신호 대 잡음비가 높은 장점이 있다. 그러나, 혈류속도가 느린 경우 imaging slab을 지나는 동안 saturation이 일어나 혈류의 신호강도가 감소하게 된다. 또한 imaging volume이 비교적 적어야 하고 조영제 사용 없이 정맥계를 영상화하는데 제한이 있는 단점이 있다.

Clinical applications

- Assesment of carotid artery occlusive disease
- Demonstration of AVM arterial supply and nidus
- Evaluation of intracranial aneurysm
- Imaging of venous angiomas, using MR contrast material

(2) Phase contrast(PC)

PC 방법은 스핀이 자장경사를 이동할 때 생기는 위상이동(phase shift) 현상을 이용하는 영상법이다. 영상획득(acquisition)방법에 따라 2D 혹은 3D PC가 있다. 이 영상법에서는 통상 유체에 대해 양극성(positive polarity)과 음극성(negative polarity)을 갖는 서로 다른 경사(gradient)를 적용하는 두 개의 영상을 얻고, 각각에서 유발된 양성위상이동(positive phase shift)과 음성위상이동(negative phase shift)의 혈류영상을 서로 감산(subtraction)하여 혈류에 의한 신호는 증폭시키고 정지조직으로 부터의 신호는 감소시키게 된다. 이 방법에서는 혈류속도의 분포에 따라 위상부호화경사(phase encoding gradient)의 크기를 조정하여 줌으로써 위상이동이 $\pm 180^\circ$ 이상이 되었을 때 유발되는 aliasing 현상을 방지하여 주어야 한다. 혈류속도부호화(velocity encoding, VENC)가 특징인데 조절된 최대속도 이하의 혈류가 aliasing 없이 영상에 나타난다. 즉 지정된 VENC 이상의 혈류는 저신호강도로 보인다. 또한 3D PC 방법에서 혈류를 3방향으로 다 부호화(encoding)하여주기 위해서는 최소 4번의 영상을 얻어야 함으로 영상시간이 길어지는 단점이 있다. 그러나 PC 방법은 근본적으로 정량적(quantitative)인 방법이라는 장점과, 신호강도가 flow saturation과는 무관하므로 느린 혈류(slow flow)를 영상화 할 수 있다는 장점이 있다.

1) 2D PC

영상획득시간이 짧아 3D PC를 하기 전에 적절한 VENC를 찾을 수 있도록 가능하게 하여 시간이 많이 걸리는 3D PC를 적절하게 할 수 있는 장점이 있으나 다양한 채투사영상이 불가능하고 voxel 크기가 클수록 intravoxel dephasing이 증가한다는 단점이 있다.

Clinical applications

Generating vascular localizer prior to more lengthy 3D PC angiography

Detection of flow rates in AVMs and aneurysms, using variable velocity encoding

2) 3D PC

혈류속도의 정량적 평가가 가능하여 검사하고자 하는 부위, 혈관질환의 종류에 따라 VENC를 조절하여 검사할 수 있으며, intravoxel dephasing이 적고, 배후잡상억제가 뛰어나며, 신호 대 잡음비가 높고, 3D TOF에 비해 volume의 크기가 커도 saturation효과가 극히 적으며, 조영제를 주입하여 동맥과 정맥구조물들을 잘 볼 수 있는 장점이 있다. 그러나 언급한 것처럼 영상획득시간이 길며, 2D PC를 먼저 시행하여 적절한 VENC를 알아야 하고, 와류(turbulent flow)가 있을 때 TOF보다 민감하여 신호소실을 초래하는 단점이 있다.

Clinical applications

preoperative and post-treatment AVM assesment

Evaluation of intracranial aneurysm

Demonstration of venous occlusions and malformations

Large volume imaging(e. g, whole head)

Examination of congenital intracranial vascular injuries

Evaluation of traumatic intracranial vascular injuries

A) Occlusive arterial disease

Thromboembolic disease를 갖고 있는 환자들에서 MRA에 나타나는 양상은 vascular lesion site와 parenchymal insult의 정도에 의존한다. 따라서 적절한 기법을 사용하여 진단에 도움을 줄 수 있도록 한다.

2D TOF는 비교적 slow flow에 민감하므로 nearly occluded internal carotid 혹은 vertebral artery를 평가하는데, 3D TOF는 spatial resolution이 뛰어나고, 조영증강, MOTSA, Magnetization transfer등의 기법응용으로

slow flow도 민감도를 높일 수 있어 atheroscleotic disease나 nearly occluded artery의 slow flow도 인지를 가능하게 한다. 2D PC기법은 flow direction, longer acquisition을 하기전 localizer로, 그리고 flow velocity 나 volume flow rate등을 파악할 수 있게 한다.

B) MRA Evaluation of Patients with suspected Aneurysms

3D TOF MRA는 small aneurysm in region of Circle of Willis를 인지 하는데 우수하며 multiple thin overlapping slabs 혹은 magnetization transfer 기법으로 자세한 혈관영상을 얻을 수 있다.

PC기법은 velocity encoding(Venc)을 하여 aneurysm의 빠른 inflow jet 혹은 slower circulating central vortex flow를 알아낼 수 있으며, 또한 residual lumen을 파악하는데 유용하다.

그렇지만 MRA는 short T1 relaxation time을 갖는 물질(e.g methemoglobin)이 병적인 flow conditions로 오인할 수 있고, intravoxel dephasing으로 parent artery와 aneurysmal neck과의 관계파악이 어려울 때도 있으며, high spatial resolution을 요구하고, labor-intensive process인 단점이 있다.

C) AV Malformations

AV malformation이 있는 환자의 MRA에서(a) define the arterial supply to the AVM, (b)delineate the size and location of the AVM nidus, (c) determine whether the venous drainage is central or peripheral, (d) identify high flow fistulas or aneurysms, (e) assess the hemodynamic impact of the malformation on the adjacent brain parenchyme등의 요소들을 파악하는 것이 중요하다.

Parenchymal type에서 3D TOF기법은 feeding artery와 draining vein, nidus등을 잘 파악할 수 있는 유용한 기법이며, PC기법은 velocity determination, directional flow information of feeding vessels을 얻을 수 있

고, very small AVMs도 인지할 수 있다. AVM이 있는 환자에서 volume flow rate(ml/min), mean velocity(cm/s), peak systolic velocity(cm/s)는 ipsilateral carotid artery는 563 ± 48 , 90.0 ± 7.8 , 117.2 ± 9.2 , 그리고 contralateral carotid artery는 422 ± 29 , 83.3 ± 7.6 , 111.3 ± 9.7 이며, basilar artery는 385 ± 42 , 83.6 ± 7.2 , 105.3 ± 9.0 으로 알려져 있다.

Dural type에서 PC기법은 flow direction in draining veins and dural sinus를 파악하는데 유용하다.

D)MR Venogram

MR 스핀에코영상에서 intraluminal thrombus는 시기별로 다양하게 나타나는데 Acute phase(1 to 3 days)에서 isointense thrombus on T1 WI로, reduced SI on T2 WI로 나타나게되어 flow void와의 감별이 어려워진다.

Early subacute thrombus(4 to 7 days)는 hyperintense on T1 WI로 관찰되고, 특히 "cord sign" of straight sinus를 볼 수 있는데 이는 rope like configuration of thrombus 때문이다. iso- or slightly hypo- intense on T2 WI로 관찰된다.

Late subacute thrombus(7 to 10 days)는 hyperintense on both T1 and T2 WI로 나타난다.

Chronic phase는 T1 WI에서 hyperintense (10 to 30 days) 그리고 isointense (after 30 days)로 나타난다.

Contrast enhancement를 하게 될 때, dural sinuses주위로 inflammatory or neoplastic lesions를 파악하는데 유용하다. 즉, intense shaggy enhancement of the walls of the sagittal sinus를 볼 수 있는데, 이는 enhanced collateral venous channels와 dural congestion때문이다.

1)Sagittal sinus thrombosis

증상은 severe headache resistant to analgesic therapy, malaise, nausea,

vomiting and irritability와 침범지역에 따라 다양하게 seizure, focal neurologic deficits가 나타난다.

원인질환으로서 Local diseases로 Infection(Extradural; mastoiditis, sinusitis cellulitis, osteomyelitis, Intradural; acute bacterial and chronic granulomatous meningitis, Intraparenchymal; abscess)등이 있고, Trauma(fracture overlying a dural sinus), Neoplasm(meningioma, calvarium metastasis, carcinomatosis meningitis), Arterial infarction and subarachnoid hemorrhage등이 있으며, Systemic disease로 Pregnancy, puerperium, oral contraceptives, Collagen vascular disease, SLE, Migratory thrombophlebitis, Inflammatory bowel disease, Cardiac disease(cyanotic heart disease, congestive heart failure), Hematologic disorders(polycythemia, leukemia/lymphoma, sickle cell anemia, DIC, hemolytic anemia), Idiopathic등이 있다.

2) Lateral sinus thrombosis

증상은headache와fever이며, 주원인은secondary to infectious process, such as otitis media, mastoiditis, or tonsillitis이다.

3) Deep cerebral venous thrombosis

4) Cavernous sinus thrombosis

venous thrombus가 의심될 때는 2D 혹은 3D TOF를 적절하게 이용하며 intraluminal thrombus는 저신호강도로 유입혈류(inflowing blood)는 고신호강도로 나타난다.

주로 thrombosis는 MIP 나 source images에서 absence of flow signal로 나타나며, contrast enhancement를 하게될 때 wall of sagittal sinus가 intensely enhancement되는데 이는 dilated venous collaterals 와 dural congestion때문이다.

2D PC도 유용한 기법이며 complete thrombosis 일 때는 absence of flow

로, partial thrombosis 일 때는 irregular flow patterns and intraluminal thrombosis가 나타난다. Contrast enhancement를 하면 significant increase in the intraluminal signal intensity for slow flow의 효과를 보고 collateral pathways와 flow around localized thrombus를 잘 볼 수 있게된다.

MRA의 질은 높은 공간분해능(spatial resolution)과 배후억제(background suppression)에 의해 향상될 수 있으며, 높은 공간분해능은 pixel size를 증가 시킴으로써 얻을 수 있고 배후억제는 자화전이(magnetization transfer) 등 여러 방법에 의해 효과적으로 이를 수 있다. MRA는 점점 속도가 빨라지는 급속 스핀에코 및 gradient echo와 EPI 등의 개발과 더불어 영상에 질을 향상시키는 소프트웨어의 개발로 발전이 급속도로 이루어지고 있어 임상이용도 극대화 될 것이다.

References

1. 강형근. 고속자기공명영상과 혈관조영술. 1997년도 방사선과 전공의 춘계 연수 교육 교재 49-68
2. Bradley WG. Flow phenomenon. In : Stark DD, Bradley WG eds. Magnetic resonance imaging. St. Louis: Mosby 1988:108-137
3. Lim TH, Saloner D, Anderson CM. Current applications of magnetic resonance vascular imaging. Cardiology Clinics 1989;7:661-683
4. Wehrli FW, Shimakawa A, Gullberg GT, et al. Time-of-flight MR flow imaging. Selective saturation recovery with gradient refocusing (SSRGR). Radiology 1985;160:781-785
5. von Schulthess GK, Higgins CB. Blood flow imaging with MR : spin-phase phenomena. Radiology 1985;157:687-695
6. Huston III J, Ebman RL. Comparison of time-of-flight and phase-contrast MR neuroangiographic techniques. RadiGraphics 1993;13:5-19

7. Edelman RR. MR angiography : present and future. AJR 1993;161:1-11
8. Anderson CM, Edelman RR, Tuski PA. Clinical magnetic resonance angiography. 1st ed. New York:Raven press, 1993:1-122
9. 김윤현, 강형근, 서정진, 김재규, 문웅재, 정현대. 두개내동.정맥 기형에서 자기공명혈관조영술의 유용성. 대한방사선의학회지 1994;31:7-14
10. 문웅재, 김준호, 서정진, 조기현, 김윤현, 김재규, 강형근. 뇌경색환자의 예후평가로서의 자기공명혈관조영술의 유용성. 대한방사선의학회지 1994;31:607-613
11. 정현웅, 서정진, 김윤현, 문웅재, 김재규, 강형근. 비외상성 두개내 출혈 환자에서 자기공명혈관조영술의 유용성. 대한방사선의학회지 1994;31:799-806