척수경색의 확산강조자기공명영상

김윤정 · 서정진 · 임남열 · 정태웅 · 김윤현 · 박진균 · 정광우 · 강형근

목적: 척수경색의 진단에서 현성확산계수 값의 측정을 포함한 확산강조자기공명영상의 유용성을 평가하고자하였다.

대상 및 방법: 척수경색으로 진단받은 6명의 환자를 대상으로 후향적으로 분석하였다. 경색증상 발현 후 평균 5.4일이 지난 후에 1.5 T 초전도체 자기공명영상 기기를 이용하여 자기공명영상을 얻었다. 확산강조자기공명영상은 고식적인 b값(1000s/mm^2)으로 하여 multi-shot echo planar imaging 기법을 이용하여 영상을 획득하였으며 개인용 컴퓨터로 옮겨져 현성확산계수 지도를 얻어 정상부위와 병변부위의 현성확산계수 값을 측정하였다. 자기공명영상에서 병변의 위치와 T1과 T2 강조영상, 그리고 확산강조자기공명영상에서 나타나는 각각의 신호강도를 알아보았고, 병변부위와 정상부위에서 측정한 현성확산계수 값을 비교하였다.

결과: T1강조영상에서 6예 중 4예에서 등신호강도를, 2예에서 저신호 강도를 보였고, T2강조영상에서 6예 모두 고신호강도를 보였다. 또한 확산강조자기공명영상에서 6예 모두 고신호강도를 보였다. 현성확산계수 지도는 6예 전예에서 성공적으로 얻을 수 있었다. 현성확산계수 지도에서 6예 모두 정상과 뚜렷한 차이를 보이는 색조변화를 보였으며, 6예 모두 병변부위의 현성확산계수 값은 정상 부위의 현성확산계수의 값보다 더 낮았으며 통계적으로 유의하였다 ($p<0.05$).

결론: 척수경색 환자에서 척수병변의 확산강조자기공명영상과 현성확산계수 값의 측정이 가능하였다. 따라서 확산강조자기공명영상은 척수경색의 조기진단과 국재화(localization)에 유용하리라 보여진다.

서 론

자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)은 다양한 뇌질환 뿐만 아니라 척수질환의 진단에도 기본적인 검사라고 할 정도로 그 유용성이 널리 알려져있다. 더구나 촬영장비의 컴퓨터 소프트웨어 및 하드웨어의 발달과 더불어 여러 가지 최신영상진단기법이 개발되고 있는데 그 중 확산강조자기공명영상(diffusion-weighted MR imaging, DWI)은 뇌경색등 여러 뇌질환의 진단에 매우 유용한 것으로 알려져있다 (1-3). 또한 뇌질환에서 현성확산계수(apparent diffusion coefficient, ADC) 값의 측정이 가능하게되어 현성확산계수의 측정을 포함한 DWI의 이용도가 날로 증가하고 있다 (4, 5). 최근 여러 동물실험뿐만 아니라 실제 임상에서도 척수질환에 DWI를 이용하려는 연구가 진행되고 있다 (6-13). 임상적으로 척수경색 1예에서 척수경색이 발생한 후 30시간 안에 DWI을 얻어 ADC 지도를 얻어 진단에 이용하였다 (6). 척수경색은 임상에서 비교적 드문 질환으로 MRI가 진단에 유용하지만 MR 영상소견은 횡단척수염등 다른 질환과의 감별이 어렵고 비특이적이다 (14-18).

이 연구에서는 척수경색환자에서 ADC 값의 측정을 포함한 DWI의 유용성을 평가하고자 하였다.

대한자기공명의과학회지 6:166-172(2002)
[1]전남대학교 의과대학 진단방사선과학교실
접 수 : 2002년 9월 18일, 채 택 : 2002년 11월 14일
통신저자 : 서정진, (501-757) 광주광역시 동구 학동 8번지, 전남대학교병원 진단방사선과
Tel. (062)220-5881 Fax. (062)226-4380 E-mail: jjseo@chonnam.ac.kr

대상 및 방법

2001년 6월부터 2002년 8월까지 급성 척수경색으로 진단 받은 6명의 환자를 후향적으로 분석하였다. 남녀의 비는 3 : 3이였으며 평균 연령은 59.3세(50-68세)였다. 급성 척수경색의 진단은 임상 소견을 근거로 하였다. 신경학적 손상의 급격한 발생 유무와, 그리고 뇌척수액검사나 혈액학적 검사 등에서 다른 질환이 의심될 경우 배제하였다.

발병 후 평균 5.4일(16시간-13일)을 경과한 후 MRI 촬영을 하였다. 자기공명영상은 1.5T 초전도체 MRI 기기(Signa Horizon, GE Medical Systems, Milwaukee, WI, U.S.A)와 척추용코일을 이용하여 얻었다. 고식적인 시상면과 축상면 T1-강조영상을 TR/TE (msec)은 500/8, 시상면과 축상면 T2-강조영상을 TR/TE(msec)=3,000/100으로, 4mm 절편두께, 1mm gap, 256 192 matrix로 하여 경추부위는 시상면은 24 cm, 축상면은 22cm, 흉추나 요추부위는 시상면은 28 cm, 축상면은 20cm의 촬영시야로 얻었다. DWI는 multi-shot echo planar imaging(EPI) 기법을 이용하여 확산경사자기를 x, y, z 세 방향으로 가한 후 등방성 영상을 얻었다. DWI를 얻기 위한 영상 변수로는 TR/TE(msec)는 10000/100, 128×128 matrix, b 값은 1000 sec/mm^2, 절편두께는 4 mm로 하였다. 척수경색환자 1명에서 b 값을 100, 300, 500, 1,000 sec/mm^{2}으로 하여 ADC 지도를 각각 얻었다.

DWI는 개인용 컴퓨터로 옮겨져 전남대학교병원 진단방사선과 영상의학연구소에서 자체 제작한 프로그램을 이용하여 ADC 지도를 얻고 ADC 값을 측정하였다. ADC 지도에서 자동색조조절장치를 통하여 병변을 확인하였다.

얻어진 시상면 DWI의 영상들 중 병변이 가장 잘 관찰되는 것을 선택하여 9 pixel (32-49mm^2) 크기의 관심구역설정(region of interest, ROI)으로 ADC 값을 각각 측정하였다.

6명 환자에서 나타난 임상증상과 동반된 질환의 유무를 알아보았다. MRI에서 병변의 위치와 T1과 T2 강조영상, 그리고 DWI에서 나타나는 각각의 신호강도를 알아보았고, 병변부위와 정상부위에서 측정한 ADC 값을 비교하였다. 통계 처리는 Wilcoxon signed rank test를 이용하였으며 p 값이 0.05이하이면 통계적으로 의의가 있는 것으로 하였다.

결 과

임상증상은 모두 급작스럽게 발생하였고, 나타난 임상증상은 손상부위에 따라 차이가 있었지만 사지부전마비(quadriparesis)가 손상 부위이하의 대부전마비(paraparesis) 1예를 포함하여 3예, 사지마비(quadriplegia)가 3예가 있었으며, 배뇨 및 배변의 장애가 각각 1예 씩 있었다. 4예에서 감각 소실은 없었고, 2예에서 감각소실이 있었다. 동반된 질환으로 10년 이상 지속된 고혈압이 2예, 류마토이드 관절염이 1예, 교통사고후 치료중 갑작스럽게 발생한 1예가 있었으며, 2예에서는 특별한 동반병변이 없었다 (Table 1).

병변의 위치는 경추 척수의 경색이 3예, 흉추 척수의 경색이 3예였다. 경추 척수 경색은 경추 3-4, 4-5, 그리고 5-6번 부위가 각각 1예였고, 흉추 척수 경색은 흉추 7-9, 10-11, 그리고 11-12번 부위가 각각 1예씩이었다.

MRI는 전 예에서 시행하였으며 T1강조영상에서 6예 중 4예에서 등신호강도를, 2예에서 저신호 강도를 보였고, T2강조영상

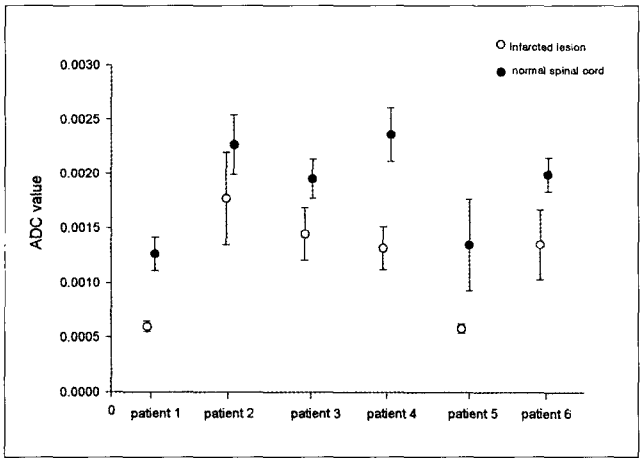

Fig. 1. Measurement of ADC value (mm^2/sec) in lesion and normal spinal cord of 6 patients with spinal cord infarction.

Table 1. Summary of 6 Patients with Spinal Cord Infarction

Pt.	Age/Sex	Duration	Site	Symptom	Associated Disease	T1WI	T2WI	DWI
1	60/F	16 hours	C3-4	quadriplegia sensory loss	hypertension(10 years)	iso	high	bright
2	68/M	7 days	C4-5	tetraplegia, urinary difficulty	hypertension(12 years)	slightly low	slightly high	bright
3	63/M	2 days	C5-6	quadriparesis defecation difficulty	none	iso	high	bright
4	61/F	8 days	T11-12	paraparesis	rheumatoid arthritis (4 years)	low	high	bright
5	54/M	13 days	T7-9	quadriplegia	traffic accident	low	high	bright
6	50/F	2 days	T10-11	paraparesis sensory loss	none	iso	high	bright

Pt. = patient, C = cervical, T = thoracic, T1WI = T1 weighted image, T2WI = T2 weighted image, DWI = diffusion weighted image.

에서 6예 모두 고신호강도를 보였다. 또한 DWI에서 6예 모두 고신호강도를 보였으며 ADC 지도는 6예 전예에서 성공적으로 얻을 수 있었다. 6예 모두의ADC 지도에서 정상과 뚜렷한 차이를 보이는 색조변화가 척수병변부위에서 보였고, 척수병변의 ADC 값은 정상 척수에 비하여 낮은 수치를 나타냈다(Table 2)(Fig. 1 & 2). 병변부위의 평균 ADC 값은 11.79×10-5± 4.83×10-5 cm^2/sec로 정상 부위의 평균 ADC 값의 18.92× 10-5±4.75 10-5 cm^2/sec보다 더 낮았으며 통계적으로 유의하였다 (p=0.028) (Table 2).

b 값을 100, 300, 500, 1,000 sec/mm2 으로 각기 달리 하여 얻은 1예에서 각기 다른 b 값에서 병변은 모두 고신호강도로 관찰되었으며, b value의 크기에 상관없이 병변의 ADC 값이 정상에 비하여 낮은 수치를 보였다(Fig. 3 & 4).

Table 2. Comparison of ADC Value between Normal and Lesion Site in Patients with Spinal Cord Infarction (b value = 1000sec/mm^2)

Pt.	Site	ADC value (x$10^{-3}$$mm^2$/sec)				ADC difference (x$10^{-3}$$mm^2$/sec)	p-value
		Mean	Minimun	Maximum	SD		
1	Lesion	0.598	0.548	0.703	4.852E-5	0.664	
	Normal	1.262	1.051	1.546	0.000154		
2	Lesion	1.774	1.291	2.439	0.00042738	0.495	
	Normal	2.269	1.973	2.643	0.00027353		
3	Lesion	1.447	1.198	1.826	0.00024194	0.508	
	Normal	1.955	1.722	2.229	0.0001812		
4	Lesion	1.317	0.975	1.641	0.00019744	1.055	
	Normal	2.365	1.908	2.674	0.00024633		
5	Lesion	0.583	0.545	0.663	4.231E-5	0.766	
	Normal	1.349	0.958	1.992	0.00041894		
6	Lesion	1.323	1.016	1.924	0.00032026	0.797	
	Normal	2.15	1.794	2.762	0.00037233		
Mean	Lesion				1.179±0.0000483		*0.028
	Normal				1.892±0.000475		

Pt. = patient
SD = standard deviation
ADC = apparent diffusion coefficient
*Significant in p value (p< 0.05) using Wilcoxon signed rank test.

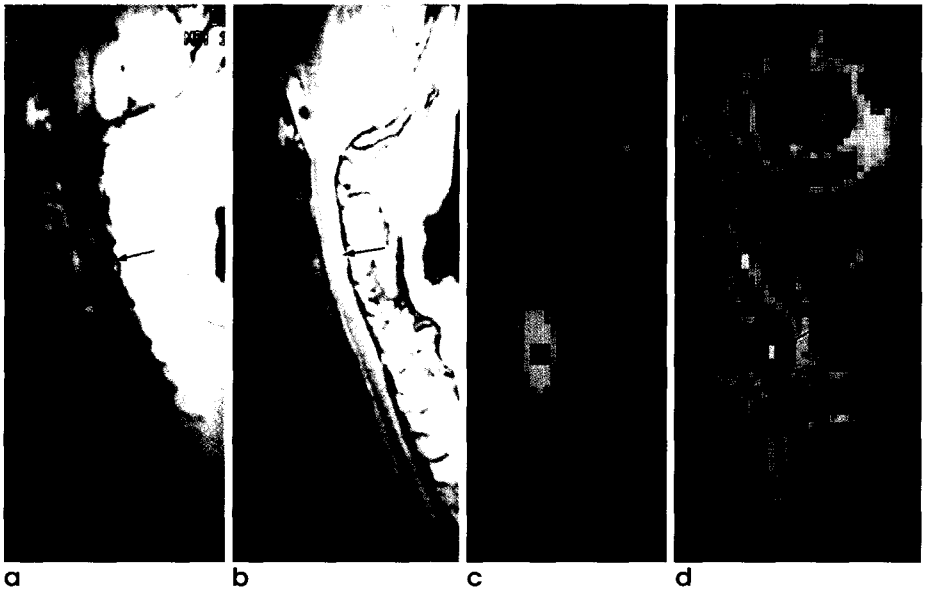

Fig. 2. MRI and DWI were obtained 16 hours after onset of neurologic symptoms.
a. Sagittal T1 weighted image shows iso-signal intensity of spinal cord at the level of C3-4 (arrow). **b.** Sagittal T2 weighted image shows high-signal intensity (arrow). **c.** DWI demonstrates a bright signal intensity (red colored box). **d.** ADC map shows decreased ADC value as a blue color (arrow).

고 찰

척수경색은 조직에 대한 혈액공급 부족으로 인한 산소결핍 때문에 일어나는데 척수의 혈관학적인 구조는 잘 알려져 있다(14-17). 전척수동맥과 후척수동맥은 척수의 주된 혈관들이며 전척수동맥은 척수골 동맥으로부터 분지되어 척수의 전중열(anterior median fissure)에 위치하고 후방각과 피질척수로를 제외한 모든 회백질에 혈액을 공급하고 있다. 후척수동맥은 한쌍으로 구성되어 있으며 많은 측부천공동맥(peripheral perforating artery)들에 의해 척수의 후방에 동맥얼기(plexus)를 형성하고 있다. 전척수동맥은 후척수동맥에 비해 측부순환이 적어 허혈에 좀 더 취약하다. Adamkiewicz 동맥은 가장 큰 척수신경근 동맥(radicular artery)으로 주로 9, 10, 11, 12번 늑간동맥에서 기시하여 아랫쪽 흉추와 요추부위의 척수에 혈액공급을 한다. 따라서 중간부위의 흉추척수는 윗쪽과 아래쪽 흉추척수의 경계역으로 척수경색이 잘 일어난다. 척수경색은 주로 Adamkiewicz 또는 전척수동맥에 의한 경색이 주로 일어난다고 한다. 척수경색은 심한 동맥경화성질환, 대동맥박리, 심각한 저혈압등 다양한 원인과 환자의 신체적 선행 질환들이 척수경색에 영향을 주고 있다 (18,19). Silver 등은(20) 척수경색에 의한 사지부전마비가 있었던 11명에 관한 원인을 분석하였고 이중 색전에 의한 대동맥협착이 있었던 1명을 제외하고 모두 관류 압력의 감소에 의해 경색이 유발되었다고 보고하였다. 수술 중 저혈압에 관련된 척수경색도 보고되었고, 심정지후 소생된 경우도 원인이 될 수 있다 (18-21).

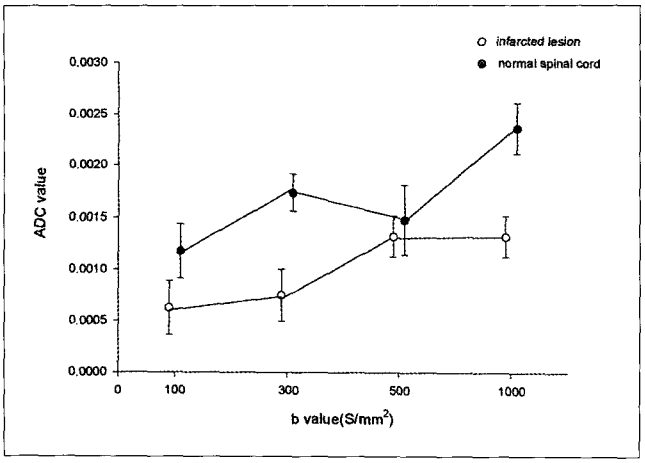

Fig. 3. Measurement of ADC value(mm²/sec) in lesion and normal spinal cord of a patient with spinal cord infraction according to different b values.

전척수동맥 경색의 증상은 급격하게 나타나는 사지부전마비 혹은 사지마비, 괄약근 이상, 손상척수부위 이하의 감각해리이다 (14-17). 이 연구의 대상인 환자도 모두 급격하게 신경학적 상

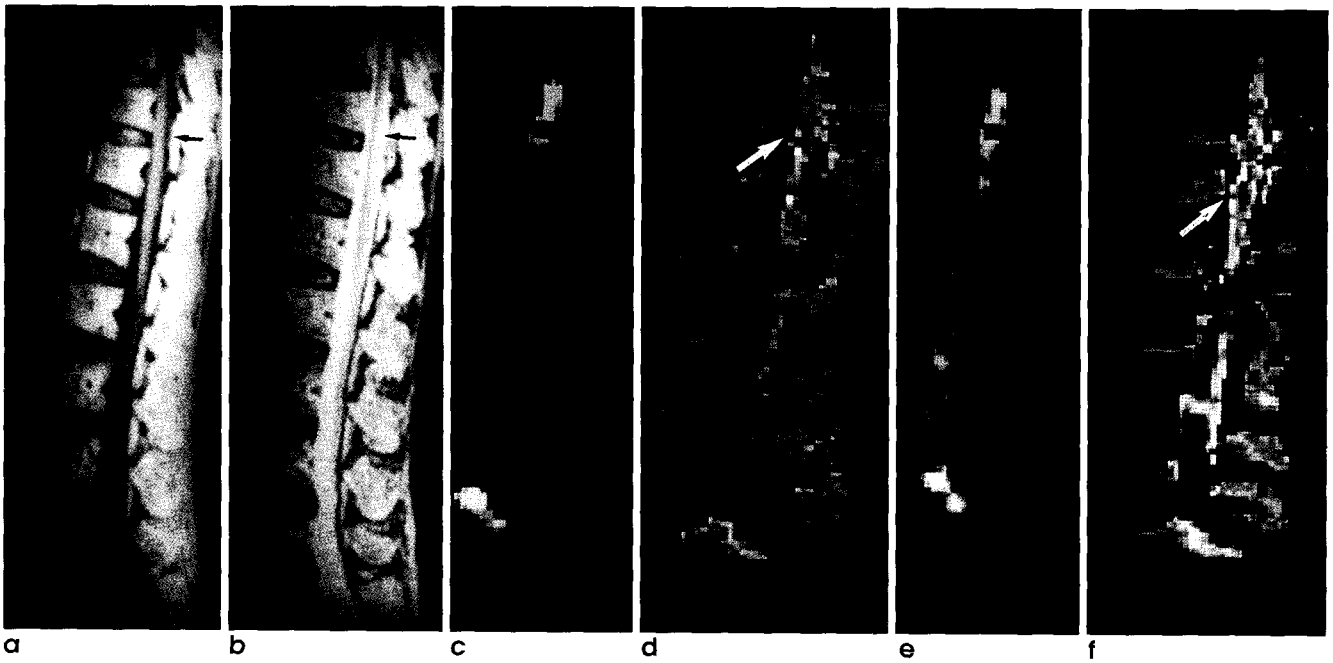

Fig. 4. MRI and DWI were obtained 2 days after onset of neurologic symptoms.
a. Sagittal T1 weighted image shows iso-signal intensity of spinal cord at the level of T10-11 (arrow). **b.** Sagittal T2 weighted image shows high-signal intensity (arrow). **c.** DWI demonstrates a bright signal intensity at different b value (500 sec/mm²) (red colored box). **d.** ADC map shows decreased ADC value as a blue color (arrow). **e.** DWI demonstrates a bright signal intensity at different b value (1,000 sec/mm2) (red colored box) **f.** ADC map shows decreased ADC value as a green color (arrow).

이 나타났으며, 임상적으로 모두 전척수동맥 경색이었다.

척수경색의 진단을 목적으로 혈관조영검사와 조직검사를 시행할 수도 있지만 신경학적 손상의 위험이 더 커지기 때문에 거의 시행되고 있지 않고 있으며 최근 MRI가 유용한 것으로 알려져 있다 (15, 16).

DWI는 중추 신경계를 침범하는 다양한 질환의 연구에 사용되고 있다. 특히 뇌경색(2, 3), 다발성 경화증(22), 외상성 뇌손상(23), 종양(24), 뇌농양(25), 뇌실질염(26), 그리고 가역성 후백질뇌증 증후군(reversible posterior leukoencephalopathy syndrome) (27), 고혈압성 뇌증 (28), 면역저하 신경독성증 등에서 그 유용성이 잘 알려졌다. 그러나 척수 병변에서 DWI는 임상적으로나 연구 면에서 제한적이었다 (10-13). 이는 중추 척수의 특수한 위치 때문에 생체 내 DWI를 얻는 것이 기술적으로 어렵기 때문이었다. 그래도 동물의 척수에 DWI를 이용하는 실험이 활발하게 진행되었는데, 이는 동물전용 MRI기기와 특수한 촬영용 coil의 이용이 가능하게 되었기 때문이다. 그래서 정상 동물의 척수 (9, 10) 그리고 척수손상 모델 (11), 척수공동증 (12)을 유발한 동물 모델 등에서 DWI와 ADC값의 측정이 보고되고 있다. 또한, Hajnal 등(5)이 처음으로 인간의 경추 척수에서 DWI의 유용성을 보고하였다. 그러나, 운동잡상을 교정하고, 또한 오프라인(off line) 후처리를 하기 때문에 시간이 많이 걸린다는 단점이 있어서, 일상의 임상 적인 사용은 제한적이었다. 인간의 척수에서 DWI를 얻는데 두 가지 중요한 고려할 사항이 있다. 첫 번째는 척수의 크기가 적고, 두 번째는 생리적인 동작으로 인한 잡상이 생기는 것이다. 최근에 개발된 multi-shot EPI 기법은 인간의 척수에서 sub-mm in-plane resolution 확산 영상을 얻는 것을 가능하게 하였다 (13). 이 기법은 신호대 잡음비를 향상시키고, 자기장의 불균질과, chemical shift등으로 인한 off resonance효과에 덜 민감하게 하기 때문에, 영상의 질적 향상을 초래하였다 (13). 이 연구에서도 6예 모두 multi-shot EPI 기법을 이용하여 영상을 얻었다.

긴 척수를 축상면 MR영상으로만 촬영한다는 것은 문제점이 발생한다. 비록 ADC 값 측정이 축상면에서 유용하지만, 전체 척수를 축상면으로 촬영한다는 것은 너무 많은 시간이 소비된다. 따라서 넓은 범위에서 병변을 확인할 수 있는 시상면에서 DWI를 측정하였고, ADC 지도화도 시행하였는데 시상면에서 획득한 DWI에서 ADC값은 축상면에서 측정한 것과 일치된다고 하였다 (13). 그러나 시상면을 이용한 DWI에서는, 척수의 회질부와 백질부의 구별이 불가능하다는 단점이 있었다.

Noguchi등(29)은 뇌경색은 발병 후 39분부터 14일까지 DWI에서 고신호강도가 나타나는 것으로 보고하였다. 하지만 시간경과에 따른 척수경색의 DWI에 관한 보고는 없지만, 저자들은 척수경색의 DWI의 신호강도 변화도 뇌경색의 경우와 유사할 것으로 추론한다. 이 연구의 대상환자중 13일째 검사한 1예에서 시간경과에 따른 ADC값의 변화는 측정하지 못하였지만 T2강조영상에서나 DWI에서도 고신호강도가 지속되었고, 따라서 척수경색에서도 뇌경색의 경우처럼 T2 shine-through 효과가 있었을 것으로 생각된다.

또한, 사람의 척수의 백질에서 얻은 선형 ADC 값은 이전에 알려졌던 동물의 척수 백질의 ADC 값보다 높다 (13). 이러한 사실은 사람에서는 생체를 대상으로 측정된 값이며, 동물연구에서는 적출 후 시행된 측정치라는 점에서 기인한다. 적출후 낮은 온도에서 얻어진 영상은 ADC수치를 낮추며, 또한 적출 된 척수는 ADC수치를 결정할 것으로 여겨지는 혈액의 흐름과, axon내부에서 관찰되는 확산의 이방성에 영향을 줄 것으로 기대되는 axoplasmic flow가 부족하다. 또한 생체 내와 적출된 상태에서의 점성과 탄성의 변화가 확산 수치에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 또한 적출된 척수는 허혈성 변화를 겪게 되며, 이러한 허혈성 변화는 확산장애를 유발시킨다. 이러한 모든 요소들이 이론적으로 생체에 비해 적출된 척수에서 ADC값을 낮출 수 있다. Holder 등 (13)이 측정한 척수의 ADC값도 동물 척수 ADC값보다 더 높게 측정되었고, 본 연구에서도 동물의 정상 ADC 값보다 높게 나타났다.

이 연구에서 제한점으로 첫 번째, 대상 환자수가 너무 적고, 두 번째, 증상의 발현과 함께 짧은 시간 내에 MR을 시행하지 못하여 급성기의 환자들만 대상으로 포함되지 못하였었다는 점이며, 세 번째, 축상면 영상을 못 얻어 척수의 회백질과 백질부를 정확히 구분하여 ADC값을 측정하지 못하였다는 점, 그리고 네 번째, 병리조직학적으로 확진을 하지 못하였다는 점들이다.

최근에 Bossart등 (30)은 강자기장 (14T)과 큰 b값 (b=10,000s/mm^2)을 이용하여 적출 된 척수에서 빠른 확산형과 늦은 확산형의 특징을 설명하였으며, 이에 따르면 늦은 확산형에서는 백질에 비해 회질의 종방향 확산이 덜 제한되며, 빠른 확산형에서는 이와 반대되는 현상이 발생한다는 것이다. 이러한 발견들은 인간 척수의 회질내에도 백질과 같은 이방성이 존재한다는 것을 의미한다. Holder 등(13)은 정상인간의 경부척수를 백색질과 회색질로 구분하여 각각의 신호강도와 ADC의 평균을 구하였으며 b 값과 확산 강조 경사(diffusion gradient) 방향을 달리하여 이들의 차이를 보고하였다. 이 결과 모든 방향에서 회색질와 백색질의 ADC의 차이가 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며 백색질의 확산이 매우 높은 이방성을 나타내었다. 이는 척수질환에서도 DWI가 충분히 임상에 이용할 수 있는 근거가 된다고 할 수 있겠다. 이 연구에서 b 값을 달리한 1예에서 모든 DWI상 병변을 인지할 수 있었지만, b 값이 1,000 sec/mm2일 때 가장 잘 보이고, 일반적으로 많이 사용하기 때문에 b 값은 1,000 sec/mm^{2}으로 사용해도 충분하리라 생각된다. 또한, 앞으로 훨씬 높은 해상도의 확산강조영상을 이용한 연구와 실험이 계속되어 척수의 여러 질환에서 유용하게 사용되리라 여겨진다.

결론적으로 급성이나 초기 아급성 척수경색 환자에서 척수병변의 DWI와 ADC 값의 측정이 가능하였으며 따라서 DWI는 척수경색의 조기진단과 국재화(localization)에 유용하리라 보여진다.

참 고 문 헌

1. Le Bihan D, Turner R, Douek P, Patronas N. Diffusion MR imaging: clinical applications. AJR Am J Roentgenol 1992;159:591-599
2. Chien D, Kwong KK, Gress DR, Buonanno FS, Buxion RB, Rosen BR. MR diffusion imaging of cerebral infarction in humans. AJNR Am J Neuroradiol 1992;13:1097-1102
3. Warach S, Chien D, Li W, Ronthal M, Edelman RR. Fast magnetic resonance diffusion-weighted imaging of acute human stroke. Neurology 1992;42:1717-1723
4. Chien D, Buxton RB, Kwong KK, Brady TJ, Rosen BR. MR diffusion imaging of the human brain. J Comput Assist Tomogr 1990;14:514-520
5. Hajnal JV, Doran M, Hall AS, et al. MR imaging of anisotropically Restricted diffusion of water in the nervous system: technical, anatomic, and pathologic considerations. J Comput Assist Tomogr 1991;15:1-18
6. Gass A, Back T, Behrens S, Maras A. MRI of spinal cord infarction. Neurology 2000; 13: 2195-2198
7. Pattany PM, Puckett WR, Klose KJ, et al. High-resolution diffusion-weighted MR of fresh and fixed cat spinal cords: evaluation of diffusion coefficients and anisotropy AJNR Am J Neuroradiol 1997;18:1049-1056
8. Trudeau JD, Dixon WT, Hawkins J. The effect of inhomogeneous sample susceptibility on measured diffusion anisotropy using NMR imaging. J Magn Reson 1995;108:22-30
9. Inglis BA, Yang L, Wirth ED, Plant D, Mareci TH. Diffusion anisotropy in excised normal rat spinal cord measured by NMR microscopy. Magn Reson Imaging 1997;15:441-450
10. Gulani V, Iwamoto GA, Hong J, et al. A multiple echo pulse sequence for diffusion tensor imaging and its application in excised rat spinal cords. Magn Reson Med 1997;38:868-873
11. Ford JC, Hackney DB, Alsop DC, et al. MRI characterization of diffusion coefficients in a rat spinal cord injury model. Magn Reson Med 1994;31:488-494
12. Schwartz ED, Yezierski RP, Pattany PM, Quencer RM, Weaver RG. Diffusion-weighted MR imaging in a rat model of syringomyelia after excitotoxic spinal cord injury. AJNR Am J Neuroradiol 1999;20:1422-1428
13. Holder CA, Muthupillai R, Mukundan S, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the normal human spinal cord in vivo. AJNR Am J Neuroradiol 2000;21;1799-1806
14. Sandson TA, Friedman JH: Spinal cord infarction. Report of 8 cases and review of the literature. Medicine 1989;68:282-292
15. Satran R: Spinal cord infarction. Stroke 1988;19:529-532
16. Cheshire WP, Santos CC, Massey EW, et al. Spinal cord infarction: etiology and outcome. Neurology 1996;47:321-330
17. Benavente O, Barnett HJM. Spinal cord ischemia, in barnett HJM, Stein BM, Mohr JP, et al (eds). Stroke: Pathophysiology, Diagnosis, and Management, 3rd eds. New York Churchill Livingstone, 1998, pp 751-765
18. Lin CC, Chen SY. Shin TTF, Lin MC. Spinal cord infarction caused by cardiac tamponade. Am J. Phys Med. Rehabil 2002;81:68-71
19. Singh U, Silver JR, Welply NC. Hypotensive infarction of the spinal cord. Paraplegia 1994;32:314-322
20. Silver JR, Buxton PH. Spinal stroke. Brain 1974;97:539-550
21. Szilagyi DE: Spinal cord ischemia in surgical procedure with temporary clamping of the abdominal aorta. Surgery 1983;93:110-111
22. Larsson HBW, Thomsen C, Fredericksen J, Stubgaard M, Henriksen O. In vivo magnetic resonance diffusion measurement in the brain of patients with multiple sclerosis. Magn Reson Imaging 1992;10:7-12
23. Liu AY, Maldjian JA, Bagley LJ, Sinson GP, Grossman RI. Traumatic brain injury: diffusion-weighted MR imaging findings. AJNR Am J Neuroradiol 1992;20:1636-1641
24. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis EA, Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. Radiology 1986;161:401-407
25. Kim YJ, Chang KH, Song IC, et al. Brain abscess and necrotic or cystic brain tumor: Discrimination with signal intensity on diffusion-weighted MR imaging. AJR Am J Roentgenol 1998;171:1487-1490
26. Tsuchiya K, Katase S, Yoshino A, Hachiya J. Diffusion-weighted MR imaging of encephalitis. AJR Am J Roentgenol 1991;173:1097-1099
27. Schaefer PW, Buonanno FS, Gonzalez RG, Schwamm LH. Diffusion-weighted imaging discriminates between cytotoxic and vasogenic edema in a patient with eclampsia. Stroke 1997;28:1082-1085
28. Schwartz RB, Mulkem RV, Gudbjartsson H, Jolesz F. Diffusion-weighted MR imaging in hypertensive encephalopathy: Clues to pathogenesis. AJNR Am J Neuroradiol 1998;19:859-862
29. Noguchi K, Nagayoshi T, Watanabe N, et al. Diffusion weighted echo planar MRI of lacunar infarcts. Neuroradiology 1998;40:448-451
30. Bossart EL, Inglis BA, Buckley DL, Wirth ED, Mareci TH. Multiple component diffusion tensor imaging in excised fixed CNS tissue. Proceedings of the 7th annual meeting of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Philadelphia, May 1999

J. Korean Soc. Magn. Reson. Med. 6:166-172(2002)

Diffusion-Weighted MR Imaging of Spinal Cord Infarction

Youn-Jeong Kim, Jeong-Jin Seo, Nam-Yeol Yim, Woong-Tae Chung, Yun-Hyeon Kim, Jin-Gyoon Park, Gwang-Woo Jeong, Heoung-Keun Kang

Department of Diagnostic Radiology, Chonnam National University Hospital
Chonnam National University Medical School

Purpose : To evaluate the usefulness of diffusion-weighted imaging(DWI) and quantitative apparent diffusion coefficient (ADC) maps in the patients with spinal cord infarction.

Materials and methods : We studied 6 patients presented symptoms with spinal cord infarction, retrospectively (3 men and 3 women). We obtained multi-shot echo planar-based, DWI using 1.5T MR scanner at 5.4 mean days after the onset of ischemic symptoms. In six patients, signal intensity was acquired at conventional b value (1000s/mm^2). The ADC value for the normal spinal cord and for infarcted lesions was measured from the trace ADC maps by using regions of interest positioned over the spinal cord. We analyzed signal intensity of lesion on MRI and DWI, and compared with ADC values in infarcted lesions and normal site.

Results : T1-weighted MR image showed iso-signal intensity in four of six patients and low signal intensity in two of six. T2-weighted MR image demonstrated high signal intensity in all of six. All DWI were considered to be diagnostic. All of six depicted a bright signal intensity on DWI. ADC values of infarcted lesion were measured lower than that of normal spinal cord on ADC map. The differences in ADC values between infarcted and normal spinal cord were significantly different ($p < 0.05$).

Conclusion : It is possible to obtain DWI and ADC map of the spinal cord and DWI may be useful in the early diagnosis and localization of lesion site in patients with spinal cord infarction.

Index words : Spinal cord, infarction
MR, diffusion

Address reprint requests to : Jeong-Jin Seo, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Chonnam National University Hospital, 8 Hak-dong , Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea
Tel. 82-62-220-5881 Fax. 82-62-226-4380 E-mail: jjseo@chonnam.ac.kr