

편마비를 가진 뇌성마비 환아에서 확산 텐서강조영상을 이용한 3차원 피질척수로 영상의 유용성

영남대학교 의과대학 소아과학교실, 재활의학교실*

여지현 · 손수민* · 이은실 · 문한구

= Abstract =

Usefulness of DTI-based three dimensional corticospinal tractography in children with hemiplegic cerebral palsy

Ji Hyun Yeo, M.D., Su Min Son, M.D.*, Eun Sil Lee, M.D. and Han Ku Moon, M.D.

Department of Pediatrics, the Department of Physical Medicine and Rehabilitation*
College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea

Purpose : Magnetic resonance diffusion tensor imaging-based three-dimensional fiber tractography (DTFT) is a new method which demonstrates the orientation and integrity of white matter fibers in vivo. However, clinical application on children with cerebral palsy is still under investigation. We present various abnormal patterns of DTFT findings and accordance rate with clinical findings in children with hemiplegic cerebral palsy, to recognize the usefulness of DTFT.

Methods : The thirteen children with hemiplegic cerebral palsy evaluated at Yeungnam University hospital from March, 2003 to August, 2007 were enrolled in this study and underwent magnetic resonance DTFT of the corticospinal tracts. Two regions of interest (ROI) were applied and the termination criteria were fractional anisotropy ≥ 0.3 , angle $\leq 70^\circ$.

Results : The patterns and distribution of abnormal DTI-based corticospinal tractographic findings were interruption (10 cases, 76.9%), reduction of fiber volume (8 cases, 61.5%), agenesis of corticospinal tract (3 cases, 23.1%), transcallosal fiber (2 cases, 15.4%) and, aberrant corticospinal tracts (4 cases, 30.8%). Abnormal DTI-based corticospinal tractographic findings were in accordance with the clinical findings of cerebral palsy in 84.6% of the enrolled patients.

Conclusion : Our results suggest that DTFT would be a useful modality in the assessment of the corticospinal tract abnormalities in children with hemiplegic cerebral palsy. (*Korean J Pediatr* 2009 52:99-104)

Key Words : Cerebral palsy, Diffusion tensor MR imaging, Fiber tractography, Corticospinal tract

서 론

뇌성마비는 미성숙한 뇌의 손상이나 병변으로 인하여 자세 및 운동 기능 장애를 주 증상으로 하는 비진행적인 증후군으로 알려져 있다¹⁾. 운동지연이나 뇌성마비를 가진 환아에서 병력청취와 신경학적 진찰을 한 후 원인, 치료의 설정, 예후의 추정을 위하여 흔히 신경영상 검사를 시행하게 되며 여기에는 여러 종류의 검사 방법들이 사용되고 있다. 특히 고위험군의 미숙아들에서는 뇌초음파 검사가 유용한 진단방법으로 사용되어 왔으며²⁾ 뇌 전산화

단층촬영³⁾, 뇌 자기공명영상⁴⁾ 등의 검사법도 널리 이용되고 있다.

뇌 자기공명영상으로 뇌성마비 환아의 70-90%에서 이상소견을 찾을 수 있다고 하며 병변의 진단에는 뇌 전산화단층촬영검사보다 더 민감한 검사법으로 알려져 있다⁴⁾. 그러나 뇌성마비 환아에서 뇌 자기공명영상이 뇌손상을 반영하는 가장 민감한 검사방법으로 흔히 사용되고는 있지만 운동기능장애의 직접적인 원인으로 알려져 있는 뇌 백질 섬유로(white matter fiber tracts)에 대해서는 정확한 해부학적 정보를 제공하지 못한다는 한계를 가지고 있다⁵⁾.

뇌 백질 섬유로를 이루는 축삭은 일정한 방향으로 주행하는 특징이 있으며 따라서 축삭세포나 세포 간질내의 물 분자는 일정한 방향으로 움직인다. 확산 강조영상이란 뇌백질 섬유로의 물 분자에 세 방향으로 서로 다른 양극성 경사자장을 가하여 물 분자 확산의 장애가 있는 경우 신호가 증가되는 원리를 이용한 영상 기법으로 허혈성 뇌병변의 초기 진단에 유용하게 사용되거나 이

Received : 2 September 2008, Revised : 7 October 2008

Accepted : 16 October 2008

Address for correspondence : Han Ku Moon, M.D.

Department of Pediatrics, College of Medicine, Yeungnam University, 317-1, Daemyung-dong, Nam-gu, Daegu 705-717, Korea

Tel : +82.53-620-3533, Fax : +82.53-629-2252

Email: hkmoon@med.yu.ac.kr

역시 확산의 방향성을 표현하는 데는 한계가 있다^{6, 7)}.

확산 텐서강조영상(Diffusion Tensor Imaging)은 확산 강조 영상에서 사용되는 세 방향의 경사자장 외 추가자장을 이용하여 확산의 방향성 표현을 개선한 영상 기법이다. 공간 내에서 어느 방향으로나 같은 확률을 가지고 움직이는 자유로운 브라운 운동과 같이 전 방향으로 동일한 확률의 값을 가지는 경우를 등방성 확산(isotropic diffusion), 그리고 일정하게 한 방향으로만 물 분자들이 움직이는 경우를 비등방성 확산(anisotropic diffusion)이라고 한다. 확산 텐서강조영상은 비등방성 확산의 원리를 이용하여 방향성을 가진 뇌 백질 섬유로가 존재하는 부위는 높은 신호강도로 표현되게 하고, 그 외의 백질은 중등도의 신호 강도 그리고 뇌 피질은 낮은 신호강도로 표현되게 한 영상 기법으로 특히 뇌 백질의 특성을 이해하는데 도움이 된다⁷⁻⁹⁾.

1999년 Mori 등¹⁰⁾은 확산 텐서강조영상으로 표현된 쥐의 뇌 백질 내 구조물들을 FACT (Fiber Assignment by Continuous Tracking)기법으로 재구성하여 3차원의 신경섬유로 영상(fiber tractography)을 구현하였다. 이 후 Hoon 등¹¹⁾, Lee 등¹²⁾, Fan 등¹³⁾은 뇌실 주위 백색질 연화증을 가진 뇌성 마비 환아에서 그리고 Glenn 등¹⁴⁾은 선천성 편마비 환아에서 3차원 신경섬유로의 이상 소견을 관찰, 보고하였다. 그러나 이에 관한 연구는 아직 초기 단계로서 이상 소견에 대한 임상적 의미와 그 유용성에 대해서는 논란의 여지가 많다.

저자들은 편마비를 가진 뇌성마비 환아들을 대상으로 손상의 주된 부위가 되는 중요한 신경섬유로 중 하나인 피질척수로(corticospinal tract)를 확산 텐서강조영상에 기초한 3차원 피질척수로 영상(Diffusion Tensor Imaging-based 3 dimensional Corticospinal Tractography, DTI-CST)으로 재구성하여 DTI-CST에서 관찰되는 이상 소견의 유형을 알아보고 이를 뇌 자기공명영상을 포함한 임상적인 소견과의 일치도를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

2003년 3월부터 2007년 8월까지 영남대학교 의과대학 부속병원 소아청소년과 및 재활의학과에서 일반 뇌 자기공명영상과 함께 확산 텐서강조영상 검사가 시행되었던 편마비의 뇌성마비 환아 13예를 대상으로 DTI-CST를 재구성하여 분석하였다. 대상 환아의 연령분포는 7-44개월이었으며 남아가 7예, 여아가 6예였고, 좌측 강직형 편마비가 10예, 우측 강직형 편마비가 3예였다. 출생력에서 재태 연령이 37주 미만의 미숙아였던 경우가 7예(신생아 가사의 병력이 2예에서 동반), 만삭아였던 경우가 6예(신생아 가사의 병력이 1예에서 동반)였다.

뇌 자기공명영상은 1.5-T Gyroscan Intera system (Philips Medical System, Best, the Netherlands)을 사용하여 T1 및 T2 강조 영상을 얻고 추가로 DTI를 시행하였다. Synergy-L Sensitivity Encoding (SENSE) head coil과 single shot spin

echo EPI 펄스열을 사용하였으며 32방향의 확산 경사자장 각각에 전 교련(anterior commissure)과 후 교련(posterior commissure)을 연장한 선에 평행하게 60개의 단면 확산 텐서강조영상을 얻었다. 다른 영상 변수는 matrix=128*128, field of view=22 cm, repetition time/echo time=10726/76 ms, b=600 s/mm², thickness=2.3 mm였다.

DTI-CST는 Philips Research Image-processing Development Environment (PRIDE)¹⁵⁾ software에 포함된 3차원 신경섬유 재구성 알고리즘인 FACT기법을 이용하여 얻었다. 이차원의 분할비등방도(fractional anisotropy, FA) 색지도(color maps)에서 전 뇌교(anterior pons) 위치에서의 피질척수로를 기본 관심영역(Seed Region Of Interest, seed ROI)으로 설정하여 난원형으로 그린 후, 두 번째 관심영역은 전 수질(anterior medulla)을 통과하는 피질척수로로 설정하여 역시 난원형으로 그린 다음 이 두 부위를 동시에 통과하는 피질척수로를 최종 관심 신경섬유로 하였다. 삼차원의 신경섬유로 영상은 좌우 피질척수로를 한 화면에 같이 형상화하였으며, 우측은 핑크, 좌측은 노란색으로 color coding을 하였고, 마비가 관찰된 부위와 반대편의 피질척수로(손상 측)와 마비가 관찰되지 않았던 비손상 측의 피질척수로를 서로 비교하였다.

뇌내 구조에서 난원형의 관심영역을 그릴 때 해부학적 위치의 결정은 T2 강조영상(b=0)을 기초로 하였으며, 피질척수를 T2 강조영상과 겹쳐 그려서 해부학적인 위치를 알 수 있게 하였다. 본 연구에서 분할비등방도와 각의 종료(angle termination) 기준은 각각 0.3과 70도로 하였다.

관심영역의 선정과 삼차원의 피질척수로 영상의 형상화는 연구의 일관성을 유지하기 위하여 한 명의 연구자가 시행하였고 두 명의 연구자가 분석하였다.

결 과

대상 환아 13명의 뇌 자기공명영상 소견으로 뇌실 주위 백색질 연화증 및 뇌량 형성 부전이 관찰된 경우가 4예, 좌측 혹은 우측 중뇌동맥 경색에 의한 대뇌 반구의 뇌연화증(encephalomalacia)이 3예 그리고 뇌량 및 뇌간의 형성 부전을 보인 경우가 한 예에서 관찰되었다. 그러나 5예에서는 뇌 자기공명영상에서는 비정상적인 소견을 찾을 수가 없었다(Table 1).

DTI-CST의 이상 소견으로는 피질척수로의 단절(Fig. 1A), 무형성(Fig. 1B, C), 신경섬유의 양적 감소(Fig. 1A, D), 횡뇌량 신경섬유(transcallosal fiber)의 형성(Fig. 1C) 그리고 비정상적인 피질척수로의 재구성(Fig. 1D) 등이 관찰되었다. DTI-CST의 이상 소견(Table 2)의 유형별 분포로는 전체 13예 중 피질척수로의 단절이 10예(76.9%)에서 관찰되었으며 그 중 2예는 뇌간부터 단절되어 있었다. 신경섬유의 양적 감소는 8예(61.5%)에서 관찰되었으며 대개의 경우는 피질척수로의 단절을 보인 10중례에 동반된 소견으로 나타났고, 뇌간부터 피질척수로가 단절된 2

Table 1. Clinical Characteristics and MRI Findings of Patients with Spastic Hemiplegic Cerebral Palsy

Case	Age/Sex	Perinatal problem	Type of CP	Conventional MRI
1	14 m/M	Prematurity Asphyxia	Left spastic hemiplegia	PVL with corpus callosum hypoplasia
2	12 m/M	Prematurity	Left spastic hemiplegia	No signal abnormality
3	12 m/F	Prematurity	Left spastic hemiplegia	PVL with corpus callosum hypoplasia
4	15 m/F	Prematurity	Left spastic hemiplegia	PVL with corpus callosum hypoplasia
5	4 m/F	Prematurity	Left spastic hemiplegia	Corpus callosum and brain stem hypoplasia
6	10 m/M	Prematurity Asphyxia	Left spastic hemiplegia	Right MCA infarction with encephalomalacia
7	7 m/M	Prematurity	Left spastic hemiplegia	No signal abnormality
8	44 m/F	Full term Asphyxia	Left spastic hemiplegia	PVL with corpus callosum hypoplasia
9	10 m/M	Full term	Left spastic hemiplegia	No signal abnormality
10	11 m/M	Full term	Left spastic hemiplegia	No signal abnormality
11	23 m/F	full term	Right spastic hemiplegia	Left MCA infarction with encephalomalacia
12	14 m/F	Full term	Right spastic hemiplegia	Left MCA infarction with encephalomalacia
13	13 m/M	Full term	Right spastic hemiplegia	No signal abnormality

Abbreviations : PVL, periventricular leukomalacia; CST, corticospinal tract; CP, cerebral palsy

Table 2. Summary of Corticospinal Tractographic Findings

Case	Side of paratic limb	Side of abnormal CST	Corticospinal Tractographic Findings				
			Interruption	Fiber reduction	Agenesis	Transcallosal fiber	Formation of aberrant tract
1	Left	Right	+	+			
2	Left	Right	+	+		+	
3	Left	Right	+	+			+
4	Left	Right	+				A portion of left CST ascends to left
5	Left	Right	+	+			
6	Left	Right			+		
7	Left	Right	+	+			+
8	Left	Right	+	+			Left CST ascends bilaterally Right CST ascends bilaterally
9	Left	Both sides	+				
10	Left	Left	+	+			
11	Right	Left			+		
12	Right	Left			+		+
13	Right	Left	+	+		+	Right CST ascends bilaterally
Total			10	8	3	2	4

Abbreviation : CST, corticospinal tract

예(증례 4, 9)의 경우에는는 신경섬유의 양적 감소를 확인하기가 어려웠다. 피질척수로의 무형성은 일측 중뇌동맥 경색에 의한 뇌연화증을 보인 3예(23.1%)에서 관찰되었다. 횡뇌랑 신경섬유는 피질척수로의 단절과 양적 감소를 동반한 2예(15.4%)에서 관찰되었으며 비정상적인 피질척수로의 재구성은 모두 4예(30.8%)에서 관찰되었는데 피질척수로의 단절과 양적 감소를 동반한 3예

와 뇌연화증을 보인 1예에서 동반 소견으로 관찰되었다.

일반 뇌 자기공명 검사에서 정상 소견을 보인 5예(증례 2, 7, 9, 10, 13) 모두에서 DTI-CST의 이상이 관찰되었으며 피질척수로의 단절과 신경섬유의 양적 감소가 4예 그리고 뇌간부터 피질척수로의 단절이 1예에서 보였다.

뇌실 주위 백색질 연화증을 보인 4예(증례1, 3, 4, 8)에서는 편

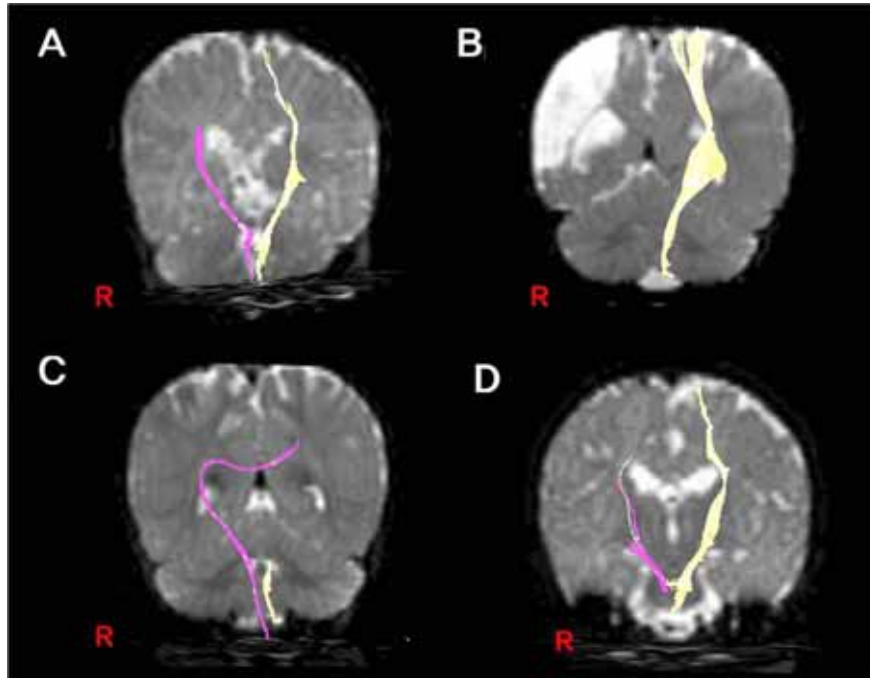


Fig. 1. The patterns of abnormal DTI-based corticospinal tractographic findings: The figure shows Interruption (A), agenesis (B, C) and reduced fiber volume (A, D) of the corticospinal tract. Also transcallosal fiber (C) and aberrant corticospinal tract (D) are shown. The right corticospinal tract is illustrated in pink and the left corticospinal tract in yellow.

마비와 반대 쪽 피질척수로의 단절이 4예, 양적 감소가 3예에서 관찰되었으며 이 중 2예에서는 비손상측의 피질척수로의 일부가 손상 측의 피질척수로 쪽으로 이행하는 소견이 동반되어 있었다.

DTI-CST 소견에서 피질척수로의 이상이 편마비의 반대쪽에서 관찰되어 임상적인 소견과 피질척수로의 이상소견이 일치되는 예가 11예로 84.6%에 해당하였다. 그러나 좌측 편마비가 있음에도 양측 피질척수로의 단절과 신경섬유의 양적 감소를 보인 예가 1예(증례 9), 좌측 편마비 환자에서 좌측 피질척수로의 이상을 보인 예가 1예(증례 10) 등 2예에서는 임상적인 소견과 DTI-CST의 소견이 일치되지 않았다.

고 찰

뇌성마비에서 DTI-CST를 연구한 예는 많지 않으며 특히 편마비만을 대상으로 연구한 경우는 소수에 불과하다.

뇌성마비를 대상으로 한 DTI-CST연구로 Hoon 등¹¹⁾은 뇌실 주위 백색질 연화증을 보인 강직성 사지마비 환자 2명을 대상으로 DTI-CST를 연구하였는데 대뇌피질에서 뇌간에 이르는 하행 피질척수로는 대조군과 동일한 정상소견을 보였다고 하였다. 반면 뇌량의 후부, 속섬유막(internal capsule), 대뇌부챗살(corona radiata)과 같이 감각 피질과 연결되어 있는 뇌 백질 섬유로가 유의하게 감소되어 있는 점으로 보아 뇌실 주위 백색질 연화증을

가진 뇌성마비 환자에서 보이는 운동기능장애는 피질척수로의 손상에 의한 것이라는 기존의 주장과는 달리 감각계의 연결이 손상되어 유발되는 것이라고 주장하였다. Lee 등¹²⁾ 역시 뇌실 주위 백색질 연화증을 가진 강직성 사지마비의 뇌성마비 환자 1예에서 정상적인 피질척수로의 소견을 보였다고 하여 Hoon 등¹¹⁾의 주장을 뒷받침해주었다.

그러나 편마비를 가진 뇌성마비에서 관찰되는 DTI-CST 소견은 이와 다르고 대개 손상 측 피질척수로의 이상 소견을 보고한 문헌이 대부분이다. Lee 등¹²⁾은 편마비를 가진 뇌성마비 환자 한 명에서 DTI-CST를 시행하여 손상 측의 피질척수로의 양적 감소를 관찰하였다고 보고하였는데 이는 편마비의 운동장애는 피질척수로의 이상에 의한 것임을 의미하는 것이라 해석된다. Glenn 등¹⁴⁾은 다소뇌회증(polymicrogyria) 2예, 뇌 백질 손상 1예 그리고 정상 뇌 자기공명 영상을 가진 4예의 선천성 편마비 영유아를 대상으로 연구한 결과 편마비의 반대 측의 피질척수에서 분할비등방도가 감소하고 평균 확산정도가 증가하여 좌우 피질척수로의 확산이 대조군에 비해 현저하게 비대칭이었다고 보고하였는데 이 역시 편마비에서 피질척수로의 이상이 주된 소견이라는 설명과 일치한다. Fan 등¹³⁾은 뇌실 주위 백색질 연화증 및 양측(diplegic) 마비, 편마비, 사지마비 등 여러 유형의 뇌성마비를 보인 3-10세 연령의 환자 12명의 확산 텐서강조영상의 분석하여 속섬유막, 뇌량 등의 여러 부위 백질의 분할비등방도의 유의한 감소를 관찰할 수 있었다고 하였다. Fan 등¹³⁾의 연구에

서, 뇌성마비의 유형을 기술하지 않아 피질척수로의 이상이 어떤 유형에서 보이는 특징적인 소견인지는 알 수가 없으나, DTI-CST 소견 상 뇌실 주위 백색질 연화증의 1예에서는 현저한 신경섬유의 감소를, 그리고 공뇌증을 동반한 뇌실 주위 백색질 연화증 1예에서는 파괴 및 편향된 피질척수로를 관찰할 수 있는 그림을 제시하여 운동 장애의 이상에서 피질척수로의 이상이 중요한 소견임을 시사하였다.

최근 Glenn 등¹⁶⁾은 이전 연구에 이어 다소뇌회증, 중뇌동맥 경색에 의한 뇌연화증, 정맥 경색에 의한 뇌손상 등 여러 가지 원인 질환을 가진 15세의 선천성 편마비 환아를 대상으로 DTI를 시행하여 운동 장애의 심한 정도와 분할비등방도, 횡단 확산도(transverse diffusivity), 평균 확산도의 차이의 크기가 서로 상관성이 있었으며 DTI-CST의 이상 소견 역시 운동 장애의 정도와 상관관계를 보였다고 보고하였다.

본 연구에서는 13명의 편마비를 가진 뇌성마비 환아를 대상으로 백질의 신경섬유로 중 특히 편마비에서 흔히 이상 소견을 관찰할 수 있는 피질척수로를 3차원적 영상으로 형상화하여 이상 소견이 편마비의 임상적인 소견과 얼마나 일치하는지 그리고 이상 소견들로는 어떤 유형이 나타나는지를 분석하였다. 그 결과로서 임상적인 소견과 피질척수로의 이상소견이 일치되는 예가 13예 중 11예로 일치율은 84.6%로 비교적 높은 수치를 보여 임상적으로 이용하기에 상당히 유용할 것으로 생각이 되었다. 기존에 발표된 문헌에서 알려진 이상 소견으로는 손상 측의 피질척수로의 양적 감소^{12, 13)}, 파괴 및 편향¹³⁾이 있다. 본 연구에서도 손상 측의 피질척수로의 양적 감소와 타 문헌의 파괴에 해당하는 단절, 무형성을 관찰할 수 있었고 편향에 해당하는 횡뇌량 신경섬유와 비정상적인 피질척수로의 재구성 등의 소견이 관찰되었다. 이와 같은 소견은 편마비에서 나타나는 운동 장애는 역시 피질척수로의 이상이 주된 기전이라는 것을 의미하는 것이라 하겠다. Jang 등¹⁷⁾에 의하면 비손상 측의 피질척수리에 기인하는 횡뇌량 신경섬유는 정상 성인의 경우 14명 중 두 명에서, 뇌손상을 받은 성인 4명 중 4명에서 관찰된 것으로 보아 운동 장애에 의해 보상 작용으로 발생한 비정상적인 신경섬유로라고 추정된다고 하였으며 Han 등¹⁸⁾에 의하면 대뇌 피질 출혈 환자의 증례에서 3차원 신경섬유로 영상과 기능적 뇌 자기공명 영상의 변화를 관찰하고 운동 장애 회복은 피질 재구성에 의한다고 추정하였다. 본 연구에서의 횡뇌량 신경섬유 형성 및 피질척수로의 재구성도 이와 같은 기전에 의한 것으로 추정되나 좀 더 연구가 필요한 과제라고 생각된다. 한편 본 연구에서 해석하기에 어려운 점으로 편마비임에도 양측 피질척수로의 이상을, 또는 편마비와 같은 쪽의 피질척수로 이상을 보여 임상적인 소견과 불일치하는 증례들이 있다는 것이다. 이와 같은 결과가 신경학적 진찰 시 미세한 이상을 찾지 못한 결과인지 검사상의 오류인지에 대해 임상적인 소견 및 피질척수로 영상의 추적이 필요하다고 생각된다.

본 연구 결과에서 보듯이 DTI-CST는 일반 자기공명검사보다 뇌 백질의 손상을 더 민감하게 반영할 수 있는 유용한 검사방

법이라고 할 수 있다. Son 등¹⁹⁾은 뇌 자기공명영상에서 정상 소견을 보였던 4예의 편마비를 가진 뇌성마비 환아를 대상으로 DTI-CST를 시행하여 임상 소견과 부합하는 이상 소견을 찾을 수 있었다고 하였는데 본 연구에서도 뇌 자기공명영상에서 정상 소견을 5증례에서 피질척수로의 단절과 신경섬유의 양적 감소 등 DTI-CST의 이상을 찾을 수 있었다. 그러나 아직은 해결해야 할 문제점이 많은데 Lee 등¹²⁾은 이 검사법이 신경섬유를 포함한 뇌의 해부학적 구조를 나타내는데 좋은 방법이기에는 하나 기능적 연결이나 시냅스적인 연결성을 표현하는데 부족함이 있다고 하였다. 또한 신경섬유로 영상을 구현할 때 검사 및 판독에 주관적인 요소가 많이 반영될 수 있어 신경해부학적인 지식이 선행되어야 한다고 하였다. 예를 들면 신경섬유로는 분할비등방도의 역치(threshold)를 높게 설정할 경우 실제보다 적은, 또는 역치를 낮게 설정할 경우에는 실제보다 많은 섬유로가 구현될 가능성이 높으므로 적절한 역치를 설정하는 것도 중요하다고 강조하며 신경섬유의 정량화 기법 및 좀 더 표준화된 방법의 설정이 요구된다고 하였다^{12, 20)}. 그 외에도 검사에 이용된 자기공명 설비의 차이²¹⁾, 연령에 따른 분할비등방도²²⁾ 및 신경섬유로의 변화²³⁾ 등도 검사 결과에 영향을 미칠 수 있다는 것을 고려해야 한다.

이번 연구는 각 연령별 정상 대조군의 피질척수로 영상을 얻지 못하고 비손상측 피질척수로를 손상 측과 비교 분석하였다는 점과 뇌성마비에서 발생할 수 있는 여러 신경섬유로 중 피질척수로만 국한하여 분석하여 좀 더 포괄적인 신경섬유로의 이상을 찾지 못하였다는 점이 한계라 할 수 있겠다. 앞으로 이어지는 연구에서는 이러한 한계점을 보완하고 기존의 연구 대상군의 추적 관찰로 보다 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

목적 : 편마비를 가진 뇌성마비 환아에서 확산 텐서강조영상을 이용한 3차원 피질척수로 영상의 이상 소견의 유형과 임상적인 소견과의 일치도를 알아보기 위하여 연구를 시행하였다.

방법 : 2003년 3월부터 2007년 8월까지 영남대학교 의과대학 부속병원 소아과 및 재활의학과에서 확산 텐서강조영상 검사를 시행했던 편마비를 가진 뇌성마비 환아 13예를 대상으로 FACT 기법을 사용하여 피질척수로의 3차원 신경섬유로 영상을 재구성하여 분석하였다. 기본 관심영역은 전 뇌교, 두 번째 관심영역은 전 수질을 통과하는 피질척수로로 설정하여 두 부위를 동시에 통과하는 신경섬유로를 최종 관심 신경섬유로로 하였다. 분할비등방도와 각의 종료 기준은 각각 0.3과 70도로 하였다.

결과 : 삼차원 피질척수로 영상에서 이상 소견으로는 피질척수로의 단절과 신경섬유의 양적 감소, 피질척수로의 무형성, 횡뇌량 신경섬유 그리고 비정상적인 피질척수로의 재구성 등의 유형이 있었으며 전체 13예 중 피질척수로의 단절이 10예(76.9%), 신경섬유의 양적 감소가 8예(61.5%)에서 관찰되었다. 피질척수로의 무형성은 3예(23.1%)에서 관찰되었고 횡뇌량 신경섬유로는

2예(15.4%), 비정상적인 피질척수로의 재구성은 4예(30.8%)에서 관찰되었다. 임상적인 소견과 3차원 피질척수로의 이상소견이 일치되는 예가 13예 중 11예(84.6%)였다.

결론 : 확산 텐서강조영상을 이용한 3차원 피질척수로 영상은 다양한 이상 소견과 임상적인 소견과의 높은 일치도를 보여 편마비 뇌성마비의 진단과 치료에 매우 유용한 검사로 사용될 수 있다고 생각된다. 그러나 향후 검사법의 표준화 등 보완을 요하는 연구가 더 필요하다고 생각된다.

References

- 1) Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005.; Executive Committee for the Definition of Cerebral Palsy. *Dev Med Child Neurol* 2005;47:571-6.
- 2) Ment LR, Bada HS, Barnes P, Grant PE, Hirtz D, Papile LA, et al. Practice parameter: neuroimaging of the neonate (report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology and Practice Committee of the Child Neurology Society). *Neurology* 2002;58:1726-38.
- 3) Taudrof K, Melchoir JC, Pedersen H. CT findings in spastic cerebral palsy: Clinical, etiological and prognostic aspects. *Neuropediatrics* 1984;15:120-4.
- 4) Truwit CL, Barkovich AJ, Kock TK, Ferriero DM. Cerebral palsy: MR findings in 40 patients. *AJNR* 1992;13:67-78.
- 5) Mamata H, Mamata Y, Westin CF, Shenton ME, Kikinis R, Jolesz FA, et al. High resolution line scan diffusion tensor MR imaging of white matter fiber tract anatomy. *AJNR* 2002;23:67-75.
- 6) Bydder GM, Rutherford MA. Diffusion-weighted imaging of the brain in neonates and infants. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2001;9:83-98.
- 7) Schaefer PW, Grant PE, Gonzalez RG. Diffusion-weighted MR imaging of the brain. *Radiology* 2000;217:331-45.
- 8) Neil J, Miller J, Mukherjee P, Huppi PS. Diffusion tensor imaging of normal and injured developing human brain—a technical review. *NMR Biomed* 2002;15:543-52.
- 9) Pierpaoli C, Basser PJ. Toward a quantitative assessment of diffusion anisotropy. *MRM* 1996;36:893-906.
- 10) Mori S, Crain BJ, Chacko VP, van Zijl PCM. Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging. *Ann Neurol* 1999;45:265-9.
- 11) Hoon AH, Lawrie WT, Melhem ER, Reinhardt EM, van Zijl PCM, Solaiyappan M, et al. Diffusion tensor imaging of periventricular leukomalacia shows affected sensory cortex white matter pathways. *Neurology* 2002;59:752-6.
- 12) Lee SK, Kim DI, Kim JN, Kim DJ, Kim HD, Kim DS, et al. Diffusion-tensor MR imaging and fiber tractography: a new method of describing aberrant fiber connections in developmental CNS anomalies. *Radiographics* 2005;25:53-68.
- 13) Fan GG, Yu B, Quan SM, Sun BH, Guo QY. Potential of diffusion tensor MRI in the assessment of periventricular leukomalacia. *Clin Radiol* 2006;61:358-64.
- 14) Glenn OA, Henry RG, Berman JI, Chang PC, Miller SP, Vigneron DB, et al. DTI-based three-dimensional tractography detects differences in the pyramidal tracts of infants and children with congenital hemiparesis. *J Magn. Reson. Imaging* 2003;18:641-8.
- 15) Le TH, Mukherjee P, Henry RG, Berman JI, Ware M, Manley GT. Diffusion tensor imaging with three-dimensional fiber tractography of traumatic axonal shearing injury: an imaging correlate for the posterior callosal "disconnection" syndrome: case report. *Neurosurgery* 2005;56:189.
- 16) Glenn OA, Ludeman NA, Berman JI, Wu YW, Lu Y, Bartha AI, et al. Diffusion tensor MR imaging tractography of the pyramidal tracts correlates with clinical motor function in children with congenital hemiparesis. *AJNR* 2007;28:1796-802.
- 17) Jang SH, Ahn SH, Cho YW. Transcallosal fibers from the corticospinal tract in adults with brain injury. *Yeungnam Univ J Med* 2007;24 Suppl:S424-9.
- 18) Han BS, Ahn SH, Jang SH. Cortical reorganization demonstrated by diffusion tensor tractography analyzed using functional MRI activation. *Neuro Rehabilitation* 2008;23:171-4.
- 19) Son SM, Ahn YH, Sakong J, Moon HK, Ahn SH, Lee H, et al. Diffusion tensor imaging demonstrates focal lesions of the corticospinal tract in hemiparetic patients with cerebral palsy. *Neurosci Lett* 2007;420:34-8.
- 20) Kunimatsu A, Aoki S, Masutani Y, Abe O, Hayashi N, Mori H, et al. The optimal trackability threshold of fractional anisotropy for diffusion tensor tractography of the corticospinal tract. *Magn Reson Med Sci* 2004;3:11-7.
- 21) Okada T, Miki Y, Fushimi Y, Hanakawa T, Kanagaki M, Yamamoto A, et al. Diffusion-tensor fiber tractography: intraindividual comparison of 3.0-T and 1.5-T MR imaging. *Radiology* 2006;238:668-78.
- 22) Mukherjee P, Miller JH, Shimony JS, Conturo TE, Lee BC, Almlri CR, et al. Normal brain maturation during childhood: developmental trends characterized with diffusion-tensor MR imaging. *Radiology* 2001;221:349-58.
- 23) Huang H, Zhang J, Wakana S, Zhang W, Ren T, Richards LJ, et al. White and gray matter development in human fetal, newborn and pediatric brains. *Neuroimage* 2006;33:27-38.