

만성 뇌졸중 환자에서 피질 척수로와 운동 능력의 상관관계 연구

여상석[†]

단국대학교 보건과학대학 물리치료학과

The Functional Role of the Corticospinal Track in Relation to Motor Functions in Chronic Stroke Patients

Sang-Seok Yeo[†]

Department of Physical Therapy, College of Health Science, Dankook University

Received: July 10, 2014 / Revised: July 25, 2014 / Accepted: August 10, 2014

© 2014 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The corticospinal tract (CST) is known to be an important pyramidal tract for walking and motor function. However, very little is known about the functional role of the CST in the recovery of motor function. In the current study, we investigated the relation between the CST and motor function in chronic hemiparetic stroke patients.

Methods: Fifty-four patients and 20 normal subjects were recruited. The Functional Ambulation Category (FAC) was used in measurement of the walking ability. We classified patients into three groups according to the ability to walk independently: group A, patients who could not walk independently (FAC: 0-2); group B, patients who could walk independently (FAC: 3); and group C, patd walk functionally (stairs and uneven surfaces, FAC 4-5). The Motricity Index (MI) was used to measure the motor function of the affected upper and lower extremities (maximum score: 100). The fractional anisotropy (FA) value, apparent diffusion coefficient (ADC) value, and fiber volume of the CST were used for the diffusion tensor imaging (DTI) parameters.

Results: In terms of the CST of the unaffected hemisphere, the FA value of group A was significantly lower than that of normal controls ($p < 0.05$). The fiber volume of group C was significantly higher than that of normal controls ($p < 0.05$). In contrast, the ADC values of all patient groups and the control group did not show any difference ($p > 0.05$). In terms of lower MI and total MI, significant differences were observed between all patient groups ($p < 0.05$). In addition, significant differences in terms of the upper MI scores were observed between groups A and C and between groups B and C ($p < 0.05$); however, no significant difference was observed between groups A and B ($p > 0.05$).

Conclusion: The increased fiber volume of the CST in the unaffected hemisphere appears to be related to functional walking ability in chronic stroke patients. This result would be useful for elucidation of the neural recovery mechanism of walking and

[†]Corresponding Author : Sang-Seok Yeo (yeopt@dankook.ac.kr)

the investigation of new modalities for the recovery of walking following a stroke with CST injury.

Key Words: Stroke, Corticospinal Tract, Diffusion Tensor Imaging

I. 서 론

뇌졸중(stroke)은 뇌혈관의 손상으로 발생하며, 흔히 뇌 혈류량의 순환 장애로 인하여 뇌 기능의 소실을 가지고 온다(Donnan et al, 2008; Shuaib & Hachinski, 1991; Sims & Muyderman, 2010). 뇌졸중 후 운동 기능의 장애는 가장 흔하게 발생하는 문제로, 대략 50% 이상의 환자들이 운동 마비를 경험하게 된다(Jang, 2007; Langhorne et al, 2009). 운동 마비는 흔히 편측 마비 증상으로 말초 운동부위의 마비와 보행 장애 등의 형태로 나타나는데, 이는 피질 척수로(corticospinal tract), 전정척수로(vestibulospinal tract), 피질 그물척수로(cortico-reitucularspinal tract) 등의 손상으로 인해 발생할 수 있다(Davidoff, 1990; Ahn et al, 2006).

최근에는 신경학적 분석을 위한 영상 의학 기술이 많이 발전하여 신경 손상에 대해 보다 상세하고 정량적인 검사가 가능해졌다. 그 중 확산 텐서 영상(diffusion tensor imaging, DTI)을 이용한 확산 텐서 신경로 분석 기법(diffusion tensor tractography, DTT) 피질하 영역의 신경로에 대한 삼차원 적이고 세밀한 시각화가 가능하도록 하여 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 종양 등 국소 병변이나 손상에 대한 위치를 정확하게 측정하는 것이 가능하도록 하였다(Assaf & Pasternak, 2008; Mori et al, 1999). 이와 관련하여 많은 연구들에서 확산 텐서 신경로 분석 기법을 사용하여 다양한 신경로에 대한 위치 및 경로를 규명하고 있다. 이는 뇌손상 환자의 임상적 평가에 중요한 자료가 되고 있으며, 특히 피질 척수로의 경우 뇌손상 환자에 대한 확산 텐서 신경로 분석 기법 연구에서 가장 활발하게 다루어지고 있는 부분이다(Hong et al, 2010; Yeo & Jang, 2011). 또한, 이와 더불어 척수 시상로(spinothalamic tract), 안쪽 섬유띠(medial lemniscus), 뇌궁(fornix), 시

각로 부챗살(optic radiation) 등 많은 신경로들의 연구와 분석이 활발히 진행되고 있다(Concha et al, 2005; Kwon et al, 2011a; Yamada et al, 2007).

이에 본 연구에서는 기존의 영상 의학적 평가 방법으로는 정확한 평가가 어려웠던 피질 척수로에 대하여 확산 텐서 신경로 분석 기법을 사용하여 구현하였고, 이를 통해 피질 척수로의 신경학적인 상태가 만성기 뇌졸중 환자의 운동 능력 회복에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구는 대구 소재의 OO 대학 병원에서 뇌졸중으로 진단받은 편마비 환자로 본 연구의 기준에 적합한 54명을 대상으로 하였다. 성별과 연령대를 맞춘 20명의 건강한 성인을 대조군으로 선정하였다. 모든 대상자는 연구에 대한 설명을 듣고, 자발적 동의를 받은 후 실험에 참여하도록 하였다.

본 연구의 환자 선정 기준은 다음과 같다.

- 1) 뇌졸중을 처음으로 경험한 환자
- 2) 연령대 : 20-75세
- 3) 뇌졸중 발병 후 3개월 이상인 자
- 4) 뇌 단층촬영(CT)또는 자기공명영상(MRI)에서 편측성 뇌경색 뇌졸중으로 판정 받은 자.
- 5) 신경방사선과 전문의로부터 병변의 위치가 대뇌 부챗살, 대뇌 기저핵, 속섬유막의 뒷부분까지 수준으로 확인된 자
- 6) 뇌졸중 후 급성기 단계에서 보행을 할 수 없었던 자
- 7) 지시하는 내용을 이해하고 따를 수 있는 한국형

간이정신상태 판별 검사(MMSE-K)점수가 최소 24점 이상인 자.

2. 측정 방법 및 도구

2.1 운동 기능 평가

2.1.1 Motricity Index(MI)

뇌졸중으로 인한 운동 마비 환자의 평가를 위한 MI 평가 방법은 Medical Research Council System의 척도를 수정하여, 뇌졸중 환자들의 마비측 상지와 하지의 근력을 측정하기 위해 고안된 검사이다(Sunderland et al,1989). 상지에 대한 MI의 타당도는 요인들 사이의 관련성, 손가락 굴곡과 상지 기능과 상관성이 높은 것으로 입증되었다(Sunderland et al,1989).

2.1.2 Functional Ambulation Categories(FAC)

FAC는 대상자의 보행기능을 평가하기 위해서 고안된 평가방법으로써, 환자의 보행이 얼마나 독립적인가를 기준으로 하여 총 6등급으로 분류하여 평가하였다. 임상적 평가는 숙련된 물리치료사에 의해 확산텐서 영상의 촬영과 동일한 날짜에 시행을 하였다.

2.2 확산 텐서 영상

본 연구를 위한 확산텐서 영상(diffusion tensor imaging)은 6개 채널의 Synergy-L Sensitivity Endocinding (SENSE) 두부 코일을 착장 후 1.5T 자기공명영상장치(Philips Gyroscan Intera system, BEST, Netherlands)를 사용하였다. 영상기법은 단발스핀 에코 평면 영상(single shot spin echo planar imaging) 열을 사용하고, 영상 범위는 전측 교련(anterior commissure)과 후측 교련(posterior commissure) 연결선에 평행하게 67개의 인접하는 절편 영상을 획득 하였다. 영상촬영조건은 확산 강조 경사자장의 방향수 32방향, 매트릭스 128x128,

시야 221x221mm², 반복시간/ 에코시간/ 분할 비방등성은 각각 10.726ms/76/90°, 에코평면영상의 슬라이스 수는 67개, b값은 1000s/mm², 자극 회수(number of excitation: NEX)는 1 회, 슬라이스 두께는 2.3mm를 매개 변수로 사용하였다.

2.2.1 확산 텐서 영상의 신경 지도화 기법

Oxford Centre for Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain(FMRIB) Software Library (FSL)를 기반으로 다척도 2차원 등록 방법(affine multi-scale two-dimensional registration)을 사용하여 확산 텐서 영상 촬영 중 발생할 수 있는 머리 움직임 효과(head motion effect)나 와전류(eddy current)에 의한 영상의 비틀림 등을 수정하였다. 신경로의 분석(Fiber tracking)은 DTI-Studio software(CMRM, Johns Hopkins Medical Institute, USA)를 사용하였다. 피질 척수로의 신경로 분석을 위하여 두 개의 Region of Interest (ROI)를 설정하였다. Seed ROI는 숨뇌(medulla)의 추체(pyramid) 영역으로 설정하고, Target ROI는 뇌교의 앞쪽 피질 척수로 영역으로 설정하였다. 분석된 피질 척수로에서 분할 비등방성(fractional anisotropy, FA), 현성 확산 계수(apparent diffusion coefficient, ADC), 신경로 용적(tract volume)을 추가적으로 획득하였다.

3. 실험 절차

54명의 뇌졸중 환자 중 보행과 관련된 보행 평가(FAC) 점수를 기준으로 하여 세 개의 그룹으로 분류하였다. 그룹 A는 독립보행이 불가능한 환자로 분류하였고, 그룹 B는 독립 보행이 가능하지만 기능적인 보행이 불가능한 환자로 분류하였다. 그룹 C는 독립 보행과 더불어 기능적인 보행이 가능한 환자로 분류하였다. 기능적 보행의 기준은 계단 보행, 경사로 보행이 가능한 수준으로 하였다.

손상측과 비손상측 반구의 피질 척수로에 대한 영상 의학적 평가는 확산텐서 영상을 사용하였다. 두 신경로의 손상 유무에 대한 평가는, 대뇌 피질과 숨뇌

사이에서 연결성이 완전히 유지되는 경우 손상이 없는 것으로 분류하였고, 두 구역 사이에 불연속성이 발생하게 되면 손상이 있는 것으로 분류한다. 손상이 확인된 신경로는 손상 후 축삭 종말의 추가적인 퇴행성 변화를 보이는 왈러 변성(Wallerian degeneration)이 진행되었는지 평가 하였다. 왈러 변성의 평가는 DTT 분석 결과에서 출혈 혹은 경색 등의 손상 부위 이하에서도 신경로의 불연속성 발생 여부를 기준으로 하였다.

환자군의 상, 하지 근력평가 결과와 수부의 기능적 사용 평가 결과는 환자군 세 그룹 간 서로 비교를 하였다. 또한 DTT 분석결과도 환자군 세 그룹과 대조군과의 비교를 통하여 보행 기능에 따른 그룹 간 차이를 확인하였다.

4. 자료 분석

실험의 통계적 분석을 위하여 SPSS 15.0 for window 를 이용하였다. 손상 측 반구에서 피질 척수로의 신경로 상태(integrity)에 따른 그룹 간 차이를 비교하기 위하여 카이스퀘어 검정(chi-square test)을 사용하였다. 보행 능력에 따른 환자군과 대조군간에 비손상측 반구의 피질 척수로의 FA, MD, VN 값의 차이 비교 그리고 그룹간 운동 능력의 비교를 위하여 일원분산분석(one-way ANOVA) 를 사용하였고, 사후 분석을 위하여 sheffe 검정을 사용하였다. 통계적 유의 수준은 0.05 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다. 뇌졸중 환자는 총 54명이 참여하였고 이중 남자는 37명, 여자는 17명 이었고, 평균 연령은 54.4 ± 9.9세 였다. 뇌졸중 환자 중 뇌출혈을 가진 환자는 39명(평균 53.0세), 뇌경색을 가진 환자는 15명(평균 57.9세)이었고 뇌졸중 발병 후 확산텐서영상 검사 시

기까지의 시간은 평균 22개월 이었다. 보행 기능에 따른 환자군의 분류 결과, FAC 점수 2점 이하인 그룹 A에는 20 명의 환자가 분류되었고, FAC 3점인 그룹 B와 FAC 4점 이상의 그룹 C에는 각각 17명의 환자가 분류되었다.

대조군을 위하여 비슷한 나이와 성별의 정상 성인 20명이 본 연구에 참여하였고, 남자는 10명 여자는 10명, 평균 연령은 53.1 ± 9.7세 였다.

2. 손상 측 반구에서 피질 척수로의 손상 정도

뇌졸중 환자들의 손상 측 반구에서 확산텐서영상 분석결과 모든 환자들이 피질 척수로의 손상이 있는 것으로 나타났다. 손상 측 반구에서 피질 척수로의 왈러 변성에 대한 평가에서 독립보행이 불가능한 그룹 A에서 18명 환자(90.0%)들에서 왈러 변성을 보였고, 독립보행이 가능한 그룹 B와 C에서는 각각 13명(76.5%), 8명(47.1%)의 환자들이 왈러 변성이 있는 것으로 나타났다. 왈러 변성에 대한 그룹 간 차이는 A 그룹이 B와 C 그룹에 비해 발생 빈도가 유의한 수준으로 높게 나타났고($p < 0.05$), B와 C 그룹 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

3. 비손상측 반구에서 피질 척수로의 확산텐서영상 분석결과

비손상측 반구에서 피질 척수로의 확산텐서영상 분석결과 Table 1과 같다. 그룹 A에서 피질 척수로의 FA 값은 가장 낮은 수준을 보였고, 정상 대조군과의 비교에서도 통계적으로 유의한 수준의 감소를 보였다($p < 0.05$). 반면에 그룹 B와 C에서는 피질 척수로의 FA 값이 정상 대조군과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 피질 척수로의 ADC 값에서는 모든 그룹에서 정상 대조군과 비교하여 유의한 차이를 보이지 않았다. 피질 척수로의 신경로 용적에서는 그룹 C에서 정상 대조군과 비교하여 통계적으로 유의한 수준의 증가를 보였고($p < 0.05$), 반면에 그룹 A와 B에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

Table 1. Diffusion tensor parameters of corticospinal track in the unaffected hemisphere

	Corticospinal tract of unaffected hemisphere					
	FA		ADC		Track volume	
Group A (FAC < 3 score)	0.55 (0.02)		0.83 (0.05)		1074.15 (341.10)	
Group B (FAC = 3 score)	0.57 (0.03)		0.84 (0.04)		1191.41 (403.35)	
Group C (FAC > 3 score)	0.57 (0.02)		0.79 (0.10)		1219.24 (379.33)	
Control	0.58 (0.03)		0.83 (0.06)		924.48 (305.59)	
	F	p	F	p	F	p
Group A vs Control		0.001*		0.974		0.479
Group B vs Control	6.003	0.215	2.051	0.965	4.079	0.076
Group C vs Control		0.215		0.271		0.040*

Values represent mean(standard deviation)

FA : fractional anisotropy, ADC : apparent diffusion coefficient

FAC : functional ambulation categories.

One-way ANOVA was used for the comparison of the diffusion tensor parameters between patient groups and normal control.

* p < 0.05

4. 보행 기능에 따른 그룹별 운동 능력 비교

보행 기능에 따라 분류한 세 그룹간의 운동 능력에 대한 비교는 Table 2와 같다. 상지의 근력에 대한 MI 점수에서 그룹 A와 B의는 그룹 C에 비하여 유의한 수준의 감소를 보였지만(p<0.05), 그룹 A와 B에서는

유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05). 반면에 하지의 근력에 대한 MI 점수와 전체 MI 점수에서는 세 그룹 모두에서 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 세부적으로 그룹 A에서 가장 낮은 수준의 MI 점수를 보였고, 그룹 C에서 가장 높은 수준의 MI 점수를 보였다(p<0.05).

Table 2. The comparisons of motor functions between patient groups

	Upper MI		Lower MI		Total MI	
	F	p	F	p	F	p
Group A (FAC < 3 score)	24.53 (14.64)		30.13 (12.68)		27.33 (13.34)	
Group B (FAC = 3 score)	36.80 (15.53)		44.78 (11.01)		40.79 (11.85)	
Group C (FAC > 3 score)	63.22 (19.73)		66.98 (15.92)		65.10 (17.46)	
	F	p	F	p	F	p
Group A vs B		0.09		0.01*		0.02*
Group A vs C	24.41	0.00**	35.33	0.00**	32.25	0.00**
Group B vs C		0.00**		0.00**		0.00**

Values represent mean(standard deviation)

MI : motricity index

* p < 0.05, ** p < 0.01

IV. 고 찰

본 연구는 뇌졸중으로 인하여 손상 측 반구에서 피질 척수로의 손상이 확인된 54명의 환자를 대상으로 하여 뇌졸중 환자의 보행기능 회복과 피질 척수로의 상관관계를 알아보고자 하였다. 선별된 54명의 환자 중 39명은 발병원인이 출혈성 뇌졸중이었고 나머지 15명은 허혈성 뇌졸중이었다. 환자들을 보행 기능에 따라 분류한 결과 독립보행이 불가능한 그룹 A에는 20명이 분류되었고, 평지에서 독립보행이 가능한 그룹 B와 계단 및 경사로 등에서의 기능적 독립보행이 가능한 그룹 C에는 각각 17명씩이 분류되었다. 확산텐서 영상을 통한 손상 측 반구의 피질 척수로 손상 평가에서는 모든 그룹에서 손상이 있는 것으로 확인되었다. 이를 기준으로 하여 본 연구에서는 비손상측 반구에서 피질 척수로가 환자의 전반적 운동 기능 회복에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

확산텐서 영상을 이용한 비손상측 반구의 피질 척수로 평가에서는 독립보행이 불가능했던 환자군에서 대조군과 비교하여 FA 값이 유의한 수준으로 감소한 것으로 나타났고, ADC 값에서는 대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면에 독립보행 및 기능적 보행이 가능했던 환자군에서는 대조군과 비교하여 비손상측 반구에서 피질 척수로의 FA와 ADC 값에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 비손상측 반구의 피질 척수로 신경로 용적 평가에서는 기능적 독립보행이 가능했던 환자군에서만 대조군과 비교하여 유의한 수준으로 증가한 결과를 보였다.

확산텐서 영상의 평가에서 FA 값은 신경로 내에 존재하는 물 분자 확산도에 대한 신경섬유의 배열방향의 강도라고 할 수 있다(Assaf & Pasternak, 2008 ; Neil, 2008). 이러한 FA 값은 축색돌기(axon)와 수초(myelin)의 두께, 축색돌기의 방향성 그리고 백질 섬유질의 밀집도 등 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다(Assaf & Pasternak, 2008 ; Neil, 2008). 신경로 용적이란 확산텐서 영상을 통해 구현된 신경로 내에 존재하는 볼셀(voxel)의 양을 의미하며 이는 축색돌기, 수초 그

리고 미세소관(microtubule) 등과 같은 백질섬유의 양과 비례한다고 할 수 있다(Kwak et al, 2010). ADC 값은 백질섬유에 존재하는 물 분자의 확산 정도를 나타낸다(Assaf & Pasternak, 2008; Neil, 2008). 이를 근거로 하여 FA 값의 감소는 신경 섬유 손상을 나타내는 지표가 될 수 있고, 신경로 용적의 증가는 신경로 내에 존재하는 백질섬유 수의 증가를 나타낸다고 할 수 있다(Assaf & Pasternak, 2008; Kwak et al, 2010 ; Mori et al., 1999 ; Neil, 2008). 따라서 기능적 독립보행이 가능했던 환자군에서 비손상측 반구의 피질 척수로 용적 증가는 백질 섬유증의 증가를 의미하여 이는 뇌졸중 환자의 운동 기능 회복과 관련이 있을 것으로 사료된다.

최근에는 많은 연구들에서 뇌졸중 환자의 운동 기능 회복에 대하여 보고되어지고 있다(Miyai et al, 1999; Miyai et al, 2002; Miyai et al, 2003; Miyai et al, 2006; Mori et al, 1999). 또한 비손상측 반구에 의한 운동기능 회복 기전도 제기되고 있다. Ago 등(2003)은 fMRI 분석 방법을 사용하여 뇌졸중 환자에게서 동측 반구의 대뇌 피질의 기여에 운동 기능회복 양상을 보고 하였다(Ago et al, 2003). 이어 Miyai 등(2006)은 6명의 뇌졸중 환자들을 대상으로 하여 보행 기능의 회복에 따라 보행시 비손상측 반구의 전 운동영역에서 활성화 양상을 fNIRS 분석 방법을 사용하여 측정 및 평가하였다(Miyai et al, 2006). 그 결과 보행 기능에 회복됨에 따라 비손상측 반구의 전 운동영역의 활성화도가 유의하게 증가하였음을 보고 하였다(Miyai et al, 2006). 최근에는 Yeo 와 Jang(2012)이 fMRI와 DTI 분석기법을 사용하여 허혈성 뇌경색에 의한 좌측반구 손상 환자에게서 비손상측 반구의 일차 운동피질과 피질 척수로의 관여에 의한 운동회복 양상을 보고하였다(Yeo & Jang, 2012). 이는 비손상측 반구에서 운동기능 회복에 관여한 결과로 보여지며, 본 연구 결과 중 비손상측 반구에서 피질 척수로의 신경로 용적 증가와도 일치한다고 할 수 있다. 따라서 뇌졸중 후 보행기능 장애를 가지는 환자들에게서 비손상측 반구에서 피질 척수로의 신경로 용적 증가는 뇌졸중 환자들의 보행 기능의 회복

기전 중 하나 일 것으로 사료된다(Miyai et al, 2006).

본 연구에서 사용한 확산 텐서 영상은 공간에서의 섬유 위치 상관계 없이 확산력을 측정할 수 있으며, 이를 통해 3차원 배열까지 가능하여 신경로의 3차원적인 분석을 가능하게 해준다(Assaf & Pasternak, 2008). 또한 확산 텐서 영상을 기반으로 한 확산 텐서 신경로 분석 기법은 피질하 영역의 신경로에 대한 삼차원적이고 세밀한 시각화가 가능하도록 하여 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 종양 등 국소 병변이나 손상에 대한 위치를 정확하게 측정하는 것이 가능하도록 하였다(Assaf & Pasternak, 2008; Mori et al, 1999). 이와 관련하여 많은 연구들에서 확산 텐서 신경로 분석 기법을 사용하여 피질하 영역에서 많은 신경로에 대한 위치 및 경로를 규명하고 있으며 뇌손상 환자의 다양한 신경로 손상 규명 및 물리치료를 통한 신경가소성 이론 입증에도 이용될 수 있을 것으로 사료 된다(Assaf & Pasternak, 2008; Kwon et al, 2011; Mori et al, 1999; Yeo & Jang, 2011).

V. 결론

본 연구는 만성 뇌졸중 환자들을 대상으로 하여 피질 척수로가 운동기능 회복에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 알아보려고 하였다. 연구 결과, 비손상 측 반구에서 피질 척수로의 신경로 용적 증가가 만성 뇌졸중 환자의 기능적 독립 보행 유무와 밀접한 관련이 있는 것으로 확인하였다. 본 연구결과를 통해 뇌졸중 환자에서 비손상 측 반구의 피질 척수로가 기능적 보행기능 회복에 매우 중요한 역할을 담당하고 있음을 확인할 수 있었으며, 보행기능 장애를 가지는 뇌졸중 환자에 대한 물리치료와 치료 목표 설정에서 확산 텐서영상을 사용한 피질 척수로의 평가는 더욱 효율적인 치료 목표 설정에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 첫 번째, 대부분의 환자에서 손상 측 반구의 피질 척수로가 손상이 확인이 되었고, 이로 인해 손상 측 반구에서 피질 척수로의 기능적 역할을 충분히 확인하지 못하였다는 점이다. 두 번째

제한점은 전정척수로(vestibulospinal tract)나 전피질 척수로(anterior cortico spinal tract) 등 인간의 보행기능에 관여하는 다른 신경로에 대한 상관관계가 고려되지 않았다 점이다. 따라서 향후 연구에서는 운동 기능과 관련된 다른 신경로에 대한 분석이 필요할 것으로 생각되며, 이와 더불어 뇌졸중의 침범 부위가 적은 환자들을 대상으로 하여 비손상 측 반구에서의 피질 척수로의 역할 규명도 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Ago T, Kitazono T, Ooboshi H, et al. Deterioration of pre-existing hemiparesis brought about by subsequent ipsilateral lacunar infarction. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2003;74(8):1152-1153.
- Ahn YH, Ahn SH, Kim H, et al. Can stroke patients walk after complete lateral corticospinal tract injury of the affected hemisphere? *Neuroreport*. 2006;17(10):987-990.
- Assaf Y, Pasternak O. Diffusion tensor imaging (DTI)- based white matter mapping in brain research: a review. *Journal of Molecular Neuroscience*. 2008;34(1):51- 61.
- Concha L, Gross DW, Beaulieu C. Diffusion tensor tractography of the limbic system. *American Journal of Neuroradiology*. 2005;26(9):2267-2274.
- Davidoff RA. The pyramidal tract. *Neurology*. 1990;40(2):332-339.
- Donnan GA, Fisher M, Macleod M, et al. Stroke. *Lancet*. 2008;371(9624):1612-1623.
- Hong JH, Son SM, Jang SM. Somatotopic location of corticospinal tract at pons in human brain: a diffusion tensor tractography study. *Neuroimage*. 2010;51(3):952-955.
- Jang SH. A review of motor recovery mechanisms in patients with stroke. *NeuroRehabilitation*. 2007;22(4):253-259.
- Kwak SY, Yeo SS, Choi BY, et al. Corticospinal tract change

- in the unaffected hemisphere at the early stage of intracerebral hemorrhage: a diffusion tensor tractography study. *European Neurology*. 2010;63(3): 149-153.
- Kwon HG, Hong JH, Hong CP, et al. Dentatorubrothalamic tract in human brain: diffusion tensor tractography study. *Neuroradiology*. 2011;53(10):787-791.
- Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurology*. 2009;8(8): 741-754.
- Miyai I, Suzuki M, Hatakenaka M, et al. Effect of body weight support on cortical activation during gait in patients with stroke. *Experimental Brain Research*. 2006;169(1): 85-91.
- Miyai I, Suzuki T, Kang J, et al. Middle cerebral artery stroke that includes the premotor cortex reduces mobility outcome. *Stroke*. 1999;30(7):1380-1383.
- Miyai I, Yagura H, Hatakenaka M, et al. Longitudinal optical imaging study for locomotor recovery after stroke. *Stroke*. 2003;34(12):2866-2870.
- Miyai I, Yagura H, Oda I, et al. Premotor cortex is involved in restoration of gait in stroke. *Annals of Neurology*. 2002;52(2):188-194.
- Mori S, Crain BJ, Chacko VP, et al. Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging. *Annals of Neurology*. 1999;45(2): 265-269.
- Neil JJ. Diffusion imaging concepts for clinicians. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2008;27(1):1-7.
- Shuaib A, Hachinski VC. Mechanisms and management of stroke in the elderly. *Canadian Medical Association Journal*. 1991;145(5):433-443.
- Sims NR, Muyderman H. Mitochondria, oxidative metabolism and cell death in stroke. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular Basis of Disease*. 2010;1802(1):80-91.
- Sunderland A, Tinson D, Bradley L, et al. Arm function after stroke. An evaluation of grip strength as a measure of recovery and a prognostic indicator. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 1989;52(11): 1267-1272.
- Yamada K, Nagakane Y, Yoshikawa K, et al. Somatotopic organization of thalamocortical projection fibers as assessed with MR tractography. *Radiology*. 2007; 242(3):840-845.
- Yeo SS, Jang SH. Ipsilateral motor pathway without contralateral motor pathway in a stroke patient. *NeuroRehabilitation*. 2012;30(4):303-306.