

Original Article

Open Access

소뇌 손상에 의한 사지 마비 환자의 보행 및 운동 기능 회복 양상 연구

여상석[†]

단국대학교 공공·보건과학대학 물리치료학과

Characteristics of Gait and Motor Function Recovery in Quadriplegia Patients with Cerebellar Injury

Sang-Seok Yeo, P.T., Ph.D.[†]

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

Received: November 1, 2023 / Revised: November 16, 2023 / Accepted: November 20, 2023

© 2023 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: Cerebellar injury can be caused by a variety of factors, including trauma, stroke, and tumor. Cerebellar injury can manifest in different clinical symptoms and signs depending on the size and location of the injury. The purpose of this study was to examine and compare the recovery patterns of each motor function by tracking the motor levels of patients with cerebellar injury.

Methods: This study recruited 11 patients with quadriplegia resulting from cerebellar injury. The motricity index (MI), modified Brunnstrom classification (MBC), and functional ambulation category (FAC) methods were used to evaluate motor levels. The motor function evaluation was performed immediately after the onset of the condition and at intervals of one month, two months, and six months after onset.

Results: The MI values of the upper and lower extremities and hand function (MBC) indicated severe paralysis in the early stages of onset. Compared to the onset time, significant motor function recovery was observed after 1, 2, and 6 months ($p < 0.05$). In contrast, there was no significant pattern of recovery between 1, 2, and 6 months after onset ($p > 0.05$). FAC indicated showed significant recovery at one month compared to onset ($p < 0.05$), and there was also a significant difference between 1 and 2 months ($p < 0.05$). On the other hand, there was no significant difference in FAC between 2 and 6 months ($p > 0.05$).

Conclusion: Patients with cerebellar injury showed significant recovery in functions related to muscle strength and voluntary muscle control one month after onset and gradually recovered further over the next six months. On the other hand, gait function, which is closely related to balance, showed a relatively slow recovery pattern from the beginning of the disease to the six month follow-up.

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

Key Words: Cerebellum, Stroke, Traumatic axonal injury, Gait, Motor function

I. 서론

소뇌(cerebellum)는 중추 신경계의 일부로 대뇌의 아래쪽, 뇌줄기의 뒤쪽에 위치하여 근육 조절과 운동의 정밀성을 개선하는 데 중요한 역할을 한다 (Manto & Mitoma, 2023). 소뇌는 주로 다리뇌를 통해 다양한 정보들이 받아들이고 출력하며, 무의식적으로 근육의 조절과 조화로운 운동을 가능하게 함으로써 몸의 자세를 유지하고 움직임의 조절한다 (Heck et al., 2023; Montgomery, 2023; Wann Arachchige et al., 2021). 근육의 미세한 조절과 관절의 부드럽고 정밀한 움직임은 소뇌의 신경학적 조절에 의해 일어나며 움직임의 타이밍, 힘, 그리고 방향을 조절하는데 역할을 한다 (Heck et al., 2023; Montgomery, 2023;). 소뇌의 전달되는 무의식적 고유수용성 감각은 신체의 균형 조절 및 자세 유지에 필수적이며, 몸통의 위치와 관련된 감각을 받아들이고 그에 따른 균형 조절을 함으로써 균형을 유지하고 낙상을 예방할 수 있다 (Pop et al., 2022). 운동학습은 소뇌의 또다른 중요한 기능으로 알려져 있으며 새로운 운동기술을 학습하고 기능적 수준을 향상시키는데 필수적이다 (Halverson et al., 2023). 운동 조절 및 학습과 관련된 소뇌의 기능 이외에 언어 및 작업 기억 등 비운동 기능에도 관여하는 것으로 알려져 있다 (Halverson et al., 2023). 이러한 소뇌의 기능은 척수에서 전달되는 감각 정보를 기반으로 뇌줄기, 바닥핵, 시상 및 대뇌결절 부위와의 기능적 연결성을 통해 이루어지며, 소뇌의 손상은 운동 기능의 결손, 협응 및 균형 장애를 유발시킬 수 있다 (Wann Arachchige et al., 2021).

소뇌 손상은 외상, 뇌졸중, 종양, 발달장애 등 다양한 원인에 의해서 발생할 수 있다 (Demir et al., 2023; Einstein et al., 2023). 외상성 축삭 손상(traumatic axonal injury)은 자동차 사고나 낙상 등에 의해 발생하는 뇌 손상으로 머리 부위의 급격한 가속과 감속에 의해 축삭 부위가 전단 되거나 찢어지는 것이 특징이다 (Potts

et al., 2009). 소뇌는 외상성 축삭 손상 시 전단력에 의해 쉽게 손상 받는 부위이며, 특히 다리뇌와 연결 부위에 손상이 발생하는 것으로 알려져 있다 (Jang and Kwon., 2023). 전체 뇌졸중 환자 중 소뇌 뇌졸중 환자의 비율은 2-3% 비율로 적은 비율을 차지하며 주로 위 소뇌동맥(superior cerebellar artery), 앞아래소뇌동맥(anterior inferior cerebellar artery)과 뒤아래소뇌동맥(posterior inferior cerebellar artery)의 경색 및 출혈에 의해 발생한다 (Kelly et al., 2001; Sarikaya & Steinlin, 2018).

소뇌 손상은 손상의 크기와 위치에 따라 다양한 임상 증상과 징후를 보일 수 있다 (Einstein et al., 2023). 실조(ataxia)는 소뇌 기능 장애의 핵심적인 특징으로 근육 운동의 협응 부족을 의미하며 자세적으로 불안정하거나 비틀거리는 걸음걸이, 균형감각 장애, 사지 운동의 서투름 등으로 나타날 수 있다 (Einstein et al., 2023; Matsugi et al., 2023; Naeije et al., 2023). 균형 장애와 현기증(Vertigo)은 안뜰기능 장애와 밀접하게 관련된 증상으로 주로 안뜰소뇌(vestibulocerebellum) 영역에 손상에 있을 경우 발생할 수 있다 (Cullen, 2023; Miller et al., 2008). 이러한 임상적 증상과 징후는 환자의 운동기능 장애로 이어지며 결과적으로 독립적 일상생활의 어려움이 유발된다 (Kelly et al., 2001). 여러 연구에서 급성기 소뇌 뇌졸중 환자 운동장애 양상을 보고하였으며, 각 영역별 손상에 따른 임상적 증상을 제시하고 있다 (Sander et al., 2009, Ogawa et al., 2004, Karaci et al., 2008). 반면, 급성기에서부터 만성기 단계에서 근력 및 보행 기능 등의 회복 양상을 조사한 연구는 부족한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 목적은 순수 소뇌 손상에 의한 사지마비 환자의 운동 수준을 초기부터 6개월 이후의 만성 단계까지 추적 관찰하여 각 운동 기능들의 회복 양상을 비교 연구하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 소뇌 손상에 의한 사지마비 11명 (남성 7명, 여성 4명)을 대상으로 연구에 자발적으로 참여를 원하는 환자를 선정하였다. 연구 대상자의 선정 기준은 다음과 같다. 1) 영상의학적 검사 결과 전문의로부터 뇌졸중, 뇌 종양, 외상성 뇌손상 등의 원인에 의해 순수소뇌 손상으로 진단 받은 환자. 2) 발병 이전 뇌손상 병력이 없는 환자. 3) 소뇌 손상에 의한 뚜렷한 사지마비 양상을 보이는 환자. 4) 20세 ~ 69세 이하의 환자. 5) 의식 및 인지기능 장애가 없는 환자. 연구 진행 전 모든 환자에게 실험 과정과 목적에 대한 설명을 진행하였고 연구참여 동의에 대한 자발적 동의를 받았다.

2. 실험 절차

소뇌 손상 환자의 운동 수준을 평가하기 위해 Motricity index (MI), Modified Brunnstrom classification (MBC), Functional ambulation category (FAC) 평가 방법을 사용하였다. 11명의 환자는 소뇌 손상이 발병 직후부터 발병 후 1개월, 2개월, 6개월 간격으로 운동 기능 평가를 실시하였다. 모든 환자는 6개월 간의 회복기간 중 대학병원과 재활병원에서 신경계 물리치료 중재를 받았다.

3. 운동 기능 평가 항목

1) Motricity index (MI)

MI는 뇌졸중 환자의 팔·다리 운동 기능을 평가할 수 있는 지표로 팔 검사와 다리 검사로 구분되어 있다 (Fayazi et al., 2012). 팔 검사는 어깨관절 벌림, 팔꿈치관절 굽힘 및 손가락으로 잡기와 같이 3가지 항목으로 구성되어 있으며, 다리 검사 또한 엉덩관절 굽힘, 무릎

관절 펴기 및 발바닥 굽힘 3가지의 항목으로 총 6개 항목으로 구성되어 있다. 모든 움직임 항목은 각 0점(완전 마비)에서 33점(정상)으로 6단계로 평가되며 평가 결과를 합산하여 팔·다리 각각 총 0점에서 99점 범위내로 점수화 하였다.

2) Modified Brunnstrom classification (MBC)

MBC는 뇌졸중 환자의 마비측 손의 기능에 대한 회복 정도를 평가하기 위한 평가법으로 6개의 단계로 구성되어 있다 (Huang et al., 2016; Yoo et al., 2014). MBC는 1단계에서 6단계로 구분되어 있으며 각 단계의 내용은 다음과 같다. 1단계) 수의적으로 손가락을 움직일 수 없다; 2단계) 수의적으로 손가락을 움직일 수 있다; 3단계) 마비측 손을 수의적으로 짤 수 있으나 펼 수 없다; 4단계) 엄지와 검지 옆면으로 카드를 잡을 수 있고 손가락을 약간 펼 수 있다; 5단계) 유리컵을 잡아 올릴 수 있고 손가락을 펼 수 있다; 6단계) 정상적인 방식으로 공을 잡고 던질 수 있으며 셔츠에 있는 단추를 채우고 풀 수 있다.

3) Functional ambulation category (FAC)

FAC는 뇌졸중 환자의 기능적인 보행 수준을 평가하기 위한 평가 척도로 지지 유무와 정도에 따라 6단계로 구분되어 있다 (Mehrholz et al., 2007; Park & An, 2016). FAC는 0-5점으로 구분되어 있으며 0점은 보행을 할 수 없거나 2인 이상의 지속적인 지지가 필요한 경우이며 1점은 균형 및 체중 이동에 있어 1인의 지속적인 지지가 필요한 경우, 2점은 보행 시 균형 및 협응을 위한 1인의 간헐적인 지지가 필요한 경우, 3점은 보행 시 신체적 지지 없이 지시 또는 관찰이 필요한 경우, 4점은 독립적으로 평지를 걸을 수 있으나 계단이나 불안정한 평지에서 보행 시 도움이 필요한 경우, 마지막으로 5점은 독립적으로 보행이 가능한 경우로 구성되어 있다.

Table 1. General characteristics of patients with cerebellar injury

Patient (n=11)		
Age (range)	49.54±15.16 (25~68)	
Sex (male/female)	7/4	
Diagnosis	S-ICH	6
	Infarction	2
	Brain tumor	2
	TAI	1
Type	Quadriplegia	

Values represent mean±standard deviation and number.

S-ICH: spontaneous intracerebral hemorrhage,

TAI: traumatic axonal injury

4. 통계 분석

본 연구에서 수집된 데이터는 SPSS 20.0(Statistical Package for the Social Sciences, USA) 프로그램을 사용하여 통계적 유의수준을 평가하였다. 실험 결과에 대한 통계적 검증은 모집단의 수가 적고 Shapiro-Wilk test 결과 정규성을 만족하지 않아 비모수 검정을 실시하였다. 발병 초기부터 6개월 간 총 4회의 운동 수준 평가에 대한 비교를 위하여 Friedman test를 사용하였고, 사후 검정을 위해 Wilcoxon signed rank test를 사용하였다. 통계적 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구는 11명의 순수 소뇌 손상에 의한 사지마비 환자를 대상으로 발병 초기부터 6개월간의 운동 기능 회복 수준을 추적 평가하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 Table 1 과 같다.

2. 운동기능 회복 수준 평가 결과

소뇌 손상에 의한 사지마비 환자의 근력 회복 양상은 MI 점수를 통해 추적 평가하였다 (Table 2). 평가 결과 발병 시 상·하지의 MI 점수는 26.67~28.58점을 보였고, 6개월 이후 72.67~74.73점으로 회복되었다. 발병 시 상·하지의 MI 점수와 비교하여 1개월, 2개월, 6개월 이후 MI점수는 모두 유의한 수준의 회복을 보였다 ($p<0.05$)(Fig. 1). 반면, 1개월, 2개월 6개월 사이에 MI 점수는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$). 손의 기능적 회복에 대한 평가는 MBC 등급을 통해 평가하였고, 발병 시 평균 오른손 2.55와 왼손 2.70였고 6개월 이후 오른손 5.45, 왼손 5.36으로 회복되었다. 양손의 MBC 등급은 발병시와 비교하여 1개월, 2개월, 6개월 이후 모두 유의한 수준의 회복을 보였다 ($p<0.05$). 반면, 1개월, 2개월 6개월 사이에 양손의

Table 2. Motor function evaluation results by recovery period in patients with cerebellar injury Values represent mean±standard deviation and number.

Motor Score	Onset	1 month	2 months	6 months	Post hoc	
Rt	Upper MI	28.58±29.33	67.00±9.41	67.42±8.87	74.36±10.18	Onset<1,2,6M*
	Lower MI	26.67±27.82	65.52±10.35	68.00±8.49	73.64±10.35	Onset<1,2,6M*
Lt	Upper MI	28.58±29.33	66.73±9.85	67.42±8.87	74.73±10.12	Onset<1,2,6M*
	Lower MI	26.67±27.82	65.52±10.14	67.58±9.23	72.67±11.31	Onset<1,2,6M*
Rt	MBC	2.55±1.63	5.27±0.65	4.67±0.58	5.45±0.69	Onset<1,2,6M*
Lt		2.70±1.64	5.00±1.00	5.00±0.82	5.36±0.67	Onset<1,2,6M*
FAC		0.73±1.56	1.27±1.68	2.38±1.41	2.55±1.51	Onset<1,2,6M* 1M<2,6M*
FAC ≥ 3 (n)		1	3	5	6	

MI: motricity index, MBC: modified Brunnstrom classification, FAC: functional ambulation category

* $p<0.05$

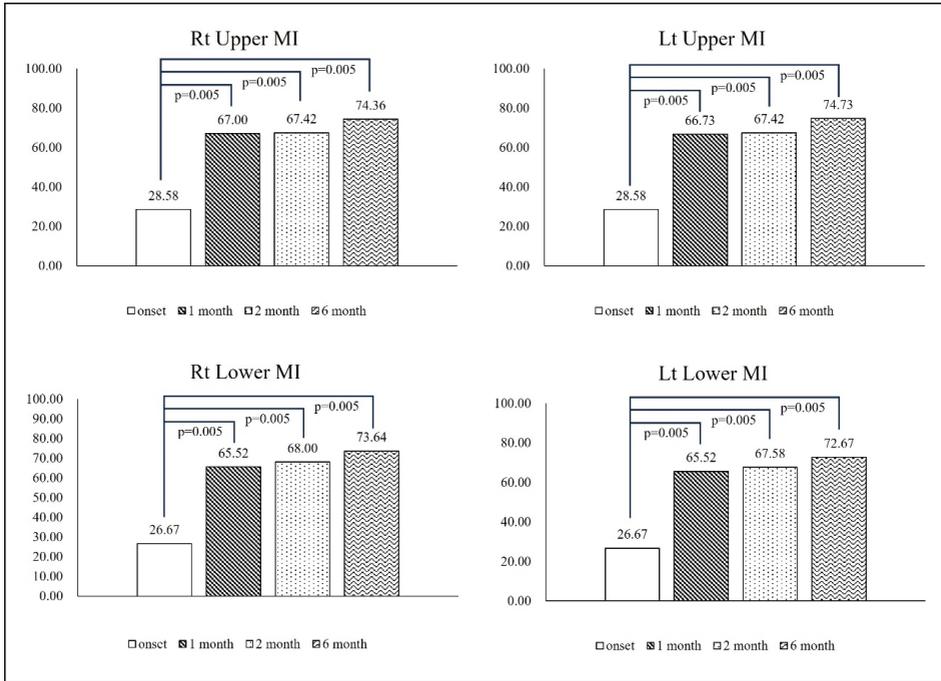


Fig. 1. Comparison of motricity index recovery over 6 months in patients.

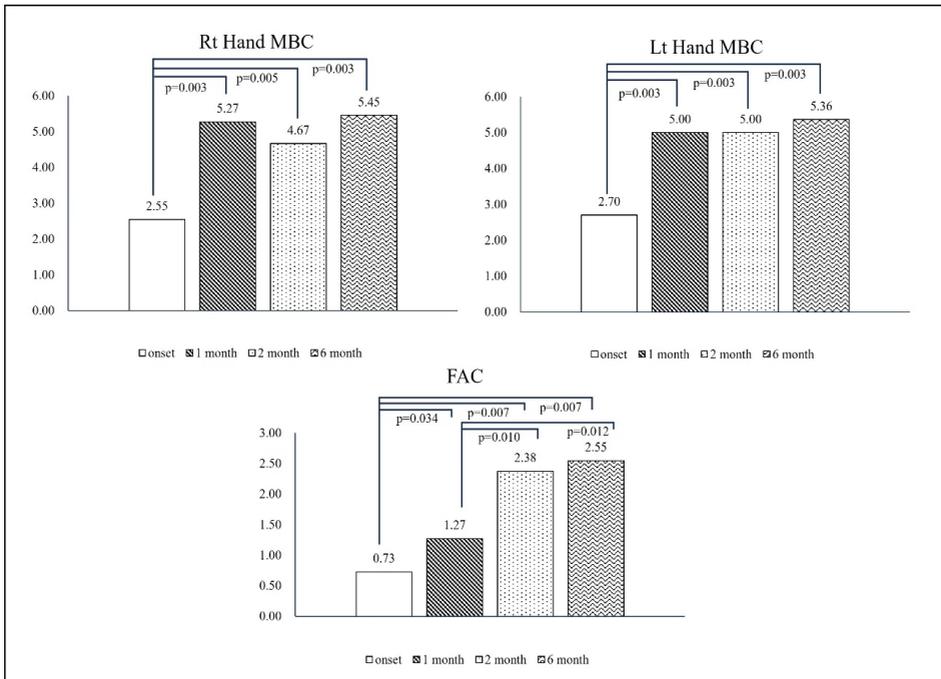


Fig. 2. Comparison of hand function and gait recovery over 6 months in patients.

MBC 점수는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$). 보행 기능의 회복은 FAC 등급을 통해 평가하였고 발병 시 0.73에서 6개월 이후 2.55로 회복되었다. 발병 시와 비교하여 1개월, 2개월, 6개월 이후 모두 유의한 수준의 회복을 보였다 ($p<0.05$). 발병 후 2개월과 6개월 이후 FAC는 1개월과 비교하여 유의한 수준의 회복을 보였으나 ($p<0.05$), 2개월과 6개월 후의 FAC 등급에는 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$)(Fig. 2). 발병 초기 1명의 환자만이 FAC 3점 이상이었고, 1개월 이후에 3명, 2개월 이후에 5명, 6개월 이후에 6명으로 평가되었다.

IV. 고찰

본 연구는 11명의 순수 소뇌 손상에 의한 사지마비 환자를 대상으로 발병 초기부터 6개월 간의 추적 관찰을 통해 근력, 손 기능, 보행 기능 등의 회복 양상에 대하여 평가하고 각 운동 기능들의 회복 특성을 비교 연구하였다. 대부분의 소뇌 손상 환자들은 발병 초기에 심각한 근력저하와 더불어 수의적인 움직임의 조절에 어려움을 보였으며, 특히 심각한 보행 장애를 동반하는 것으로 나타났다. 발병 1개월 이후에는 전반적인 운동 기능의 회복 양상을 보였으며 손의 수의적 조절도 상당한 회복을 보였다. 반면 보행 장애의 회복은 환자별로 상이한 양상을 보였다.

상지와 하지의 근력은 발병 시 매우 심각한 근력 마비 양상을 보였으나 발병 후 1개월 이후에 유의한 수준의 회복을 보였고 6개월 동안 서서히 근력이 회복되는 양상을 보였다. 근력 등급을 100점 기준으로 환산한 MI 점수를 기준으로 발병 초기 26~28점 수준이었던 근력은 6개월 이후 최대 74점 수준으로 회복되었고 적절한 수준의 저항을 이길 수 있을 정도로 근력이 회복되었다. 소뇌 손상에 의한 근력 약화는 급성기 단계에 근육의 저긴장증에서 보이는 흔한 후유증이다 (Pantano et al., 1995). 손의 수의적인 움직임과 관련된 평가에서는 발병 시 약간의 움직임만 관찰될 정도로 마비 증상을 보였으나, 발병 후 1개월 이후에 물잔을

쥐거나 손가락을 다 펼 수 있을 정도로 회복되었다. 발병 후 2개월과 6개월 이후에는 손 기능 회복에 유의한 차이는 없는 것으로 나타났으며, 오른손의 기능은 발병 후 2개월에 오히려 감소하는 결과를 보였다. 손의 수의적인 움직임은 협조 기능을 기반으로 이루어지며, 협조는 골격근과 감각적 피드백의 복합적인 작용을 통해서 이루어진다 (Ebbesen & Brecht, 2017). 인간의 협조 기능은 대뇌겉질을 포함하여 소뇌와 바닥핵을 유기적인 상호작용을 통해서 이루어지며, 그중 소뇌는 움직임의 세밀한 조절에 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (D'Angelo, 2018; Massaquoi, 2012). Konczak 등은 소뇌 뇌졸중 환자를 대상으로 상지의 기능적 회복 양상에 대하여 연구하였다 (Konczak et al., 2010). 16명의 소뇌 뇌졸중 환자의 상지 기능 회복을 추적 관찰한 결과 발병 후 2주 후에 가장 큰 회복 양상을 보였으며, 2주 후와 3개월 이후에는 보다 느린 회복 양상을 보였다 (Konczak et al., 2010). 이는 본 연구의 결과와 일치하는 것으로 판단된다. 따라서 급성기 단계에 보인 손 기능 마비는 소뇌의 기능적 저하에 의한 것으로 볼 수 있으며, 발병 후 1개월에 최대 회복 양상을 보이는 것으로 사료된다. 또한, 발병 후 2개월에 보인 오른손의 기능적 저하는 퇴원 및 입원을 반복하는 과정에서 보이는 기능적 회복의 변동성으로 볼 수 있다 (Vahidy et al., 2014)

보행 기능과 관련된 평가에서 발병 후 보행이 불가능한 수준으로 평가되었고, 1개월 이후에 최대한의 물리적 보조가 있다면 보행이 가능한 수준으로 회복되었다. 2개월 이후에는 중등도의 물리적 보조에 의한 보행이 가능했고, 6개월 이후에도 비슷한 수준의 보행 수준을 유지하였다. 또한 발병 초기 9% 환자만이 독립 보행이 가능했고, 1개월 이후에 27%, 2개월 이후에 45%, 6개월 이후에 54%의 환자가 독립 보행이 가능했다. 소뇌 혹은 소뇌와 관련된 신경로의 손상 이후 보행 기능의 실조 증상은 가장 흔한 유형으로 알려져 있다 (Manto, 2018; Manto et al., 2020). 소뇌 손상 환자의 보행 특징은 보행 중 두 발의 너비가 증가하고, 발목관절의 가동성이 감소되고, 보행 변동성이 증가되는 특

징을 보인다 (Bodranghien et al., 2016; Cabaraux et al., 2020; Ilg et al., 2007). 이러한 보행 장애의 원인은 사지와 관절 및 분절 간의 협조기능 감소로 발생하는 것으로 알려져 있으며, 결과적으로 보행 중 하지 근육의 시간공적 작용의 비정상적 반응으로 인해 발생할 수 있다. Bultmann 등의 연구에서 위소뇌동맥(superior cerebellar artery) 경색에 의한 소뇌 뇌졸중 환자를 대상으로 보행 기능의 회복 양상을 관찰한 결과 급성기 보행 장애 양상이 뚜렷하게 나타났다 (Bultmann et al., 2014). 또한 뒤아래소뇌동맥 (posterior inferior cerebellar artery) 경색에 의한 소뇌 뇌졸중 환자와의 보행 수준 비교에서도 보행 장애가 더욱 심한 것으로 나타났으며, 3개월 동안 보행 기능의 점진적인 회복이 일어났으나 보행 속도 등에서 경미한 장애가 남는 것으로 보고하였다 (Bultmann et al., 2014). 이는 본 연구 결과에서 발병 초기 심각한 보행 장애 양상과 발병 후 1개월과 2개월에 거친 점진적 보행 기능의 회복 양상과 일치하며, 6개월 이후에 지속되는 보행 장애 양상과 일치하는 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 11명의 소뇌 손상만을 대상으로 하여 연구결과를 일반화할 수 없다. 둘째, 소뇌 손상의 원인이 대부분 뇌졸중이었고, 뇌 종양이나 외상성 뇌손상 환자의 수가 적어 병리적인 특성을 고려하지 못하였다. 셋째, 6개월 간의 짧은 추적 기간을 두고 있어 만성 단계에서의 회복 양상을 뚜렷하게 제시하지 못하였다. 향후 연구에서는 다양한 원인에 의한 소뇌 손상과 많은 수의 대상자를 모집하고 보다 장기적인 추적 관찰을 통해 임상적인 특성을 제시할 필요가 있다고 생각된다.

V. 결론

결론적으로, 다양한 원인에 의한 사지마비형 소뇌 손상 환자들은 발병 초기 심각한 근력저하와 운동기능 저하 양상을 보이는 것으로 나타났다. 근력 및 수의적 근조절과 관련된 기능은 발병 후 1개월 이후에 상당

한 회복이 이루어지는 것으로 나타났고, 이후 6개월 동안 점진적인 회복을 보이는 것으로 나타났다. 반면 균형과 밀접한 관련이 있는 보행 기능은 발병 초기부터 6개월 이후까지 상대적으로 더딘 회복 양상을 보였고 발병 후 2개월에서 6개월까지의 회복 양상은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 이러한 결과는 소뇌 손상 환자들이 보이는 보행 장애가 근력 및 수의근조절 기능의 저하에 의한 것이 아닌 것으로 사료되며, 실조 및 안떨과 관련된 균형 기능 저하와 관련이 있을 것으로 판단된다.

References

- Bodranghien, F, Bastian, A, Casali, C, et al. Consensus Paper: Revisiting the Symptoms and Signs of Cerebellar Syndrome. *Cerebellum*. 2016;15(3):369-391.
- Bultmann, U, Pierscianek, D, Gizewski, ER, et al. Functional recovery and rehabilitation of postural impairment and gait ataxia in patients with acute cerebellar stroke. *Gait Posture*. 2014;39(1):563-569.
- Cabaraux, P, Gandini, J, Kakei, S, et al. Dysmetria and Errors in Predictions: The Role of Internal Forward Model. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(18):doi:10.3390/ijms21186900
- Cullen, KE. Internal models of self-motion: neural computations by the vestibular cerebellum. *Trends Neuroscience*. 2023;46(11):986-1002.
- D'Angelo, E. Physiology of the cerebellum. *Handbook of Clinical Neurology*. 2018;154(85-108).
- Demir, MK, Yapicier, O, Ozdamarlar, U, et al. Malignant Progression of a Superior Cerebellar Tentorium Solitary Fibrous Tumor in the Pineal Region with Intracranial Metastases: A Case Report and a Literature Review. *Current Medical Imaging*. 2023;19(11):1351-1359.
- Ebbesen, CL, Brecht, M. Motor cortex - to act or not to act?

- Nature Reviews Neuroscience*. 2017;18(11):694-705.
- Einstein, EH, Corlier, J, Matthews, C, et al. Bilateral Cerebellar Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Chronic Ataxia After Hemorrhagic Stroke: a Case Report. *Cerebellum*. 2023;Online ahead of print.
- Fayazi, M, Dehkordi, SN, Dadgoo, M, et al. Test-retest reliability of Motricity Index strength assessments for lower extremity in post stroke hemiparesis. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. 2012;26(1):27-30.
- Halverson, HE, Kim, J, Freeman, JH. Dynamic changes in local activity and network interactions among the anterior cingulate, amygdala and cerebellum during associative learning. *Journal of Neuroscience*. 2023; JN-RM-0731-23
- Heck, DH, Fox, MB, Correia Chapman, B, et al. Cerebellar control of thalamocortical circuits for cognitive function: A review of pathways and a proposed mechanism. *Frontiers Systems Neuroscience*. 2023;17: eCollection
- Huang, CY, Lin, GH, Huang, YJ, et al. Improving the utility of the Brunnstrom recovery stages in patients with stroke: Validation and quantification. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(31):e4508.
- Ilg, W, Golla, H, Thier, P, et al. Specific influences of cerebellar dysfunctions on gait. *Brain*. 2007;130(Pt 3):786-798.
- Jang, SH, Kwon, HG. Cerebellar Peduncle Injuries in Patients with Mild Traumatic Brain Injury. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2023;22(5):121.
- Karaci, R, Ozturk, S, Ozbakir, S, et al. Evaluation of language functions in acute cerebellar vascular diseases. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Disease*. 2008;17(5): 251-256.
- Kelly, PJ, Stein, J, Shafiqat, S, et al. Functional recovery after rehabilitation for cerebellar stroke. *Stroke*. 2001;32(2): 530-534.
- Manto, M. Cerebellar motor syndrome from children to the elderly. *Handbook of Clinical Neurology*. 2018;154: 151-166.
- Manto, M, Gandini, J, Feil, K, et al. Cerebellar ataxias: an update. *Current Opinion Neurology*. 2020;33(1):150-160.
- Manto, M, Mitoma, H. Cerebellum: From the identification of the cerebellar motor syndrome to the internal models. *Handbook of Clinical Neurology*. 2023; 196:159-174.
- Massaquoi, SG. Physiology of clinical dysfunction of the cerebellum. *Handbook of Clinical Neurology*. 2012;103:37-62.
- Matsugi, A, Ohtsuka, H, Bando, K, et al. Effects of non-invasive brain stimulation for degenerative cerebellar ataxia: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2023;13(6):e073526.
- Mehrholz, J, Wagner, K, Rutte, K, et al. Predictive validity and responsiveness of the functional ambulation category in hemiparetic patients after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2007; 88(10):1314-1319.
- Miller, WL, Maffei, V, Bosco, G, et al. Vestibular nuclei and cerebellum put visual gravitational motion in context. *Journal of Neurophysiology*. 2008;99(4): 1969-1982.
- Montgomery, JC. Roles for cerebellum and subsumption architecture in central pattern generation. *Journal of Comparative Physiology. A Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*. 2023;Online ahead of print.
- Naeije, G, Rovai, A, Destrebecq, V, et al. Anodal Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation Reduces Motor and Cognitive Symptoms in Friedreich's Ataxia: A Randomized, Sham-Controlled Trial. *Movement Disorders*. 2023;38(8):1443-1450.
- Ogawa, K, Suzuki, Y, Kamei, S, et al. [A case of cerebellar infarction with pure dysarthria.] *Rinsho Shinkeigaku*. 2004;44(2):111-3.

- Pantano, P, Formisano, R, Ricci, M, et al. Prolonged muscular flaccidity after stroke. Morphological and functional brain alterations. *Brain*. 1995;118(Pt 5):1329-1338.
- Park, CS, An, SH. Reliability and validity of the modified functional ambulation category scale in patients with hemiparalysis. *Journal of Physical Therapy Science*. 2016;28(8):2264-2267.
- Pop, IV, Espinosa, F, Blevins, CJ, et al. Structure of Long-Range Direct and Indirect Spinocerebellar Pathways as Well as Local Spinal Circuits Mediating Proprioception. *Journal of Neuroscienc*. 2022;42(4):581-600.
- Potts, MB, Adwanikar, H, & Noble-Haeusslein, LJ. Models of traumatic cerebellar injury. *Cerebellum*. 2009;8(3): 211-221.
- Sandere, T, Sprenger, A, Neumann, G, et al. Vergence deficits in patients with cerebellar lesions. *Brain*. 2009; 132(Pt1):103-115.e
- Sarikaya, H, Steinlin, M. Cerebellar stroke in adults and children. *Handb Clin Neurol*. 2018;155:301-312.
- Wanni Arachchige, PR, Karunaratna, S, Meidian, AC, et al. Structural connectivity changes in the motor execution network after stroke rehabilitation. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2021;39(4):237-245.
- Yoo, JS, Choi, BY, Chang, CH, et al. Characteristics of injury of the corticospinal tract and corticoreticular pathway in hemiparetic patients with putaminal hemorrhage. *BMC Neurology*. 2014;14:121.