

Original Article

Open Access

편마비 환자의 마비측으로의 다양한 중심이동에 따른 하지 근육 활성화도 특성에 관한 연구

김경환[†] · 박성훈 · 박노욱 · 이혜진
보니파시오병원 재활센터

A Study on the Characteristics of Lower Extremity Muscle Activation according to the Variable Weight Shift on the Affected Side in Hemiplegic Patients

Kyung-Hwan Kim[†] · Sung-Hun Park · Noh-Wook Pak · Hye-Jin Lee
Bonifacio Hospital Rehabilitation Center

Received: January 29, 2019 / Revised: February 15, 2019 / Accepted: February 18, 2019

© 2019 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: This study aimed to investigate lower extremity muscle activation to the variable weight shift on the affected side of patients with hemiplegia.

Methods: Eighteen patients with chronic hemiplegia volunteered to participate in this study. All participants performed three types of weight shift (sideways, forward, and backward) in limits of stability on the affected side. Muscle activation in a paralyzed leg was measured with electromyography on the gluteus medius, tensor fasciae latae, rectus femoris, and biceps femoris; furthermore, the attached area was recommended by SENIAM projects. Each weight shift was performed three times, and then the mean value of the three measurements was analyzed. The data were analyzed by measuring the symmetrically standing position with the reference voluntary contraction (RVC) and was standardized with the percentage of RVC method.

Results: No significant difference in lower extremity muscle activation occurred according to the three types of variable weight shift. However, significant differences in lower extremity muscle activation did occur with each weight shift position. In addition, activation increased at the rectus femoris and decreased at the gluteus medius and tensor fasciae latae.

Conclusion: Hip abductor muscle strength training and variable weight shifts on the affected side must increase to improve patients' balance and limits of stability.

Key Words: Hemiplegia, Weight shift, EMG, Lower extremity

[†]Corresponding Author : Kyung-Hwan Kim (ejptkh@hanmail.net)

I. 서론

뇌혈관 질환으로 인한 뇌졸중은 뇌 손상의 위치와 정도에 따라 다양한 장애를 유발하며, 일반적인 증상으로 좌우측의 비대칭적인 자세와 불균형으로 인한 중심 이동 능력의 감소 그리고 자세조절을 위한 평형 및 정위 반응의 결여가 나타난다(Ikai et al., 2003). 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 비정상적인 자세 조절은 마비측으로의 중심이동 능력이 저하되고 이로 인해 일상생활 활동에 많은 제한점과 어려움을 가진다(Kim et al., 2009). 이러한 비정상적인 근 긴장과 운동 전략 및 균형 상실 등은 움직임의 조절에 어려운 문제들을 나타나게 한다(Shumway-Cook & Woollacott, 2016). 이로 인해 보행과 앉기, 서기와 같은 일상생활의 움직임을 수행하는데 있어 비대칭적인 자세와 마비측 하지보다 비마비측 하지로 보다 많은 중심이동과 체중을 지지 하게 된다고 하였다(Kusoffsky et al., 2001; Turnbull et al., 1996). 다른 연구에서도 뇌졸중 환자의 79~87%에서 체중 지지의 불균형이 나타나며, 마비측으로의 체중지지가 몸무게의 25~43% 이하로만 나타난다고 하였으며(Laufer et al., 2000; Sackley, 1990), 체중 지지의 불균형으로 인하여 선 자세에서의 균형 조절을 어렵게 만든다고 하였다(Lee et al., 2008; Lee et al., 2009). 또한 뇌졸중 환자들은 선 자세에서 정상인보다 매우 큰 범위의 자세 흔들림과 비마비측 하지로 증가된 체중 지지의 경향을 나타내고, 체중 지지 자세에서 균형을 잃지 않고 신체 중심을 이동할 수 있는 안정성 한계(limits of stability)의 범위가 감소되어 낙상과 같은 위험요소에 노출되고 있다(Tyson & DeSouza, 2004).

몸을 굽히거나 회전시키고, 팔을 앞으로 뻗는 동작과 같은 활동들은 발의 안정성 한계 내에서 무게중심을 유지하여야 하며, 만일 무게중심이 안정성 한계 밖으로 이동되고, 적절한 운동 반응들이 나타나지 않게 되면 균형 유지를 위한 발의 이동이 있거나 낙상을 초래하게 된다고 하였다(King et al., 1994). 그러므로 뇌졸중 환자들은 좁아진 지지 면에서 안정성 한계의

감소를 일으킬 수 있기 때문에 균형능력을 증진시키고, 안정성 한계의 범위를 증진시켜야 한다(Geiger et al., 2001; Tyson et al., 2006).

McCollum과 Leen (1989)은 안정성 한계에 영향을 줄 수 있는 발 길이, 키(height), 입각 너비 같은 인자들을 연구하였다. 또한 Kwon과 Jeong (2000)은 뇌졸중으로 인한 편마비 환자를 대상으로 체중 분배 비율과 안정성 한계의 범위를 측정하여 균형 증대 훈련의 효과를 평가하기 위한 기초자료를 제공하는 연구에서 비대칭적인 기립 균형으로 인하여 안정성 한계의 변화를 초래하고, 비정상적인 안정성을 형성함으로써 낙상과 같은 위험 요소에 항상 노출되어 있다고 하였다. Park 등(2001)은 편마비 환자를 대상으로 움직이는 발의 위치를 전방과 전 외측으로의 이동과 지지하는 발에 따라 정적 기립 균형과 동적 기립 균형 능력의 차이가 있음을 연구하였다. 이처럼 균형과 체중 지지 그리고 안정성 한계에 영향을 주는 요인 등에 관한 연구는 많이 진행되고 있으나, 편마비 환자에서 안정성 한계 지점에서의 중심이동과 방향 변화에 따른 근 활성도의 변화에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 뇌졸중으로 인한 편마비 환자를 대상으로 일어난 자세에서 안정성 한계가 유지될 수 있는 범위 내에서 마비측으로의 중심이동과 그 지점에서 전·후 방향으로의 중심이동이 마비측 하지에 나타나는 근 활성도의 특성을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 대전광역시 대덕구 소재 B 병원에 재원 중인 뇌졸중으로 인한 만성 편마비 환자 18명을 대상으로 하였으며, 연구대상자의 선정 기준은 다음과 같았다. 본 연구의 목적을 이해하고 참여에 동의한 자, 뇌졸중 유병 기간이 6개월 이상인 자, 한국형 간이

정신상태 검사(mini-mental status examination -Korean version, MMSE-K)에서 24점 이상인 자, 시각적 지시에 이상이 없는 자, 보조 도구를 사용하지 않고 독립적으로 서 있는 자세가 가능한 자, 근육 뼈대계통 및 심폐 호흡계통의 질환이 없는 자로 하였다.

2. 측정 방법 및 도구

1) 근육 활성화 측정

본 연구에서 마비측 하지의 근육 활성도를 측정하기 위하여 표면 근전도(QEMG-4 system, LXM 3204, Laxtha, Korea)를 사용하였으며, 표면 전극은 지름 11mm의 Ag-AgCl 재질의 일회용 전극(Electrode 223, 3M, USA)을 사용하였다. 전극을 부착하기 전에 피부 표면 저항을 줄이기 위해서 부착 부위의 체모 제거를 실시하고, 사포로 각질을 제거하였으며, 알코올 솜을 이용하여 피부 표면을 깨끗이 닦아낸 후 마비측 하지의 중간볼기근(gluteus medius, GM), 넙다리근막긴장근(tensor faciae latae, TFL), 넙다리곧은근(rectus femoris, RF), 넙다리두갈래근(biceps femoris, BF)에 부착하였다. 각 전극의 부착부위는 Seniam project (2006)에서 제시된 방법을 이용하여 환자 신체 부위의 특성에 맞게 부착하였으며(Table 1), 접지 전극(ground)은 비마비측 상지의 노뼈 붓돌기(radius styloid process)에 부착하였다. 근전도 측정을 위한 환경 설정은 대역 통과(band pass) 필터는 20~450Hz, 노치(notch) 필터는 60Hz, 표본 추출률(sampling rate) 1024Hz로 설정하였다.

측정에서 수집된 근 활성화 자료는 Telescan 3.11(Laxtha, Korea) 근전도 소프트웨어를 사용하여 제곱 평균 제곱근 법(root mean square, RMS)으로 기록하였으며, 각 방향으로의 중심이동에 따라 측정된 4가지 근육의 활성화도는 대칭적으로 서 있는 자세를 실효 평균값 특정 동작 기준 수축(reference voluntary contraction; RVC) 값으로 측정하여 %RVC 방법으로 표준화하여 분석하였다(Criswell, 2002).

2) RVC의 측정

대상자는 전방 1m 지점의 전신 거울에 중앙 기준선을 표시하고, 두 발의 위치를 4인치(inch) 거리로 설정한 뒤 복장뼈의 칼 돌기(xiphoid process) 부분에 표식(land mark)을 부착하고, 비대칭적으로 서 있는 자세를 거울에 표시된 중앙 기준선으로 이동하여 대상자의 코와 칼 돌기의 표식 부분을 일치시켜 대칭적으로 서 있는 자세를 취하도록 하였다.

3) 안정성 한계의 측정

RVC 측정 자세와 같이 서 있는 자세의 중앙 기준선에서 칼돌기 표식 위치의 수평선을 표시한 후 마비측으로 최대한 중심을 이동하여 자세를 유지할 수 있는 수 있는 지점까지를 중심이동의 안정성 한계 지점 기준선으로 설정하였다(Fig. 1a).

Table 1. Attached position of surface electrode

Channel	Muscles	Attached position
1	Gluteus medius	Placed at 50% on the line from the crista iliaca to the trochanter.
2	Tensor facia lata	On the line from the anterior spina iliaca superior to the lateral femoral condyle in the proximal 1/6.
3	Rectus femoris	Placed at 50% on the line from the anterior spina iliaca superior to the superior part of the patella.
4	Biceps femoris	Placed at 50% on the line between the ischial tuberosity and the lateral epicondyle of the tibia.



Fig. 1. Posture of weight shifting. a: limits of stability, b: weight shift to sideways, c: weight shift to forward, d: weight shift to backward.

3. 실험 절차

1) 가쪽으로의 중심이동

측정된 마비측으로의 안정성 한계 지점 기준선까지 가쪽으로 중심이동 후 제시된 기준선에 코와 칼돌기 표시 위치를 최대한 정렬시키고 가능한 범위 내에서 자세 유지를 지시하였다. 또한 중심이동 후 비마비측 하지의 무릎을 구부려 발끝으로 서 있도록 지시하여 마비측으로의 충분한 체중 지지를 유도하였다(Fig. 1b).

2) 앞쪽으로의 중심이동

가쪽으로의 중심이동과 같은 방법을 적용하여 안정성 한계 지점으로 이동 후 비마비측 하지를 최대한 마비측 앞쪽으로 안정성이 유지될 수 있는 범위 내에서 교차 이동시켰다. 또한 중심이동 후 비마비측 하지의 무릎을 구부려 발끝으로 서 있도록 지시하여 마비측으로의 충분한 체중 지지를 유도하였다(Fig. 1c).

3) 뒤쪽으로의 중심이동

가쪽으로의 중심이동과 같은 방법을 적용하여 안

정성 한계 지점으로 이동 후 비마비측 하지를 최대한 마비측 뒤쪽으로 안정성이 유지될 수 있는 범위 내에서 교차 이동시켰다. 또한 중심이동 후 비마비측 하지의 무릎을 구부려 발끝으로 서 있도록 지시하여 마비측으로의 충분한 체중 지지를 유도하였다(Fig. 1d).

모든 실험과정에서 환자의 안전사고를 예방하기 위해 1명의 치료사가 대상자 곁에서 신체적 접촉 없이 대기 및 보조하였으며, 환자의 특성상 두 팔의 움직임은 가능한 범위 내에서 자유롭게 허용하였고, 기립 균형을 유지하기 위한 발목 관절과 엉덩 관절 등의 운동 전략은 통제하지 않았다. 또한 측정 도중 균형을 잃고 발이 지면에서 떨어지거나 옮기는 경우, 손을 사용하여 보조자에게 도움을 받게 되는 경우에는 측정 자료에서 제외하였다(Park et al., 2001). 모든 대상자의 중심이동 순서는 무작위로 선정하였으며, 각 5초간 3회씩, 측정 시간의 시작과 마지막의 각 1초를 제외한 3초간의 평균값을 사용하였으며, 각 측정 간 1분의 휴식 시간을 주었다.

4. 자료 분석

수집된 자료의 통계는 SPSS version 22.0을 이용하여 분석하였다. 중심이동에 따른 근 활성화도 차이와 이동된 자세 안에서의 특성을 알아보기 위하여

Repeated One-way ANOVA를 사용하였으며, 주 효과 비교에 대한 사후 분석은 LSD (least significant difference test)를 사용하였다. 연구대상자의 일반적인 특성은 기술 통계(descriptive statistics)를 이용하였다. 통계적 유의 수준은 0.05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

본 연구의 대상자는 남자 13명, 여자 5명이고 평균 연령은 65.39세, 신장 163.69cm, 몸무게 63.28kg, 유병 기간 76.67개월, MMSE-K 24.77점이었다(Table 2).

2. 중심이동에 따른 근 활성화도 차이

각 방향으로의 중심이동에 따른 근 활성화도의 차이를 알아본 결과, 4개의 근육 모두에서 통계적 유의한 변화가 없었다($p > 0.05$)(Table. 3).

Table 2. General characteristics of subjects

	Participants (N=18)
Gender	
Male	13
Female	5
Age (yr)	65.39±9.23 [†]
Height (cm)	163.69±8.95
Weight (kg)	63.28±9.89
Onset (month)	76.67±46.71
MMSE-K	24.77 ± 3.56

Mean±SD[†]

3. 중심이동 자세 안에서의 근 활성화도 차이

중심이동에 따른 각 자세 안에서의 근육 활성화도 차이의 결과는 모든 자세의 4개 근육에서 통계적 유의한 변화가 나타났으며($p < 0.05$)(Table. 4), 공통적으로 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 넙다리근막긴장근, 중간볼기근 순으로 근 활성화도가 나타났다. 사후 분석 결과 넙다리곧은근은 다른 근육들에 비해 가쪽과 앞

Table 3. Difference of muscle fiber activation according to weight shift (%RVC)

Subdivision	Position			F	P
	Side	Forward	Backward		
Gluteus medius	147.84±53.16 [†]	143.48±57.43	144.02±53.75	0.60	0.55
Tensor fascia lata	151.69±73.38	157.00±77.52	151.49±73.86	0.40	0.67
Rectus femoris	220.98±98.06	228.87±113.57	214.38±115.11	1.10	0.34
Biceps femoris	152.09±65.44	160.68±80.08	178.49±78.35	2.93	0.07

Unit: %RVC, Mean±SD[†]

Table 4. Difference of muscle fiber activation within weight shift (%RVC)

Position	Muscle				F	P
	GM	TFL	RF	BF		
Side	147.84±53.16 [†]	151.69±73.38	220.98±98.06	152.09±65.44	3.46	0.04*
Forward	143.48±57.43	157.00±77.52	228.87±113.57	160.68±80.08	8.00	0.00*
Backward	144.02±53.75	151.49±73.86	214.38±115.11	178.49±78.35	4.44	0.01*

Unit: %RVC, Mean±SD[†], $p < 0.05^*$

GM: gluteus medius, TFL: tensor fascia lata, RF: rectus femoris, BF: biceps femoris

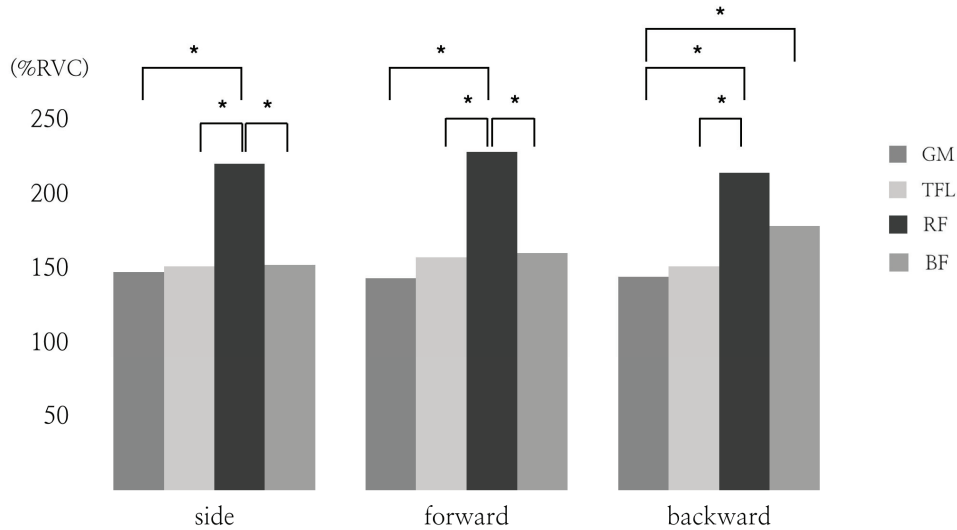


Fig. 2. Comparison of muscle fiber activation within weight shift (%RVC).

쪽으로 이동된 자세에서 유의한 차이가 나타났으며, 뒤쪽으로 이동된 자세에서는 넙다리두갈래근과의 비교에서만 유의한 차이가 없었다(Table. 4)(Fig. 2).

IV. 고찰

정상적인 자세 조절은 다양하게 변화하는 과제와 환경에 적응하여 반응할 수 있는 유연한 능력을 요구하며, 이러한 조절은 복합적인 움직임 전략의 사용과 주어진 과제와 환경에 알맞은 전략을 선택하는 능력이 필요하다. 균형 능력과 자세 조절 기능의 향상은 독립적인 일반 보행에 있어 중요한 요인 중 하나이며 (Balasubramanian et al., 2007), 자세 조절 기능에 문제가 있는 대상자들의 서기 균형 능력의 안정성 증진과 보행능력의 향상을 위한 적절한 체중 부하 훈련은 매우 중요한 접근법이라고 하였다(Huxham et al., 2001). 뇌졸중으로 인한 편마비 환자는 정적 기립 자세 동안의 흔들림과 비마비측 하지로의 비대칭적인 체중 지지 그리고 체중 부하가 된 자세에서 균형 능력을 잃지 않고 안전하게 움직일 수 있는 능력의 감소가 나타난다고 하였다(Nichols, 1997). 중력이 부하되고 있는 환

경에서 안정적인 균형을 유지하기 위한 능력의 향상은 재활치료의 중요한 목표 중 하나이며, 일반적인 움직임에서 안정성을 유지할 수 있는 운동 조절 시스템이 손상되면 낙상과 같은 상해가 나타나게 된다 (Janet & Shepherd, 2010). 이처럼 뇌졸중 환자의 독립적인 일상생활활동과 보행능력은 재활 치료 중요한 목표가 되며, 안전한 보행 능력의 향상을 위해서는 서 있는 자세에서의 균형과 자세 조절 훈련이 우선되어야 한다(Patterson et al., 2007).

Kisner (2012)는 정상 성인에서 자세 조절을 위한 전·후방 흔들림 한계는 가장 후방에서 가장 전방 자세까지 약 12°가 되며, 측방 안정성은 두 발 사이의 간격을 4인치로 띄우고 서 있는 자세에서 한쪽 옆에서 다른 쪽 옆으로 16°까지 흔들릴 수 있다고 하였다. 또한 안쪽과 가쪽 동요를 조절하기 위해 사용된 운동 전략은 한쪽 다리에서 다른 쪽 다리로 측방으로의 체중 이동을 포함하며, 엉덩 관절은 체중 이동 전략의 주요 조절점이라고 하였다. 일반적으로 발의 길이보다 작은 면적의 지지면 또는 지지 면의 변화가 다소 큰 경우, 발목 전략(ankle strategy)으로 자세를 유지할 수 없는 경우에도 엉덩 관절을 축으로 자세 조절을 하는 엉덩 전략(hip strategy)이 제어 전략으로 사용된

다(Kim, 2013). 그리고 안정성 한계 가까이에서 질량중심이 있는 상태에서 운동이 수행될 때 또는 빠르고 큰 외적 동요가 있을 때는 엉덩 전력이 사용된다고 하였으며, 전방 신체 흔들림에 대한 반응으로 근육은 전형적으로 몸쪽에서 먼 쪽 순서로 활성화되어 배 근육의 활동 후 넙다리네갈래근의 활동이 뒤따르고, 후방 신체 흔들림은 척추 주위근의 활동 후 뒤넙다리근의 활동이 뒤따른다고 하였다(Kisner, 2012). 또한 효율적인 보행 기능을 위해서는 양 하지의 지지능력이 요구되며, 이러한 기능은 하지의 굽힘근과 펴근들의 협응적인 수축과 한발 지지기 시 측면 근육들의 활성화가 조절되어야 마비측으로 안정적인 체중 부하가 나타나게 되어 좌우의 안정성이 확보되어진다고 하였다(Perry, 1992).

본 연구에서는 체간 근육의 활동을 측정하지는 못했지만 이러한 이론적 근거를 기반으로 앞·뒤쪽으로의 중심이동 시 엉덩 전력에 사용되는 넙다리네갈래근에서 넙다리곧은근과 뒤넙다리근에서의 넙다리두갈래근을 측정하였으며, 모든 실험이 마비측의 가쪽으로 중심이 이동된 상태에서 시행되었기 때문에 하지 벌림근(abductor)으로 작용하는 중간볼기근과 넙다리근막간장근을 측정하였다.

그 결과 마비측으로의 중심이동에 따른 근 활성화도 변화에서는 통계적 유의성이 없었으며, Kwon과 Jeong (2000)의 편마비 환자의 전·후, 좌·우 중심이동에 따른 안정성 한계와 체중분배 비율에 관한 비교연구에서와 유사한 결과가 나타났다. 이는 신경학적 손상이 동반된 환자들은 변화하는 다양한 과제 요구에 움직임을 수정하기 어려운 기능저하와 일반적인 운동 패턴에 적응되어 움직임의 다양성과 순응력의 상실이 나타나게 되어 자세 조절 및 균형 능력의 문제로 인한 어려움을 겪게 되는(Shumway-Cook & Woollacott, 1995) 결과일 것이라 사료된다. 이러한 자세 조절은 운동과 감각 능력의 복합적인 결과이며(Laufer et al., 2003), 안정성이 감소되고 체중 이동이 어려워지면 보행의 안정성도 감소되어 보상 전략이 발생하게 된다고 하였다(Sackley & Lincoln, 1997).

한편, 중심이 이동된 모든 자세 안에서의 근 활성화도 차이는 통계적으로 유의성이 나타났다. 이는 Kirby 등(1987)과 Lee 등(1988)의 연구에서 발의 위치가 기립 균형에 영향을 준다는 연구와 Park 등(2001)의 연구에서 편마비 환자의 기립 자세에서 움직이는 발이 놓여지는 위치에 따른 균형 능력은 지지하는 발이 마비측이었을 때와 비마비측이었을 때 모두 유의한 변화가 있었다는 결과를 지지한다고 생각된다. 또한 넙다리곧은근에서 가장 높은 근 활성화도가 나타난 결과는 보행 전 앉고, 서기와 같은 자세에서 마비측 지지 능력 증진을 위한 치료 중재의 적응성 변화와 자세 유지를 위한 보상작용의 결과라 추측되며, 벌림근에서 가장 낮은 근 활성화도가 나타난 결과는 벌림근들이 측면으로의 중심이동과 한 발 서기 시에 중요한 역할을 함에도, 기능의 약화를 간접적으로 보여주는 결과일 것이라 사료된다. 하지만 본 연구에서는 중심이동과 이동된 자세 안에서의 근 활성화도 차이에 대한 상관관계를 제시하지 못하였다.

본 연구에서 적용된 중심이동과 발의 위치는 일반적인 보행의 조건과 일치하지는 않지만 보행 진행 방향의 특성에서 가쪽 이동(side way)과 전·후방 다리 교차하기(braiding)와 같은 기능적인 움직임의 요소와 유사한 형태일 것이다. 또한 이러한 움직임은 고유수용성 신경근 축집법에서 보행 능력 증진 위한 엉덩 관절의 벌림근들과 하지 측부 근육들을 강화시키는 중재 방법의 하나로써, 뇌졸중 환자의 중심이동과 균형능력 증진을 위한 재활 프로그램에 있어 임상적 자료 제시가 될 것이라 사료된다.

V. 결론

본 연구는 뇌졸중으로 인한 만성 편마비 환자에서 마비측 안정성 한계 지점에서 다양한 방향으로의 중심이동이 하지 근육 활성화도에 나타나는 특성을 알아보고자 하였다. 연구 결과 중심이동에 따른 근 활성화도 변화는 통계적 유의성이 없었으며, 각 방향으로 이동

된 자세 안에서의 근 활성화도 변화는 통계적 유의성이 있었으나 상대적으로 모든 자세에서 벌립근들의 낮은 근 활성화도가 나타났다. 하지만 본 연구에서는 대상자의 수가 적고, 하지의 4개 근육에서만 측정된 부분과 불안한 자세 동요를 통제하지 못한 제한점 등으로 임상적인 객관화에는 다소 어려운 점이 있다. 추후 연구에서는 안정성 한계에 기여하는 다양한 근육 활성화도의 측정과 보행에서 균형 및 중심이동 능력 증진을 위한 벌립근들의 근력 강화 훈련 등의 연구가 진행되어야 할 것이라 생각된다.

References

- Balsubramanian CK, Bowden MG, Neptune RR, et al. Relationship between step length asymmetry and walking performance in subjects with chronic hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2007;88(1):43-49.
- Criswell E, Cram's introduction to surface electromyography, 2nd ed. Boston. Jones and Batlett Publishers. 2002.
- Geiger RA, Allen JB, O'Keefe J, et al. Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy interventions with and without biofeedback/forceplate training. *Physical Therapy*. 2001;81(4):995-1005.
- Huxham FE, Goldie PA, Patla AE. Theoretical considerations in balance assessment. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2001;47(2):89-100.
- Ikai T, Kamikubo T, Takehara I, et al. Dynamic postural control in patients with hemiparesis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2003;82(6):463-469.
- Carr JH, Shepherd RB. Neurological rehabilitation optimizing motor performance. London. Elsevier Health Sciences. 2010.
- Kim EJ, Hwang BY, Kim JH. The effect of core strength exercises on balance and walking in patient with stroke. *The Journal Korean Society of Physical Therapy*. 2009;21(4):17-22.
- Kim SJ. Motor learning and control: a revised edition. Seoul. Daehanmedia. 2013.
- King MB, Judge JO, Wolfson L. Functional base of support decreases with age. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*. 1994;49(6):258-263.
- Kirby RL, Price NA, Macleod DA. The influence of foot position on standing balance. *Journal of Biomechanics*. 1987;20(4):423-427.
- Kisner C, Colby LA. Therapeutic exercise: foundations and techniques, 6th ed. Philadelphia. FA Davis. 2012.
- Kusoffsky A, Apel I, Hirschfeld H. Reaching-lifting-placing task during standing after stroke: coordination among ground forces, ankle muscle activity, and hand movement. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2001;82(5):650-60.
- Kwon HC, Jeong DH. A study of influence of asymmetrical weight-bearing on the LOS of independent ambulatory hemiparetic patients on standing. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2000;7(2):1-19.
- Laufer Y, Dickstein R, Resnik S, et al. Weight-bearing shifts of hemiparetic and healthy adults upon stepping on stairs of various heights. *Clinical Rehabilitation*. 2000;14(2):125-9.
- Laufer Y, Sivan D, Schwarzmann R, et al. Standing balance and functional recovery of patients with right and left hemiparesis in the early stages of rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2003;17(4):207-213.
- Lee SW, Shin WS, In TS, et al. Immediate effects of load stimulation on static balance and muscle activities in chronic stroke patients. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2009;21(1):19-26.
- Lee SY, Lee MH, Park MC, et al. The effects the type of canes handle affects in recovering-balance of

- hemiplegic patients. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2008;20(4):7-14.
- Lee WA, Denning L, Sahgal V. Quantitative and clinical measure of static standing balance in hemiparetic and normal subject. *Physical Therapy*. 1988;68(6):970-976.
- McCollum G, Leen T. The form and exportation of mechanical stability limits in erect stance. *Journal of Motor Behavior*. 1989;21(3):225-244.
- Nichols DS. Balance retraining after stroke using force platform biofeedback. *Physical Therapy*. 1997;77(5):553-558.
- Park JS, Choi HS, Kim TH, et al. Effects of the foot position on standing balance in patients with hemiplegia. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2001;8(2):73-85.
- Patterson SL, Forrester LW, Rodgers MM, et al. Determinants of walking function after stroke: differences by deficit severity. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2007;88(1):115-119.
- Perry J. Gait analysis. Normal and pathological function. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 1992;12(6):815.
- Sackley CM. The relationships between weight-bearing asymmetry after stroke, motor function and activities of daily living. *Physiotherapy Theory Practice*. 1990;6(4):179-85.
- Sackley CM, Lincoln NB. Single blind randomized controlled trial of visual feedback after stroke: effects on stance symmetry and function. *Disability and Rehabilitation*. 1997;19(12):536-546.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: theory and practical applications. Baltimore. Williams & Wilkins. 1995.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice, 5th ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 2016.
- Turnbull GI, Charteris J, Wall JC. Deficiencies in standing weight shifts by ambulant hemiplegic subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1996;77(4):356-62.
- Tyson SF, DeSouza LH. Reliability and validity of functional balance tests post stroke. *Clinical Rehabilitation*. 2004;18(8):916-23.
- Tyson SF, Hanley M, Chillala J, et al. Balance disability after stroke. *Physical Therapy*. 2006;86(1):30-38.