

Original Article

Open Access

만성 뇌졸중 환자의 종아리 근육에 적용한 편심성 훈련이 근긴장도와 근력 및 보행에 미치는 영향

배지현¹ · 우영근^{2†} · 김용욱² · 박규남³

¹원광보건대학교 물리치료과, ²전주대학교 의과대학 물리치료학과, ³연세대학교 체육교육학과

The Effects of Eccentric Training Applied to Calf Muscles on Muscle Tone, Muscle Strength and Gait of Patients with Chronic Stroke

Ji-Hyun Bae, P.T., M.S.¹ · Young-Keun Woo, P.T., Ph.D.^{2†} · Yong-Wook Kim, P.T., Ph.D.² ·
Kyu-Nam Park, P.T., Ph.D.³

¹Department of Physical Therapy, Wonkwang Health Science University

²Department of Physical Therapy, College of Medical Sciences, Jeonju University

³Department of Physical Education, College of Educational Sciences, Yonsei University

Received: March 26, 2024 / Revised: April 9, 2024 / Accepted: April 11, 2024

© 2024 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 the effects of eccentric training applied to the calf muscles on muscle tone, muscle strength, and gait variables in patients with chronic stroke.

Methods: Twenty-two participants were divided into experimental (n=12; eccentric training) and control (n=10; static stretching and stretching board) groups. The participants completed 30-minute physical therapy sessions five times a week for three weeks. Calf muscle tone, muscle strength, and gait variables were measured using MyotonPRO, a hand-held dynamometer, and Optogait, respectively, before and after each intervention.

Results: Two-way analysis of variance (ANOVA) indicated a significant interaction effect between measurement points and groups in frequency, stiffness, and decrement of the lateral gastrocnemius, medial gastrocnemius, and soleus muscles (p<.05). Paired t-tests showed that the experimental group exhibited significantly decreased frequency and stiffness scores for the lateral gastrocnemius, medial gastrocnemius, and soleus muscles (p<.05), as well as significantly increased decrement and muscle strength scores, gait speed, step length, and stride length (p<.05).

Conclusion: The application of eccentric training to the calf effectively reduced muscle tone, increased muscle strength, and improved the gait speed, step length, and stride length of patients with chronic stroke.

Key Words: Eccentric training, Gait, Muscle strength, Muscle tone, Stroke

†Corresponding Author : Young-Keun Woo (ykw092@naver.com)

I. 서론

뇌졸중은 전 세계적으로 두 번째로 흔한 사망 원인이자 장애의 주요 원인이며, 현대사회는 인구 증가와 고령화로 인해 뇌졸중 발병률이 계속 증가하고 있다(Feigin et al., 2014). 뇌졸중은 손상 부위와 정도에 따라 장애의 유형과 수준이 결정되며, 그로 인한 감각 및 운동 손상 등 신경학적 기능 손상이 동반된다(Sullivan et al., 2015). 뇌졸중 후 절반 이상의 환자는 편마비를 경험하며, 편마비는 근육 및 신경에서의 이차적인 변화로 인한 근육의 비사용을 가져온다(Urton et al., 2007). 장기간 비사용은 신체 영역을 담당하는 운동 결실의 위축을 유발하여 증상을 악화시키고(Gracies, 2005), 마비를 보상하기 위해 신체를 비대칭적으로 만든다(Sackley & Lincoln, 1997).

뇌졸중 이후 80% 이상의 환자는 일상생활의 대부분을 비마비측으로 체중을 지지한 상태에서 수행하며, 이러한 현상은 보행 중 입각기 동안 마비측 체중 지지의 감소를 일으킨다(Bayouk et al., 2006). 보행 시 엉덩관절 굽힘근과 펴근, 무릎관절 굽힘근과 펴근, 발목관절 발등 굽힘근과 발바닥 굽힘근의 근력은 보행 속도를 결정 짓는 중요한 변수이다(Anderson, 1990; Bohannon, 1986; Nadeau et al., 1999). 특히 입각기 이후 발 떼기 단계에서 발바닥 굽힘근은 체중을 전방 이동시키며 하지가 앞으로 나가는데 필요한 대부분의 에너지를 생성한다(Knutsson & Richards, 1979).

뇌졸중 환자의 대부분은 보행 장애 증상이 나타나며(Rathore et al., 2002), 이는 뇌졸중 환자에게 나타나는 매우 흔한 증상 중 하나이다(Park & Chung, 2016). 뇌졸중 환자는 보행 시 단축된 장딴지근과 가자미근으로 인한 발바닥 굽힘, 앞·뒤정강근, 긴엄지굽힘근, 가자미근으로 인한 안쪽변집이 유발되어(Lin et al., 2006), 느린 보행속도와 주기 및 불균형한 보폭과 마비측의 상대적으로 짧은 입각기와 긴 유각기 등의 문제가 나타난다(Mauritz, 2002). 발바닥 굽힘근의 경직(Spasticity), 발등 굽힘근의 약화는 발 처짐을 유발하고, 보행 동안 발목 관절이 자유롭게 움직이는 것을

어렵게 하며(Perry & Bleck, 1993; Vattanasilp et al., 2000), 신체를 앞으로 전진하는 능력을 감소시키고(Olney & Richards, 1996; Winter & David, 2005), 보행 패턴에 문제를 초래한다(Umphred & Darcy, 2001). 또한, 발바닥 굽힘근의 경직은 시간적, 공간적 보행 비대칭에 중요한 결정 요소이다(Hsu et al., 2003).

뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 근긴장도 감소와 발목 관절 가동범위의 증가 등을 위해 여러 가지 중재 방법이 사용되고 있다(Park & Kim, 2014). 임상에서 근육 경직 감소를 위해 다양한 운동 방법이 사용되는데(Nakamura et al., 2020), 가장 일반적으로 사용되는 운동 방법에는 정적 신장 운동, 동적 신장 운동 및 발꿈치 내리기 운동이 있다(Magnusson et al., 1996; Lee et al., 2017).

정적 신장 운동은 근육을 늘린 상태에서 일정 시간 자세를 유지하는 것으로(Kisner & Colby, 2002), 안전하고 쉽게 적용할 수 있어 임상에서 흔하게 쓰이는 방법이다(Ingraham, 2003). 동적 신장 운동은 관절가동범위 내에서 반응을 활용하여 끝 범위까지 진행되는 것으로(Jeong et al., 2010), 관절가동범위 증가와 근육 힘줄 연결부의 변위에 영향을 미친다(Samukawa et al., 2011). 발꿈치 내리기 운동은 발바닥 굽힘근의 강직 정도를 감소시키고 근력을 강화하는 중재 방법이다(Yun et al., 2013). 뇌졸중 후 발등 굽힘이 어려운 환자에게 편심성 훈련은 마비된 근육의 활성화를 촉진하는 방법 중 하나다(Chung & Cheng, 2010; Clark & Patten, 2013).

선행연구에서는 중재 적용 후 대상자의 종아리 근육 강직 정도의 평가가 미흡했으며(Yun et al., 2013), 급성 뇌졸중 환자에게만 적용되었다는 제한점이 있었다(Faul et al., 2007). 따라서 본 연구의 목적은 선행연구의 제한점을 보완하여 만성 뇌졸중 환자의 종아리 근육에 적용한 편심성 훈련이 근긴장도와 근력 및 보행변수에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 재활병원에 입원하여 재활치료를 받는 뇌졸중 환자를 대상으로 하였다. 대상자는 표본 수 계산 프로그램인 G*Power 3.1.9.4 프로그램을 이용하여 효과 크기 0.50, 유의 수준 0.05, 검정력 0.80로 설정한 후 산출한 결과 최소 표본 크기는 20명이었다(Faul et al., 2007). 탈락률 30%를 고려하여 총 26명의 대상자를 모집하였으며, 중도 탈락자 4명을 제외한 22명을 대상으로 하였다. 연구 시작 전 윤리적 기준에 따라 연구와 관련된 모든 사항에 대해 이해할 수 있도록 설명하였고, 연구 참여에 동의하고 연구 동의서에 서명한 대상자만 연구에 참여하였다. 본 연구는 J대학교 생명윤리연구위원회(Institutional Review Board)의 승인(jjIRB-230503-HR-2023- 0103)을 받은 후 시행되었다. 연구 대상자 선정 조건은 다음과 같았다.

가. 뇌졸중으로 인한 편마비로 진단받고 발병 기간이 6개월 이상인 자(Kang et al., 2020)

- 나. 하지의 수정된 애쉬워스 척도(Modified ashworth scale, MAS)가 2점 미만인 자(Kang et al., 2022)
- 다. 버그 균형 척도(Berg balance scale, BBS)가 20점 이상인 자(Bower et al., 2015)
- 라. 인지 선별 검사(Cognitive impairment screening test, CIST)가 학력, 연령에 따른 기준 점수 이상인 자(Hwang et al., 2022)

양측 마비가 있는 자(Yun et al., 2013)는 연구 대상자에서 제외하였다.

대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같으며 실험군은 남성 8명과 여성 4명(나이: 47.75세, 신장: 165.67 cm, 몸무게: 64.67 kg), 대조군은 남성 7명과 여성 3명(나이: 56.80세, 신장: 167.70 cm, 몸무게: 67.45 kg)이었다. 뇌졸중 유형은 실험군은 뇌경색이 7명, 뇌출혈이 5명, 대조군은 뇌경색이 6명, 뇌출혈이 4명이었다. 마비 유형은 실험군에서 우측 편마비 5명, 좌측 편마비 7명, 대조군에서는 우측 편마비 3명, 좌측 편마비 7명이었다. 발병 기간은 실험군 50.75개월, 대조군이 63.30개월이었다. 두 군 환자들의 특성은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>.05).

Table 1. General characteristics of the study subjects (N=22)

	Experimental (n ¹ = 12)	Control (n ² = 10)	X ² /t	p
Gender				
Male	8(66.7%)	7(70.0%)	0.87	1.00
Female	4(33.3%)	3(30.0%)		
Age (years)	47.75±15.20 ^a	56.80±8.99	-1.65	0.11
Height (cm)	165.67±8.36	167.70±6.36	-0.63	0.54
Weight (kg)	64.67±10.96	67.45±5.68	-0.77	0.46
Duration of onset (months)	50.75±56.90	63.3±64.46	-0.49	0.63
Type of lesion				
Infarction	7(58.3%)	6(60.0%)	0.18	0.23
Hemorrhagic	5(41.7%)	4(40.0%)		
Hemiplegic side				
Right	5(41.7%)	3(30.0%)	0.94	1.00
Left	7(58.3%)	7(70.0%)		

^a Mean±standard deviation

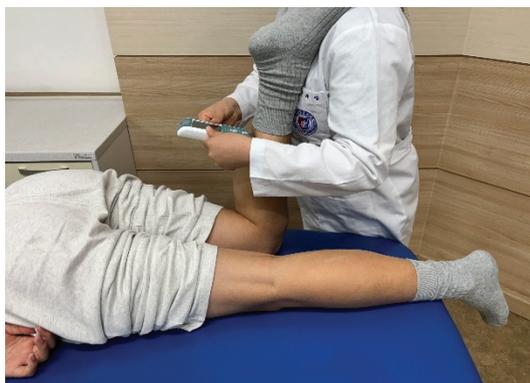
2. 측정도구 및 측정방법



A



B



C

Fig. 1. Measurement of muscle tone.
(A: Lateral gastrocnemius, B: Medial gastrocnemius, C: Soleus)

1) MyotonPRO

종아리 근육의 근긴장도 측정을 위해 MyotonPRO (Myoton AS, Estonia)를 사용하였다. 본 측정 장비는 뇌졸중 환자의 근긴장도 측정에 높은 신뢰도와 타당도를 가지고 있으며(Chuang et al., 2012), 검사자 내 신뢰도는 ICC 0.90이다(Aird et al., 2012). 본 연구의 모든 측정은 반복 횟수 5회, 기계적 임펄스 전달 시간(Tap time) 15%, 전달 간격 0.8초로 설정한 다분석 측정법(Multiscan mode)을 사용하였다(Kim & Kim, 2016). 장딴지 근육의 측정은 엎드린 자세에서 무릎을 편 상태로 발꿈치뼈 위쪽모서리와 오금 주름 사이에서 몸쪽 3분의 1지점의 안·가쪽 근육 힘살에 표식점(Skin marker)을 표시한 후 흔들림을 방지하기 위하여 검사기를 양손으로 감싸 표식점에 흔들림 없이 수직으로 유지하였다(Feng et al., 2018; Fröhlich-Zwahlen et al., 2014; Park et al., 2019). 가자미 근육의 측정은 엎드린 자세에서 무릎을 굽힌 후 넙다리뼈와 안쪽 발목 관절 사이 3분의 2지점에서 약 1 cm 안쪽 부분에 표식점을 표시한 후 장딴지 근육과 동일한 방법으로 측정하였다(Bianchi, 2007). 이때 측정되는 빈도(Frequency, Hz)와 경도(Stiffness, N/m), 탄성(Decrement, ms)을 결과분석에 사용하였다. 빈도는 본연의 진동을 나타내며 수의적인 동작 없이 수동적인 상태 혹은 쉬고 있는 상태를 나타내는 진동 주파수이며 진동 주파수는 근긴장도를 나타낸다. 경도는 근수축 시의 저항이나 외력에 의해 처음의 모양이 바뀌지 않도록 유지하는 근육의 생역학적 특성을 나타낸다. 탄성은 근수축 후나 외력에 의해 모양이 바뀌고 난 후 처음의 모양으로 복원할 수 있는 능력으로서 근육의 생역학적 특성이다(MyotonePRO User Manual).

2) Hand-held dynamometer

종아리 근육의 근력 측정을 위해 Hand-held dynamometer (J-Tech Medical, USA)를 사용하였다. 본 측정 장비의 검사자 간 신뢰도는 $r=0.77\sim0.94$ 이고, 검사 간 신뢰도는 $r=0.86$ 으로 나타났다(Knols et al.,



A



B

Fig. 2. Measurement of muscle strength.
(A : Gastrocnemius, B : Soleus)

2009), 측정은 최대 등척성 수축 시 발생하는 압력으로 하였고, 발바닥 굽힘근의 근력 측정은 발바닥의 원위부에 측정기의 압력판을 접촉시켜 측정하였다(Bohannon, 2017). 장딴지근의 근력은 엎드려 누운 자세에서 무릎을 편 상태로 측정하였으며, 가자미근의 근력은 엎드려 누운 자세에서 무릎을 굽힌 상태로 측정하였다. 이때 측정되는 장딴지근과 가자미근의 근력(kg)을 결과분석에 사용하였다.

3) Optogait

보행변수 측정을 위해 Optogait (Microgate, Italy)를 사용하였다. 본 측정 장비의 신뢰도는 0.93-0.99이다(Lienhard et al., 2013). 본 측정 장비는 1 m 길이의

송·수신 막대와 웹 카메라로 구성되어 있다. 1 m 길이의 송·수신 막대를 각각 3개씩 연결한 후 양쪽 막대는 평평한 바닥에 1 m 거리를 두고 설치하였고(Knols et al., 2009), 대상자에게 편안한 속도로 걷게 하였다(Seo et al., 2018). 보행 시 발 겹침으로 인한 오류와 정확한 자료 수집을 위하여 웹 카메라를 사용하였고, Optogait 1.13.4버전의 소프트웨어(Microgate, Italy) 프로그램을 이용하여 자료를 수집하였다. 이때 측정되는 보행 속도(m/s), 보폭(cm), 한 걸음 길이(cm)를 결과분석에 사용하였다.



Fig. 3. Optogait for measurement doing walk.

3. 중재 방법

대상자는 단순 무작위 표본 추출법을 사용해 편심성 훈련을 적용한 실험군 12명, 정적 스트레칭과 경사대를 적용한 대조군 10명으로 나누어 1일 30분씩, 주 5회, 총 3주간 중재를 실시하였다(American College of Sports Medicine, ACSM). 본 연구에 참여한 물리치료사는 임상 경력이 3년 이상인 치료사 3명으로 구성되었다. 2명의 치료사는 실험군과 대조군의 구분 없이 중재를 적용시켰으며, 평가한 치료사는 중재에 참여하지 않았다. 환자에게 적용할 중재 방법을 일주일 전에 충분히 연습하고, 중재를 적용시킬 경우 생길 수 있는 문제점에 대해 충분히 숙지한 후 실험에 참여하였다. 본 연구의 진행 절차는 다음과 같았다(Fig. 4).

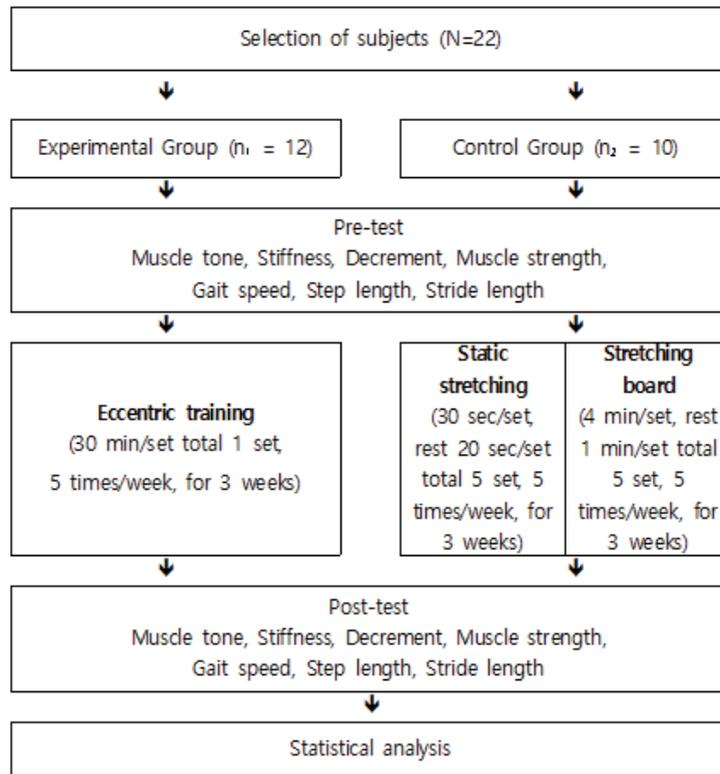


Fig. 4. Flowchart of the study participants.

1) 편심성 훈련

편심성 훈련은 Alfredson 등(1998)과 Jung 등(2020)이 보고한 편심성 부하 훈련을 본 연구 목적에 맞게 수정·보완하여 실시하였다. 첫 번째, 환자를 바로 선 자세에서 발뒤꿈치가 바닥에 닿을 수 있는 높이의 블록 위에 앞발을 올려놓고 무릎을 곧게 편 상태로 양쪽 발뒤꿈치를 최대한 높이 들었다가 천천히 내리게 하여 장딴지 근육에 편심성 수축을 가하였다. 두 번째, 첫 번째 운동과 동일한 방법에 체중의 10% 무게인 모래 주머니를 추가하여 부하를 증가시켰다(Jessup et al., 2003). 가자미근은 최대 활성화를 위해 무릎을 구부린 상태로 시행하였다. 모든 단계에서 치료사는 마비측 발목의 안정성을 위해 도움을 주고, 발뒤꿈치를 내릴 때 체중이 뒤꿈치로 이동될 수 있도록 지지 및 보조를 하였다.

2) 정적 스트레칭과 경사대

정적 스트레칭은 Baechle 등(2008)이 보고한 정적 스트레칭 동작을 본 연구의 측정 항목 부위에 맞게 수정·보완하여 적용하였다. 종아리 근육이 최대한 늘어날 수 있도록 치료사의 손을 사용해 발목 관절을 통증이 없는 범위 내에서 최대한 발등 쪽 굽힘 시켰다. 스트레칭 적용 30초, 휴식 30초를 1세트로 하여 총 5세트 실시하였다.

경사대 중재 방법은 Ryu와 Hong (2020)의 방법을 수정·보완하여 적용하였다. 경사대 위에 발을 맞춰 바로 선 자세로 실시하였으며 안전을 위해 보조 손잡이가 있는 곳에 경사대를 배치하였다. 경사대 적용 4분, 휴식 1분을 1세트로 하여 총 5세트를 진행하였다. 경사대 각도는 환자의 발목 관절에 맞추어 통증이 일어나지 않는 범위에서 각각 설정하여 적용하였다.



Fig. 5. Eccentric training. (A : Gastrocnemius, B : Soleus)



Fig. 6. Static stretching.



Fig. 7. Stretching board.

Table 2. Exercise program

Group		Descriptions
Experimental	Eccentric training (30 min)	① Heel-Raise-Lower Exercise (10 min)
		② Add a weighted sandbag of 10% of your body weight to your ankles (5 min)
		③ Heel-Raise-Lower Exercise with knee flexion (10 min)
		④ Add a weighted sandbag of 10% of your body weight to your ankles with knee flexion (5 min)
Control	Static stretching (5 min)	① Stretching (30 sec) ② Rest (30 sec)
	Stretching board (25 min)	① Stretching board (4 min) ② Rest (1 min)

4. 분석방법

본 연구의 통계 분석을 위해 SPSS 27.0 for window (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 연구 대상자들의 일반적인 특성은 평균과 표준편차를 사용하였고, 동질성 검정을 위해 카이제곱 검정 (χ^2 test)과 독립 표본 t-검정(Independent t-test)을 사용하였다. 실험군과 대조군의 정규성 검정은 Kolmogorov-Smirnov 검정 방법을 통해 실시하였다. 정규성 검정을 만족하여, 측정 시점과 집단에 따른 주효과와 측정 시점과 집단 사이에 대한 상호 작용 효과를 알아보기 위해 이원분산분석(Two-way ANOVA)을 사용하였으며, 유의한 차이가 있는 경우 사후검정으로 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 사용하여 측정 시점과 집단 내 비교를 시행하였다. 통계학적 유의 수준은 p 는 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 실험군과 대조군의 중재 전후 근긴장도 비교

1) 빈도 비교

실험군과 대조군에서의 빈도 비교는 Table 3에 제시된 바와 같았다. 가쪽 장딴지근, 안쪽 장딴지근, 가자미

근 모두 측정 시점과 집단 사이에 대한 상호 작용 효과가 있었다. 가쪽 장딴지근의 빈도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였고, 대조군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 안쪽 장딴지근의 빈도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였다. 가자미근의 빈도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였고, 대조군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다.

2) 정도 비교

실험군과 대조군에서의 정도 비교는 Table 4에 제시된 바와 같았다. 가쪽 장딴지근, 안쪽 장딴지근, 가자미근 모두 측정 시점과 집단 사이에 대한 상호 작용 효과가 있었다. 가쪽 장딴지근의 정도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였다. 안쪽 장딴지근의 정도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였고, 대조군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 가자미근의 정도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였고, 대조군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다.

Table 3. Intra- and intergroup comparison of pre- and post-training outcome measures of frequency (N=22)

Variable	Experimental group (n ¹ = 12)		Control group (n ² = 10)		Effect	F	p
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test			
LGCM ^b (Hz)	18.26	14.09	14.49	16.23	Group	0.63	0.43
	±4.84 ^a	±2.72 [*]	±2.52	±2.68 [*]	Time	1.39	0.25
					Group * Time	8.26	0.05 [†]
MGCM ^c (Hz)	18.73	14.34	13.53	15.49	Group	3.44	0.07
	±14.34	±3.06 [*]	±2.84	±2.80	Time	1.24	0.27
					Group * Time	8.46	0.05 [†]
Soleus (Hz)	15.25	10.39	10.40	13.88	Group	0.61	0.44
	±4.01	±3.34 [*]	±1.33	±1.26 [*]	Time	0.63	0.43
					Group * Time	22.98	.00 [†]

^a Mean±standard deviation

^b Lateral gastrocnemius

^c Medial gastrocnemius

^{*} Significant difference between pre-test and post-test intervention within the group (p<.05)

[†] Significant difference in change values among the groups (p<.05)

Table 4. Intra- and intergroup comparison of pre- and post-training outcome measures of stiffness (N=22)

Variable	Experimental group (n ¹ = 12)		Control group (n ² = 10)		Effect	F	p
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test			
LGCM ^b (N/m)	384.92	283.75	301.10	324.90	Group	0.59	0.45
	±135.88 ^a	±84.07 [*]	±50.79	±61.49	Time	1.93	0.17
					Group * Time	5.04	0.03 [†]
MGCM ^c (N/m)	381.75	285.75	285.20	316.20	Group	1.58	0.22
	±119.20	±90.03 [*]	±54.64	±56.77 [*]	Time	1.53	0.22
					Group * Time	5.84	.02 [†]
Soleus (N/m)	289.33	199.33	214.50	286.60	Group	0.11	0.75
	±76.94	±63.89 [*]	±40.02	±62.35 [*]	Time	0.22	0.64
					Group * Time	18.06	0.00 [†]

^a Mean±standard deviation

^b Lateral gastrocnemius

^c Medial gastrocnemius

^{*} Significant difference between pre-test and post-test intervention within the group (p<.05)

[†] Significant difference in change values among the groups (p<.05)

3) 탄성 비교

실험군과 대조군에서의 탄성 비교는 Table 5에 제시

된 바와 같았다. 가쪽 장판지근, 안쪽 장판지근, 가자미 근 모두 측정 시점과 집단 사이에 대한 상호 작용 효과가 있었다. 가쪽 장판지근의 탄성은 실험군에서 실험

Table 5. Intra- and intergroup comparison of pre- and post-training outcome measures of decrement (N=22)

Variable	Experimental group (n ¹ = 12)		Control group (n ² = 10)		Effect	F	p
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test			
LGCM ^b (ms)	1.33	1.64	1.87	1.60	Group	8.63	0.01 [†]
	±0.12 ^a	±0.26 [*]	±0.43	±0.27	Time	0.07	0.79
					Group * Time	11.92	0.00 [†]
MGCM ^c (ms)	1.52	1.87	2.00	1.64	Group	0.98	0.33
	±0.36	±0.36 [*]	±0.62	±0.36	Time	0.01	0.94
					Group * Time	7.52	0.01 [†]
Soleus (ms)	1.31	2.41	2.43	1.61	Group	0.87	0.36
	±0.32	±0.74 [*]	±0.65	±0.39 [*]	Time	0.72	0.40
					Group * Time	32.69	0.00 [†]

^a Mean±standard deviation

^b Lateral gastrocnemius

^c Medial gastrocnemius

^{*} Significant difference between pre-test and post-test intervention within the group (p<.05)

[†] Significant difference in change values among the groups (p<.05)

전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 안쪽 장딴지근의 탄성은 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 가자미근의 탄성은 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였고, 대조군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 감소하였다.

2. 실험군과 대조군의 중재 전후 근력 비교

실험군과 대조군에서의 근력 비교는 Table 6에 제시된 바와 같았다. 장딴지근의 근력은 실험군과 대조군 모두에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 가자미근의 근력은 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다.

Table 6. Intra- and intergroup comparison of pre- and post-training outcome measures of muscle strength (N=22)

Variable	Experimental group (n ¹ = 12)		Control group (n ² = 10)		Effect	F	p
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test			
GCM ^b (kg)	7.44	8.64	5.36	5.83	Group	5.65	0.02 [†]
	±2.45 ^a	±3.05 [*]	±3.95	±4.12 [*]	Time	0.65	0.42
					Group * Time	0.13	0.72
Soleus (kg)	8.33	9.18	4.96	5.04	Group	8.64	0.01 [†]
	±3.94	±4.14 [*]	±4.55	±4.31	Time	0.13	0.72
					Group * Time	0.09	0.77

^a Mean±standard deviation

^b Gastrocnemius

^{*} Significant difference between pre-test and post-test intervention within the group (p<.05)

[†] Significant difference in change values among the groups (p<.05)

Table 7. Intra- and intergroup comparison of pre- and post-training outcome measures of gait variables (N=22)

Variable	Experimental group (n ¹ = 12)		Control group (n ² = 10)		Effect	F	p
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test			
Gait speed (m/s)	0.49	0.60	0.32	0.30	Group	16.63	0.00 [†]
	±0.20 ^a	±0.18 [*]	±1.94	±0.19	Time	0.60	0.45
					Group * Time	1.42	0.24
Step length (cm)	48.12	56.52	61.66	53.91	Group	2.68	0.11
	±5.87	±8.54 [*]	±18.94	±7.08	Time	0.01	0.92
					Group * Time	5.85	0.02 [†]
Stride length (cm)	94.31	110.50	106.58	99.60	Group	0.01	0.94
	±9.97	±20.14 [*]	±48.25	±38.07	Time	0.23	0.63
					Group * Time	1.48	0.23

^a Mean±standard deviation

^{*} Significant difference between pre-test and post-test intervention within the group (p<.05)

[†] Significant difference in change values among the groups (p<.05)

3. 실험군과 대조군의 중재 전후 보행변수 비교

1) 보행속도, 보폭, 한 걸음 길이 비교

실험군과 대조군에서의 보행변수 비교는 Table 7에 제시된 바와 같았다. 보행속도는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 보폭은 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였고, 측정 시점과 집단 사이에 대한 상호 작용 효과가 있었다. 한 걸음 길이는 실험군에서 실험 전 보다 실험 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다.

IV. 고 찰

본 연구는 만성 뇌졸중 환자의 종아리 근육에 적용한 편심성 훈련이 근긴장도와 근력 및 보행변수에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 연구는 뇌졸중 환자 총 22명을 대상으로 총 3주간, 주 5회, 1일 30분씩 편심성 훈련을 적용한 실험군 12명, 정적 스트레칭과 경사대를 적용한 대조군 10명으로 나누어 각 군의 중재

효과에 따른 종아리 근육의 근긴장도, 근력, 보행변수를 중재 전·후로 측정하여 변화를 비교하였다. 연구결과 실험군은 가쪽 장딴지근, 안쪽 장딴지근, 가자미근의 빈도, 경도, 탄성과 장딴지근, 가자미근의 근력, 보행속도, 보폭, 한 걸음 길이에서 통계적으로 유의하게 나타난 것을 확인할 수 있었고, 대조군은 가쪽 장딴지근, 가자미근의 빈도, 안쪽 장딴지근, 가자미근의 경도, 가자미근의 탄성과 장딴지근의 근력에서 통계적으로 유의하게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

종아리 근육 근긴장도의 집단 내 비교 결과 실험군은 빈도와 경도를 측정된 가쪽 장딴지근, 안쪽 장딴지근, 가자미근 모두에서 유의하게 감소되었고, 탄성을 측정된 가쪽 장딴지근, 안쪽 장딴지근, 가자미근 모두에서 유의하게 증가되었다. 본 연구에서 사용한 종아리 근육의 근긴장도 측정 장비는 근육의 긴장 상태와 기계적 성질을 측정할 수 있으며(Chuang et al., 2013), 뇌졸중 환자의 종아리 근육 경직 정도를 평가하기 위해 사용된다(Park et al., 2019). Jung 등(2020)은 Heel-Raise-Lower 운동이 발바닥 굽힘근의 경직이 있는 환자에게 유용하였음을 입증하였다. Cook 등(2015)은 편심성 훈련은 최적의 부하를 적용해 근긴장도 저하, 힘줄 조직 강화의 효과와 더불어 환자 증상 개선의

잠재성이 있으며 이를 통한 새로운 체계의 운동 방법을 제시한다고 하였다.

종아리 근육 근력의 집단 내 비교 결과 장딴지근은 실험군과 대조군 모두 유의하게 증가되었고, 가자미근 실험군에서 유의하게 증가되었다. Lee 등(2017)은 발뒤꿈치 내리기 운동이 뇌졸중 환자의 발바닥 굽힘근의 유의한 근력 증가에 영향을 미친다 보고했다. Alfredson 등(1998)은 아킬레스 건염 환자에게 적용된 종아리 근육 훈련이 근력을 증진시켰으며, 이는 수술적 개입이 이루어지기 전에 적용되어야 한다고 하였다. Mafi 등(2001)은 동심성 운동과 비교했을 때 편심성 운동의 만족도가 더 우수하다고 하였다.

보행변수에서는 보행속도, 보폭, 한 걸음 길이를 확인하였다. 집단 내 비교 결과 실험군에서 모든 변수 값이 유의하게 증가되었다. 집단 간 비교 결과 보행속도에서 실험군이 대조군보다 통계적으로 유의하게 증가되었다. Alfredson 등(1998)은 만성 아킬레스 건염 환자에게 적용한 편심성 훈련이 종아리 근력의 빠른 회복과 달리기 활동의 재개를 보여주는 좋은 치료 모델을 제공한다 하였고, Yun 등(2013)은 뇌졸중 환자에게 발뒤꿈치 내리기 운동 적용 후 TUG 점수가 운동 적용 전보다 유의하게 증가했다 보고하였다. Jung 등(2020)은 뇌졸중 환자에게 TENS 적용 후 Heel-Raise-Lower 운동을 적용했을 때 보행속도가 크게 개선되었다고 하였다.

과도한 경직은 운동 능력을 감소시키고 기능적인 회복을 제한한다(Lance, 1980; Barnes & Johnson, 2001). Moon (2017)은 발바닥 굽힘근의 근긴장도 감소가 보행 능력에 좋은 결과를 가져왔다고 하였고, Kim 등(2023)은 종아리 근육과 발바닥 근육의 근긴장도 감소가 보행 능력을 증진시킨다고 하였다. 이러한 선행연구는 본 논문의 결과를 뒷받침하며, 발바닥 굽힘근의 적절한 근긴장도가 보행에 중요한 결과를 가져온다고 볼 수 있다. 또, 보행속도에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나는 근력이다(Bohannon, 1997). 특히 발바닥 굽힘근은 보행의 발 떼기 단계에서 체중을 전방 이동시키며 하지가 앞으로 나아가는 추진력을 발생시킨다

(Knutsson & Richards, 1979). Brincks 등(2012)은 뇌졸중 환자에게 로봇 보행 훈련 적용 후 발바닥 굽힘근의 근력이 증가하였고, 증가된 근력이 보행속도의 개선과 유의미한 관련이 있다고 하였다. 본 연구에서도 중재 적용 후 종아리 근육의 근력이 유의하게 증가하였으며, 보행속도 및 보폭, 한 걸음 길이도 유의하게 증가하였음을 보여주었다. 이는 종아리 근육에 적용한 편심성 훈련이 종아리 근육의 근긴장도 감소 및 근력 향상과 더불어 보행속도 및 보폭, 한 걸음 길이 개선에 효과적인 중재임을 알 수 있다.

본 연구는 앞으로의 연구에서 보완되어야 할 몇 가지 제한점이 존재하였다. 중재 기간이 3주로 비교적 짧고 추적 조사가 이루어지지 않아 장기적인 치료 효과 및 부작용에 대해 설명하기 어려웠다. 근력 측정 시 측정하는 치료사의 힘을 배제하기 어렵고, 중재 기간 동안 대상자들의 일상생활을 통제하기 어려웠다. 차후 연구에서는 이러한 점을 보완하여 중재 기간을 늘리고 근력 측정 기계를 고정 후 측정하여 신뢰도를 올린 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 만성 뇌졸중 환자의 종아리 근육에 적용한 편심성 훈련과 정적 스트레칭 및 경사대 적용이 근긴장도와 근력 및 보행에 미치는 효과를 중재 전·후로 비교하였다. 뇌졸중 환자의 종아리 근육의 비정상적인 근긴장도 증가는 발목 관절의 능동적인 발등 굽힘 조절 장애를 일으킨다(Gage, 1997). 발목 근육들은 보행 중 하지를 앞으로 나가게 하는 추진력을 생성하고 안정된 지지면을 제공하여 에너지를 효율적으로 활용함으로써 보행을 쉽게 만드는 중요한 역할을 한다(Neumann, 2002). 과거에는 뇌졸중 환자의 과제 실패 원인을 경직과 관련된 신경학적 문제라고 하였으나 최근에는 근력이 충분히 발생되지 않음에서 원인을 찾고 있다(Oh, 2012). 근력 약화는 보행속도 감소에 영향을 주며, 이동과 계단 오르기 등 활동 제한의 요소

가 될 수 있다(Chakravarty et al., 2017; Bohannon, 2007).

본 논문의 연구 결과 만성 뇌졸중 환자의 종아리 근육에 적용한 편심성 훈련이 근긴장도 저하, 근력 증진, 보행속도 및 보폭, 한 걸음 길이의 변수들을 효과적으로 증진시킨다는 것을 증명하였다. 이러한 결과를 통하여 만성 뇌졸중 환자의 종아리 근육 근긴장도 저하, 근력 증진, 보행속도 및 보폭, 한 걸음 길이 개선을 위해 임상 현장에서 효과적으로 편심성 훈련을 중재 방법으로 사용할 수 있을 것이며, 이를 통한 효과를 입증하는 더 많은 연구가 진행되기를 기대한다.

References

- Aird L, Samuel D, Stokes M. Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2012;55(2):e31-e39.
- Alfredson H, Pietilä T, Jonsson P, et al. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *The American Journal of Sports Medicine*. 1998;26(3):360-366.
- American College of Sports Medicine, ACSM
- Anderson TP. Rehabilitation of patients with complete stroke. *Philadelphia: Krusen's Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1990:656-673.
- Baechle, Thomas R, Roger W, et al. *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign, IL.: Human Kinetics. 2008.
- Barnes MP, Johnson GR. *Upper motor neurone syndrome and spasticity: clinical management and neurophysiology*. England: Cambridge University Press. 2001.
- Bayouk JF, Boucher JP, Leroux A. Balance training following stroke: effects of task-oriented exercises with and without altered sensory input. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2006;29(1):51-59.
- Bianchi S. *Ultrasound of the musculoskeletal system*. Germany: Springer. 2007.
- Bohannon RW. Muscle strength and muscle training after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2007;39(1):14.
- Bohannon RW. Strength of lower limb related to gait velocity and cadence in stroke patients. *Physiotherapy Canada*. 1986;38(4):204-206.
- Bohannon RW. Reference values for knee extension strength obtained by hand-held dynamometry from apparently healthy older adults: A meta-analysis. *The Journal of Frailty & Aging*. 2017;6(4):199-201.
- Bohannon RW. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: Reference values and determinants. *Age and Ageing*. 1997;26(1):15-19.
- Bower KJ, Louie J, Landesrocha Y, et al. Clinical feasibility of interactive motion-controlled games for stroke rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2015;12(1):1-12.
- Brincks J, Nielsen JF. Increased power generation in impaired lower extremities correlated with changes in walking speeds in sub-acute stroke patients. *Clinical Biomechanics*. 2012;27(2):138-144.
- Chakravarty K, Chatterjee D, Das RK, et al. Analysis of muscle activation in lower extremity for static balance. *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. 2017:4118-4122.
- Chuang LL, Wu CY, Lin KC. Reliability, Validity, and Responsiveness of Myotonometric Measurement of Muscle Tone, Elasticity, and Stiffness in Patients with Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012;93(3):532-540.
- Chuang LL, Lin KC, Wu CY, et al. Relative and absolute reliabilities of the myotonometric measurements of hemiparetic arms in patients with stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013;94(3):459-466.

- Clark DJ, Patten C. Eccentric Versus Concentric Resistance Training to Enhance Neuromuscular Activation and Walking Speed Following Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2013;27(4):335-344.
- Cook JL, Docking SI. "Rehabilitation will increase the 'capacity' of your... insert musculoskeletal tissue here..." Defining 'tissue capacity': a core concept for clinicians. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(23):1484-1485.
- Faul F, Erdfelder E, Lang AG, et al. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*. 2007;39(2):175-191.
- Feigin VL, Forouzanfar MH, Krishnamurthi R, et al. Global burden of stroke: an underestimate – Authors reply. *The Lancet*. 2014;383(9924):1205-1206.
- Feng YN, Li YP, Liu CL, et al. Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. *Scientific Reports*. 2018;8(1):17064.
- Fröhlich-Zwahlen AK, Casartelli NC, Item-Glatthorn JF, et al. Validity of resting myotonometric assessment of lower extremity muscles in chronic stroke patients with limited hypertonia: a preliminary study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2014;24(5):762-769.
- Gage, James R. Gait analysis in cerebral palsy. England: Mac Keith Press. 1991.
- Gracies JM. Pathophysiology of Spastic Paresis. I: Paresis and Soft Tissue Changes. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*. 2005;31(5):535-551.
- Hsu AL, Tang PF, Jan MH. Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003;84(8):1185-1193.
- Hwang DY, Ryu SH, Kwon KH, et al. Correlation Between Cognitive Impairment Screening Test (CIST), Korean-Mini Mental State Examination, 2nd Edition (K-MMSE~2) and Clinical Dementia Rating (CDR) of Patients with Stroke. *Therapeutic Science for Neurorehabilitation*. 2022;11(2):53-62.
- Ingraham SJ. The role of flexibility in injury prevention and athletic performance: have we stretched the truth?. *Minnesota Medicine*. 2003;86(5):58-61.
- Jeong JG, Jang SE, Kim YN, et al. The Effect of Flexibility, Muscle Strength and Electrophysiologic Nature on Ballistic Stretching. *Journal of the Korean Academy of Clinical Electrophysiology*. 2010;8(2):1-6.
- Jessup JV, Home C, Vishen RK, et al. Effects of exercise on bone density, balance, and self-efficacy in older women. *Biological Research for Nursing*. 2003;4(3):171-180.
- Jung KS, Jung JH, In TS, et al. Effectiveness of heel-raise-lower exercise after transcutaneous electrical nerve stimulation in patients with stroke: a randomized controlled study. *Journal of Clinical Medicine*. 2020.9(11):3532.
- JW. L. Pathophysiology of spasticity and clinical experience with baclofen. *Spasticity: disordered motor control*. 1980:185-204.
- Kang JI, Baek SY, Jeong DK. The Effect of Task Gait Exercise Combined with Self-observation Training on Leg Muscle Activity and Gait in Stroke Patients. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2022;17(3):59-67.
- Kang TW, Kim HM, Kim BR. Effect of Progressive Resistance Task-oriented Strengthening Exercise on Balance and Activities of Daily Living in Stroke Patients. *PNF and Movement*. 2020;18(1):77-86.
- Kim CS, Kim MK. Mechanical properties and physical fitness of trunk muscles using Myoton. *Korean Journal of Physical Education*. 2016;55(1):633-642.
- Kim DH, Kim KH. Effects of Treadmill Gait Training Combined

- with Muscle Tone Control Technique on Gait Ability in Patient with Chronic Stroke. *Journal of Korean Society of Integrative Medicine*. 2023;11(3):147-157.
- Kisner C, Colby L. A. Therapeutic exercise: foundations and techniques. *Pennsylvania: F. A. Davis Co., Publishers*. 2002:171-179.
- Knols RH, Aufdemkampe G, De Bruin ED, et al. Hand-held dynamometry in patients with haematological malignancies: measurement error in the clinical assessment of knee extension strength. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2009;10(1):1-11.
- Knutsson E, Richards C. Different types of disturbed motor control in gait of hemiparetic patients. *Brain: a Journal of Neurology*. 1979;102(2):405-430.
- Lee SM, Cynn HS, Yoon TL, et al. Effects of different heel-raise-lower exercise interventions on the strength of plantarflexion, balance, and gait parameters in stroke survivors. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2017;33(9):706-715.
- Lienhard K, Schneider D, Maffiuletti NA. Validity of the Optogait photoelectric system for the assessment of spatiotemporal gait parameters. *Medical Engineering & Physics*. 2013;35(4):500-504.
- Lin PY, Yang YR, Cheng SJ, et al. The Relation Between Ankle Impairments and Gait Velocity and Symmetry in People with Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2006;87(4):562-568.
- Mafi N, Lorentzon R, Alfredson H. Superior short-term results with eccentric calf muscle training compared to concentric training in a randomized prospective multicenter study on patients with chronic Achilles tendinosis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2001:42-47.
- Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *The American Journal of Sports Medicine*. 1996;24(5):622-628.
- Mauritz KH. Gait training in hemiplegia. *European Journal of Neurology*. 2002;9:23-29.
- Moon SH. Immediate Effects of Using the PNF Contract-Relax Technique in the Close Kinetic Chain Position on the Gait Ability and Gastrocnemius Muscle Tone of Stroke Patients. *PNF and Movement*. 2017;15(1):35-40.
- MyotonePRO User Manual.
- Nadeau S, Arsenault AB, Gravel D, et al. Analysis of the clinical factors determining natural and maximal gait speeds in adults with a stroke. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 1999;78(2):123-130.
- Nakamura M, Sato S, Hiraizumi K. Effects of static stretching programs performed at different volume-equated weekly frequencies on passive properties of muscle-tendon unit. *Journal of Biomechanics*. 2020;103:109670.
- Neumann, Donald A. *Kinesiology of the musculoskeletal system*. Missouri: Mosby. 2002.
- Oh DW. Muscle Weakness: Critical Issue in Stroke Rehabilitation. *Korean Academy of Neuromuscular Physical Therapy*. 2012;2(2):50-58.
- Olney SJ, Richards C. Hemiparetic gait following stroke. Part I: Characteristics. *Gait & Posture*. 1996;4(2):136-148.
- Park JH, Chung Y. The effects of providing visual feedback and auditory stimulation using a robotic device on balance and gait abilities in persons with stroke: a pilot study. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2016;5(3):125-131.
- Park KH, Kim WB. The Effects of Ankle Strategy Exercise on Balance of Patients with Hemiplegia. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2014;9(1):75-82.
- Park SJ, Cho KH, Kim SH. The Immediate Effect of Interferential Current Therapy on Muscle Tone and Stiffness in Chronic Stroke Patients. *Korean Society of Physical*

- Medicine*. 2019;14(1):1-5.
- Perry J, Bleck EE. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 1993;1122.
- Ping Ho Chung B, Kam Kwan Cheng B. Immediate effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on spasticity in patients with spinal cord injury. *Clinical Rehabilitation*. 2010;24(3):202-210.
- Rathore SS, Hinn AR, Cooper LS, et al. Characterization of incident stroke signs and symptoms: findings from the Atherosclerosis Risk in Communities study. *Stroke*. 2002;33(11):2718-2721.
- Ryu BH, Hong HP. The Comparison of the Effects of Joint Mobilization, InclineBoard and PNF stretching to Increase the Dorsiflexion of the Ankle Joint on Ankle Dorsiflexion and the Muscle Tone of the Plantar Flexor the Ankle in Subjects with Stroke. *Journal of Korean Academy of Orthopaedic Manual Therapy*. 2020; 26(1):55-63.
- Sackley C.M, 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.
- Samukawa M, Hattori M, Sugama N, et al. The effects of dynamic stretching on plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Manual Therapy*. 2011;16(6): 618-622.
- Seo TH, Doo YT, Jung DI. The Effect of Cane Height on Walking and Balance for Stroke Patients. *Journal of Agricultural Medicine & Community Health*. 2018;43(4):250-257.
- Sullivan KJ, Brown DA, Klassen T, et al. Effects of Task-Specific Locomotor and Strength Training in Adults Who Were Ambulatory After Stroke: Results of the STEPS Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy*. 2015;87(12):1580-1602.
- Umphred, Darcy Ann. *Neurological rehabilitation*. Missouri: Mosby. 2001.
- Urton ML, Kohia M, Davis J, et al. Systematic literature review of treatment interventions for upper extremity hemiparesis following stroke. *Occupational Therapy International*. 2007;14(1):11-27.
- Vattanasilp W, Ada L, Crosbie J. Contribution of thixotropy, spasticity, and contracture to ankle stiffness after stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2000;69(1):34-39.
- Winter, David A. *Biomechanics and motor control of human movement*. New Jersey: John Wiley & Sons. 2005.
- Yun KH, Woo JH, Woo YK. How The Heel Down Exercise Program Affects to the Functional Recovery and Dynamic Balance on Lower Extremity to Stroke Patients. *Journal of Korean Academy of Medicine & Therapy Science*. 2013;5(1):78-85.