발 뒤꿈치 들기 운동 후 진행된 계단보행훈련이 뇌졸중 환자의 균형, 근력, 근긴장도 및 근경직에 미치는 영향 : 단일사례연구

나수림, PT, BS[1], 이원덕, PT, PhD[*2]
[1]수원센텀병원 재활치료센터, [*2]강동대학교 물리치료과

Effects of Stair gait Training After Heel-raise Exercise on Balance, Muscle Strength, Muscle Tone, and Muscle Stiffness in Stroke Patient : Single Subject Reserch Design

Soo-Lim Na, PT, BS[1], Won-Deok Lee, PT, PhD[*2]
[1]*Dept. of Physical Therapy, Suwon Centum Hospital Rehabilitation Center, Republic of Korea*
[*2]*Dept. of Physical Therapy , Gang Dong University, Republic of Korea*

Purpose The aim of this study is to investigate the effects of stair gait training after heel-raise exercise on balance, muscle tone, muscle stiffness, and manual muscle strength in stroke patients. ***Methods*** This study conducted stair gait training after heel raise exercise in a 53-year-old patient with right hemiparesis due to cerebral infarction. The study was designed and conducted using an ABA design among single-subject research methods and was carried out over a total of 8 weeks. Measurements used were posture analyzer, plantar pressure analyzer, 10 meter walk test(10MWT), Time up and go(TUG), Five Times Sit To Stand(5TSTS), Berg Balance Scale(BBS), MyotonPRO and Wireless muscle tester. ***Results*** The Standing posture analysis, Plantar pressure, 10MWT, TUG, 5TSTS, BBS, Muscle tone and stiffness, MMT values showed significant changes in the intervention stage B, and this was maintained in the regression stage A'. ***Conclusion*** The stair gait training conducted after heel-raise exercises was effective in improving balance, gait ability, and muscle strength in stroke patients. It was also effective in reducing muscle tone and stiffness in the affected lower limb.

Key words Balance, Heel-raise, Muscle strength, Muscle strength, Muscle tone, Stair gait

Corresponding author Won-Deok Lee (Ptdeok@gangdong.ac.kr)

Received date 16 May 2024
Revised date 07 June 2024
Accept date 13 June 2024

Ⅰ. 서 론

뇌졸중이란 뇌에 혈액을 공급하는 혈관의 경색 및 출혈 등에 의해 발생하는 뇌의 손상으로, 전 세계적으로 주요한 공중보건문제이며 장애의 주요 원인 중 하나이다.[1)] 뇌졸중 환자는 주로 편측에서의 운동 및 감각 기능의 장애가 발생하게 되는데, 이로 인한 비대칭적 자세 정렬 및 몸통근의 약화, 팔다리 근육의 약화가 대표적이며, 이로 인한 자세 조절 능력 및 이동성에 제한이 생기게 된다.[2)]

이를 개선하기 위하여, 다양한 감각 자극과 기능적 활동을 통하여, 운동학습을 기반으로 일상 생활 능력 향상에 영향을 미치는 과제 중심훈련을 수행한다.[3)] 여러가지 과제 중심 훈련 중 계단 보행이 뇌졸중 환자의 몸통 기능과 균형, 그리고 보행 속도에 영향을 미친다고 보고 되었다.[4,5)] 계단보행은 평지 보행에 비해 더 많은 기계적 에너지가 필요하며, 그렇기에 더 많은 균형과 조절능력을 요구한다.[6,7)] 그렇기에, 계단보행 훈련은 뇌졸중환자의 다리기능 회복에 도움을 주고, 보행능력 증진을 위한 효과적인 치료가 될 수 있어 삶의 질 향상에 중요한 요소로 작용한다.[8,9)] 하지만, 선행성 자세조절이 제한된 상황에서 진행되는 계단보행의 경우 불필요한 보상작용을 발생시킬 수 있는데,[10)] 뇌졸중 환자들의 계단보행 시 대부분에서 제한된 발목관절에서의 가동성으로 인해 계단을 올라갈 때 휘돌림 보행이 나타나고,[11)] 이에 따라 뇌졸중 환자의 경우 계단 보행 시에 일반인에 비해 더 높은 에너지 강도가 요구된다.[12)]

반면 발 뒤꿈치 들기 및 내리기 운동은 뇌졸중 환자의 발바닥 굽힘근 근력 및 균형, 보행 개선에 있어 효과적인 것으로 알려져 있다.[13)] 뇌졸중 환자의 경우, 기능 운동단위 수 감소 및 작용하는 근육의 운동단위의 활성화 감소로 인하여 근육약화가 초래되고, 침범부위가 움직이는 동안 대항근육의 동시 수축이 일어나 기능을 수행하기가 어렵다.[12,14)] 특히, 마비

http://dx.doi.org/10.17817/2024.06.07.1111869

측 발바닥 굽힘근에 대한 수동적인 토크(신장에 대한 저항성)이 높아져,[15] 효과적인 보행 및 자세조절이 어려워져 보행속도에 큰 영향을 받는다. 따라서 발바닥 굴곡의 힘과 강도를 높이고 발목관절의 가동범위를 확보하기 위하여, 발 뒤꿈치 들어올리기 운동을 사용한다.[16]

계단보행과 관련된 그동안의 선행연구에서는 계단 보행 자체에 의미를 두거나, 계단에서의 단계별 훈련을 하는 연구들이 많았다. 또한, 발 뒤꿈치 올리기 운동은 일반적으로 임상에서 많이 적용 되나 이에 따른 효과를 조사한 연구는 제한적이였으며, 발 뒤꿈치 들기 운동 후 진행된 계단보행훈련이 효과적인지 여부를 조사한 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 발 뒤꿈치 들기 운동을 통한 선행성 자세조절 이후 진행된 계단 보행이 뇌졸중 환자의 자세정렬, 족저압, 균형, 근긴장도, 근경직, 도수근력에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 연구 기간

1) 연구 대상

본 연구는 경기도 수원시 소재한 S 병원에서 입원치료 중인 대상자로 진행하였으며, 대상자 선정은 뇌졸중 진단을 받은 자, 연구에 영향을 주는 시각 및 청각적 장애가 없는 자, 뇌졸중 이외에 신경학적 및 정형외과적 진단이 없는 자, 최소한의 도움으로 보행이 가능한 자로 하였다.

대상자는 53세 남성으로, 170cm, 60kg의 오른쪽 편마비 진단을 받았으며, 발병일 2022년 10월로 발병한지 약 16개월이 경과한 환자로 간이정신상태검사(Korea Mini Mental State Examination, K-MMSE) 30점 만점에서 24점 이상으로 의사소통이 가능하며 보조도구 없이 최소한의 도움으로 실내 보행이 가능한 자이다. 본 연구의 목적과 취지 및 일정에 관하여 설명을 듣고 이해하여 연구 참여에 동의하였다(Table 1).

Table 1. General characteristics of the subjects

Variable	Subject
Gender	Male
Age (year)	53
Weight (kg)	60
Height (cm)	170
Hemiplegic side	Right
Stroke type	CI (Lt. BG)
Onset (month)	16
K-MMSE	24

CI: Cerebral infarction, BG: Basal ganglia, K-MMSE: Korean version Mini Mental Status Examination

2) 연구 기간

본 연구는 경기도 수원시에 위치한 S병원에서 2024년 3월 4일부터 2023년 5월 3일까지 8주 동안 총 20회로 기초선 단계 5회, 중재 단계 10회, 회귀 단계 5회로 연구를 진행하였다.

2. 연구절차 및 중재방법

본 연구는 단일사례 연구방법(Single-subject Research Design) 중 ABA 디자인으로 설계하였다. 기초선 단계 A(Pre-baseline phase)는 5회 동안 치료를 실시하지 않고 매회 기초자료를 수집하였고, 중재 단계 B(Intervention phase)는 10회 동안 1일 1회, 회당 30분의 총 10회의 치료를 진행한 후 매회 기초자료를 수집하였다. 회귀 단계 A'(Regression phase)는 5회 동안 치료를 실시하지 않고 기초자료를 수집하였다.

1) 발 뒤꿈치 들기 중재 방법

발 뒤꿈치 들기 중재 방법은 이성미, 청현석 등[12]의 선행연구에서 수정 및 보완하여 진행하였으며, 총 세가지 단계로 진행되었다.

(A) 발바닥 굽힘근 신장

대상자는 계단 앞에서 바로 선 자세를 취하되, 발허리뼈 부분까지만 계단 첫 칸에 닿게 하여 발바닥 굽힘근의 신장이 일어날 수 있도록 하였다. 이때, 발 뒤꿈치에 수건을 제공을 통해 대상자의 발바닥 굽힘근 길이를 고려하여 신장의 정도를 조절하였고, 무릎관절의 각도는 젖힌 무릎이 나타나기 전까지로 하였다(Figure 1A).

(B) 발 뒤꿈치 들기 훈련 (발바닥 굽힘근 동심성 활성)

발바닥 굽힘근이 신장된 상태에서, 대상자는 발발 뒤꿈치를 가능한 만큼 올릴 수 있게 하였고, 정점 부분에서 등척성 활성을 위해 잠시 멈추어 버틸 수 있도록 하였다(Figure 1B).

(C) 발 뒤꿈치 내리기 운동 (발바닥 굽힘근 편심성 활성)

대상자는 바닥에 닿을 때까지 발 뒤꿈치를 내리는데, 이때 중력에 저항하며 발바닥 굽힘근의 편심성 활성이 나타날 수 있도록 천천히 내리도록 지시하였다(Figure 1C).

발바닥 굽힘근의 최대 근력을 사용할 수 있도록 발바닥 굽힘근이 신장된 위치에서 발 뒤꿈치 들기 운동을 진행하였고,[17] 치료사는 대상자가 마비측을 더 사용할 수 있도록 동등한 높이로 올라가고 내려갈 수 있도록 지시하였다. 또한 운동 중 균형능력이 제한되는 경우 불필요한 보상전략을 사용할 수 있으므로 대상자는 비마비측 손으로 계단 난간을 잡을 수 있

(A) (B) (C)

Figure 1. (A) Plantar flexor stretching exercise (B) Heel raise exercise (plantar flexor concentric contraction) (C) Heel lower exercise (plantar flexor eccentric contraction)

Figure 2. Stair training

게 하였고, 치료사는 골반이나 발목 등을 지지해주어 추가적인 안정성을 제공해주었다.

2) 계단 보행 훈련

계단 보행 훈련의 경우 서교철 등[12]의 선행연구를 참고하여 진행하였다. 환자는 선행연구에 따라 너비 0.8m, 디딤면 28cm, 높이 10cm로 이루어진 목재 계단을 사용하여[18] 계단 오르기 및 내려가기 훈련을 진행하였다(Figure 2). 계단 보행 훈련 동안, 치료사는 환자의 마비측 궁둥뼈를 지지해주며, 발목이 불안정할 경우 발목을 지지하여 환자가 계단 오르기를 할 수 있도록 도와주었다. 계단을 내려갈 때는 치료사가 환자의 마비측 무릎을 지지해주었으며, 마비측 발을 내릴 때에 발 뒤꿈치부터 닿을 수 있게 하여 안정적으로 무릎의 체중지지를 보조해주었다. 낙상 예방을 위하여 미끄럼 방지 테이프를 노면에 붙이고, 대상자는 낙상을 방지하기 위하여 계단에 붙어있는 안전바를 잡을 수 있도록 하였다. 보행능력이 증가함에 따라 치료사의 보조를 줄였으며, 두려움이 있거나 힘들 경우 잠시 휴식을 취하도록 하였다.

3. 측정도구 및 방법

(1) 선 자세 정렬 분석

선자세 정렬 분석은 Exbody® 9100 MOMI 근골격계 분석 장비(exbody Inc. Korea)를 통해 촬영하여 진행하였다(Figure 3A). 자세 정렬 분석의 정확성을 높이기 위해 기준점에 마커를 부착하여 서 있는 상태에서 신체 정렬을 측정하였으며, 신호 처리는 소프트웨어 프로그램을 사용하여 수행되었다. 대상자는 분석 장비 앞에 서서, 앞면 및 측면의 위치에서 각각 10초 동안 선 자세 정렬을 유지하였다. 앞면의 경우 복장뼈, 어깨봉우리, 앞위엉덩뼈가시, 무릎뼈, 목말종아리관절 중앙에 마커를 부착하였으며, 측면의 경우 턱관절 뒤, 어깨 중앙, 엉치뼈 2번, 엉덩관절, 무릎뼈 바로 뒤, 정강뼈 거친면에 부착하였다. 대상자는 자연스러운 자세로 서 있도록 하였으며, 자료의 정확성을 높이기 위해 측정은 3회씩 실시하였다.[19]

(2) 동적 및 정적 족저압 분석

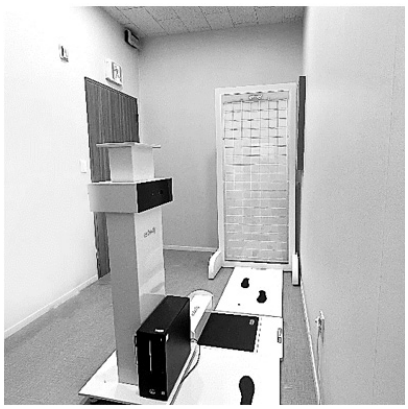
족저압은 exbody® Gait analyzer(exbody Inc. Korea)를 이용하여 측정하였다(Figure 3B). Gait Analyzer는 발 압력 플랫폼의 내장센서를 통하여 압력을 측정하는 방식이다. 이 장비는 정적 및 동적 족저압 분석이 가능하며 짧고 편리한 검사 가능하여 근골격계 및 신경계 환자의 하지 및 족부질환 척도 검사에 많이 이용되고 있다.[20,21,22] 족저압 평가의 경우 선행연구에 따라 6초 동안 플랫폼에서 맨발로 정적 선자세를 유지하였고, 보폭은 평균 8cm로 하여 동적 족저압을 측정하였다. 동적 족저압 중 중간 디딤기의 비율은 각 하지에 대한 체중부하율을 보여준다.[23]

(3) 10미터 걷기 검사

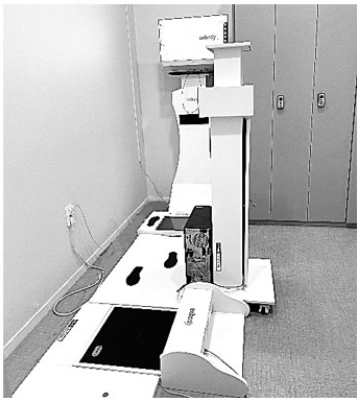
10미터 걷기 검사(10meter walk test, 10MWT)는 뇌졸중 환자의 보행 능력을 평가할 수 있는 도구이며, 뇌졸중 환자들을 대상으로 한 검사자 내 신뢰도는 ICC = 0.87이다.[24] 측정된 시간은 환자가 평상시 보행 속도로 걷는 동안 걸린 시간을 기록한 값으로, 측정된 시간을 바탕으로 속도 뿐만 아니라 한 발짝률과 한걸음 길이 등 여러 보행 항목을 분석할 수 있다.[25,26] 가속과 감속의 영향을 피하기 위해 시작 지점과 도착 지점 으로부터 2미터씩 거리를 각각 더 지정하여 총 14미터 거리를 보행하며, 10미터 측정 구간 거리를 보행한 시간만 기록한다.[27]

(4) 일어나 걸어가기 검사

일어나 걸어가기 검사(Time up and go, TUG)는 뇌졸중 환



(A)



(B)

Figure 3. (A) exbody® 9100 MOMI analyzer (exbody Inc. Korea) (B) exbody® Gait analyzer (exbody Inc. Korea)

(A)

(B)

Figure 4. (A) Myoton®PRO (MyotonAS, Estonia) (B) Commander echo wireless muscletester (J-tech, USA)

자의 이동능력 및 균형능력을 평가하는 검사로, 의자에서 일어나 3미터를 걸어간 뒤, 다시 돌아와서 의자에 앉는 방식이다. 자료수집의 정확성을 높이기 위하여 3회 측정한 값의 평균을 분석하였다. 뇌졸중 대상으로 한 일어나 걸어가기 검사의 검사 재검사 신뢰도는 ICC=0.95이다.[28)]

(5) 5회 앉았다 일어서기 검사

5회 앉았다 일어서기 검사(5-times sit to stand, 5TSTS)는 연구대상자의 하지 근력과 선 자세에서의 동적 균형을 평가하기 위해 시행하였다. 대상자는 등받이가 없는 매트에 앉아 양팔을 가슴에 교차하여 팔의 도움 없이 앉고 일어서는 동작을 5번 수행하는 동안의 시간을 측정하였다. 이때 선 자세에서 몸통을 바로 세우고, 무릎관절과 엉덩관절을 완전히 폄 할 것을 강조하였다. 자료수집의 정확성을 높이기 위하여 3회 측정한 값의 평균을 분석하였다. 5회 앉았다 일어서기 검사는 시간이 적을수록 근력 및 균형이 우수한 것을 의미하며, 최근 뇌졸중 환자를 대상으로 5번 앉았다 일어서기 검사의 검사자 내 신뢰도는 ICC=0.90이다.[29)]

(6) 버그 균형 척도

버그균형척도(Berg balance scale, BBS)는 일상생활에서 수행되는 정적균형과 동적균형을 평가하는 도구로, 앉은 자세부터 선 자세까지 총 14개의 항목으로 구성되어 있다. 뇌졸중 환자에서 검사자 내 신뢰도가 ICC=0.97이다.[30)] 각 항목은 0에서 4점으로 총 56점으로 0~20점은 낙상 고위험으로 휠체어에 의존해야 하는 수준을 말한다. 21~40 점은 낙상 중위험으로 도움 및 보조도구로 보행이 가능한 수준을 말한다. 41~56점은 낙상 저위험으로 독립적 보행이 가능한 수준을 말한다.

(7) 근긴장도 및 근경직 분석

근긴장도와 근경직은 Myoton®PRO(MyotonAS, Estonia)를 사용하여 측정하였다(Figure 4A). 이 장비는 피부에 수직으로 위치하여 기계의 탐침이 0.4N의 침으로 15msec 동안 압박하는 방식으로 측정되며, 이때 반응을 빈도(Frequency, Hz),

뻣뻣함(Stiffness, N/m), 감소율(Decrement)로 숫자로 계산되어 기록된다.[31] Myoton PRO에 대한 선행 연구에서 검사자 내 신뢰도는 ICC= 0.94 ~ 0.99로 나타났다.[32]

마비측(affected side)을 측정하였으며, 측정부위는 무릎폄에 관여하는 넙다리곧은근(Rectus femoris muscle), 안쪽넓은근(Vastus medialis), 그리고 발바닥 굽힘에 관여하는 장딴지근 안쪽과 가쪽(Medial & Lateral gastrocnemius)으로 하였고, 측정부위의 일관성을 유지하기 위해 SENIAM 지침을 따라 근육힘살(muscle belly)의 가장 높은 부위를 수직 방향으로 세 번 측정하여 평균값을 사용하였다.[33,34]

(8) 도수근력 분석

넙다리 네갈래근의 근력을 측정하기 위해 무선 디지털 근력 측정기(commander echo wireless muscletester, J-tech, USA)를 사용하였다(Figure 4B). 디지털근력계의 검사자 내 신뢰도는ICC = 0.62~0.95이다.[35] 앉은 자세에서 마비측 무릎을 최대한 폈을 때의 근력으로 측정하였으며, 대상자의 근피로 예방을 위하여 휴식시간 제공을 통해 측정 간 근피로를 방지하였고, 3회 측정하여 평균 값을 이용하였다.

4. 분석 방법

본 연구는 기초자료 수집 후 그래프를 이용하여 분석하였다. 각 변수들의 단계 내 평균값을 산출하여 각각의 단계의 변화율을 비교하여 제시하였다. 유의한 값을 확인하기 위하여 MCID(minimal clinically important difference)를 사용하였다. MCID는 “임상적으로 중요한 차이값”이며, 따라서 이 값보다 큰 변화량은 중요한 변화량으로 간주된다.[36] 기초선 단계 A의 평균±2 표준편차 구간을 중재 단계 B에서 넘어서는 결과 값이 연속으로 2번 이상 나타나면 유의한 것으로 간주하였으며,[37] 또한 회귀 단계 A’의 측정값이 기초선 단계의 평균값 이상일 때 유의한 것으로 분석하였다.[38]

본 연구의 경우 감소율을 계산하기 위한 데이터가 통계적으로 유의미한 결과를 도출하기에 충분하지 않으며 단일사례연구(ABA 디자인) 특성상 각 단계별 절대 변화량이 더 중요한 평가 지표로 사용되었으므로 감소율은 측정하지 않고 진행하였다.

III. 결 과

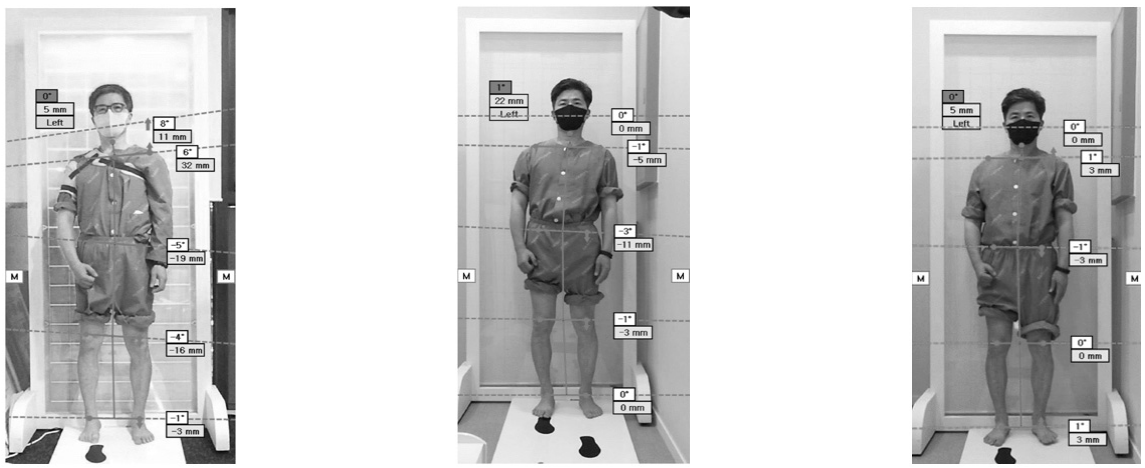
1. 선 자세 정렬 분석

이마면에서의 자세 비교 시 기초선 단계에서 비마비측에 비해 마비측에서의 어깨봉우리 위치가 낮고, 앞위엉덩뼈가시의 높이가 높았으나, 중재단계와 회귀단계를 거치면서 높이차이가 줄며 목의 기울임 정도가 함께 줄어들었다(Figure 5).

시상면에서의 자세 비교 시 기초선 단계에서 골반에서의 앞 기울임 각도가 높고 마비측 발가락 및 발바닥 굽힘근의 긴장도로 인해 발바닥 접지가 잘 이루어지지 않는 모습을 보였다. 중재단계, 회귀단계를 거치며 골반의 기울임 정도가 중립에 가까워졌으며 그에 따라 신장이 증가하는 양상을 보였다(Figure 6).

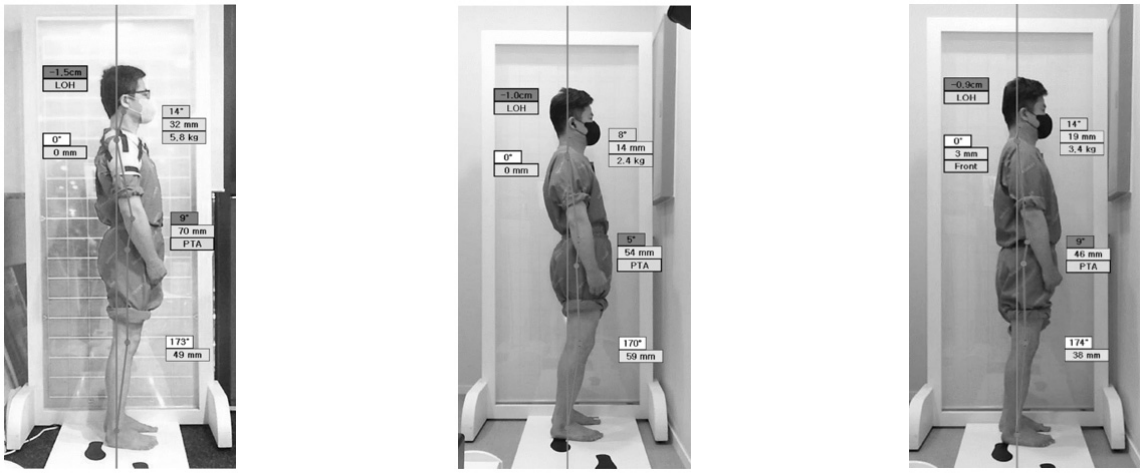
2. 동적 및 정적 족저압 분석

선 자세에서의 정적 족저압 분석 시 기초선 단계에서 마비측 발 뒤꿈치 접지가 안되며, 발 앞부분의 압력이 높았다. 중재단계와 회귀단계를 거치며 마비측 발 뒤꿈치의 압력이 증가하



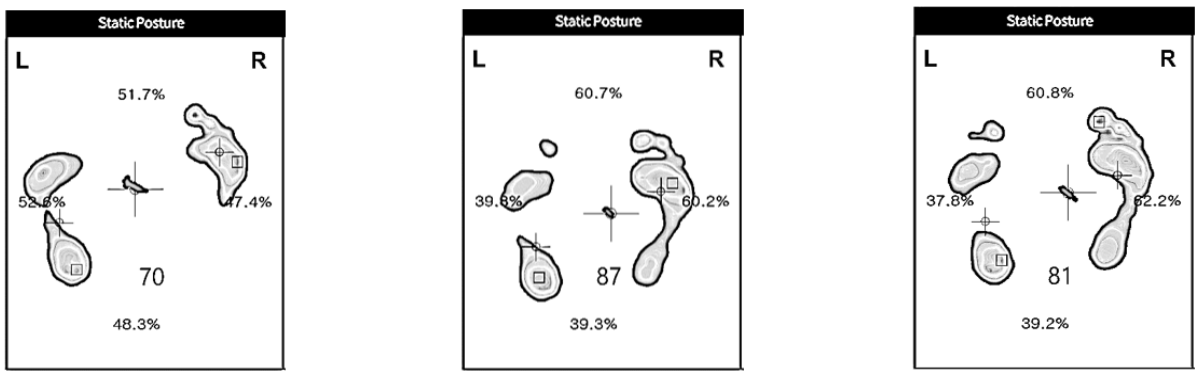
(A) (B) (C)

Figure 5. Comparison of standing posture alignment in the frontal plane (A) Baseline Phase (B) Intervention Phase (C) Regression Phase



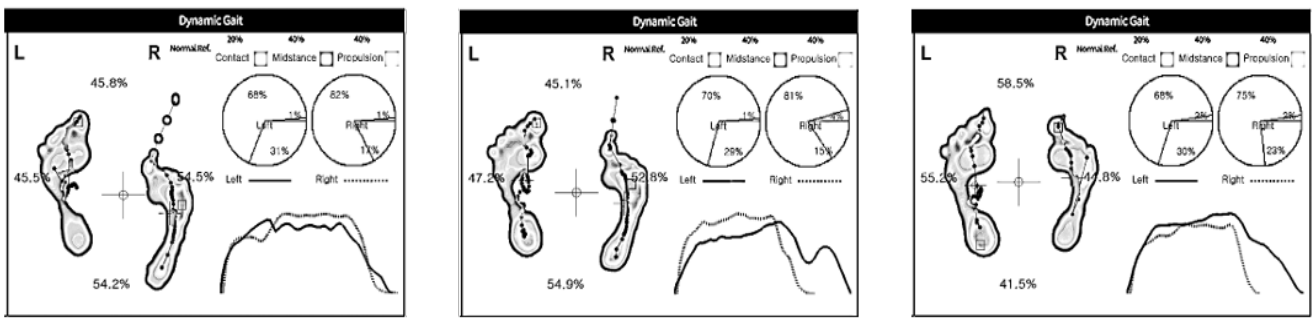
(A) (B) (C)

Figure 6. Comparison of standing posture alignment in the sagittal plane
(A) Baseline Phase (B) Intervention Phase (C) Regression Phase



(A) (B) (C)

Figure 7. Comparison of plantar pressure analysis in static posture
(A) Baseline Phase (B) Intervention Phase (C) Regression Phase



(A) (B) (C)

Figure 8. Comparison of plantar pressure analysis in dynamic posture
(A) Baseline Phase (B) Intervention Phase (C) Regression Phase

며, 발의 좌우앞뒤의 압력 분배율(%)이 기초선 단계보다 균등한 모습을 보였다(Figure 7).

보행 시의 동적 족저압 분석 시 기초선 단계에서 발 끌림 현상으로 인해 마비측 발의 주행 방향대로 압력이 표시되었다. 중재단계와 회귀단계를 거치며 디딤기 시 발 가쪽의 압력이 줄어들었고, 흔듦기 시의 엄지 발가락의 압력이 감소한 모습을 보였다(Figure 8).

Table 2. 10 meter walk test

Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
10 meter walk test (sec)	33.27±0.80	36.91±2.01	34.85±1.03

M±SD: mean ± standard deviation

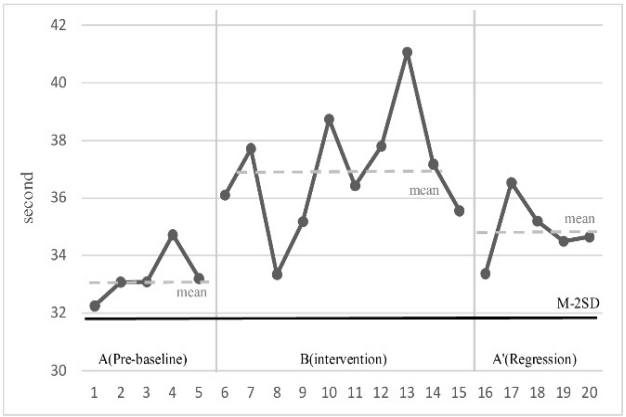


Figure 9. Comparison of 10MWT Times at the Baseline Phase, Intervention Phase, and Regression Phase. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

3. 10미터 걷기 검사(10-meter walk test, 10MWT)

기초선 단계에서 33.27±0.80s, 중재 단계에서 36.91±2.01s, 회귀 단계에서 34.85±1.03s 으로 시간이 증가하였으며, 중재 단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘지 않아 유의하지 않았고(Figure 9), 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 높은 평균값을 보여 유의하지 않았다(Table 2).

4. 일어나서 걷기 검사 (Time up and go, TUG)

기초선 단계에서 40.49±1.17s, 중재 단계에서 35.35 ± 0.83s, 회귀 단계에서 34.58±1.63s 으로 시간이 감소하였다. 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였다(Figure 10). 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 낮은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 3).

Table 3. Time up and go test

Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Time up and go test (sec)	40.49±1.17	35.35±0.83	34.58±1.63

M±SD: mean ± standard deviation

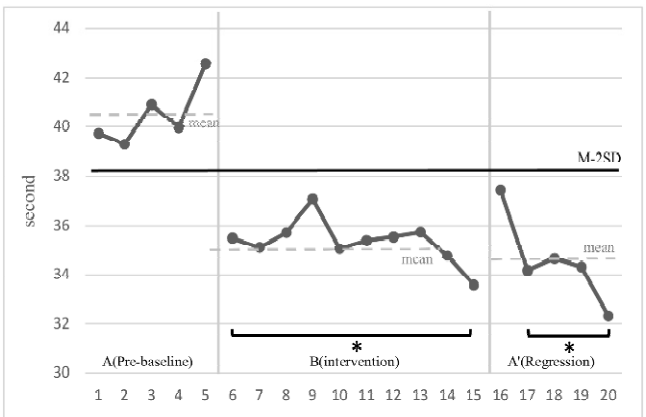


Figure 10. Comparison of TUG Times at the Baseline Phase, Intervention Phase, and Regression Phase. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

Table 4. 5 times sit to stand

Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
5 times sit to stand (sec)	16.71±1.36	13.85±0.62	13.65±0.6

M±SD: mean ± standard deviation

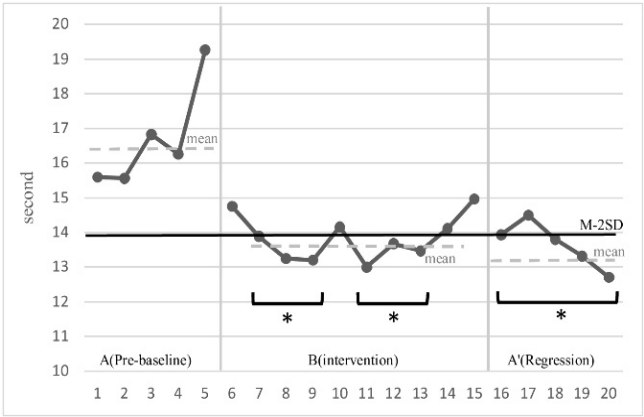


Figure 11. Comparison of 5TSTS times at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase

5. 5회 앉았다 일어서기 검사(5-times sit to stand, 5TSTS)

기초선 단계에서 16.71±1.36s, 중재 단계에서 13.85±0.62s, 회귀 단계에서 13.65±0.6s 으로 시간이 감소하였다. 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였다(Figure 11). 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 낮은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 4).

6. 버그 균형 척도(Berg balance scale, BBS)

기초선 단계에서 34.2±1.32점, 중재 단계에서 39.2±0.87점, 회귀 단계에서 41.8±0.4점으로 점수가 증가하였다. 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였다(Figure 12). 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 높은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 5).

Table 5. Berg balance test

Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Berg balance test (score)	34.2±1.32	39.2±0.87	41.8±0.4

M±SD: mean ± standard deviation

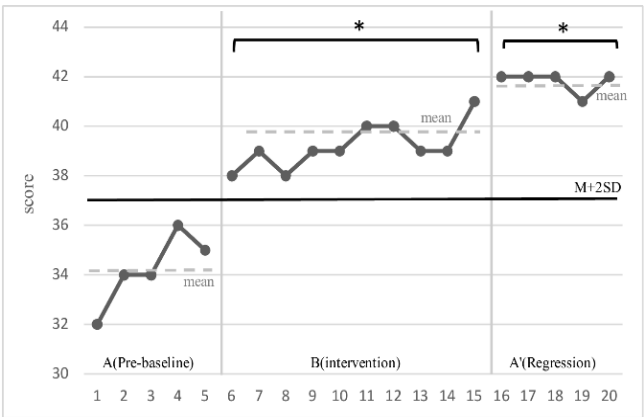
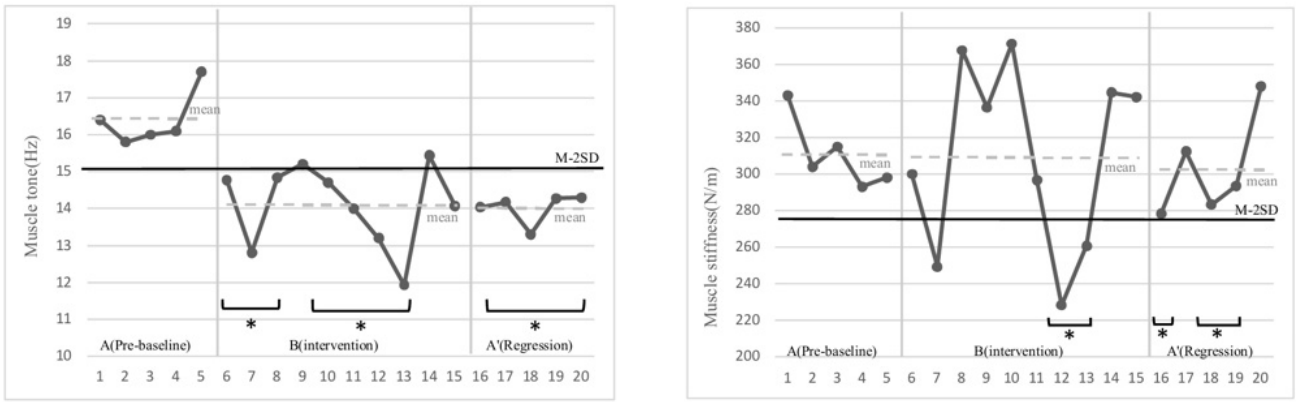


Figure 12. Comparison of BBS score at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

Table 6. Change of Rectus femories muscle tone and muscle stiffness

Muscle	Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Rectus femories	Muscle tone (Hz)	16.4±0.68	14.09±1.07	14.01±0.37
	Stiffness (N/m)	310.6±17.79	309.7±48.03	303.13±25.27

M±SD: mean ± standard deviation



(A) (B)

Figure 13. Comparison of rectus femories muscle tone and stiffness at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. (A) Rectus femories muscle tone (B) Rectus femories muscle stiffness. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

7. 근긴장도 및 근경직 분석

넙다리곧은근의 근긴장도와 근경직은 각각 기초선 단계에서 16.4±0.68Hz, 310.6±17.79N/m 중재 단계에서 14.09±1.07Hz, 309.7±48.03N/m, 회귀 단계에서 14.01±0.37Hz, 303.13±25.27N/m로 모두 감소하였다. 근긴장도와 근경직 모두에서 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였고(Figure 13), 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 낮은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 6).

안쪽넓은근의 근긴장도와 근경직은 각각 기초선 단계에서 14.14±0.23Hz, 248.8±12.92N/m 중재 단계에서 12.61±0.49Hz, 229.1±14.73N/m, 회귀 단계에서 12.19±0.7Hz, 222.07±18.00N/m로 모두 감소하였다. 근긴장도와 근경직 모두에서 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였고(Figure 14), 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 낮은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 7).

안쪽 종아리근의 근긴장도와 근경직은 각각 기초선 단계에서 16.84±0.82Hz, 278.9±19.61N/m 중재 단계에서 13.87±1.86Hz, 232.27±32.43N/m, 회귀 단계에서 12.88±1.07Hz, 237.73±12.57N/m로 모두 감소하였다. 근긴장도와 근경직 모두에서 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였고(Figure 15), 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 낮은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 8).

가쪽 종아리근의 근긴장도와 근경직은 각각 기초선 단계에서 16.84±1.82Hz, 297±38.43N/m 중재 단계에서 13.87±1.32Hz, 275.67±52.82N/m, 회귀 단계에서 11.61±1.21Hz, 215.73±32.37N/m로 모두 감소하였다. 근긴장도와 근경직 모두에서 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였고(Figure 16), 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 낮은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 9).

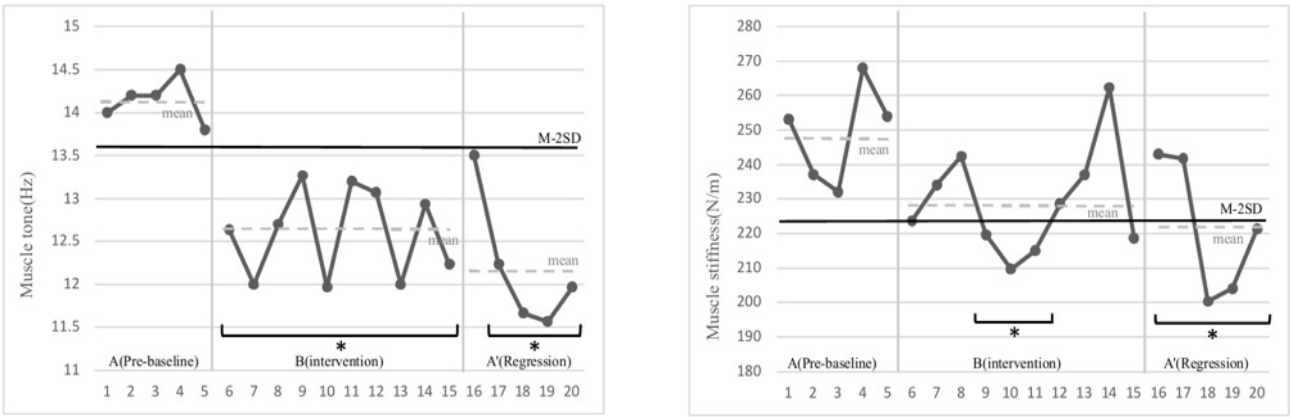
8. 도수근력 분석

넙다리네갈래근의 도수근력은 기초선 단계에서 1.44±0.20kg, 중재 단계에서 2.41 ± 0.16kg, 회귀 단계에서 2.65±0.16kg으로 증가하였다. 중재단계에서 기초선 단계의 평균±2*표준편차를 2번 이상 연속으로 넘어 유의한 결과를 보였고(Figure 17), 회귀 단계에서 기초선 단계 A의 평균값보다 높은 평균값을 보여 유의한 결과를 보였다(Table 10).

Table 7. Change of Vastus medius muscle tone and muscle stiffness

Muscle	Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Vastus medius	Muscle tone (Hz)	14.14±0.23	12.61±0.49	12.19±0.7
	Stiffness (N/m)	248.8±12.92	229.1±14.73	222.07±18.00

M±SD: mean ± standard deviation



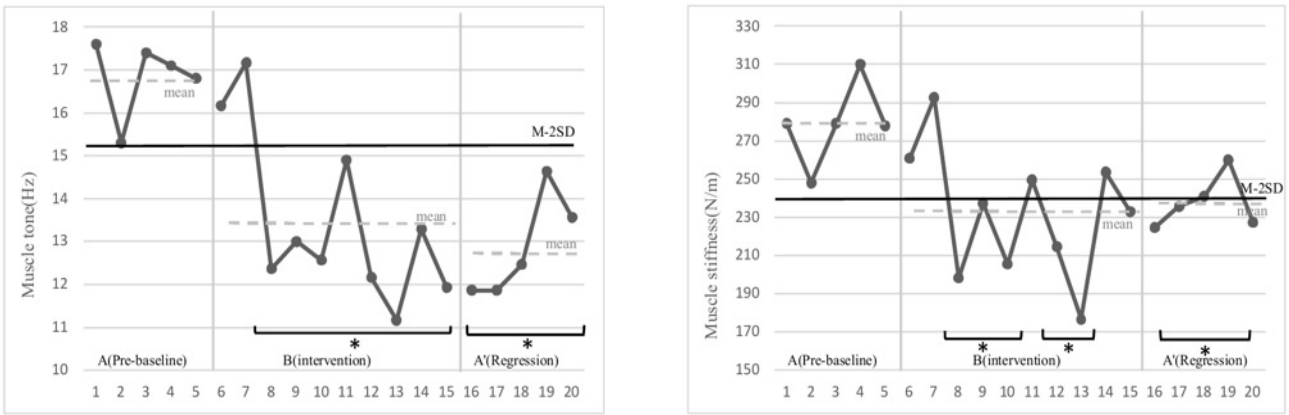
(A) (B)

Figure 14. Comparison of vastus medius muscle tone and stiffness at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. (A) Vastus medius muscle tone (B) Vastus medius muscle stiffness. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

Table 8. Change of Medial gastrocnemius muscle tone and muscle stiffness

Muscle	Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Medial gastrocnemius	Muscle tone (Hz)	16.84±0.82	13.47±1.86	12.88±1.07
	Stiffness (N/m)	278.9±19.61	232.27±32.43	237.73±12.57

M±SD: mean ± standard deviation



(A) (B)

Figure 15. Comparison of medial gastrocnemius muscle tone and stiffness at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. (A) Medial gastrocnemius muscle tone (B) Medial gastrocnemius muscle stiffness. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

Table 9. Change of Lateral gastrocnemius muscle tone and muscle stiffness

Muscle	Variable	A(Pre-baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Lateral gastrocnemius	Muscle tone (Hz)	16.84±1.82	13.87±1.32	11.61±1.21
	Stiffness (N/m)	297±38.43	275.67±52.82	215.73±32.37

M±SD: mean ± standard deviation

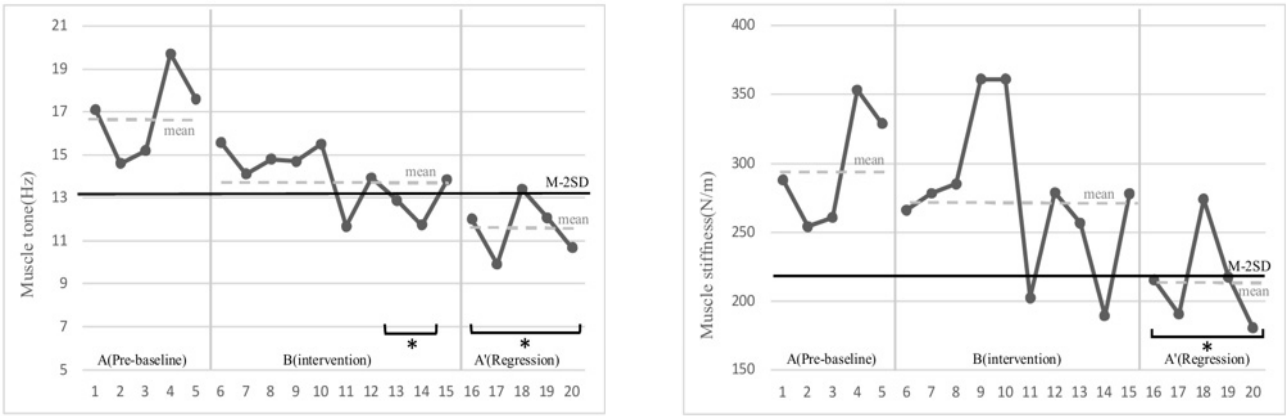


Figure 16. Comparison of lateral gastrocnemius muscle tone and stiffness at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. (A) Lateral gastrocnemius muscle tone (B) Lateral gastrocnemius muscle stiffness. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

Table 10. Change of Quadriceps muscle MMT

Variable	A(Pre−baseline)	B(Intervention)	A'(Regression)
Quadriceps muscle MMT(kg)	1.44±0.20	2.41±0.16	2.65±0.16

M±SD: mean ± standard deviation

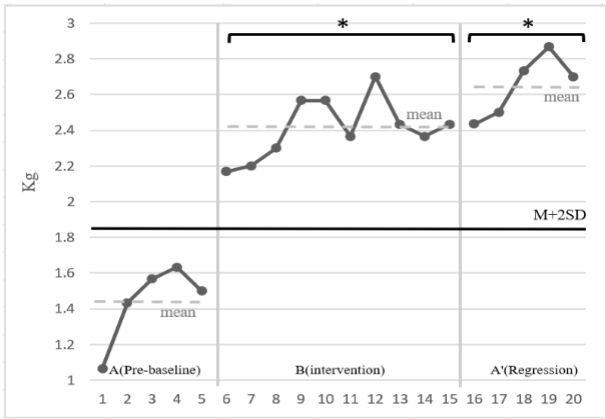


Figure 17. Comparison of quadrices MMT at the baseline phase, intervention phase, and regression phase. The dashed line represents phase averages, while the solid line is twice the standard deviation of the baseline phase.

Ⅳ. 고 찰

뇌졸중은 뇌혈관의 파열이나 막힘으로 인해 발생하는 신경학적 결손으로 근약화 및 비정상적인 움직임 패턴, 균형 능력과 체중이동 능력의 저하 등에 의해 일상생활에 어려움을 주며, 보행능력의 증진과 회복은 뇌졸중 환자가 사회로 복귀하는 데에 중요한 역할을 한다.[39,40,41] 계단보행의 경우 뇌졸중 환자의 보행 능력 및 삶의 질 측면에서 중요한 변수로 작용되고 있어,[42] 다양한 연구에서 뇌졸중 환자의 보행 회복을 위한 재활 방법으로써 계단보행을 적용하였다.[43,44]

그러나 뇌졸중 환자의 경우 계단보행 시 일반인에 비해 더 높은 근력과 산소요구량을 보이는데, 이에 따라 이들이 가진 문제를 해결하기 위해 맞춤형 재활 전략이 제공되어야 한다.[45] 박기현 등은 일반인에 비해 뇌졸중 환자의 계단 보행 시에 더 높은 수준의 발목과 무릎 폄에서의 근수축이 필요하다고 보고하였다.[46]

또한 뇌졸중 환자의 경우 마비측 발바닥 굽힘근의 긴장도가 높아져 있는데,[17] 이러한 변화는 계단 보행 시에 효율적이고 기능적 움직임이 제한되며 일반인에 비해 더 높은 에너지 소비량을 요구하게 된다.[12]

따라서 발바닥 굽힘근과 관련된 재활 전략이 필요한데, 특히 발뒤꿈치 들기 운동의 경우 별다른 장비가 필요하지 않고 집에서도 할 수 있는 비교적 간단한 동작이며, 기계 기반 운동에 비해 더 높은 수준의 자세 조절이 필요하여 일상 생활에 도움이 될 수 있다.[47] 이에 따라 다양한 연구에서 뇌졸중 환자의 보행 및 균형 능력 향상을 목적으로 발 뒤꿈치 들기 운동을 진행한다.[12,16]

이러한 선행 연구를 토대로 본 연구에서는 발 뒤꿈치 들기 운동 후 진행된 계단 보행이 뇌졸중 환자의 자세정렬, 족저압, 균형, 근긴장도, 근경직, 도수근력에 미치는 효과에 대해 규명하고자 하였다. 단일사례연구방법 중 ABA 디자인으로 8주 동안 실시하였으며, 중재 전후의 변화를 측정하기 위해 10MWT, TUG, 5TSTS, BBS를 사용하였고, 장비로는 exbody® 9100 MOMI analyzer, exbody® Gait analyzer, Myoton®PRO, Commander echo wireless muscletester를 사용하였다.

자세정렬의 경우 기초선 단계에서 중재단계, 회귀단계로 지나감에 따라 각 관절들이 중립 위치에 가까워졌고, 이에 따라 키가 증가하는 모습을 볼 수 있었다. 또한 족저압 비교 시, 정적 족저압에서 기초선 단계에서 보지 못한 마비측 발 뒤꿈치 압력을 중재단계, 회귀단계로 거치며 발견할 수 있었다. 동적 족저압에서는 기초선 단계에서 마비측 발의 흔듦기 시 발처짐(foot drop)으로 인해 엄지 발가락에서의 압력이 발생하였으나, 중재 단계에서 그 정도가 줄었고 회귀단계에서는 표시되지 않았다. 이는 중재를 통해 정상적인 발 모양 및 족저압과 가까워졌으며, 그로 인해 자세 교정 및 보행시의 긍정적인 변화를 나타낸 것으로 보인다.[48,49]

TUG 검사와 5TSTS에서는 중재단계와 회귀단계에서 유의미한 결과가 나왔으나, 보행 속도를 평가하는 10MWT에서는 유의하지 않았으며 시간이 증가하였다. 이것은 계단보행을 통해 다리의 디딤기 기간이 증가하면서 보행패턴의 변화가 발생하였으나, 새로운 보행패턴에 대한 심리적인 낙상 우려로 인하여 보행 속도가 증가된 것으로 사료된다.[50] 실제로 뇌졸중 환자의 경우 발바닥 굽힘근의 약화로 인해 보행 중 비대칭이 증가하게 되는데,[51] 대상자의 경우 보행 속도의 증가가 있었지만 보행패턴의 대칭성은 증가한 것을 볼 수 있었다.

BBS에서는 중재단계와 회귀단계 모두 유의한 결과를 보였다. 발바닥 굽힘근은 질량중심이 변하기 전 예상 수축을 통해 자세조절에 기여하여 서 있는 자세를 안정적으로 유지하는 역할을 하는데, [52,53] 발바닥 굽힘근의 활성도가 증가하며 이에 따라 균형능력이 향상된 것으로 보인다. 더불어 계단보행의 경우 평지보행에 비해 더 큰 하지 근활성도를 보이기 때문에 이에 따른 무릎 폄근의 근력 역시 유의미하게 증가한 것으로 보인다.

본 연구에서 확인한 근긴장도 측정기는 근육의 기계적 성질과 긴장상태를 측정할 수 있었는데, 넙다리 곧은근, 안쪽넓은근, 안쪽 및 가쪽 장딴지근에서 근긴장도 및 근경직이 모두 유의미하게 감소한 결과를 보였다. 이는 중재단계에서 진행된 발바닥 굽힘근 신장이 발바닥 굽힘근의 근긴장도와 근경직을 감소시켰으며,[54] 이후 진행된 발 뒤꿈치 들기 운동 및 계단보행을 통해 골지힘줄기관에서 발생하는 근육정보의 지속시간을 연장하여 발바닥 굽힘근의 근력을 더 크게 증가시켰고,[17] 이에 따라 최종적으로 회귀단계에서까지 유의미한 결과가 나온 것으로 사료된다.

이상의 결과에 따라 본 연구에서 제시한 발 뒤꿈치들기 운동과 결합한 계단보행 운동은 뇌졸중 환자의 균형 능력 및 근긴장도와 근경직, 근력에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 본 연구의 제한점으로는 단일 사례 연구였기에, 본 연구의 결과를 모든 뇌졸중 환자에게로 일반화하여 해석하는데 제한이 따른다. 또한 대상자의 치료시간 외 활동에 대하여 통제하지 못한 점, 일반적인 재활치료의 효과를 완전히 배제할 수 없다는 점에 제한이 있다. 향후 본 연구를 기반으로 한계점을 보완한 연구가 진행된다면 뇌졸중 환자들의 일상생활 복귀에 도움이 될 것으로 판단된다.

References

1. Katan M, Luft A. Global burden of stroke. In: Seminars in neurology. Thieme Medical Publishers. 2018;208-11.
2. 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): 1185-93.
3. Kim BH. The effect of a task oriented training for trunk control ability, balance and gait after stroke. Sahmyook University. Dissertation of Master's Degree. 2009.
4. Kim HS, Lee KC, Bae WS. The Effects of Stepping Exercises on a Box or Stairs on Stroke Patients Lower

Limb Muscle Activity and Balance. Research Journal of Pharmacy and Technology. 2018;11(4):1289-92.
5. Kim YH, Kim YD, Kim JH, et al. The Effects of Task Oriented Stair Gait Training on Muscle Activities of the Lower Extremity and Balance in Stroke Patients. Journal of Korean Society for Neurotherapy. 2017;21(1):21-30.
6. Peng J, Fey NP, Kuiken TA, et al. Anticipatory kinematics and muscle activity preceding transitions from level-ground walking to stair ascent and descent. Journal of Biomechanics. 2016;49(4): 528-36.
7. Wang K, Delbaere K, Brodie MAD, et al. Differences between gait on stairs and flat surfaces in relation to fall risk and future falls. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2017; 21(6): 1479-86.
8. Seo KC, Seung HP, Park KY. The effects of stair gait training using proprioceptive neuromuscular facilitation on stroke patients' dynamic balance ability. Journal of Physical Therapy Science. 2015; 27(5):1459-62.
9. Choi YK, Kim K, Choi JU. Effects of stair task training on walking ability in stroke patients. Journal of Physical Therapy Science. 2017; 29(2): 235-7.
10. Beyaert C, Vasa, R, Frykberg GE. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology. 2015;45(4):335-55.
11. Novak, Alison Christine. Biomechanical and physical requirements of stair negotiation with respect to aging and stroke. Queen's University. Dissertation of Doctorate Degree. 2011.
12. Polese JC, Ribeiro-Samora GA, Lana RC, et al. Energy expenditure and cost of walking and stair climbing in individuals with chronic stroke. Brazilian Journal of Physical Therapy. 2017; 21(3): 192-8.
13. 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):706-15.
14. Ng SS, Shepherd RB. Weakness in patients with stroke: Implications for strength training in neurorehabilitation. Physical Therapy Reviews. 2000;5: 227–38.
15. Lorentzen, J, Michael JG, Clarissa C, et al. Distinguishing active from passive components of ankle plantar flexor stiffness in stroke, spinal cord injury and multiple sclerosis. Clinical neurophysiology, 2010;121(11):1939-51.
16. 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.
17. Laroche DP, Declan AJ. Effects of stretching on passive muscle tension and response to eccentric exercise. The American Journal of Sports Medicine. 2006;34(6): 1000-7.
18. Choi YH, Kim KH. A Study on Balance and Muscular Activity in Gait Training according to Stair Height of Adult Hemiplegic Patients. Journal of the Korean Society of Content Association Comprehensive Academic Conference. 2012:181-2
19. Kim DH, Lim JM. The effect of pilates core exercise on body alignment. Korean Society of Sports Physical Therapy. 2020;16(1):15-24.
20. Lee JH, Lee JO, Park SH, et al. Biomechanical gait analysis and simulation on the normal, cavus and flat foot with orthotics. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, 2007;31(11):1115-23.
21. Eun, YJ, Song YK, Lim, HH. A Study of the Correlation between Spinal Curvatures, Plantar Pressure and Foot Angles. The Journal of Korea CHUNA Manual Medicine for Spine and Nerves. 2007;2(2): 1-16.
22. Park KM, Soh MG, Song YK, et al. A Case Study of Familial Scoliosis. Journal of Korean Medicine Rehabilitation. 2008;18(3):187-99.
23. Han JH, Kim JH, Jung MK, et al. The Correlation Between Forward Head Posture Used McKenzie Exercise and Plantar Pressure. The Journal of Korean Academy of Orthopedic Manual Physical Therapy. 2016;22(1): 65-70.
24. Green J, Forster A, Young J. Reliability of gait speed measured by a timed walking test in patients one year after stroke. Clinical rehabilitation. 2002;16(3):306-14.
25. Watson MJ. Refining the ten-metre walking test for use with neurologically impaired people. Physiotherapy. 2002; 88(7):386-97.
26. Dean CM, Richards CL, Malouin F. Task-related circuit training improves performance of locomotor tasks in chronic stroke: a randomized, controlled pilot trial. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2000;81(4):409-17.
27. Rossier P, Wade DT. Validity and reliability comparison of 4 mobility measures in patients presenting with

neurologic impairment. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2001;82(1):9-13.
28. Alghadir AH, ELinas SA, Anwer S, et al. Reliability, validity, and responsiveness of three scales for measuring balance in patients with chronic stroke. BMC neurology. 2018;18:1-7.
29. Mong Y, Teo TW, Shamay S. 5-repetition sit-to-stand test in subjects with chronic stroke: reliability and validity. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2010;91(3):407-13.
30. Blum L, Korner-Bitensky N. Usefulness of the Berg Balance Scale in stroke rehabilitation: a systematic review. Physical Therapy. 2008;88(5):559-66.
31. Criswell E. Cram's introduction to surface electromyography. Jones & Bartlett Publishers. 2010.
32. Agyapong-Badu S, Aird L, Mooney K, et al. Interrater reliability of muscle tone, stiffness and elasticity measurements of rectus femoris and biceps brachii in healthy young and older males. Working Papers in the Health Sciences. 2013;4:1-11.
33. Park SJ, Cho KH, Cho YH. Effect of exercise with functional electrical stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation on muscle tone, stiffness of calf muscle, and balance ability in patients with stroke. Journal of the Korean Society of Physical Medicine. 2017;12(2):43-52.
34. Park YH, Eo YS. Effect of Kinesio Taping Method on Ankle Muscle Tone, Balance Ability and Range of Motion in Chronic Stroke Patients. Journal of the Korean Society of Physical Medicine. 2021;16(1):83-92.
35. Cronstrom A, Ageberg E, Franettovich Smith MM, et al. Factors affecting knee abduction during weight-bearing activities in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. Physical Therapy in Sport. 2019;38:8-15.
36. Copay AG, Subach BR, Glassman SD, et al. Understanding the minimum clinically important difference: a review of concepts and methods. The Spine Journal. 2007;7(5):541-6.
37. Ottenbacher KJ. Evaluating clinical change: strategies for occupational and physical therapists. Baltimore. MD:William & Wilkins. 1986.
38. Marklund I, Klässbo M. Effects of lower limb intensive mass practice in poststroke patients: singlesubject experimental design with longterm followup. Clinical Rehabilitation. 2006;20(7):56876.
39. Eran C, Robert RG, James KT. Improved recovery in activities of daily living associated with remission of poststroke depression. Stroke. 2001;32(1): 113-7.
40. Eich HJ, Mach H, Werner C, et al. Aerobic treadmill plus Bobath walking training improves walking in subacute stroke: a randomized controlled trial. Clinical rehabilitation. 2004;18(6): 640-51.
41. Lim NB, Lee WD. Effects of Pelvis Movements Facilitation Exercises using Intrinsic Foot Muscle Activation on Postural Balance, Core Stability and Lower Limb Strength: A Single-Case. Journal of Korean Society for Neurotherapy 2023;27(3):61-72.
42. Price R, Nancy LC. Investigating the relationship of the functional gait assessment to spatiotemporal parameters of gait and quality of life in individuals with stroke. Journal of Geriatric Physical Therapy. 2019; 42(4) : 256-64.
43. Koh SU, Choi WJ, Lee SW. The Effects of Stair Climbing Training with Functional Electrical Stimulation on Muscle Strength, Balance, and Gait in Patients with Chronic Stroke. Physical Therapy Rehabilitation Science. 2021;10:32-9
44. Seo KC, Kim JS, Wi GS. The effects of stair gait exercise on static balance ability of stroke patients. Journal of Physical Therapy Science. 2014;26(11):1835-8.
45. Novak AC, Brouwer. Strength and aerobic requirements during stair ambulation in persons with chronic stroke and healthy adults. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2012; 93(4): 683-9.
46. Park KH, Kim DY, Kim TH. The effect of step climbing exercise on balance andstep length in chronic stroke patients. Journal of Physical Therary Science.2015; 27:3515-8.
47. Blievernicht J, Sullivan K, Erickson MR. Outcomes following kinesthetic feedback for gait training in a direct access environment: A case report on social wellness in relation to gait impairment. Physiotherapy Theory and Practice. 2012;28:326-32.
48. Buldt AK, Allan JJ, Landorf KB, et al. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: a systematic review. Gait & Posture.2018; 62:56-67.
49. Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, et al. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A

comparison of normal, planus and cavus feet.Gait & posture2018;62:235-40.
50. Lauziere S, Betschart M, Aissaoui R, et al. Understanding spatial and temporal gait asymmetries in individuals post stroke. International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. 2014;2(3): 201.
51. Lauzière S, Miéville C, Betschart M, et al. Plantarflexor weakness is a determinant of kinetic asymmetry during gait in post-stroke individuals walking with high levels of effort. Clinical Biomechanics. 2015; 30(9): 946-52.
52. Nadeau S, Gravel D, Arsenault AB, et al. Plantarflexor weakness as a limiting factor of gait speed in stroke subjects and the compensating role of hip flexors. Clinical Biomechanic.1999;14:125-35.
53. Fujiwara K, Toyama H, Kunita K. Anticipatory activation of postural muscles associated with bilateral arm flexion in subjects with dierent quiet standing position. Gait & Posture. 2003;17:254-63.
54. Guissard N, Duchateau J. Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine. 2004;29(2):248-55.