

Original Article

Open Access

발 내재근을 동반한 발목 스트레칭이 만성 뇌졸중 환자의 발목 관절가동범위, 정적 및 동적 균형과 보행속도에 미치는 영향

곽영환 · 김창훈 · 윤정은 · 박동환[†]
경남대학교 일반대학원 물리치료학과

Effects of Ankle Stretching with Intrinsic Muscles on Ankle Range of Motion, Static and Dynamic Balance, and Gait Speed in Chronic Stroke Patients

Young-Hwan Kwag, P.T., M.Sc. · Chang-hoon Kim, P.T., M.Sc. ·
Jeong-Eun Yoon, P.T., M.Sc. · Dong-Hwan Park, P.T., Ph.D.[†]

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

Received: May 21, 2024 / Revised: June 4, 2024 / Accepted: June 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 ankle stretching with intrinsic muscles on ankle range of motion, static and dynamic balance, and gait speed in chronic stroke patients.

Methods: The participants were 20 chronic stroke patients, divided into two groups, 10 in the ankle stretching with intrinsic muscles group and 10 in the slant board exercise group. Both groups performed their respective interventions once daily, with three sets per session, five times a week for four weeks. Ankle range of motion, dynamic and static balance, and gait speed were measured before and after the intervention. An independent t-test was used to compare the results between the two groups before and after the intervention.

Results: Both groups showed significant improvements in ankle range of motion, dynamic and static balance, and gait speed after the intervention ($p < .05$). The ankle stretching with intrinsic muscles group showed more significant improvements in ankle range of motion, dynamic and static balance, and gait speed after the intervention compared to the slant board group ($p < .05$). These results suggest that ankle stretching with intrinsic muscles may be more effective than the slant board for certain outcomes.

Conclusion: Ankle stretching with intrinsic muscles is effective in improving ankle range of motion, dynamic and static balance, and walking speed.

Key Words: Ankle stretching with intrinsic muscles, Ankle range of motion, Balance, Gait speed

[†]Corresponding Author : Dong-Hwan Park (donghwan80@kyungnam.ac.kr)

I. 서론

뇌졸중은 장기적인 장애로 인해 장기간 치료를 필요로 하는 질환이며(Feigin et al., 2019), 환자는 뇌졸중 후 독립적인 일상생활을 방해하는 운동장애를 경험하게 된다(Mercier et al., 2001). 특히, 편마비와 경직(Spasticity)으로 인한 하지의 운동장애는 이동성과 기능적 독립성에 큰 영향을 미친다(Cacho et al., 2017). 또한, 뇌졸중 후 경험하게 되는 약화(weakness)와 협응장애는 서고, 걷고, 환경을 탐색하는 데 어려움을 초래하며, 그 결과 환자의 삶의 질이 저하된다(McKenna et al., 2017).

발 내재근(foot intrinsic muscles)은 보행 중 발의 아치를 유지하고 발의 안정성을 제공한다(Kelly et al., 2014). 뇌졸중 환자의 경우 경직으로 인해 발 내재근이 활성화되지 않으며(Galiana et al., 2005), 이러한 발 내재근의 비활성화는 발의 안정성 감소와 보행 시 발과 다리로 가해지는 압력의 증가로 인해 통증이나 불안정성을 유발할 수 있다(Nyska et al., 2003).

발 내재근 스트레칭은 발목 근육의 유연성을 향상시키며(Boonchum et al., 2020), 근육의 유연성이 증가하면 보행 및 운동 시 발생하는 근육의 긴장이 감소하고 균형을 유지하기 쉬워진다(Micheo et al., 2012). 이러한 근육의 유연성 증가는 보행 중 발의 안정성을 향상시키고 균형을 유지하는 데 도움이 된다(Oddsson et al., 2007). 또한 발 내재근 스트레칭은 발목 및 발바닥의 인대(ligament)의 유연성을 증가시켜주며(Oddsson et al., 2007), 발의 가동범위를 증가와 발아치를 유지하는 데 도움을 준다(McKeon et al., 2015).

균형과 보행에 어려움을 가진 뇌졸중 환자에게 균형과 보행을 향상시키기 위한 다양한 발목 스트레칭 중재가 보고되고 있다(Huang et al., 2022; Taddei et al., 2020). Taddei 등(2020)의 연구에서는 8주간의 발 스트레칭이 보행속도를 향상시킨다고 보고하였다. 또한, Huang 등(2022)의 연구에서는 축구선수를 대상으로 장딴지근(gastrocnemius)과 가자미근(soleus)의 스트레칭이 발목의 유연성, 동적균형 및 보행속도에 향

상시킨다고 보고하였다. 마지막으로 Thong-On 등(2019)의 연구에서 발바닥근막염(plantar fasciitis)환자를 대상으로 4주 동안 실시한 발 내재근 스트레칭 및 강화운동이 보행 속도와 분당걸음수를 향상시킨다고 하였다.

뇌졸중 환자의 관절가동범위와 균형능력 그리고 보행 능력을 향상시키기 위한 발목 스트레칭 연구들은 다양하게 보고되고 있으나, 뇌졸중 환자를 대상으로 발 내재근을 동반한 발목 스트레칭(Ankle stretching with intrinsic muscles, ASIM)의 효과를 알아본 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 발 내재근을 동반한 발목 스트레칭이 만성 뇌졸중 환자의 발목 관절가동범위와 정적 및 동적 균형 그리고 보행속도에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 경상남도 H병원에서 입원한 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 실시하였다. 6명의 지원자를 대상으로 예비 검사를 수행하였고, 그 결과를 토대로 G-power 소프트웨어(버전 3.1)를 이용하여 유의 수준(.05), 검정력(.80), 효과 크기(1.16)로 설정하였다. 검정력 분석 결과 20명의 대상자를 필요로 하였다. 대상자는 병원내 게시판을 통하여 모집하였고, 모든 대상자들은 충분한 설명을 통하여 자발적으로 참가하였다. 선정 기준으로는 뇌졸중을 진단받고 6개월이 경과한 자, 독립적으로 10M 이상 보행이 가능한 자, 간이정신상태검사(mini-mental state examination, MMSE) 24점 이상으로 연구 내용을 이해하고 의사소통이 가능한 자로 선정하였다. 제외 기준으로 뇌졸중 외 다른 신경학적 병변이 있는 자, 6개월 이내 하지에 정형외과적 시술이나 수술을 시행한 자로 선정하였다. 또한, 모든 대상자에게 연구 시작 전 연구의 목적, 절차, 위험성 그리고 연구와 관련된 모든 사항에 대해 이해할 수

있도록 설명하였고, 실험 참여에 자발적으로 동의하고 연구 동의서에 직접 서명하였다.

2. 중재 방법

본 연구는 무작위 대조시험(randomized controlled trials)으로 진행하였다. 대상자는 24명을 모집하였고, 선별 기준에 따라 4명이 제외되어 총 20명을 대상으로 선정하였다. 무작위 배정은 온라인 프로그램(<https://www.randomizer.org>)을 사용하여 대조 그룹은 슬랜트 보드(slant board, SB)그룹, 실험 그룹은 ASIM 그룹으로 각각 10명씩 배정하였다. 환자의 특성 및 결과측정은 연구 첫날과 4주간 중재 후 다음 날에 평가하였고, 검사자는 그룹화에 대해 맹검(Blind)된 자가 측정하였다. 두 그룹 모두 1일 10회 3세트, 1주 5번, 4주간 중재를 반복하였다. 또한, 모든 대상자는 일일 입원 치료 프로그램 일정에 따라 보행 및 하지에 동일한 재활 훈련을 받았고, 이 재활 훈련은 10분간 능동 및 수동 관절가동범위 운동, 10분간 앉거나 서 있는 동안 체중 부하 운동, 나머지 10분은 걷기 운동으로 총 30분 동안의 표준재활치료를 받았다. 또한, 모든 대상자의 안전을 보장하기 위해 SB와 ASIM는 물리치료사의 지도하에 동일한 위치에서 4주간 수행하였다.

1) 슬랜트 보드 그룹(control group)

대상자는 슬랜트 보드 위에서 양측 무릎을 20° 구부리도록 요청하였다. 종아리 근육이 충분히 늘어나고



Fig. 1. Slant board.

통증이나 불편함이 없는 범위까지 무릎을 구부리도록 지시하였고, 끝 위치에서 10초 동안 발뒤꿈치를 들지 않고 유지한 후 초기 위치로 돌아가도록 지시하였다. 운동 사이에 10초의 휴식을 두고 10회 수행하였고, 이러한 과정을 3세트 반복하였다(Park et al., 2018). 환자에게 도움이 필요할 경우 언제라도 안전바를 잡도록 지시하였다(Fig. 1).

2) 발 내재근을 동반한 발목 스트레칭 그룹(experimental group)

발 내재근 스트레칭 장비를 사용하여 동적 스트레칭을 실시하였다. 장비는 Fasciitis Fighter (Fasciitis Fighter Pty Ltd., Australia)를 사용하였고, 환측 엄지발가락을 장치 위에 올려놓았다. 대상자는 정상측 무릎을 똑바로 유지하고 환측 무릎을 구부리면서 발바닥 근막(plantar fascia)과 발 내재근이 늘어나는 것을 느낄 때까지 체중을 앞으로 이동하도록 지시하였고, 끝 위



Fig. 2. Ankle Stretching with Intrinsic Muscles.

치에서 10초 동안 발뒤꿈치를 들지 않고 유지한 후 초기 위치로 돌아가도록 지시하였다. 운동 사이에 10초의 휴식을 두고 10회 수행하였고, 이러한 과정을 3세트 반복하였다(Walters & Cordoza, 2023). 환자에게 도움이 필요할 경우 언제라도 안전바를 잡도록 지시하였다(Fig. 2).

3. 측정방법 및 도구

1) 발목 관절가동범위

대상자의 발목 관절가동범위 측정을 위해 디지털 듀얼 경사계(Dualer IQ Digital Inclinometer, J-Tech, USA)를 사용하였다. 측정은 대상자가 엎드린 자세에서 무릎을 90° 굽힘 후, 고정자는 종아리뼈 머리에 가동자는 제5 발허리뼈에 위치하고 발등 굽힘(dorsiflexion)과 발바닥 굽힘(plantar flexion)을 측정하였다. 측정은 총 3회 실시하였고, 그 평균값을 사용하였다. 해당 측정 도구는 평가자 간 신뢰도(intraclass correlation coefficient, ICC) = .90으로 높은 신뢰도를 가지고 있다(Ghorbani et al., 2020).

2) 정적 균형 능력

대상자의 정적 균형을 측정하기 위하여 K-Force plate (KINVENT, Montpellier, France)를 사용하였다. 측정도구는 각각 2개의 내장 동력계를 포함하는 2개의 플랫폼으로 구성이 되어있으며, 측정은 대상자가 플랫폼 위에 편안하게 서 있는 자세에서 전방에 동그라미 표시를 보고 30초 동안 유지하였다. 측정은 총 3회 수행하였고, 그 평균값을 사용하였다. 안정적인 압력 중심(center of gravity, COP)은 우수한 정적 균형 능력을 나타낸다(Chen et al., 2021).

3) 동적 균형 능력

대상자의 동적 균형을 측정하기 위해 일어나서 걷기 검사(timed up and go, TUG)를 사용하였다. 이 검사

는 높이가 46cm인 의자에 앉아 있는 상태에서 시작이라는 지시와 함께 일어나 전방에 3미터를 걸어 다시 돌아와 앉는 시간을 측정하는 평가이다. 측정은 총 3번을 하였고, 그 평균값을 사용하였다. 해당 평가는 평가자 간 신뢰도(ICC) = .99로 높은 신뢰도를 가지고 있다(Podsiadlo & Richardson, 1991).

4) 보행속도

대상자의 시간적, 공간적 보행변수를 측정하기 위해 신뢰도와 타당도가 검증된 GaitRite (CIR systems Inc, USA)를 사용하였다(Bilney et al., 2003). 보행속도(Gait speed)를 측정하기 위해 환자 스스로 편안한 속도로 보행로(walkway) 위를 3회 걷도록 하였고, 그 평균값을 사용하였다.

4. 자료분석

통계 분석은 SPSS version 26.0(IBM Corporation, USA)을 사용하였다. Shapiro-wilk test를 이용하여 정규성 검정을 하였고, 그 결과 정규분포를 만족하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였으며, 그룹 간의 사전 동질성 비교는 카이 제곱 검정 분석과 독립표본 t-test를 사용하였다. 각 그룹내 실험 전후 비교는 대응표본 t-test를 사용하였고, 각 그룹간 비교는 독립표본 t-test를 사용하였다. 유의수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구의 연구 대상자는 총 20명으로 각각 대조 그룹 10명과 실험 그룹 10명이었다. 그룹 간 동질성 검증 결과 일반적 특성은 모두 동질 하게 나타났다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects (n=20)

Characteristics	Experimental group (n=10)	Control group (n=10)
Age (years)	50.6 ± 9.2 ^a	58.9 ± 6.8
Sex (male/female)	4/6	5/5
Affected side (right/left)	7/3	6/4
BBS (point)	38.6 ± 9.6	30.8 ± 6.9
MMES (point)	28.7 ± 2.2	27.8 ± 2.0
MBI (point)	70.2 ± 19.8	63.6 ± 16.0

^aMean±SD

BBS: berg balance scale, MMSE: mini-mental state examination, MBI: modified Barthel index

Table 2. Change compared after intervention (n=20)

Characteristics	Experimental group (n=10)			Control group (n=10)		
	Pre	Post	Change	Pre	Post	Change
Dorsiflexion (degree)	14.3±4.3 ^a	19.8±2.7 ^{**}	5.5±2.5	12.6±2.8	15.9±2.5 [*]	3.3±2.5
Plantar flexion (degree)	34.5±8.5	43.0±2.7 ^{**}	8.5±6.6	35.0±7.9	40.2±6.9 [*]	5.2±1.3
Static balance (mm)	7.7±1.6	3.1±0.9 ^{**}	4.6±2.0	7.1±3.2	5.5±3.2 [*]	1.6±1.2
Dynamic balance (sec)	15.1±1.4	7.9±0.7 ^{**}	7.2±1.8	16.5±4.6	14.6±4.6 [*]	1.9±0.9
Gait speed (m/min)	78.8±15.0	112.3±23.5 ^{**}	33.5±19.0	62.8±21.17	87.7±19.7 [*]	24.4±5.9

^aMean±SD

^{*}p <0.05: Difference in within group changes before and after the intervention

^{**}p <0.05: Difference in changes between groups after intervention

2. 연구 대상자의 중재 전·후 차이

두 그룹 간 발목 관절가동범위와 동적 및 정적 균형 그리고 보행속도의 결과는 표 2와 같다. 두 그룹의 중재 전·후 그룹 내 비교 결과, 두 그룹에서 중재 전 보다 중재 후 모두 유의미한 증가가 있었다(p<0.05). 또한, 중재 전 두 그룹 간의 유의미한 차이가 없었다 (p>0.05). 하지만, 중재 후 모든 변수에서 ASIM그룹이 SB그룹보다 향상된 결과를 보여주었다(p<0.05)(Table 2).

IV. 고 찰

본 연구는 만성 뇌졸중 환자의 발목 관절가동범위, 동적 및 정적 균형, 그리고 보행속도에 발 내재근을 동반한 발목 스트레칭이 미치는 영향을 연구하였다.

연구 결과, 실험 그룹과 대조 그룹에서 중재 전보다 중재 후에 발목 관절가동범위, 동적 및 정적 균형, 그리고 보행속도가 모두 향상된 것으로 나타났다.

본 연구의 결과에서 발목 관절가동범위는 ASIM그룹이 중재 후 SB그룹에 비해 발등 굽힘 66%, 발바닥 굽힘 63% 증가하였다. 이러한 결과는 이전 연구와 유사한 결과를 보여준다(Konrad & Tilp, 2014; Nakamura et al., 2012). Konrad와 Tilp (2014)의 연구에서 6주 기간 동안 장딴지근육과 아킬레스힘줄 스트레칭의 효과를 조사하였고, 그 결과 발목의 관절가동범위가 향상되었다고 보고하였다. 또한, Nakamura et al. (2012)의 연구에서 4주간 스트레칭을 통하여 발목의 발등 굽힘 관절가동범위와 근육힘줄연결부(myotendinous junction)의 변위가 크게 증가하였다. 뇌졸중 환자는 경직이 증가할수록 발바닥근막의 두께가 증가하게 되며, 발바닥근막 두께의 증가는 발 내재근과 장딴지근 및 가

자미근의 이완을 방해하여 발목의 관절가동범위를 제한하게 된다(Myers, 2009; Kim et al., 2013). 또한, Ranbhor 등(2021)은 발 내재근 스트레칭이 발바닥근막을 이완시키며, 장딴지근과 가자미근 그리고 아킬레스힘줄의 이완을 유도한다고 보고하였다. 이러한 발바닥근막의 이완은 발목의 관절가동범위에 영향을 미치게 된다(Liu et al., 2020). 이러한 선행 연구들은 본 연구 결과의 근거를 제시한다. 따라서, ASIM을 통하여 발바닥근막 및 발 내재근을 이완시키고, 장딴지근과 가자미근 그리고 아킬레스힘줄의 긴장을 감소시켜 발목의 관절가동범위가 증가하였다고 생각된다.

정적 및 동적 균형은 ASIM그룹이 SB그룹에 비해 각각 73%, 65% 증가하였다. 이러한 결과는 이전 연구와 유사한 결과를 보여준다(Cho et al., 2024; Nodehi et al., 2012). Cho 등(2024)의 연구에서 노인을 대상으로 발목 스트레칭이 정적 및 동적 균형에 미치는 영향을 조사하였고, 중재 전·후 상당한 개선이 있었다고 보고하였다. Nodehi 등(2012)의 연구는 노인을 대상으로 8주 동안 주 3회 실시한 엉덩관절과 발목 스트레칭이 균형에 미치는 영향을 조사하였고, 그 결과 일상생활을 유지한 대조군보다 스트레칭을 시행한 실험군의 균형능력이 향상되었다. 발목의 관절가동범위는 균형을 유지하기 위해 중요한 요소이며(Kirby et al., 1987), 발목의 관절가동범위 제한은 균형장애와 보행장애를 유발한다(Crenna, 1998). 발목의 관절가동범위와 균형은 상관관계를 가지며, 관절가동범위의 개선은 균형능력을 향상시킬 수 있다(Hoch et al., 2011; Mecagni et al., 2000). 또한, 발바닥근막의 두께와 강직이 심할수록 발의 움직임의 감소와 지면에 대한 적절한 적응능력의 감소로 균형을 유지하는데 어려움을 가지게 된다(Taş & Bek, 2018). 따라서, ASIM는 발바닥근막의 강직을 이완시키고, 발목의 관절가동범위를 증가시킴으로써 발의 움직임과 지면에 대한 적응 능력의 증가로 균형능력이 향상되었을 것이라 생각된다.

보행속도는 ASIM그룹이 SB그룹에 비해 27% 증가하였다. 이러한 결과는 이전 연구와 유사한 결과를 보여준다(Park et al., 2020; Thong-On et al., 2019). Park 등(2020)의 연구에서 4주 동안 만성 뇌졸중 환자 38명

을 대상으로 움직임을 통한 자가 동원(Self-ankle mobilization with movement)과 발목 스트레칭을 비교하고자 하였고, 그 결과 두 그룹 모두에서 보행속도가 증가하였다. 또한, Thong-On 등(2019)은 84명의 발바닥근막염 환자 84명을 대상으로 발목 강화훈련과 발목 스트레칭을 비교하고자 하였고, 그 결과 두 그룹 모두 보행속도가 증가하였다고 하였다. 발바닥근막과 발 내재근은 기계적으로 발의 완충작용과 함께 발바닥굽힘근의 힘을 발가락으로 전달하여 보행을 돕는다(Petrofsky et al., 2020). 보행 중 발가락 떼기(push off)에서 발꿈치가 들리면서 발바닥근막 및 발 내재근을 당겨 장력을 발생시키게 되며, 발의 세로아치를 증가시켜 발의 안정성과 앞으로 나아가는 추진력을 제공하게 된다(Calvo-Lobo et al., 2018). 또한, 안쪽세로아치는 보행 시 몸의 중심축을 지탱하고 무게를 분산시킴으로써 안정성을 제공한다. 보행의 입각기의 초기 단계인 발바닥 닿기 시, 발이 지면과 접촉될 때, 안쪽세로아치는 몸무게를 효과적으로 분산시키는 역할을 한다(Elftman & Manter, 1935; Kirby et al., 1987; Susman, 1983). 이는 보행 시 발생하는 지면반발력의 충격을 흡수하여 발목 및 다리, 척추의 부상을 예방하는데 도움이 된다(Welte et al., 2023). 따라서, ASIM는 발바닥근막과 발 내재근의 장력을 발생시키고, 발의 안쪽세로아치의 기능을 증가시켜 추진력을 향상시킴으로써 보행속도가 향상된 것으로 생각된다.

본 연구는 몇 가지의 제한점이 있다. 첫째, 다양한 연령대의 대상자를 선정하였기 때문에 모든 뇌졸중 환자에게 일반화할 수 없다. 둘째, ASIM 중재 전과 후만 조사하였고 추적조사가 이루어지지 않아 장기간의 훈련 효과를 알 수 없다. 따라서, 향후의 연구에서는 이러한 제한점을 보완하여 더 많은 대상자 및 다양한 특성을 포함하여 연구를 이어가야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 ASIM가 만성 뇌졸중 환자의 발목 관절가동범위, 동적 및 동적균형과 보행속도에 미치는 영향

을 알아보고, 이를 통하여 균형과 보행에 문제를 가진 만성 뇌졸중환자에게 기존의 운동방법보다 효율적인 프로그램을 제공하기 위하여 실시하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 ASIM가 만성 뇌졸중환자의 관절가동범위, 균형 그리고 보행속도 향상에 도움을 줄 것이라고 생각된다.

References

- Bilney B, Morris M, Webster K. Concurrent related validity of the GAITRite® walkway system for quantification of the spatial and temporal parameters of gait. *Gait & posture*. 2003;17(1):68-74.
- Boonchum H, Bovonsunthonchai S, Sinsurin K, et al. Effect of a home-based stretching exercise on multi-segmental foot motion and clinical outcomes in patients with plantar fasciitis. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*. 2020;20(3):411.
- Cacho RO, Cacho EWA, Loureiro AB, et al. The spasticity in the motor and functional disability in adults with post-stroke hemiparetic. *Fisioterapia em Movimento*. 2017;30:745-752.
- Calvo-Lobo C, Useros-Olmo AI, Almazán-Polo J, et al. Rehabilitative ultrasound imaging of the bilateral intrinsic plantar muscles and fascia in post-stroke survivors with hemiparesis: A case-control study. *International Journal of Medical Sciences*. 2018; 15(9):907.
- Chen B, Liu P, Xiao F, et al. Review of the Upright Balance Assessment Based on the Force Plate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(5):2696.
- Cho MH, Oh HJ, Bok SK. How Does the Stretching Exercise of Ankle Joint Affect Gait Balance in the Elderly? A Clinical Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2024;105(4):85.
- Crenna P. Spasticity and spastic gait in children with cerebral palsy. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 1998; 22(4):571-578.
- Elftman H, Manter J. The evolution of the human foot, with especial reference to the joints. *Journal of anatomy*. 1935;70(1):56.
- Feigin VL, Nichols E, Alam, T, et al. Global, regional, and national burden of neurological disorders, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet Neurology*. 2019;18(5): 459-480.
- Galiana L, Fung J, Kearney R. Identification of intrinsic and reflex ankle stiffness components in stroke patients. *Experimental Brain Research*. 2005;165:422-434.
- Ghorbani F, Kamyab M, Azadinia F, et al. The reliability and concurrent validity of digital inclinometer, smartphone applications, and the cervical range of motion device for measuring the cervical range of motion. *Iranian Rehabilitation Journal*. 2020;18(4): 405-418.
- Hoch MC, Staton GS, McKeon PO. Dorsiflexion range of motion significantly influences dynamic balance. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2011; 14(1):90-92.
- Huang S, Zhang HJ, Wang X, et al. Acute effects of soleus stretching on ankle flexibility, dynamic balance and speed performances in soccer players. *Biology*. 2022; 11(3):374.
- Kelly LA, Cresswell AG, Racinais S, et al. Intrinsic foot muscles have the capacity to control deformation of the longitudinal arch. *Journal of The Royal Society Interface*. 2014;11(93):20131188.
- Kim TG, Sim KC, Kim KY. A Study on Change of Plantar Fascia Thickness in Chronic Stroke Patient Based on Spasticity. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2013;14(11):5723-5729.

- Kirby R, Price N, MacLeod D. The influence of foot position on standing balance. *Journal of biomechanics*. 1987; 20(4):423-427.
- Konrad A, Tilp M. Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clinical Biomechanics*. 2014;29(6):636-642.
- Liu CL, Zhou JP, Sun, PT, et al. Influence of different knee and ankle ranges of motion on the elasticity of triceps surae muscles, Achilles tendon, and plantar fascia. *Scientific Reports*. 2020;10(1):6643.
- McKenna C, Chen P, Barrett A. Changes in the Brain: Impact on Daily Life. Berlin. Springer. 2017.
- McKeon PO, Hertel J, Bramble D, et al. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *British Journal of Sports Medicine*, 2015; 49(5):290-290.
- Mecagni C, Smith JP, Roberts KE et al. Balance and ankle range of motion in community-dwelling women aged 64 to 87 years: a correlational study. *Physical Therapy*. 2000;80(10):1004-1011.
- Mercier L, Audet T, Hébert R, et al. Impact of motor, cognitive, and perceptual disorders on ability to perform activities of daily living after stroke. *Stroke*. 2001;32(11): 2602-2608.
- Micheo W, Baerga L, Miranda G. Basic principles regarding strength, flexibility, and stability exercises. *Pm&r*, 2012;4(11): 805-811.
- Myers TW. Anatomy trains: myofascial meridians for manual and movement therapists, 2nd ed. Elsevier Health Sciences. 2009.
- Nakamura M, Ikezoe T, Takeno Y, et al. Effects of a 4-week static stretch training program on passive stiffness of human gastrocnemius muscle-tendon unit in vivo. *European journal of Applied Physiology*. 2012;112: 2749-2755.
- Nodehi Moghadam A, Akhbari B, Bahar Loui H, et al. The effects of hip and ankle stretching on elderly balance. *Iranian Journal of Ageing*. 2012;7(1):41-48.
- Nyska M, Shabat S, Simkin, A, et al. Dynamic force distribution during level walking under the feet of patients with chronic ankle instability. *British Journal of Sports Medicine*. 2003;37(6):495-497.
- Oddsson LI, Boissy P, Melzer I. How to improve gait and balance function in elderly individuals—compliance with principles of training. *European Review of Aging and Physical Activity*. 2007;4:15-23.
- Park DH, Cynn HS, Yi CH, et al. Four-week training involving self-ankle mobilization with movement versus calf muscle stretching in patients with chronic stroke: a randomized controlled study. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2020;27(4):296-304.
- Park DH, Lee JH, Kang TW, et al. Effects of a 4-week self-ankle mobilization with movement intervention on ankle passive range of motion, balance, gait, and activities of daily living in patients with chronic stroke: a Randomized Controlled Study. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2018;27(12):3451-3459.
- Petrofsky J, Donatelli R., Laymon M, et al. Greater postural sway and tremor during balance tasks in patients with plantar fasciitis compared to age-matched controls. *Healthcare*. 2020;8(3):219.
- Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American geriatrics Society*, 1991; 39(2):142-148.
- Ranbhor AR, Prabhakar AJ, Eapen C. Immediate effect of foam roller on pain and ankle range of motion in patients with plantar fasciitis: A randomized controlled trial. *Hong Kong Physiotherapy Journal*, 2021;41(01): 25-33.
- Susman RL. Evolution of the human foot: evidence from Plio-Pleistocene hominids. *Foot & Ankle*, 1983;3(6): 365-376.
- Taddei UT, Matias AB, Ribeiro FI, et al. Effects of a foot

- strengthening program on foot muscle morphology and running mechanics: a proof-of-concept, single-blind randomized controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 2020;42:107-115.
- Taş S, Bek N. Effects of morphological and mechanical properties of plantar fascia and heel pad on balance performance in asymptomatic females. *The Foot*, 2018;36:30-34.
- Thong-On S, Bovonsunthonchai S, Vachalathiti R, et al. Effects of strengthening and stretching exercises on the temporospatial gait parameters in patients with plantar fasciitis: A randomized controlled trial. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 2019;43(6):662.
- Walters T, Cordoza G. Rehab Science: How to Overcome Pain and Heal from Injury. Las Vegas, NV. Victory Belt Publishing, 2023.
- Welte L, Holowka NB, Kelly LA, et al. Mobility of the human foot's medial arch helps enable upright bipedal locomotion. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2023;11:1155439.