



Original Article

Effects of Resistance Training on Foot Pressure During Gait in Older Women with Knee Osteoarthritis

Guk-hyeon Kim¹, Do-Kyung Ko², and Taewhan Kim^{3*}

¹Department of Physical Education, Hanyang University

²Department of Sports Convergence Science, Kwangwoon University

³Department of Sports Science, Korea Institute of Sports Science

Article Info

Received 2025. 08. 27.

Revised 2025. 11. 18.

Accepted 2025. 12. 10.

Correspondence*

Taewhan Kim

burumi@kspo.or.kr

Key Words

Knee osteoarthritis,
Resistance exercise,
Gait function,
Foot pressure,
Elderly women

PURPOSE This study investigated how resistance training affects foot pressure during gait in older women with knee osteoarthritis. **METHODS** A total of 10 older women with knee osteoarthritis underwent a four-week resistance exercise intervention, and their step length, anterior-posterior center of pressure (COP) displacement, and foot pressure were measured before and after the intervention. Step length and anterior-posterior COP displacement data underwent paired *t*-tests, while time-series foot pressure data of the rearfoot, midfoot, and forefoot during the stance phase underwent paired *t*-tests based on statistical nonparametric mapping (SnPM). **RESULTS** After the intervention, a significant increase in step length ($P = .020$) and anterior-posterior COP displacement ($P = .001$) was observed. SnPM showed increased rearfoot pressure during early to mid-stance (6%–29%), increased midfoot pressure during mid- to terminal stance (20%–57%), and increased forefoot pressure during terminal stance to preswing (74%–89%). **CONCLUSIONS** Resistance exercise training improved altered foot pressure during gait in older women with knee osteoarthritis.

서론

무릎 골관절염은 노년층에서 가장 흔한 퇴행성 관절 질환으로 전 세계적으로 약 2억 5천만 명 이상이 무릎 골관절염을 앓고 있으며 (Safiri et al., 2020) 특히 여성은 남성보다 유병률이 더 높은 것으로 보고되고 있다 (Segal et al., 2024). 이러한 차이는 폐경 이후 에스트로겐 감소로 인한 연골 대사 변화, 하지 정렬 특성, 그리고 상대적으로 약한 대퇴사두근 등 여성의 생리학적·기능적 차이로 보고되었으며 (Boyan et al., 2013) 고령 여성의 경우 근력 유지와 보행기능 향상을 목표로 하는 저항성 운동은 특히 중요한 중재로 강조되고 있다.

양측성 무릎 골관절염 환자는 편측성 환자보다 무릎 펴기 및 굽힘근의 근력 약화, 보행 속도와 보폭의 감소, 균형 능력 저하 및 이동성 감소 등 하지의 기능적 저하가 나타나는 것으로 보고되었다 (Messier et al., 2016; Oliveira et al., 2022). 무릎 골관절염은 편측 무릎에

서 발병하여 시간이 지남에 따라 양측 무릎 골관절염으로 악화되는 경우가 자주 관찰된다 (Metcalf et al., 2012). 이러한 무릎 골관절염으로 인해, 통증 및 관절 경직, 기능 손실 (Wang et al., 2020), 이동성 제한, 보행 속도의 저하 (Driban et al., 2020)를 포함한 일상생활에서 움직임 장애를 경험한다. 무릎 골관절염에 따른 움직임 장애 중에서도 보행 기능의 저하는 삶의 질과 독립적인 생활 유지에 부정적인 영향을 미치며 (Brandes et al., 2008; Freijo et al., 2023), 낙상과 같은 2차적인 손상으로 이어질 수 있다 (Manlapaz et al., 2019). 실제로, 무릎 골관절염 환자들은 보행 시 통증을 줄이기 위해 무릎의 가동범위(range of motion), 각속도(angular velocity) 및 내전 모멘트(adduction moment)를 감소시키는 방향으로 보행 전략을 변화시키는 경향을 보인다 (Messier et al., 1992). 특히 무릎 골관절염 환자의 보행에서 족저압 분포를 분석하는 것은 질환에 수반되는 병리학적인 기전을 이해하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어, 무릎 골관절염 환자들은 보행 시 전족부(forefoot)와 중족부(midfoot)의 족저압이 증가하고, 압력중심(center of pressure; COP)의 전후 거리가 감소하는 것으로 나타났다 (Panyarachun et al., 2022). 더 나아가, 압력중심 전후 거리의 감소는 무릎 가동범위 감소와 양의 상관성이 나타났으며 (Saito et al., 2013), 비정상적인 족저압 분포는

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kellgren-Lawrence (KL) 등급에 따른 질환 중증도와 밀접한 관련이 보고되었다(He et al., 2023). 따라서 무릎 골관절염 환자의 보행 기능을 개선하기 위해 적절한 중재가 필요하며, 이러한 중재의 효과는 족저압 분석을 통해 민감하게 평가할 수 있다.

무릎 골관절염의 중재에는 수술과 보존적 치료가 존재하며, 그 중에서도 운동과 신체활동은 부작용이 현저히 적고 건강상의 이점이 크기 때문에 무릎 골관절염의 치료에 있어 첫 번째 중재로 권고된다(McAlindon et al., 2014). 예를 들어, 8주간의 저항운동(resistance training)은 무릎 골관절염 환자들의 보행 속도(gait speed), 케이던스(cadence), 보폭 길이(step length) 증가 및 이중지지 시간(double support time) 감소를 포함한 보행 기능을 개선하였다(Rosada et al., 2024). 또한, 선행 메타분석(meta-analysis) 연구는 저항성 운동이 무릎 골관절염 환자들의 통증 및 경직을 완화하고 보행 속도를 개선하였음을 보고하였다(Li et al., 2016). 이처럼 저항성 운동이 무릎 골관절염 환자들의 보행 기능 개선에 효과적이었음에도 불구하고, 이에 따른 보행 시 족저압 패턴의 변화를 조사한 연구는 부족한 실정이다. 특히 보행 기능의 향상과 족저압 변화 간의 연계성에 대한 연구는 아직 충분히 이루어지지 않아, 두 변인 간의 관계가 명확히 규명되지 않았다. 무릎 골관절염이 단순히 무릎 관절의 기능 제한에 그치지 않고 발의 통증 및 후족 변형에도 영향을 미친다는 점을 고려하면(Saito et al., 2018), 저항성 훈련에 따른 족저압 분포의 변화를 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 양측 무릎 골관절염을 지닌 노인 여성을 대상으로 4 주간의 저항성 운동 중재를 적용하고, 그에 따른 보행 시 족저압 분포 및 보행 기능 변화를 조사하고자 한다. 선행 연구들을 바탕으로(Li et al., 2016; Panyarachun et al., 2022; Rosada et al., 2024), 저항성 운동 중재는 무릎 골관절염 환자의 보행 특성에 영향을 미쳐 보폭 및 압력중심 전후 거리와 함께 전족부, 중족부, 후족부의 족저압 분포의 변화를 보일 것으로 가설을 설정하였다. 본 연구의 결과는 무릎 골관절염 환자의 보행 중 발 기능 개선을 위한 재활 중재 설계에 기초자료로 활용될 수 있다.

연구방법

연구대상

본 연구는 정형외과 전문의로부터 양측 무릎 골관절염을 진단받은 70세 이상 노인 여성 10명을 대상으로 하였다. 대상자는 보조기구 없이 독립적인 보행이 가능하고 10m 이상 보행 수행이 가능하며, 최근 6개월 이내 규칙적인 유산소 운동을 하지 않았으며, 주 2회 이상 근력운동을 실시하지 않은 자로 제한하였다(Chen et al., 2019). 또한 심혈관 질환, 고혈압, 당뇨병, 골다공증 등 중대한 만성질환이 없고, 현재 건강상 특별한 문제가 없는 경우에 한하여 포함하였다. 표본 크기의 경우 무릎 골관절염 환자의 보행 역학 연구에서 반복적으로 활용된 표본 규모($n=10-14$)를 참고하여 설정하였다(Baert et al., 2013; McQuade & De Oliveira, 2011).

연구 제외 기준은 1) 무릎 골관절염 증상이 심하여 일상생활 수행에 제한이 있는 경우 2) 근골격계 또는 신경계 질환을 가지고 있거나 최근 3개월 이내 관련 증상을 경험한 경우 3) 시력이나 청력 저하 또는 의사소통 장애로 인해 중재 수행이 어려운 경우 4) 현재 다른 중재 연

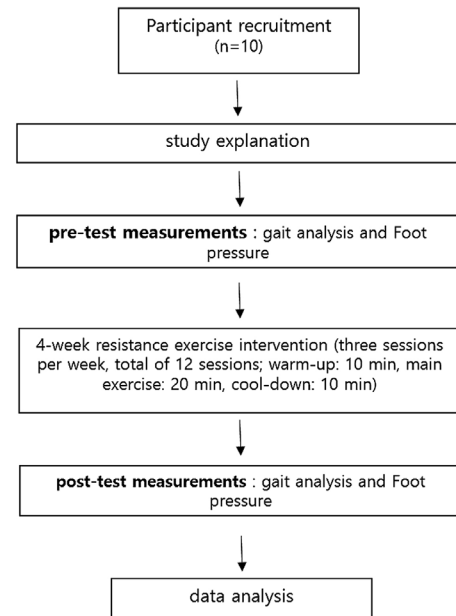


Fig. 1. Experimental procedure

Table 1. Characteristic subjects

(Mean \pm SD)

Variables	Female (n=10)
Age (years)	76.2 \pm 6.1
Height (cm)	149.4 \pm 3.3
weight (kg)	60.1 \pm 10.6

구에 참여 중인 경우로 설정하였다. 본격적인 보행 과제에 앞서 공을 찰 때 어떤 발을 주로 사용하는지 조사하여 연구 대상자의 주발이 모두 오른발임을 확인하였다(Lee et al., 2023). 또한, 연구 대상자 전 원에게 연구 목적과 절차, 예상되는 위험성과 이익에 대해 충분히 설명한 후 서면 동의를 받고 연구를 진행하였다. 본 연구의 전체 실험 설계 및 측정 절차는 (Fig. 1)과 같다. 연구대상자들의 신체적인 특성은 (Table 1)과 같다.

실험 도구 및 장비

본 연구에서는 70대 노인 여성을 대상으로 근력운동 전후의 보행 특성 변화를 정량적으로 분석하기 위하여, 광전자 기반 보행 분석 장비인 OptoGait 시스템과 보행 중 족저압 및 중심압 분석이 가능한 Pedar Mobile 시스템을 사용하였다(Fig. 2).

1. 광전자 기반 보행 분석 장비

OptoGait 시스템(OptoGait, Microgate, Bolzano, Italy)은 송신 및 수신용 LED 센서가 탑재된 막대(길이 1.2 m) 10개로 구성되어 있으며, 각 막대에는 총 96개의 적외선 LED가 1 cm 간격으로 배열되어 있다. 센서는 지면으로부터 약 3 mm 높이에 설치되어, 보행 시 보폭(step length)은 한쪽 발의 발뒤꿈치 접촉 지점부터 반대쪽 발의 발뒤꿈치 접촉 지점까지의 전후방 거리로 정의되며, OptoGait 소프트웨어는 LED 차단 좌표를 이용해 이를 자동 계산하였다(Healy

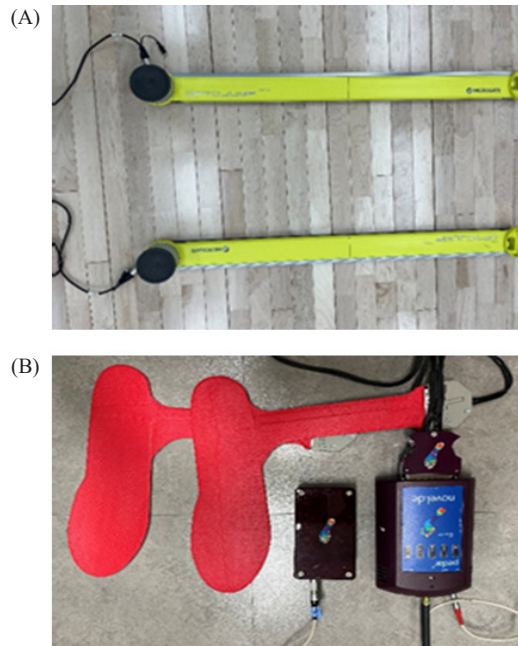


Fig. 2. Experimental equipment. (A) OptoGait system (B) Pedar Mobile system

et al., 2019). 모든 데이터는 100Hz의 샘플링 주파수로 수집되어 OptoGait 전용 소프트웨어(Ver. 1.12.23.0)를 통해 저장하였다.

2. 족저압 측정 장비

족저압 기반 보행 분석은 Pedar Mobile System(Novel GmbH, Munich, Germany)을 사용하여 수행하였다. 본 장비는 좌우 신발 내부에 삽입 가능한 유연한 인솔 형태의 센서를 통해 보행 중 족저압 데이터를 실시간으로 측정하며, 각 인솔에는 99개의 정전식 압력 센서가 균일하게 배치되어 있다. 압력 데이터는 15~1,200 kPa 범위의 압력 분포를 50Hz의 주기로 기록하였으며, 무선 송신 박스를 통해 Pedar X® 소프트웨어로 저장하였다.

실험 절차

1. 저항성 운동 중재

본 연구의 저항성 운동 프로그램은 보행 수행능력 향상을 목적으로 노인 여성의 신체적 특성을 고려하여, 관절에 무리를 주지 않으며 하지 근력을 강화할 수 있는 동작으로 구성하였다. 운동 중재는 4주 동안 주 3회 실시하였으며, 준비운동 10분, 본 운동 20분, 마무리운동 10분으로 구성하였다. 본 운동의 경우 앉은 자세에서 실시하며, 무릎 신전·굴곡 운동, 고관절 외전 운동, 발목 배측 굴곡 운동 그리고 앉았다 일어서기 운동이 포함되어 있다.

본 운동의 프로그램은(Vincent & Vincent, 2012)의 무릎 골관절염 환자 대상으로 저항성 운동을 수행한 프로그램을 기초로 무릎 관절에 과도한 부하를 주지 않으면서 하지 근력 향상을 유도할 수 있는 동작들로 구성하였다. 연구 대상자들이 안전하고 바른 자세로 동작을 수행할 수 있도록 전문가의 지도하에 운동 중재를 실시하였다. 저항성 운동 프로그램의 세부 사항은 <Table 2>와 같다.

Table 2. Training program

Sesstion	Exercis Mode	Time
Warm_up	Seated range of motion exercises	10 min
Exercise	1) Seated knee extension 2) Seated knee flexion 3) Seated hip abduction 4) Seated ankle dorsiflexion 5) Sit-to-stand exercise	20 min
Cool Down	Seated static stretching	10 min
Set	8 ~ 10 set	
Rest	30 sec	

2. 보행 기능 평가

저항성 운동 중재 전후의 보행 기능 변화를 정량적으로 분석하기 위해 광전자 기반 보행 분석 시스템(Optogait)과 족저압 분석 시스템(Pedar Mobile System)을 활용하여 보행 시 보폭 및 족저압을 측정하였다. Optogait 시스템의 경우 실험실 바닥 양측에 10m 길이의 센서 막대를 설치하여 보행 구간을 설정하였으며 Pedar 시스템은 인솔 형태의 센서를 신발 내부에 삽입하여 데이터를 수집하였다. 연구대상자의 연령 특성을 고려하여 개인이 평소 착용하는 신발을 사용하였으며, 중재 전후 모든 측정에서 동일한 신발로 실험을 진행하였다. 연구대상자는 실험 절차 및 동작에 익숙해지도록 1회 예행 연습을 수행하였다. 본 측정은 중재 전과 중재 후 각각 2회씩 총 4회로 구성되었으며 대상자는 자연스러운 속도로 직선 보행을 수행하였다(Fig. 3). 또한 연구대상자가 고령이란 점을 고려하여 균형을 잃는 경우 즉각적인 도움을 제공할 수 있는 보조자를 측정구간 중간에 대기시켰다. 측정구간 내 가속의 영향을 최소화하기 위해 출발 지점을 막대 앞 1m, 종료 지점을 막대 뒤 1m 지점으로 설정하였다(Klotzbier et al., 2021). 연구 대상자들은 목표 지점에 도달한 뒤 지시에 따라 출발 지점으로 돌아갔으며 다음 평가를 위해 1분 간 휴식하였다. 본 실험의 절차는 운동 중재 전후로 동일하게 적용하였다.

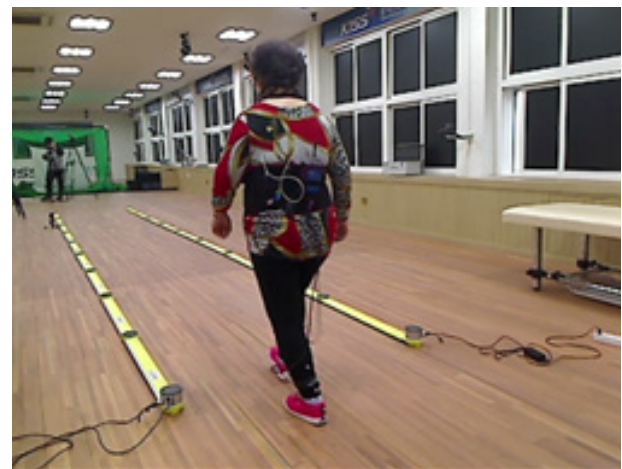


Fig. 3. Experimental setup system

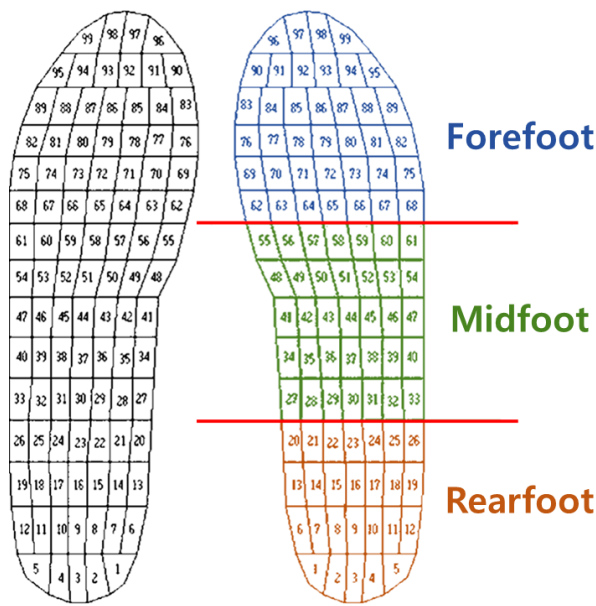


Fig. 4. Pedar sensor groupings for the regional masks

자료 분석

보행 기능을 평가하기 위해 보폭과 압력 중심 전후 이동 거리를 측정하였다. 또한, 선행연구를 바탕으로 발바닥 부위를 후족부, 중족부, 전족부로 구분하여 입각기 구간으로 정규화된 족저압 시계열을 분석하였다(Alimerzaloo et al., 2014, Fig. 4). 이때 모든 변인은 3회 반복 측정된 데이터의 평균값을 사용하였다. 양측의 보폭(Step length)은 OptoGait 전용 소프트웨어를 사용하여 산출하였으며, 저항성 운동 중재 이후 증가된 보폭은 향상된 보행 기능을 나타낼 수 있다(Rosada et al., 2024). 압력중심 전후 거리는 PEDAR X 프로그램

에서 산출된 압력중심 전후 방향 시계열에서 입각기 구간의 최솟값과 최댓값 차이를 통해 계산하였다.

족저압 분석 시 입각기 구간은 발꿈치 닿기(Heel strike)부터 발끝 떼기(toe off)까지의 구간을 의미하며, 각각 최대 압력의 10% 임계값을 기준으로 상승 시점과 하강 시점으로 정의하였다(Blades et al., 2023).

통계 처리

본 연구에서 사용된 보행 변인에서 좌우 차이가 없음을 확인하였으므로 오른발에 대한 분석 결과만을 제시하였다(Bamber et al., 2021). 저항성 운동 중재에 따른 보행 시 보폭과 압력중심의 전후 이동 거리 변화를 평가하기 위해, IBM SPSS Statistics 25(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 대응표본 t 검정(paired t -test)을 실시하였다. 또한, 저항성 운동 중재 후 보행 시 족저압 패턴의 변화를 확인하기 위해, 입각기(stance phase)로 정규화된 후족부, 중족부, 전족부 족저압 시계열 자료를 대상으로 통계적 비모수 매핑(Statistical non-Parametric Mapping, SnPM) 기반 대응표본 t 검정을 수행하였다. SnPM 분석은 SPM1D 라이브러리(<https://spm1d.org/>)를 사용하여 Matlab 프로그램을 통해 수행하였다(Pataky et al., 2017). 모든 통계 분석의 유의수준은 .05로 설정하였다.

연구결과

보폭 및 압력중심 전후 거리에 대한 대응표본 t 검정 결과, 저항성 운동 중재 후 증가된 보폭($t_9 = 2.822$, $P = .020$, partial $\eta^2 = .554$, Fig. 5A)과 압력중심 전후 거리($t_9 = 4.674$, $P = .001$, Fig. 5B) 관찰되었다.

후족부 족저압에 대한 SnPM 기반 대응표본 t 검정 결과, 입각기 6-29% 구간에서 저항성 운동 중재 이후 족저압이 유의하게 증가한 것으로 보고되었다(Fig. 6A). 중족부 족저압에 대한 분석 결과, 저항

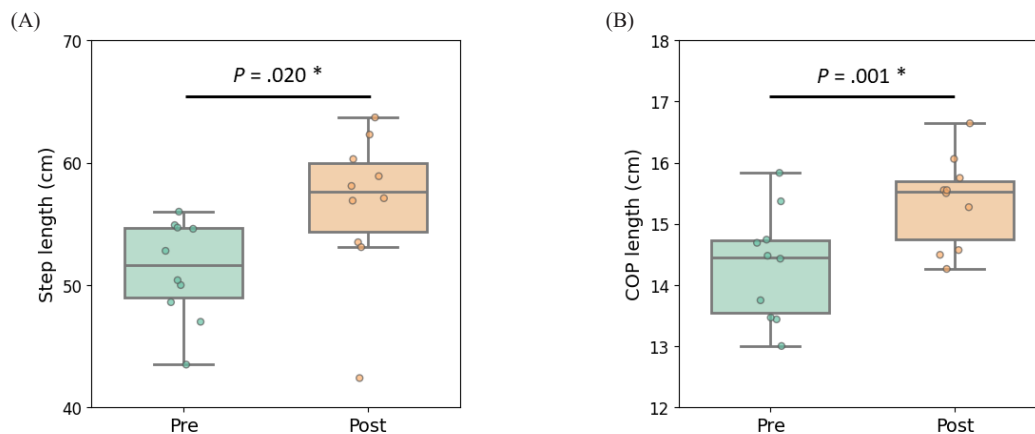


Fig. 5. Gait performance following resistance exercise intervention. (A) Step length significantly increased following the intervention. (B) COP length showed a significant increase after the intervention. Box plot shows individual data (circles), median (horizontal line in the box), interquartile range (IQR=Q3-Q1, top and bottom of the box indicates Q3, and Q1), maximum value: $Q1 + 1.5 \times IQR$, and minimum value: $Q1 - 1.5 \times IQR$. COP, center of pressure. $P < .05$. system

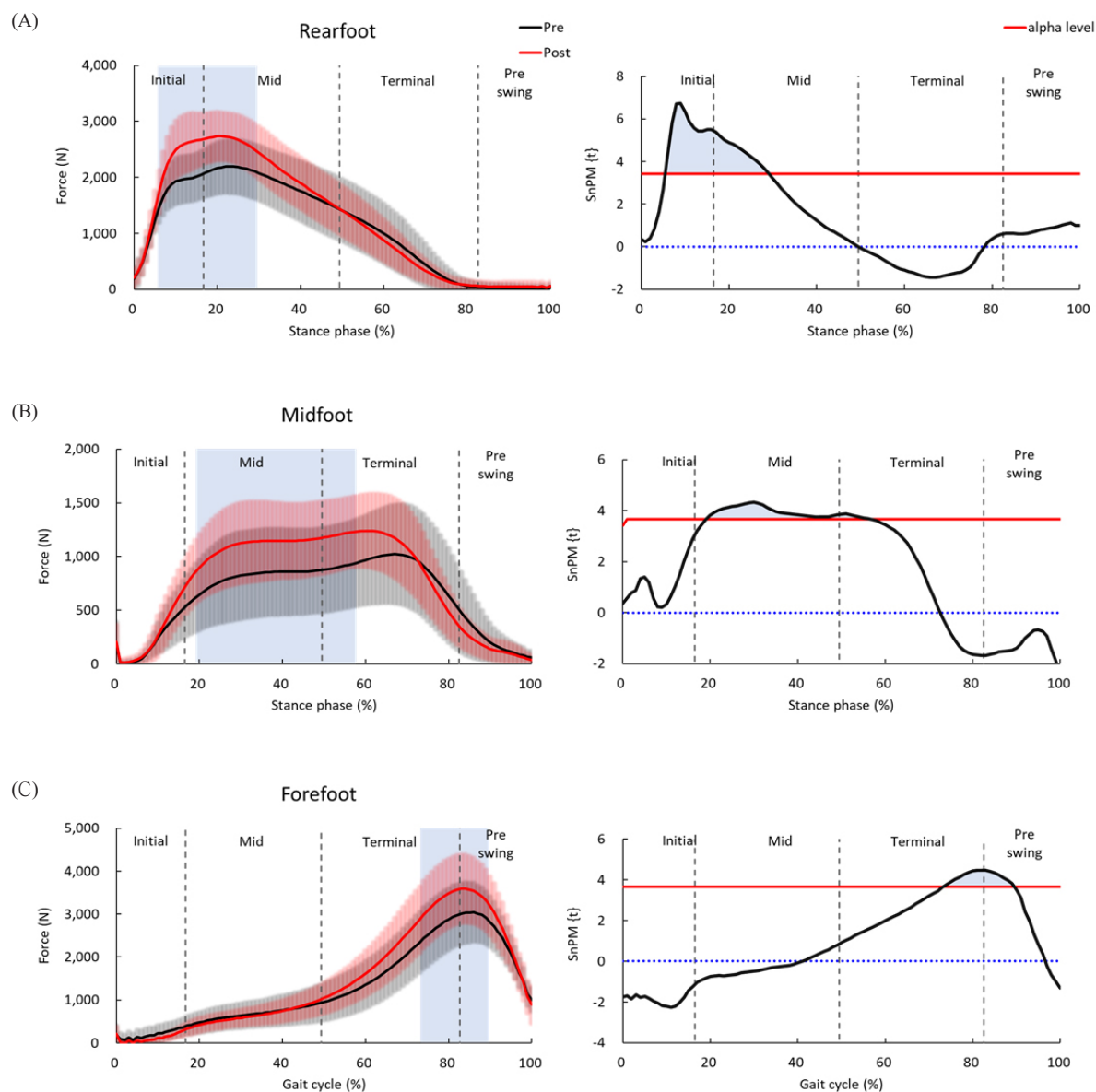


Fig. 6. Foot pressure during the stance phase following resistance exercise intervention and SnPM results. (A) Rearfoot. (B) Midfoot. (C) Forefoot. $P < .05$

성 운동 중재 이후 입각기 20~57% 구간에서 중족부 족저압의 증가가 관찰되었다(Fig. 6B).

전족부 족저압에 대한 분석 결과, 입각기 74~89% 구간에서 저항성 운동 중재 후 증가된 족저압이 나타났다(Fig. 6C). 추가적으로, SnPM 기반 대응 표본 t 검정을 통해 저항성 운동 중재 이후 최대 족저압이 증가된 영역을 식별하였다(Montagnani et al., 2021, Fig. 7).

논 의

양측 무릎 골관절염을 지닌 노인 여성을 대상으로 4주간 저항성 운동 중재를 적용한 결과, 보행 시 보폭 및 압력중심 전후 거리 증가가 관

찰되었다. 또한, 운동 중재 이후 보행 입각기 동안 족저압 분포의 변화가 확인되었다. 구체적으로, 입각기 6~29%에서는 후족부 족저압이 증가하였고, 입각기 20~57% 구간에서는 중족부 족저압, 그리고 입각기 74~89%에서는 전족부 족저압의 증가가 관찰되었다. 이러한 결과는 양측 무릎 골관절염을 지닌 노인 여성을 대상으로한 저항성 운동 중재가 보행 기능 개선에 효과적임을 시사하며, 이는 증가된 족저압 패턴을 통해서도 확인할 수 있다.

선행 연구 결과와 일치하게(Rosada et al., 2024), 저항성 운동 중재 후 무릎 골관절염 환자들의 보폭이 증가하였다. 보폭은 보행 기능을 대표하는 지표 중 하나로, 여성 무릎 골관절염 환자의 경우 무릎 통증을 줄이기 위해 보폭을 감소시키는 보상 전략을 보인다(Rana et al., 2016). 선행 연구에 따르면 노인 남성에서는 보폭과 무릎 연결

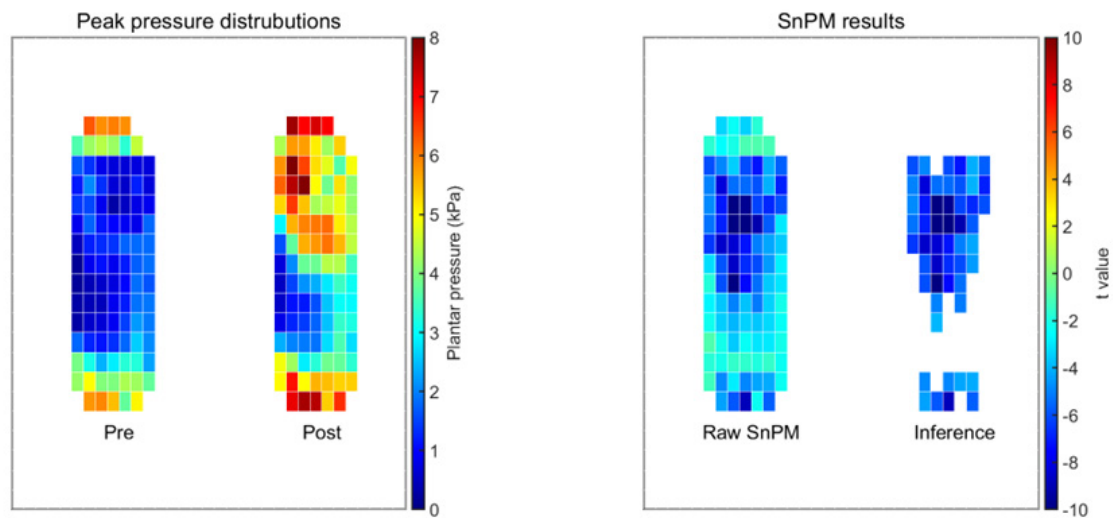


Fig. 7. Peak foot pressure at each sensor following resistance exercise intervention and SnPM result. $P < .05$

손상 간의 연관성이 유의하지 않았던 반면, 노인 여성에서는 무릎 연골 손상이 심할수록 짧은 보폭을 보였다(Stefanik et al., 2016). 이러한 성별 차이는 무릎 펌근의 근력, 관절의 구조적 특징(무릎뼈 위치, 무릎 활차 형태, 넓다리네갈래근 각도)의 차이에서 기인할 수 있다(Balcarek et al., 2010; Conley et al., 2007; Livingston, 1998; Slemenda et al., 1997). 특히 여성에게서 무릎 펌근 약화가 무릎 골관절염의 발병 위험과 관련이 있다는 점을 고려하면(Slemenda et al., 1997), 본 연구에서 저항성 운동 중재 후 보폭의 증가는 운동 중재에 따른 하지 근력 향상 가능성과 관련이 있을 수 있다.

증가된 보폭은 족저압 패턴의 변화로도 나타날 수 있다. 선행연구에 따르면, 보폭이 증가할수록 후족부, 중족부, 전족부의 족저압이 모두 증가한 것으로 보고되었으며(Allet et al., 2011), 본 연구의 결과에서도 저항성 운동 후 보폭 증가와 함께 족저압 증가가 관찰되었다. 특히, 증가된 보폭은 무릎 관절 펌 모멘트와 무릎 연골에 가해지는 부하와도 관련이 있는데(Allet et al., 2011; Chen et al., 2024; McGrath et al., 2019), 역동역학(inverse dynamics) 접근에 따르면 지면 접촉 시 족저압이 증가하면 무릎 관절에 작용하는 모멘트가 증가할 수 있다(Holder et al., 2020). 실제로 보행 중 지면 접촉 시 발생하는 수직 방향 지면반력은 하지 관절 중에서도 무릎 관절 펌 모멘트에 가장 큰 영향을 미친다(Elhafez et al., 2019). 저항성 운동 중재를 통해 강화된 무릎 펌근 근력은 무릎에 가해지는 외적 모멘트를 효과적으로 감소시켜 통증을 완화하고, 이로 인해 효용성이 높은 본래의 긴 보폭이 회복된 것으로 사료된다.

본 연구에서 저항성 운동 중재 후 무릎 골관절염 환자의 보행 시 압력중심 전후 거리가 증가함을 확인하였다. 압력중심 전후 거리 감소는 무릎 골관절염 환자에서 흔히 나타나는 특징으로, 제한된 무릎 관절 가동범위에 기인할 수 있다(Panyarachun et al., 2022; Saito et al., 2013). 이러한 제한된 관절 가동범위는 지면 접촉 시 후족부 족저압 감소를 동반하는 데 (Panyarachun et al., 2022; Saito et al., 2013), 이는 무릎 모멘트를 줄여 관절 부하를 감소시키려는 보상 전략으로 여겨진다(Kaufman et al., 2001). 이와 달리, 본 연구에서 저항성 운동 중재는 무릎 골관절염 환자의 압력중심 전후 거리와 후

족부 족저압 패턴을 회복시키는 것으로 나타났다. 비록 본 연구에서 무릎 관절의 가동범위나 모멘트를 직접적으로 측정하지는 않았으나, 족저압 분석을 통해 이와 같은 역학적 변화를 간접적으로 확인할 수 있었다.

지면 접촉 시 후족부에서의 족저압 증가는 발가락 떼기(toe-off) 단계에서 나타나는 전족부 족저압 증가와 연속적인 패턴을 이루는 것으로 보고된다(Yu et al., 2013). 본 연구에서도 저항성 운동 중재 이후 전족부 족저압이 유의하게 증가한 것으로 나타났는데, 이러한 변화는 초기 후족부 접촉이 회복되면서 후기 입각기에서 전족부를 통한 추진력이 강화된 결과로 사료된다(Taylor et al., 2005). 실제로, 무릎 골관절염 환자들은 통증 회피를 위해 발목에서의 push-off 파워를 감소시키는 보상 전략을 사용하며(McGibbon & Krebs, 2002), 이는 전족부의 족저압 감소로 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서 확인된 전족부 족저압 증가는 저항성 운동을 통한 하지 근력 강화가 이러한 보상적 패턴을 개선했음을 의미한다. 보행 추진력이 후기 입각기의 전족부 push-off에 크게 의존한다는 점을 고려할 때 저항성 운동은 무릎 골관절염 환자의 보상적 보행 패턴을 개선하고 보행 효율을 회복하는 데 효과적인 중재임을 시사한다.

본 연구의 결과를 종합해 보면, 저항성 운동 중재를 통해 무릎 골관절염 노인 여성의 보행기능이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 저항성 운동은 무릎 골관절염 환자의 근력 약화와 기능 저하를 개선하는 효과적인 중재로 알려져 있다. 선행연구에 따르면 저항성 운동은 무릎 펌근 근력을 강화하여 통증을 감소시키고 관절 안정성을 높이며(Turner et al., 2020; Vincent & Vincent, 2020), 이는 보행 시 효율적인 추진력 회복과 보폭 증가로 이어진다. 또한, 근육 강화는 관절 주변의 신경근 조절을 향상시켜 무릎 관절에 가해지는 부하를 분산시키고(Bennell et al., 2014), 결과적으로 압력중심 이동 및 족저압 패턴을 정상화하는 데 기여한다. 이러한 결과를 고려해 볼 때 보폭, 압력중심 전후 거리 및 족저압의 증가는 저항성 운동에 따른 보행기능의 회복을 반영하며, 이러한 중재가 무릎 골관절염 환자의 변형된 보상 전략을 개선하고 기능적 보행 회복을 촉진하는 데 효과적인 재활 전략임을 시사한다.

결론 및 제언

본 연구는 저항성 운동 중재가 노인 여성 무릎 골관절염 환자의 보행 패턴에 미치는 영향을 족저압 분석을 통해 규명하고자 하였다. 연구 결과, 후족부, 중족부, 전족부 모든 부위에서 족저압이 유의하게 증가하였으며, 이는 후족부-전족부 간 압력 이동 패턴의 회복과 추진력 생성의 강화로 해석될 수 있다. 종합해 보면, 저항성 운동 중재는 무릎 골관절염 환자의 변형된 보행 패턴을 개선하는 긍정적 효과를 보여주며, 이는 족저압 패턴을 통해서도 확인할 수 있다.

저항성 운동 중재에 따른 족저압 패턴 변화에도 불구하고, 본 연구 결과 해석에는 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째, 진료 기록에 Kellgren-Lawrence 등급 정보가 포함되지 않아 방사선학적 중증도를 제시하지 못하였으며, 이에 따라 기능적 포함 기준을 중심으로 대상자를 선정하였다. 둘째, 분석이 족저압 자료에 국한되어 있어 근전도나 관절 운동학 등 다양한 생체역학적 지표를 포함하지 못하였다. 셋째, 연구 대상이 노인 여성으로 한정되어 있어 남성 환자나 질환의 중증도에 따른 차이를 일반화하기 어렵다. 넷째, 본 연구는 저항성 운동만을 중재로 적용하였으므로, 유산소 운동·균형 훈련·수중 운동 등 다양한 방법과의 비교가 이루어지지 않았다. 향후 연구에서는 보다 큰 표본과 장기간의 추적을 통해 저항성 운동의 지속적 효과를 검증하고, 다양한 환자 집단과 중재 방식을 포함하며, 근전도와 관절 운동학 지표를 종합적으로 분석함으로써 무릎 골관절염 환자의 보행 역학에 대한 이해를 심화할 필요가 있을 것이다. 이러한 점들을 보완한 연구가 이루어진다면, 무릎 골관절염 환자의 재활에 있어 보다 체계적이고 실질적인 근거를 제공할 수 있을 것으로 기대되며, 이에 대한 추후 연구가 필요하다고 사료된다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: Taewhan Kim, Data curation: Guk-hyeon Kim, Do-Kyung Ko, Formal analysis: Do-Kyung Ko, Investigation: Guk-hyeon Kim, Project administration: Guk-hyeon Kim, Do-Kyung Ko, Taewhan Kim, Writing-original draft preparation: Taewhan Kim, Writing-review and editing: Guk-hyeon Kim

참고문헌

- F., Kashani, R. V., Saeedi, H., Farzi, M., & Fallahian, N. (2014). Patellar tendon bearing brace: Combined effect of heel clearance and ankle status on foot plantar pressure. *Prosthetics and Orthotics International*, 38(1), 34-38.
- Allet, L., IJzerman, H., Meijer, K., Willems, P., & Savelberg, H. (2011). The influence of stride-length on plantar foot-pressures and joint moments. *Gait & Posture*, 34(3), 300-306.
- Baert, I. A., Jonkers, I., Staes, F., Luyten, F. P., Truijen, S., & Verschueren, S. M. (2013). Gait characteristics and lower limb muscle strength in women with early and established knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics*, 28(1), 40-47.
- Balcerek, P., Jung, K., Ammon, J., Walde, T. A., Frosch, S., Schütttrumpf, J. P., Stürmer, K. M., & Frosch, K.-H. (2010). Anatomy of lateral patellar instability: trochlear dysplasia and tibial tubercle-trochlear groove distance is more pronounced in women who dislocate the patella. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(11), 2320-2327.
- Bamber, Z. A., Wheeler, P. C., Swain, I. D., & Fong, D. T. (2021). Effect of 8-week treadmill running with peroneal muscle functional electrical stimulation on laterally deviated centre of plantar pressure position and star excursion balance test performance. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 8, 20556683211021526.
- Bennell, K. L., Kyriakides, M., Metcalf, B., Egerton, T., Wrigley, T. V., Hodges, P. W., Hunt, M. A., Roos, E. M., Forbes, A., Ageberg, E., & Hinman, R. S. (2014). Neuromuscular versus quadriceps strengthening exercise in patients with medial knee osteoarthritis and varus malalignment: A randomized controlled trial. *Arthritis & Rheumatology*, 66(4), 950-959.
- Blades, S., Marriott, H., Hundza, S., Honert, E. C., Stellingwerff, T., & Klimstra, M. (2023). Evaluation of different pressure-based foot contact event detection algorithms across different slopes and speeds. *Sensors*, 23(5), 2736.
- Boyan, B. D., Hart, D. A., Enoka, R. M., Nicoletta, D. P., Resnick, E., Berkley, K. J., Sluka, K. A., Kwoh, C. K., Tosi, L. L., O'Connor, M. I., Coutts, R. D., & Kohrt, W. M. (2013). Hormonal modulation of connective tissue homeostasis and sex differences in risk for osteoarthritis of the knee. *Biology of Sex Differences*, 4(1), 3.
- Brandes, M., Schomaker, R., Möllenhoff, G., & Rosenbaum, D. (2008). Quantity versus quality of gait and quality of life in patients with osteoarthritis. *Gait & Posture*, 28(1), 74-79.
- Chen, H., Fu, R., Yang, X., Li, P., & Wang, K. (2024). Effect of stride length on knee contact. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 1-9.
- Chen, H., Zheng, X., Huang, H., Liu, C., Wan, Q., & Shang, S. (2019). The effects of a home-based exercise intervention on elderly patients with knee osteoarthritis: a quasi-experimental study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 160.
- Conley, S., Rosenberg, A., & Crowninshield, R. (2007). The female knee: anatomic variations. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15, S31-S36.
- Driban, J. B., Harkey, M. S., Barbe, M. F., Ward, R. J., MacKay, J. W., Davis, J. E., Lu, B., Price, L. L., Eaton, C. B., Lo, G. H., & McAlindon, T. E. (2020). Risk factors and the natural history of accelerated knee osteoarthritis: A narrative review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 332.
- Elhafez, S. M., Ashour, A. A., Elhafez, N. M., Elhafez, G. M., & Abdelmohsen, A. M. (2019). Percentage contribution of lower limb moments to vertical ground reaction force in normal gait. *Journal of Chiropractic Medicine*, 18(2), 90-96.
- Freijo, V., Navarro, C., Molina, B., & Villalba, J. (2023). Low correlation between gait and quality of life in advanced knee osteoarthritis. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(2), 77.
- Guo, X., Zhao, P., Zhou, X., Wang, J., & Wang, R. (2022). A recommended exercise program appropriate for patients with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 13, 934511.
- He, Y.-j., Zheng, X.-l., Wang, D.-f., Mu, Z.-z., Li, G.-y., Fang, Z.-z., Fei, W., & Huan, K. (2023). Static and dynamic plantar pressure distribution in 94 patients with different stages of unilateral knee osteoarthritis using the Footscan® platform system: An observational study. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 29, e938485-938481.
- Healy, A., Linyard-Tough, K., & Chockalingam, N. (2019). Agreement between the spatiotemporal gait parameters of healthy adults from the OptoGait system and a traditional three-dimensional motion capture system. *Journal of biomechanical engineering*, 141(1), 014501.
- Holder, J., Trinler, U., Meurer, A., & Stief, F. (2020). A systematic review of the associations between inverse dynamics and musculoskeletal modeling to investigate joint loading in a clinical environment. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 603907.
- Kaufman, K. R., Hughes, C., Morrey, B. F., Morrey, M., & An, K.-N. (2001). Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. *Journal of Biomechanics*, 34(7), 907-915.
- Klotzbier, T. J., Wollesen, B., Vogel, O., Rudisch, J., Cordes, T., Jöllenbeck, T., & Vogt, L. (2021). An interrater reliability study of gait analysis systems with the dual task paradigm in healthy young and older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, 18(1), 17.
- Lee, T. L., Ko, D.-K., & Kang, N. (2023). Advanced force coordination of lower extremities during visuomotor control task in soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1-7.
- Li, Y., Su, Y., Chen, S., Zhang, Y., Zhang, Z., Liu, C., Lu, M., Liu, F., Li, S., & He, Z. (2016). The effects of resistance exercise in patients with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-

- analysis. *Clinical Rehabilitation*, 30(10), 947-959.
- Livingston, L. A. (1998).** The quadriceps angle: A review of the literature. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 28(2), 105-109.
- Manlapaz, D. G., Sole, G., Jayakaran, P., & Chapple, C. M. (2019).** Risk factors for falls in adults with knee osteoarthritis: A systematic review. *PM&R*, 11(7), 745-757.
- McAlindon, T. E., Bannuru, R., Sullivan, M. C., Arden, N. K., Berenbaum, F., Bierma-Zeinstra, S. M., Hawker, G.A., Henrotin, Y., Hunter, D.J., Kawaguchi, H., Kwoh, K., Lohmander, S., Rannou, F., Roos, E.M., & Underwood, M. (2014).** OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 22(3), 363-388.
- McGibbon, C. A., & Krebs, D. E. (2002).** Compensatory gait mechanics in patients with unilateral knee arthritis. *The Journal of Rheumatology*, 29(11), 2410-2419.
- McGrath, R. L., Ziegler, M. L., Pires-Fernandes, M., Knarr, B. A., Higginson, J. S., & Sergi, F. (2019).** The effect of stride length on lower extremity joint kinetics at various gait speeds. *PLoS One*, 14(2), e0200862.
- McQuade, K. J., & De Oliveira, A. S. (2011).** Effects of progressive resistance strength training on knee biomechanics during single leg step-up in persons with mild knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics*, 26(7), 741-748.
- Messier, S. P., Beavers, D. P., Herman, C., Hunter, D. J., & DeVita, P. (2016).** Are unilateral and bilateral knee osteoarthritis patients unique subsets of knee osteoarthritis? A biomechanical perspective. *Osteoarthritis and Cartilage*, 24(5), 807-813.
- Messier, S. P., Loeser, R. F., Hoover, J. L., Semble, E. L., & Wise, C. M. (1992).** Osteoarthritis of the knee: effects on gait, strength, and flexibility. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 73(1), 29-36.
- Messier, S. P., Mihalko, S. L., Beavers, D. P., Nicklas, B. J., DeVita, P., Carr, J. J., ... & Loeser, R. F. (2021).** Effect of high-intensity strength training on knee pain and knee joint compressive forces among adults with knee osteoarthritis: the START randomized clinical trial. *Jama*, 325(7), 646-657.
- Metcalfe, A. J., Andersson, M. L., Goodfellow, R., & Thorstensson, C. A. (2012).** Is knee osteoarthritis a symmetrical disease? Analysis of a 12 year prospective cohort study. *Bmc Musculoskeletal Disorders*, 13, 1-8.
- Montagnani, E., Morrison, S. C., Varga, M., & Price, C. (2021).** Pedobarographic statistical parametric mapping of plantar pressure data in new and confident walking infants: A preliminary analysis. *Journal of Biomechanics*, 129, 110757.
- Oliveira, L. A. S. d., Pontes-Silva, A., Damasceno, K. L. B., Apahaza, G. H. S., Oliveira, A. R. d., Dibai-Filho, A. V., Avila, M. A., & Fidelis-de-Paula-Gomes, C. A. (2022).** Comparison between pain intensity, functionality, central sensitization, and self-efficacy in individuals with unilateral or bilateral knee osteoarthritis: A cross-sectional study. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 68(8), 1048-1052.
- Panyarachun, P., Anghong, C., Jindasakchai, P., Rajbhandari, P., & Rungrattanawilai, N. (2022).** Abnormal foot pressure in older adults with knee osteoarthritis: A systematic review. *European Review for Medical & Pharmacological Sciences*, 26(17), 6236-6241.
- Pataky, T. C., Vanrenterghem, J., & Robinson, M. (2017).** Statistical parametric mapping (SPM): Theory, software, and future directions. In *Proceedings of the XXVI Congress of the International Society of Biomechanics*. Brisb. Aust, 23-27.
- Rana, P., Joshi, S., & Bodwal, M. (2016).** Quantitative gait analysis in patients with knee osteoarthritis. *International Journal of Physiotherapy and Research*, 4(5), 1684-1688.
- Rosada, M., Speciali, D., de Oliveira, F. B. D., Campedelli, R. R., Rodrigues, H., Antonioli, E., & Ferretti, M. (2024).** Eight weeks of a lower limb resistance training protocol and gait performance in patients with symptomatic mild to moderate knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic Science*, 29(4), 1037-1045.
- Safiri, S., Kolahi, A.-A., Smith, E., Hill, C., Bettampadi, D., Mansournia, M. A., Hoy, D., Ashrafi-Asgarabad, A., Sepidarkish, M., & Almasi-Hashiani, A. (2020).** Global, regional and national burden of osteoarthritis 1990-2017: A systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2017. *Annals of the rheumatic diseases*, 79(6), 819-828.
- Saito, I., Okada, K., Nishi, T., Wakasa, M., Saito, A., Sugawara, K., Takahashi, Y., & Kinoshita, K. (2013).** Foot pressure pattern and its correlation with knee range of motion limitations for individuals with medial knee osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(12), 2502-2508.
- Saito, I., Okada, K., Wakasa, M., Abe, H., & Saito, A. (2018).** Foot pressure pattern, hindfoot deformities, and their associations with foot pain in individuals with advanced medial knee osteoarthritis. *Gait & Posture*, 59, 83-88.
- Segal, N. A., Nilges, J. M., & Oo, W. M. (2024).** Sex differences in osteoarthritis prevalence, pain perception, physical function and therapeutics. *Osteoarthritis and Cartilage*, 32(9), 1045-1053.
- Slemenda, C., Brandt, K. D., Heilman, D. K., Mazzuca, S., Braunstein, E. M., Katz, B. P., & Wolinsky, F. D. (1997).** Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Annals of Internal Medicine*, 127(2), 97-104.
- Stefanik, J. J., Gross, K. D., Guermazi, A., Felson, D. T., Roemer, F. W., Niu, J., Lynch, J. A., Segal, N. A., Lewis, C. E., & Lewis, C. L. (2016).** Relation of step length to magnetic resonance imaging-detected structural damage in the patellofemoral joint: The multicenter osteoarthritis study. *Arthritis Care & Research*, 68(6), 776-783.
- Taylor, M. J., Dabnichki, P., & Strike, S. C. (2005).** A three-dimensional biomechanical comparison between turning strategies during the stance phase of walking. *Human Movement Science*, 24(4), 558-573.
- Turner, M. N., Hernandez, D. O., Cade, W., Emerson, C. P.,**

- Reynolds, J. M., & Best, T. M. (2020).** The role of resistance training dosing on pain and physical function in individuals with knee osteoarthritis: A systematic review. *Sports Health, 12*(2), 200-206.
- Vincent, K. R., & Vincent, H. K. (2012).** Resistance exercise for knee osteoarthritis. *PM&R, 4*(5), S45-S52.
- Vincent, K. R., & Vincent, H. K. (2020).** Concentric and eccentric resistance training comparison on physical function and functional pain outcomes in knee osteoarthritis: A randomized controlled trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 99*(10), 932-940.
- Wang, M., Liu, L., Zhang, C. S., Liao, Z., Jing, X., Fishers, M., Zhao, L., Xu, X., & Li, B. (2020).** Mechanism of traditional Chinese medicine in treating knee osteoarthritis. *Journal of Pain Research, 13*, 1421-1429.
- Yu, J., Cheung, J. T. M., Wong, D. W. C., Cong, Y., & Zhang, M. (2013).** Biomechanical simulation of high-heeled shoe donning and walking. *Journal of Biomechanics, 46*(12), 2067-2074.

저항성 운동이 무릎 골관절염 노인 여성의 보행 시 족저압에 미치는 영향

김국현¹, 고도경², 김태완^{3*}

¹한양대학교 체육학과, 박사과정

²광운대학교 스포츠융합과학과, 박사과정

³한국스포츠과학원, 수석연구위원

*교신저자: 김태완(burumi@kspo.or.kr)

[목적] 본 연구는 저항성 운동 중재가 무릎 골관절염 노인 여성의 보행 시 족저압 패턴에 미치는 영향을 조사하는 데 있다.

[방법] 무릎 골관절염을 진단 받은 10명의 노인 여성을 대상으로 4주간 저항성 운동 중재를 실시하였다. 중재 전후로 보행 시 양발의 보폭과 압력중심 전후 거리, 족저압 패턴을 측정하여 저항성 운동의 효과를 평가하였다. 보폭과 압력중심 전후 거리에 대해 대응표본 t 검정을 실시하였으며, 입각기 구간의 후족부, 중족부, 전족부 시계열 자료는 통계적 비모수 매핑 기법 대응표본 t 검정을 수행하였다.

[결과] 운동 중재 후 보행 시 보폭($P = .020$) 및 압력중심 전후 거리($P = .001$)가 유의하게 증가하였다. 족저압 분석 결과, 입각기 6-29%에서의 후족부 족저압 증가, 입각기 20-57% 구간에서 중족부 족저압 증가, 입각기 74-89%에서 전족부 족저압의 증가가 관찰되었다.

[결론] 저항성 운동 중재는 무릎 골관절염 노인 여성의 보행 기능 회복을 촉진하며, 이는 족저압의 증가로 나타난다.

주요어

무릎 골관절염, 저항성 운동, 보행 기능, 족저압, 노인 여성