

Original Article

Open Access

## 노인의 악력과 보행 가변성 간의 연관성: 예비연구

이도연<sup>1,3</sup> · 이윤곤<sup>2,3</sup> · 신성훈<sup>2,3†</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 물리치료학과, <sup>2</sup>영남대학교 체육학부, <sup>3</sup>영남대학교 생활과학연구소

### Association between Hand Grip Strength and Gait Variability in Elderly: Pilot Study

Do-Youn Lee, PT, PhD.<sup>1,3</sup> · Yungon Lee, MS.<sup>2,3</sup> · Sunghoon Shin, PhD.<sup>2,3†</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physical Therapy, Daegu University*

<sup>2</sup>*School of Kinesiology, Yeungnam University*

<sup>3</sup>*Institute of Human Ecology, Yeungnam University*

Received: April 6, 2022 / Revised: April 10, 2022 / Accepted: April 11, 2022

© 2022 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:** The aim of this study was to establish an association between grip strength and gait variability in the elderly.

**Methods:** The participants in this experiment (n = 20) were aged 65 or older. Power grip and lateral pinch forces were obtained in grip strength tests, and spatiotemporal gait parameters were collected from IMU sensors during 6 min actual walking to test the gait of participants. The collected gait parameters were converted to coefficient of variation (CV) values. To confirm the association between grip strength and gait variability, a partial correlation analysis was conducted in which height, weight, and gait speed were input as controlling variables.

**Results:** Grip power showed a significant negative correlation with the stride length CV (r = -0.52), and the lateral pinch force showed a significant negative correlation with the stance CV (r = -0.65) and swing CV (r = -0.63).

**Conclusion:** This study reveals that gait variability decreases as grip strength increases, although height, weight, and gait speed were controlled. Thus, grip strength testing, a simple aging evaluation method, can help identify unstable gait in older adults at risk of falling, and grip strength can be utilized as a non-invasive measurement method for frailty management and prevention.

**Key Words:** Hand grip strength, Gait variability, Elderly

†Corresponding Author : Sunghoon Shin (sshin27@ynu.ac.kr)

## I. 서론

우리나라는 2018년을 기준으로 전체 인구에서 노인의 비중이 14%를 넘어 고령사회(aged society)가 되었고, 2030년에는 24%를 넘어 초고령 사회(super-aged society)가 될 것으로 예상된다(Kim, 2018; Jang et al., 2019). 노인 인구의 가파른 증가세 인하여 사회적인 관심이 단순 수명 연장에서 신체적, 정신적, 경제적으로 안녕한 성공적인 노화로 변화되고 있다(Rowe & Kahn, 2000; Fahy et al., 2010).

노인에게서 신체활동 능력, 근력, 관절가동성의 유지 및 증진은 건강한 신체를 위한 필수 조건이며, 고령으로 인한 신체기능의 저하는 보편적으로 수반되는 정상적인 노화 과정으로 볼 수 있다(Singh, 2004; Cvecka et al., 2015; Eckstrom et al., 2020). 또한, 정상적인 노화 범주를 지나친 노쇠(frailty)는 질병으로 분류되지는 않지만 전반적인 신체기능이 저하된 상태를 의미한다(Won, 2019). 이러한 노쇠는 낮은 신체활동을 가져올 뿐만 아니라 보행 불안정성을 높여 낙상 및 사고 장애를 빈번하게 유발한다(Kojima, 2015; McPhee et al., 2016).

손의 근력(즉, 악력) 평가는 노인의 노쇠를 평가하는 간단한 측정 방법이다(Dudzińska-Griszek et al., 2017). 악력(hand grip strength)은 일반적으로 활동 시에 많은 힘을 필요로 하는 파워 그립(power grip)이 있고, 측면 집기(lateral or key pinch), 손가락 끝 집기(tip pinch), 세 손가락 집기(three point pinch) 등과 같이 주로 작은 물체를 잡을 때 사용하는 파지력(pinch force)이 있다(Puh, 2010; Mathiowetz et al., 1984). 임상에서 악력 검사는 상지의 근력 정도나 기능을 평가할 수 있는 객관적인 기초자료로서 활용되고 있으며, 이는 올바른 치료를 위한 적절한 치료 계획 수립에 도움이 된다(Richards et al., 1996).

보행 분석은 전통적으로 시·공간 보행 파라미터의 수행력(즉, 평균값)을 주로 활용하였으나(Shin, 2014), 최근에는 근신경계 제어나 노화의 특성을 반영할 수 있는 보행 가변성(gait variability)도 유용하게

사용되고 있다(Hausdorff, 2005). 보행 가변성은 인간 움직임의 변동(fluctuation)을 의미한다(Lee & Shin, 2022; Socie & Sosnoff, 2013). 이는 시·공간 보행 파라미터의 표준편차(standard deviation, SD)나 변동계수(coefficient of variation, CV)로 설명되며(Hausdorff, 2005), 그 값이 클수록 변동성이 크다는 것을 나타낸다. 이러한 보행 가변성은 노화와 관련된 근력의 약화 및 이동성의 제한과 밀접하게 관련되어 있다(Hausdorff, Rios, & Edelberg, 2001; Socie & Sosnoff, 2013). 예를 들어, 저하된 근력은 노인의 보행 가변성을 증가시키는 요인이며 (Shin et al., 2012), 노인에게서 감소된 보행 속도(gait speed)와 활보장(stride length)은 낙상에 대한 두려움과 관련이 있고, 증가된 보폭(step length) 가변성은 낙상 위험과 직접적인 연관성이 있다(Maki, 1997). 이러한 선행연구들을 통해 보행 가변성이 낙상의 강력한 예측 인자임을 알 수 있다.

노인의 악력과 보행 수행력 간의 관련성은 다수의 선행연구에서 이미 밝혀졌다. 몇 가지 예로, Back 등(2020)은 노인에게서 측정이 간편하고, 다양한 건강 예측의 신뢰성이 높은 악력은 보행 속도( $r=0.23$ )와 보폭( $r=0.34$ )과 정적 상관관계가 있다고 보고하였고, Wiśniowska-Szurlej 등(2019)도 성별과 관계없이 노인의 악력은 보행 속도( $r=0.24$ )와 정적 상관관계가 있음을 밝혔다. 또한, Fragala 등(2016)은 노인의 악력 감소는 느린 보행 속도(odds ratios=1.99-4.33)와 강한 관련성이 있다고 보고한 바 있다. 하지만, 상대적으로 노인의 악력과 보행 가변성 사이의 직접적인 관련성에 관한 선행연구는 다소 부족하였다. 특히, 신장, 체중, 보행 속도처럼 신체 및 보행의 특성에 영향을 미치는 요인들을 제외한 순수한 보행 가변성과 악력 사이의 관련성은 악력을 통한 노인 이동성의 예측 가능성을 제시하므로 노인의 인체기능 평가에서 중요하다. 하지만 둘의 관련성 유무는 여전히 불분명하다.

이에 본 연구는 노인의 노쇠와 관련하여 악력을 대표하는 파워 그립 및 측면 집기와 보행 가변성 사이의 연관성을 알아보고자 한다. 우리는 노인의 악력이 약할수록 보행 가변성이 증가할 것으로 가정하였고,

최종적으로 노인의 노쇠 관리 및 예방을 위한 측정 방법으로서 악력이 유용하게 활용될 수 있는지를 알아보고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

연구 대상자는 경상북도 경산시에 거주하고 있는 65세 이상 남녀 노인 20명으로 선정되었다. 대상자는 근골격계 질환이나 신경계 질환이 없는 건강한 노인 으로 구성되었고, 어려움이 없이 최소 6분 이상 자발적으로 보행할 수 있었다. 연구자는 실험에 앞서서 대상 자들에게 본 연구의 목적을 설명하고, 실험 참여에 대한 동의를 얻었다. 구체적인 연구 대상자의 신체적 특성은 Table 1에 제시하였다.

### 2. 측정방법 및 도구

1) 악력 측정: 악력계(Hand dynamometer, Jamar, US)와 파지력 측정기(Hydraulic pinch gauge, Jamar, US)가 사용되었다. 연구 대상자자의 파워 그립과 측면 집기는 각 세 번씩 측정되었다. 이때 각 측정된 값의 평균값이 최종 데이터로 수집되었다.

파워 그립은 앉은 자세에서 측정하였으며, 팔꿈관절이 90° 굽힘된 상태에서 악력 측정센서를 잡았을 때 엄지를 제외한 네 손가락의 제2관절이 직각이 되게 넓이를 조절하여 측정하였다. 측면 집기는 엄지 바닥과 집게손가락 중위지의 가쪽면 사이의 힘을 측정하였다.

2) 보행 측정: 가속도계 센서(inertial measurement units, IMUs, Gait Up, Switzerland)가 사용되었다. 가속도계 센서로부터 시공간적 보행 파라미터가 수집되었고, 수집된 시공간적 보행 파라미터는 보행속도, 보행주기(gait cycle), 보행률(cadence), 디딤기(stance phase), 흔들기(swing phase), 양다리 지지기(double support),

활보장, 스윙 너비(swing width), 최대뒤꿈치높이(max heel clearance), 최대발끝높이(max toe clearance)였다. 이때 측정된 시공간적 보행 파라미터는 보행 가변성으로 분석되었다. 보행 가변성은 변동계수(coefficient of variation,  $CV = [\text{standard deviation} / \text{mean}] * 100$ )값으로 산출되었다.

보행 변수들의 정의는 다음과 같다. (1) 보행속도(m/s): 활보(stride)의 초당 움직인 거리, (2) 보행주기(s): 한 발이 떠나 같은 발이 다시 지면과 접촉할 때까지의 시간, (3) 보행률(s/m): 보행의 분당 스텝 수, (4) 디딤기(%): 보행 주기에서 한 발이 지면에 지지하는 비율, (5) 흔들기(%): 보행 주기에서 한 발이 지면과 맞닿지 않고 공중에서 차지하는 비율, (7) 양다리 지지기(%): 양 발이 지면에 지지하는 비율(percent of gait cycle), (8) 활보장(m): 한 발이 떠나 뒤꿈치에서 같은 발의 뒤꿈치까지의 직선거리, (9) 스윙 너비(m): 흔들기에서 발의 최대 측면 편위(excursion), (10) 최대뒤꿈치높이(m): 각 사이클 동안 앞꿈치가 닿기 전에 뒤꿈치의 지면 위 최대 높이, (11) 최대발끝높이(m): 뒤꿈치가 닿기 전에 앞꿈치가 지면 위의 도달하는 최대 높이.

### 3. 실험 절차

본 연구의 대상자는 실험실 의자에 앉은 후 정적인 자세에서 악력 검사를 실시하였다. 이후, 실내 체육관에서 6분 보행 검사를 준비하였다. 보행 실험의 대상자는 먼저 가속도계 센서를 양 발에 착용한 후 연구자의 시작 신호에 따라서 직선코스의 왕복 60m 거리를 약 6분 이상 보행하였다. 실험 종료 후, 최종적으로 시공간적 보행 파라미터가 수집되었고, 엑셀 파일 형태로 데스크톱 소프트웨어에서 분석되었다. 데이터 분석 과정에서 초기 stride 3개는 제거되었다. 측정된 가속도계 센서와 수집된 데이터의 예시는 Figure 1과 같다.

### 4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS (ver 23.0 for

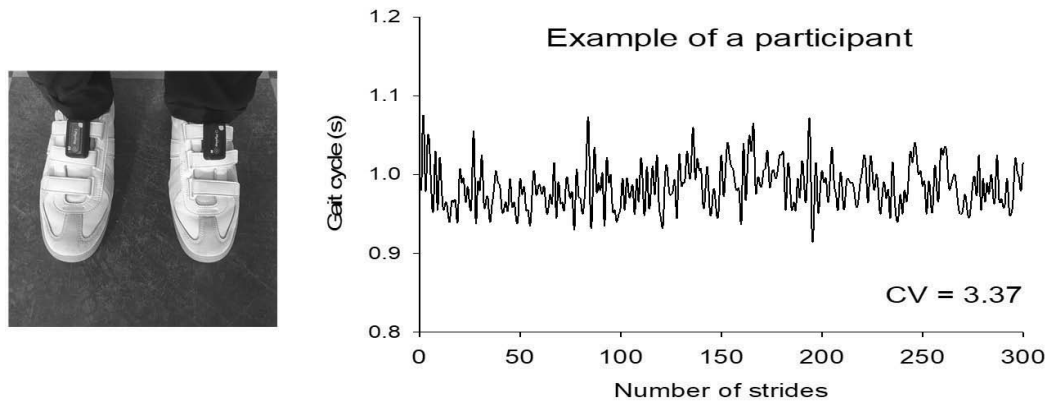


Fig. 1. An example of gait variability measured over 300 strides wearing an IMU sensor in an older adult.

Windows) 프로그램을 통해 분석되었다. 연구대상자의 일반적 특성은 기술 통계로 나열하였고, 악력(파워그립 및 측면 집기)과 보행 가변성(시공간 보행 파라미터의 CV 값) 사이의 관련성은 Spearman의 상관계수와 편상관계수로 분석되었다. 편상관분석에서 공변량(통제변수)으로 신장, 체중, 보행속도가 투입되었다. 통계적 유의수준은 0.05로 설정되었다.

### III. 연구 결과

#### 1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참가한 대상자들은 65세 이상 남녀 노인 20명으로 평균연령은 75.20±4.59세, 신장은 162.88±6.84cm, 체중은 67.52±8.13kg, 보행 속도는 1.24±0.18m/s로 나타났다(Table 1).

#### 2. Spearman의 상관분석 (Spearman's correlation analysis)

Spearman의 상관분석의 결과에서 악력과 보행 가변성에 유의한 상관관계가 있었다(Figure 2). 파워그립은 활보장 CV ( $r = -0.59$ ;  $p = 0.01$ ), 최대뒤꿈치높이 CV ( $r = -0.58$ ;  $p = 0.01$ ), 최대발끝높이 CV ( $r = -0.55$ ;

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

Characteristics	Mean±SD
Age (years)	75.20±4.59
Gender (female/male)	10/10
Height (cm)	162.88±6.84
Weight (kg)	67.52±8.13
Gait speed (m/s)	1.24±0.18
Power grip (kg)	27.23±7.98
Lateral pinch force (kg)	5.90±2.07
Gait cycle CV (%)	2.38±0.67
Cadence CV (%)	2.35±0.64
Stance CV (%)	2.24±0.76
Swing CV (%)	3.58±1.36
Double support CV (%)	9.67±3.75
Stride length CV (%)	3.69±1.13
Swing width CV (%)	36.84±34.79
Max heel clearance CV (%)	4.47±1.56
Max toe clearance CV (%)	7.69±1.67

$p = 0.01$ )와 유의한 음의 상관관계를 보였다. 또한, 측면 집기에서는 활보장 CV ( $r = -0.57$ ;  $p = 0.01$ ), 최대뒤꿈치높이 CV ( $r = -0.75$ ;  $p = 0.01$ ), 최대발끝높이 CV ( $r = -0.45$ ;  $p = 0.01$ )와 유의한 음의 상관관계가 나타났다. 악력과 그 외의 보행 파라미터에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

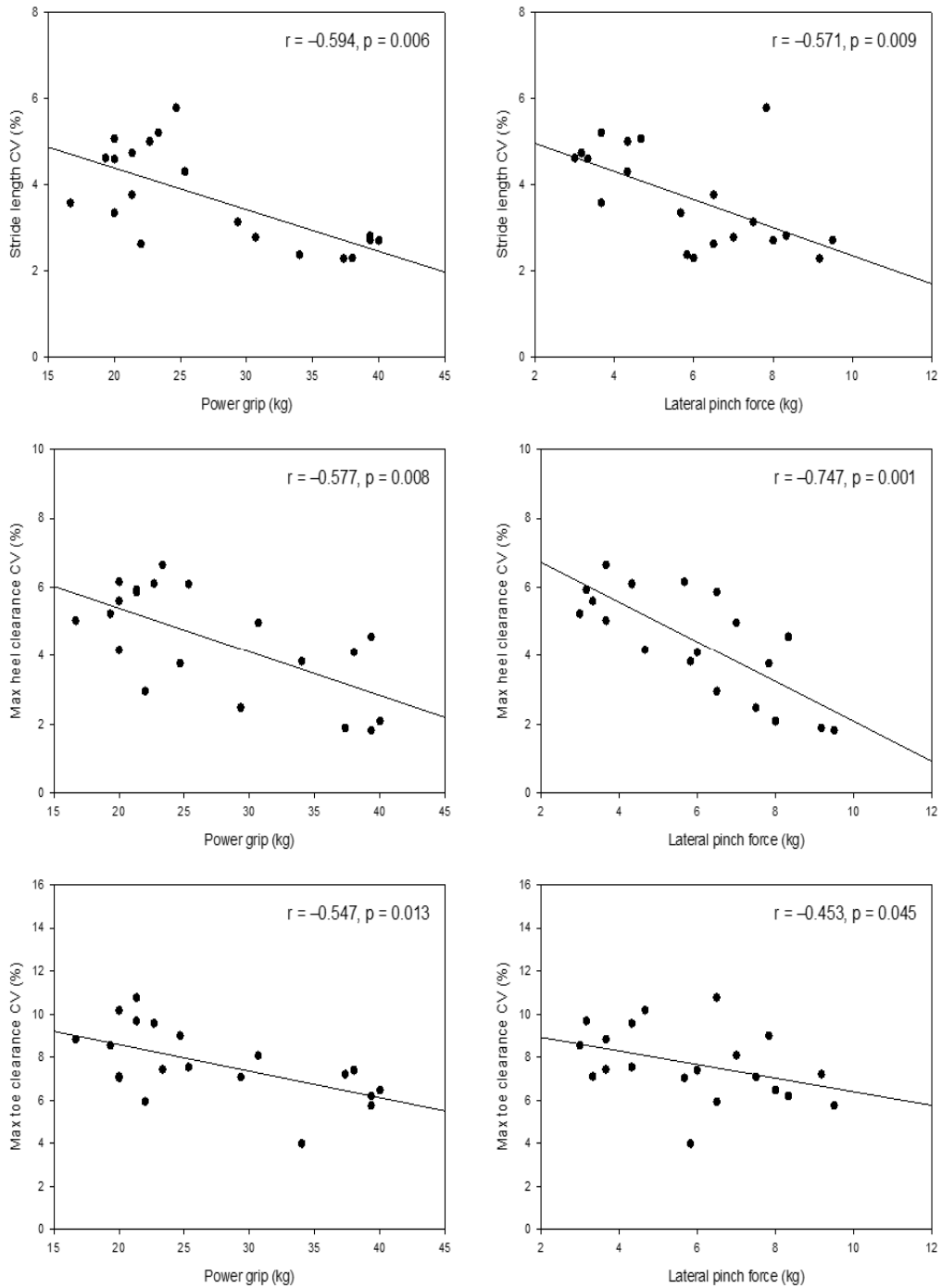


Fig. 2. Results of correlations (r) between hand grip strength and gait variability.

## 3. 편상관분석 (Partial correlation analysis)

신장, 체중, 보행 속도가 통제된 편상관분석의 결과에서 악력과 보행 가변성에 유의한 상관관계가 나타났고, 두 가지 악력 검사에서 연관성이 있는 보행 파라미터가 각각 다르게 나타났다(Figure 3). 파워 그립은 활보장 CV ( $r = -0.52$ ;  $p = 0.05$ )와 유의한 음의 상관관계가 나타났고, 측면 집기는 디딤기 CV ( $r = -0.65$ ;  $p = 0.01$ ), 흔들기 CV ( $r = -0.63$ ;  $p = 0.01$ )와 유의한 음의 상관관계를 보였다.

## IV. 고찰

본 연구는 노인을 대상으로 악력과 보행 가변성의 연관성을 평가하기 위해 파워 그립, 측면 집기와 보행 시 시·공간 변인의 CV를 측정하여 둘 사이의 상관관계를 분석하였다. Spearman 상관분석 결과 악력이 증가할수록 활보장 CV, 최대뒤꿈치높이와 최대발끝높이 CV가 감소되는 것으로 나타났다. 신장, 체중, 보행 속도를 통제한 편상관분석 결과에서도 파워 그립 시 악력이 증가할수록 활보장 CV가 감소되는 음의 상관

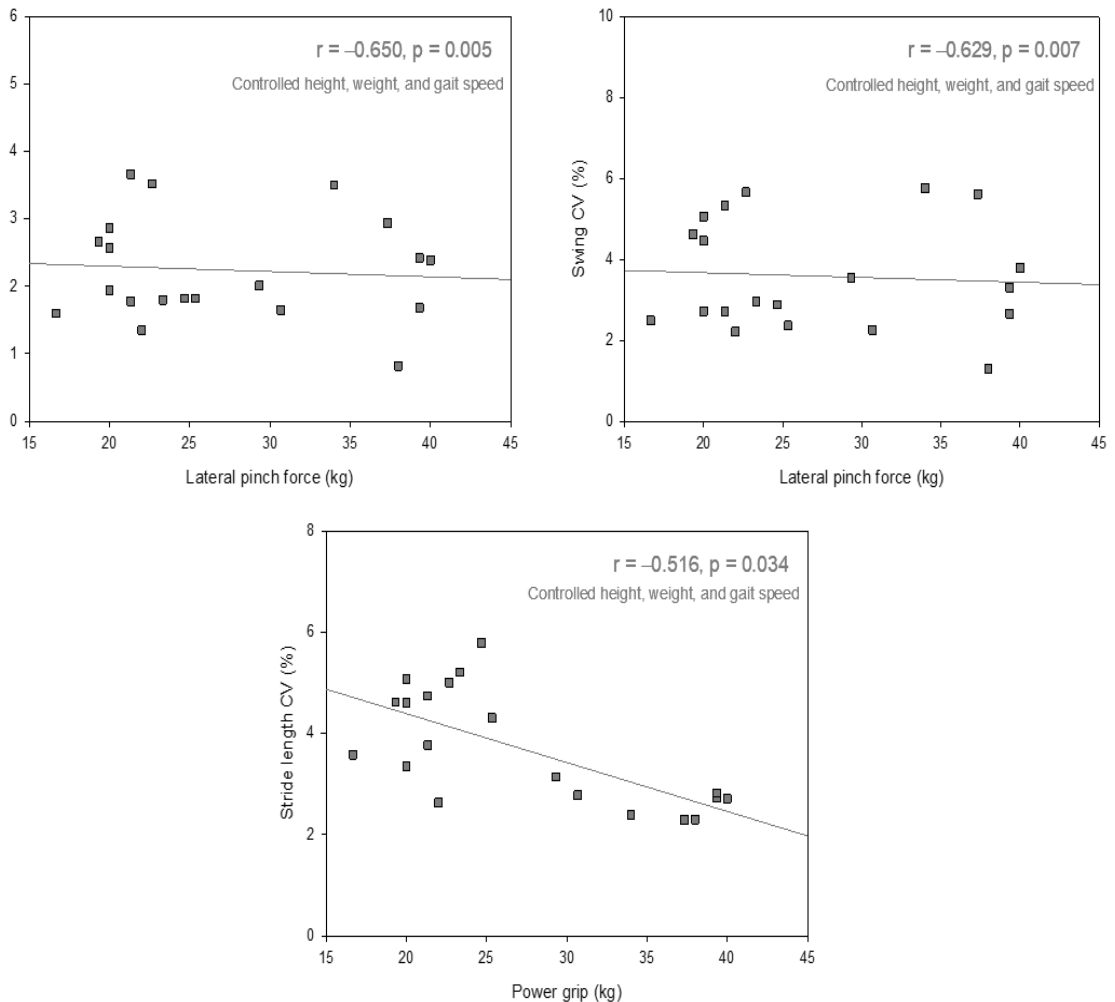


Fig. 3. Results of partial correlations ( $r$ ) between hand grip strength and gait variability with controlled height, weight, and gait speed.

관계를 보였고, 측면 집기에서는 디딤기 CV와 흔들기 CV가 음의 상관관계를 보였다.

근력은 주로 일반적인 건강, 피트니스 및 신체 활동의 지표이며(Rantanen, 2003), 건강한 사람일수록 일상적인 보행에서 보행 가변성이 낮을 수 있다(Montero-Odasso et al., 2011). 하지만, 근력의 중요성에도 불구하고 근력과 보행 가변성의 연관성에 대한 연구는 많이 수행되지 않았다. Shin 등(2012)의 연구에서는 하지 근육의 질(근육량 대비 상대 근력)이 좋을수록 공간 및 시간적 보행 가변성이 감소된다고 하였다. 그뿐만 아니라, 감소된 근력과 근육의 질은 노인의 보행 가변성을 증가시키는 요인이 될 수 있다(Shin et al., 2012, Sosnoff & Newell, 2006). 또한, Calisaya 등(2010)은 등척성 무릎 신전 강도가 보행 가변성과 연관성이 있음을 밝혔다. 이러한 선행연구는 하지 근력과 보행 가변성의 연관성을 밝힌 연구이므로 손의 근력을 측정하면 본 연구의 결과와 직접적으로 비교할 수는 없다. 하지만, 본 연구의 결과는 하지 근력 뿐만 아니라 악력도 이동성과 보행 가변성을 예측하는데 활용될 가능성이 있음을 보여준다.

악력은 전체적인 신체의 힘을 측정하는 방법으로 자주 사용되고 있으며, 상대적으로 하지 근력 평가에 비해 악력 측정의 높은 편이성을 고려하면 현장에서 보행 가변성을 예측하는데 활용가능성이 오히려 높을 수 있다. 다양한 연구에서 무릎의 펌 근력 및 일상생활 수행력이 악력과 상관관계가 있음을 밝히고 있는데(Avlund et al., 1994; Kallman et al., 1990), 이는 본 연구의 결과와도 개연성이 있는 것으로 보인다. Avlund 등(1994)은 나이, 키 변수를 보정하였음에도 불구하고 성별과 상관없이 악력이 강할수록 일상생활 수행력이 높다고 하였다. 또한, 노인의 악력이 팔의 굵힘 및 무릎의 펌 근력, 체간의 굵힘 및 펌 근력과 연관성이 있다고 하였다(Avlund et al., 1994; Kallman et al., 1990). 이처럼 악력과 하지 근력이 서로 연관성이 높기 때문에 악력과 보행 가변성의 연관성을 밝힌 본 연구의 결과와 앞서 언급한 Shin 등(2012), Calisaya 등(2010)의 연구는 간접적인 비교가 될 수 있다.

Spearman 상관분석 결과에서 파워 그룹은 활보장 CV, 최대뒤꿈치 및 발끝높이 CV와 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 나타났으나, 보행속도, 신장, 체중을 보정한 편상관분석에서는 활보장 CV만 연관성이 있는 것으로 나타났다. 이는 파워 그룹에 주로 사용되는 아래팔(forearm) 근육과 활보장 CV에 가장 많은 영향을 미치는 허벅지(thigh) 근육이 서로 연관성이 있었기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 상지의 근력은 하지의 근력과 상관관계가 있다(Herman et al., 2005). 이중 파워 그룹은 큰 볼기근(gluteus maximus), 넓다리 네갈래근(quadriceps femoris), 뒤넓다리근(hamstring)과 같이 하지의 큰 근육 그룹과 연관성이 있으며(Rhodes et al. 2022, Bohannon, 2012; Chan et al., 2014), 이들 근육의 근력은 활보장 및 보행속도와 유의한 상관관계가 있다는 선행연구로 뒷받침될 수 있다(Scarborough et al., 1999). 이에 파워 그룹과 활보장 CV가 서로 연관성이 나타났다고 생각된다. 하지만, 뒤꿈치 및 발끝높이(heel and toe clearance)는 상대적으로 발목의 움직임을 담당하는 앞정강근(tibialis anterior) 및 장딴지근(gastrocnemius)과 관련이 있으며, 이러한 근육은 측면 집기를 포함하는 파지력과 연관성이 있기 때문에 편상관분석의 결과에서 유의성이 나타나지 않은 것으로 생각된다(Guadagnin et al., 2019, Martinoli et al., 2010).

측면 집기는 편상관분석에서 디딤기 CV 및 흔들기 CV와 음의 상관관계가 나타났다. 장딴지근은 전흔들기(pre-swing phase) 시에 활성화되고 앞정강근은 흔들기에서 활성화되는 근육이며(Malanga & DeLisa, 1998), 이들 근육의 연관성으로 인해 측면 집기와도 유의한 상관관계가 나타난 것으로 판단된다. 이 두 근육은 뒤꿈치 및 발끝높이와 연관성이 있으나(Martinoli et al., 2010), 통제변수를 어떻게 제어하는지에 따라 결과가 달라질 수 있기 때문에 spearman 상관분석과 편상관분석의 결과가 상이하게 나타난 것으로 보인다. 따라서, 추후 이에 대한 설명이 뒷받침될 수 있는 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구의 결과는 간편하게 측정이 가능한 악력이

노인의 낙상 위험과 밀접하게 관련되어 있는 보행 가변성과 상관관계가 높고, 악력이 노인의 노쇠 관리의 기초자료로서 활용될 수 있음을 시사한다. 많은 선행 연구에서 악력과 평균값을 활용한 보행 파라미터의 수행력의 연관성을 제시하였으나(Back et al., 2020; Wiśniowska-Szurlej et al., 2019; Fragala et al., 2016), 본 연구는 낙상의 강력한 예측 인자인 보행 가변성과의 연관성을 제시하였다. 또한, 본 연구의 결과는 신장, 체중, 보행 속도를 통제하였음에도 불구하고 악력이 증가할수록 보행 가변성이 감소하는 것을 밝혔다는 데에 그 의의가 있다.

하지만, 본 연구는 탐색적 성격의 예비 연구로서 연구 대상자가 적었기 때문에 결과를 일반화하기에는 다소 어려움이 있을 수 있다. 또한, 노인의 악력과 보행 가변성 변수의 단일측정을 통한 상호 연관성만을 밝혔다는 제한점이 있으므로, 추후에는 장기적인 관찰을 통해 두 변수 사이의 인과관계를 밝히는 것도 의미 있는 연구라 판단된다. 본 연구에서는 보행 가변성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 인자들(체성 및 고유수용성 감각 등)을 통제하지 못하였고, 노인의 경우 생활습관이나 환경적인 요인에 따라 근육량의 차이가 발생할 수 있기 때문에 좀 더 다양한 근력 측정(손 및 상지의 근력, 등척성 및 등속성 근력 등) 방법을 고려한 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

## V. 결론

본 예비연구는 노인의 악력과 보행 가변성 사이의 연관성을 확인하였다. 그 결과, 악력이 강할수록 감소된 보행 가변성이 나타났다. 특히, 이러한 연관성은 신장, 체중, 보행 속도와 같이 신체 및 보행의 특성에 영향을 미치는 요인들을 통제한 이후에도 악력이 높을수록 활보장(stride length) CV, 디딤기(stance phase) CV, 흔들기(swing phase) CV에서 감소가 두드러졌다. 이에 본 연구의 결과는 간단한 노쇠 평가 방법인 악력 검사가 낙상 위험이 있는 노인의 불안정성 보행을 식

별하는 데 도움이 될 수 있으며, 노쇠 관리 및 예방을 위한 비침습적인 측정 방법으로서 악력이 활용될 수 있음을 시사한다.

## Acknowledgements

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Education (2021R1A6A1A03040177).

## References

- Avlund K, Schroll M, Davidsen M et al. Maximal isometric muscle strength and functional ability in daily activities among 75-year-old men and women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 1994;4(1):32-40.
- Back CY, Joo JY, Kim YK. Association between muscular strengths and gait characteristics of elderly people aged 65 to 74 and 75 and above. *Journal of the Korea Academia-Industrial*. 2020;21(2):415-422.
- Bohannon RW. Are hand-grip and knee extension strength reflective of a common construct?. *Perceptual and Motor Skills*. 2012;114(2): 514-518.
- Callisaya ML, Blizzard L, McGinley JL et al. Sensorimotor factors affecting gait variability in older people—a population-based study. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2010;65(4):386-92.
- Chan OYA, van Houwelingen AH, Gussekloo J et al. Comparison of quadriceps strength and handgrip strength in their association with health outcomes in older adults in primary care. *Age*. 2014;36(5):1-13.
- Cvecka J, Tirpakova V, Sedliak M et al. Physical activity



- in elderly. *European Journal of Translational Myology*. 2015;25(4):249.
- Dudzińska-Griszek J, Szuster K, Szewieczek J. Grip strength as a frailty diagnostic component in geriatric inpatients. *Clinical Interventions in Aging*. 2017.
- Eckstrom E, Neukam S, Kalin L et al. Physical activity and healthy aging. *Clinics in Geriatric Medicine*. 2020;36(4):671-683.
- Fahy GM, West M, Coles LS et al. The future of aging: Pathways to human life extension. *Springer Science & Business Media*. 2010.
- Fragala MS, Alley DE, Shardell MD et al. Comparison of handgrip and leg extension strength in predicting slow gait speed in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2016;64(1):144-150.
- Guadagnin EC, Priario LA, Carpes FP et al. Correlation between lower limb isometric strength and muscle structure with normal and challenged gait performance in older adults. *Gait & Posture*. 2019;73:101-107.
- Hausdorff JM. Gait variability: methods, modeling and meaning. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2005;2(1):1-9.
- Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2001;82(8):1050-1056.
- Herman S, Kiely DK, Leveille S et al. Upper and lower limb muscle power relationships in mobility-limited older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 2005; 60(4):476-480.
- Jang IY, Lee HY, Lee E. Geriatrics fact sheet in Korea 2018 from national statistics. *Annals of Geriatric Medicine and Research*. 2019;23(2):50.
- Kallman DA, Plato CC, Tobin JD. The role of muscle loss in the age-related decline of grip strength: cross-sectional and longitudinal perspectives. *Journal of Gerontology*. 1990;45:M82-88.
- Kim KH. The Impact of ADL Disability through Social Networks on Depression in Old Age, *Korean Journal of Gerontological Social Welfare*. 2018;73(2):49-77.
- Kojima G. Frailty as a predictor of future falls among community-dwelling older people: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2015;16(12): 1027-1033.
- Lamoureux EL, Sparrow WA, Murphy A et al. The relationship between lower body strength and obstructed gait in community -dwelling older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2002;50(3):468-473.
- Lee Y, Shin S. The Effect of Body Composition on Gait Variability Varies with Age: Interaction by Hierarchical Moderated Regression Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(3):1171-1180.
- Maki BE. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear?. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1997;45(3):313-320.
- Malanga G & DeLisa JA. Gait analysis in the science of rehabilitation. *Diane Publishing*. 1998;2(1).
- Mathiowetz V, Weber K, Volland G et al. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *The Journal of Hand Surgery*. 1984;9(2): 222-226.
- Martinikorena I, Martínez-Ramírez A, Gómez M et al. Gait variability related to muscle quality and muscle power output in frail nonagenarian older adults. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2016;17(2):162-167.
- Martinoli C, Perez MM, Padua L et al. Muscle variants of the upper and lower limb (with anatomical correlation). *In Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2010; 14(2):106-121 Epub.
- McPhee JS, French DP, Jackson et al. Physical activity in older age: perspectives for healthy ageing and frailty.

- Biogerontology*. 2016;17(3):567-580.
- Montero-Odasso M, Muir SW, Hall M et al. Gait variability is associated with frailty in community-dwelling older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2011;66(5):568-76.
- Puh U. Age-related and sex-related differences in hand and pinch grip strength in adults. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2010;33(1):4-11.
- Rantanen T. Muscle strength, disability and mortality. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2003;13(1):3-8.
- Rhodes D, Jeffery J, Carling C. The association between grip strength and isometric mid-thigh pull performance in elite footballers. *Science & Sports*. 2022. Epub.
- Richards LG, Olson B, Palmiter-Thomas P. How forearm position affects grip strength. *The American Journal of Occupational Therapy*. 1996;50(2), 133-138.
- Rowe JW, Kahn RL. Successful aging and disease prevention. *Advances in Renal Replacement Therapy*. 2000;7(1): 70-77.
- Scarborough DM, Krebs DE, Harris BA. Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons. *Gait & Posture*. 1999;10(1):10-20.
- Shin S. Analysis of the effect of obesity on gait performance and variability in old adults. *The Korean Journal of Physical Education*. 2014;53(3):759-767.
- Shin S, Valentine RJ, Evans EM et al. Lower extremity muscle quality and gait variability in older adults. *Age and Ageing*. 2012;41(5):595-599.
- Singh MAF. Exercise and aging. *Clinics in Geriatric Medicine*. 2004;20(2): 201-221.
- Socie MJ, Sosnoff JJ. Gait variability and multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis International*. 2013. Epub.
- Sosnoff JJ, Newell KM. Are age-related increases in force variability due to decrements in strength? *Experimental Brain Research*. 2006;174(1):86-94.
- Wiśniowska-Szurlej A, Ćwirlej-Sozańska A, Wołoszyn N et al. Association between handgrip strength, mobility, leg strength, flexibility, and postural balance in older adults under long-term care facilities. *BioMed Research International*. 2019. Epub.
- Won CW. Frailty: its scope and implications for geriatricians. *Annals of Geriatric Medicine and Research*. 2019;23(3):95.