

사지별 근육량 및 근육 불균형이 정적·동적 균형 및 이동기능에 미치는 영향에 대한 분석: 후향적 관찰 연구

이지윤 · 한경선 · 김호준

동국대학교 일산불교한방병원 한방재활의학과

Effects of Appendicular Muscle Mass and Imbalance on Static and Dynamic Balance and Mobility Function: A Retrospective Observational Study

Jiyun Lee, K.M.D., Kyungsun Han, K.M.D., Ph.D., Hojun Kim, K.M.D., Ph.D.

Department of Korean Medicine Rehabilitation, Collogee of Korean Medicine, Dongguk University

This study was supported by a grant from the Korean Medicine Innovation Technology Development Program of the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI) (RS-2020-KH087713).

RECEIVED November 21, 2025

REVISED December 12, 2025

ACCEPTED December 16, 2025

CORRESPONDING TO

Hojun Kim, Department of Korean Medicine Rehabilitation, Collogee of Korean Medicine, Dongguk University, 27 Dongguk-ro, Ilsandong-gu, Goyang 10326, Korea

TEL (031) 961-9009

FAX (031) 961-9009

E-mail kimklar@dongguk.ac.kr

Copyright © 2026 The Society of Korean Medicine Rehabilitation

Objectives This study investigated how appendicular muscle mass and inter-limb functional imbalance relate to static and dynamic balance and mobility in adults aged 50 years or older.

Methods We retrospectively analyzed medical records of 38 outpatients aged ≥ 50 years who completed body composition testing, handgrip strength assessment, and the short physical performance battery (SPPB) between May and July 2025. Participants were classified as balanced (grip asymmetry $< 10\%$) or unbalanced ($\geq 10\%$). Group differences were analyzed using independent t-tests and chi-square tests. Pearson correlation and multiple linear regression identified factors associated with gait speed, and a random forest model was used to examine nonlinear patterns and variable importance.

Results Balanced individuals showed significantly faster gait speed than the unbalanced group (1.18 ± 0.23 vs. 0.92 ± 0.30 m/s; $p = 0.0043$). Grip asymmetry demonstrated a meaningful negative correlation with gait speed ($r = -0.470$), while SPPB total score ($r = 0.704$) and balance time ($r = 0.441$) showed strong positive associations. In the multivariable model (adjusted $R^2 = 0.523$), grip asymmetry and age remained independent predictors of slower gait speed. These findings consistently indicate that functional imbalance, rather than absolute muscle mass, has greater relevance to mobility performance.

Conclusions Grip strength asymmetry $\geq 10\%$ was independently linked to lower gait speed and reduced mobility. Inter-limb functional imbalance may therefore serve as a practical and early indicator of mobility decline in older adults. (**J Korean Med Rehabil 2026;36(1):97-105**)

Key words Sarcopenia, Hand strength, Hand strength asymmetry, Physical functional performance, Walking speed

서론»»»»

근감소증(sarcopenia)은 고령 인구에서 흔히 나타나는 근골격계 질환으로, 골격근량 및 근기능의 점진적인 저하를 특징으로 하며 낙상, 이동성 저하, 삶의 질 감소, 사망률 증가와 밀접하게 관련되어 있다. 이에 따라 노년기 기능 저하 및 일상생활 장애를 예방하기 위해 조기 진단 및 중재의 중요성이 강조되고 있다¹⁾.

근감소증의 진단 및 평가에는 일반적으로 절대적인 근육량(appendicular skeletal muscle mass, ASM)이나 악력(handgrip strength)과 같은 지표가 사용된다. 그러나 최근에는 단순한 양적 감소 외에도 사지 간 근육량 또는 근기능의 좌우 비대칭이 기능적 저하의 조기 신호로 작용할 수 있다는 점이 주목받고 있다^{2,3)}. 특히 손 악력은 단순히 손의 근력에 국한되지 않고, 전신 근기능과 영양 상태, 노쇠 정도를 반영하는 대표적인 대리 지표로 여겨지며, 좌우 악력 비대칭은 단측 근위축, 신경학적 이상, 전신 회복 불균형 등을 나타내는 신체기능 저하의 민감한 지표로 간주된다²⁾.

좌우 불균형의 정의에 있어, 선행 연구들은 10% 이상의 차이를 유의한 비대칭으로 간주해왔다. 2019년 Mertz 등⁴⁾은 하지 근육량 및 근력의 비대칭이 평균 10~13% 수준에서 운동 기능 저하와 유의하게 연관된다고 보고하였고, 2024년 Heap-Eldridge 등⁵⁾은 하지를 포함한 다양한 근기능에서 10% 이상의 차이를 ‘기능적 비대칭’의 기준으로 제시하였다. 악력 또한 좌우 차이가 10%를 초과할 경우 일상생활수행능력 저하 및 사망 위험 증가와 관련이 있음이 보고되었다.

보행은 복잡한 협응 운동으로, 상지와 하지, 체간 간의 리드미컬하고 대칭적인 움직임이 동반되어야 최적의 효율을 발휘할 수 있다. 2022년 Ferraris 등⁶⁾은 파킨슨병 환자에서 상지의 교차 움직임이 제한되면 보행 안정성이 떨어지고 보행 속도 또한 감소함을 확인하였다. 2019년 Hill 등⁷⁾의 연구 역시 상지 움직임의 비대칭이 보행 시 중심 안정성을 저해하고 체간 조절 기능에 부정적인 영향을 미친다고 보고하였다. 이는 곧 상지의 힘 또는 움직임이 좌우로 비대칭할 경우 체간 안정성이 저하되고, 이로 인해 보행의 효율성 및 속도가 감소될 수 있음을 시사한다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구는 50세 이상 외래 환자를 대상으로 사지별 근육량 및 악력의 좌우 불균형이 정적 및 동적 균형, 그리고 이동 기능에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 특히 기존 연구에서 기능적 편차의 조기 신호로 제시된 악력 비대칭(grip asymmetry $\geq 10\%$)을 주요 예측 지표로 설정하고, 정량적 비교 및 회귀 모델을 통해 기능 저하와의 관련성을 분석하였다. 또한, 선형 회귀(linear regression)와 랜덤 포레스트 회귀(random forest regression)를 병행하여 예측 모델의 설명력 및 변수 중요도를 비교함으로써, 임상적 활용 가능성을 제시하고자 한다.

대상 및 방법»»»»

1. 연구 설계 및 대상자

본 연구는 동국대학교 일산한방병원 한방재활의학과 외래를 방문한 환자를 대상으로 수행된 후향적 관찰 연구로, 2025년 5월 1일부터 7월 31일까지 내원한 만 50세 이상의 환자 중 체성분 검사(bioelectrical impedance analysis, BIA), 악력 검사(handgrip strength test), 그리고 단순 신체기능 평가(short physical performance battery, SPPB)가 모두 시행된 환자 38명을 최종 분석 대상으로 포함하였다. 해당 연구는 병원 의무기록 시스템을 기반으로 진행되었으며, 수집된 자료는 모두 개인식별정보를 비식별화한 상태에서 분석되었다. 본 연구는 동국대학교 일산한방병원 기관윤리심의위원회(institutional review board, IRB)의 승인(IRB approval: 2025-09-003-002)을 받은 후 진행되었다.

2. 변수 정의 및 측정 항목

본 연구에서는 신체기능, 체성분 및 악력 지표를 중심으로 평가를 실시하였다. 신체기능 지표는 안단테핏(Andante Fit; DYPHI Inc., Seoul, Korea) 장비를 이용하여 평가되었으며, 단순 신체기능을 정량화하기 위해 SPPB 검사의 세 가지 항목인 정적균형 유지 시간(sec), 4 m 보행속도(m/s) 및 5회 의자 일어나기 소요 시간(sec)과

세 가지 검사 수행 점수를 합한 SPPB 총점(0~12점)을 포함하였다. 정적균형 검사는 안단테뒹 기기 상에서 양발을 모은 상태에서 시작하여 한 발씩 전진하며 균형을 유지하는 능력을 평가하는 방식으로 수행되었다. 기기 표면은 세 구역으로 구분되어 있으며, 피검자는 안단테뒹 전용 애플리케이션의 신호에 맞추어 각 단계에서 10초간 균형을 유지하였다. 첫 번째 단계에서는 양발을 모은 상태에서 10초간 균형을 유지하였고, 두 번째 단계에서는 한 발을 1보 앞으로 내딛은 상태에서 10초간, 세 번째 단계에서는 두 발을 일렬로 나란히 디딘 상태에서 10초간 균형을 유지하여, 총 30초 동안 균형 유지능력을 평가하였다. 보행 속도는 4 m 구간을 보행하는데 소요된 시간을 측정하여 산출하였으며, 5회 의자 일어나기 검사는 팔짱을 낀 상태에서 가능한 한 빠르게 다섯 번 일어섰다 앉는 데 걸린 시간을 측정하고, 그 결과를 수행 점수로 환산하였다.

체성분 지표는 생체전기저항분석기(BIA, InBody 770; InBody Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였으며, 양측 사지 근육량(우측 상지, 좌측 상지, 우측 하지, 좌측 하지), 골격근량(skeletal muscle mass, SMM), 체지방량(fat mass), 체질량지수(body mass index, BMI), 체지방률(percent body fat, PBF), 신장 및 체중을 포함하였다. 또한 본 분석에서 중심 지표로 활용하지는 않았으나, 사지 근육량을 합산하여 appendicular skeletal muscle mass (ASM)을 계산하였다.

악력 지표는 디지털 악력계(InGrip IB-HGS)를 이용하여 우측 및 좌측 손의 최대 악력을 각각 측정하였으며, 좌우 악력의 평균값을 기준으로 비대칭률(grip asymmetry rate)을 계산하였다. 비대칭률의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Grip Asymmetry rate (\%)} = \frac{|\text{우측악력} - \text{좌측악력}|}{|\text{우측악력} + \text{좌측악력}|/2} \times 100$$

3. 악력 불균형 정의

기존 연구들에서 제안된 기준에 따라^{2,3)}, 좌우 악력 간 비대칭률이 10% 이상일 경우를 ‘불균형군(unbalanced group)’, 10% 미만일 경우를 ‘균형군(balanced group)’으로 분류하였다. 그 결과, 전체 38명 중 22명이 불균형

군, 16명이 균형군에 해당하였다. 한편, 사지 근육량에 기반한 근육량 불균형 기준은 본 연구 대상에서는 유의한 기준선을 넘는 비대칭이 없어 악력 지표만을 중심으로 군 분류를 시행하였다.

4. 통계 분석

수집된 변수들은 다음과 같은 절차로 분석되었다. 먼저, 균형군과 불균형군 간의 인구통계학적 특성, 체성분 지표, 및 신체기능 지표의 차이를 확인하기 위해 독립표본 t-검정과 카이제곱 검정을 시행하였다. 이후, 연속형 변수 간의 상관관계를 시각화하기 위해 Pearson 상관계수를 산출하고 이를 기반으로 heatmap을 작성하여, 사지 근육량, 악력, 균형 및 이동 기능 간의 상관성을 분석하였다.

또한, 보행속도를 종속변수로 설정하여 다중 선형회귀 분석을 수행함으로써 각 예측 변수의 독립적 기여도를 평가하였다. 동일한 변수 집합을 대상으로 랜덤포레스트 회귀를 추가로 수행하여, 머신러닝 기반 모델의 변수 중요도와 설명력을 비교하였다. 이를 통해 악력 비대칭률이 보행 기능 저하를 설명하는 유의한 예측인자로 작용하는지를 정량적으로 검토하였다. 마지막으로, 각 회귀모델의 성능을 결정계수(R²), 수정 결정계수(adjusted R²), 변수 중요도 순위, 잔차 분포 등을 통해 평가하여 모델의 적합도와 설명력을 비교하였다. 모든 통계 분석은 R 통계 소프트웨어(R version 4.3.1)를 이용하여 수행하였으며, 유의수준은 p<0.05로 설정하였다.

결과»»»»

1. 인구학적 특성

본 연구에는 총 38명의 대상자가 포함되었으며, 평균 연령은 65.2±8.5세였다. 대상자의 인구통계학적 특성, 체성분 지표 및 신체기능 지표의 요약 통계는 Table I에 제시하였다. 대상자의 신체기능 수준은 다양하게 분포하였으며, 분석에는 성별 및 연령에 따른 영향을 고려하였다.

Table I. Comparison of Demographic and Clinical Characteristics by Sex

Variable	Male (mean±SD)	Female (mean±SD)	p-value
Age (years)	70.00±7.19	64.10±8.63	0.0875
Right arm skeletal muscle mass (kg)	3.15±0.43	1.88±0.39	0.0001
Left arm skeletal muscle mass (kg)	3.00±0.44	1.87±0.38	0.0002
Right leg skeletal muscle mass (kg)	8.08±1.07	5.74±1.00	0.0006
Left leg skeletal muscle mass (kg)	8.05±1.14	5.74±0.98	0.0011
ASM (kg)	22.29±2.88	15.23±2.68	0.0003
Height (m)	1.69±0.05	1.57±0.06	0.0002
RSMI (ASM/height ² , kg/m ²)	7.79±0.64	6.18±0.76	0.0002
BWT (kg)	75.27±10.48	59.15±9.42	0.0053
SMM (kg)	29.14±3.69	20.60±3.20	0.0004
FM (kg)	22.13±6.31	20.59±6.12	0.5727
BMI (kg/m ²)	26.30±2.50	24.13±3.57	0.0805
PBF (%)	29.01±5.12	41.37±37.09	0.0899
Right handgrip strength (kg)	31.93±6.85	25.20±19.58	0.1342
Left handgrip strength (kg)	29.52±15.85	20.03±5.99	0.1671
Grip asymmetry (%)	8.53±10.94	6.91±20.40	0.7732
SPPB total score	10.00±3.06	10.71±2.02	0.5755
Balance score	3.43±0.79	3.52±0.85	0.7991
Balance time (s)	27.90±3.99	28.05±3.38	0.9331
Gait score	3.14±1.46	3.74±0.63	0.3266
Gait speed (m/s)	0.85±0.41	1.06±0.26	0.2409
Chair stand score	3.43±1.13	3.48±0.93	0.9073
Chair stand time (s)	14.27±12.24	11.88±8.64	0.6382

SD: standard deviation, ASM: appendicular skeletal muscle mass, Height: standing height, RSMI: relative skeletal muscle index, BWT: body weight, SMM: total skeletal muscle mass, FM: fat mass, BMI: body mass index, PBF: percent body fat, Grip asymmetry: grip strength asymmetry rate (right-left/mean×100), SPPB total score: short physical performance battery total score (0~12), Balance score: static balance score (Andante Fit), Balance time: static balance time (sum across 3×10-s stages), Gait score: 4-m gait score (SPPB domain, 0~4), Gait speed: usual 4-m gait speed, Chair stand score: 5-times chair stand score (SPPB domain, 0~4), Chair stand time: 5-times chair stand time.

사지별 근육량과 ASM은 개인의 체격 및 체성분에 따라 차이를 보였으며, 체지방량, 체질량지수, 체지방률은 성별 간 유의한 차이가 없었다. 악력, 악력 비대칭률, SPPB 총점, 정적 균형, 보행, 의자 일어나기 등 기능 지표의 분포는 Table I에 제시하였다.

2. 변수 간 상관관계

Pearson 상관분석 결과(Fig. 1), 보행 속도는 여러 주요 기능 지표들과 유의한 양의 상관관계를 보였다. 특히, SPPB 총점($r=0.704$, $p<0.001$), 보행 점수($r=0.677$, $p<$

0.001) 그리고 정적 균형 유지 시간($r=0.441$, $p=0.007$)과 유의하게 양의 상관관계를 보였다. 보행 속도는 악력 비대칭 지표와 유의한 음의 상관관계($r=-0.470$, $p=0.0038$)를 보였으며, 좌측 및 우측 악력과는 각각 $r=0.319$ ($p=0.058$), $r=0.312$ ($p=0.064$)로 유의성 경계수준에서 양의 상관관계를 보였다. 체지방량은 보행 속도와 음의 상관관계($r=-0.369$, $p=0.027$)를 나타냈으며, 체지방률은 유의하지 않았다. 사지별 근육량은 서로 간에 높은 상관관계를 보였고(대부분 $r>0.9$), ASM, 총골격근량(SMM), 상대골격근지수(relative skeletal muscle index, RSMI) 간에도 강한 양의 상관관계가 확인되었다. ASM ($r=-0.102$,

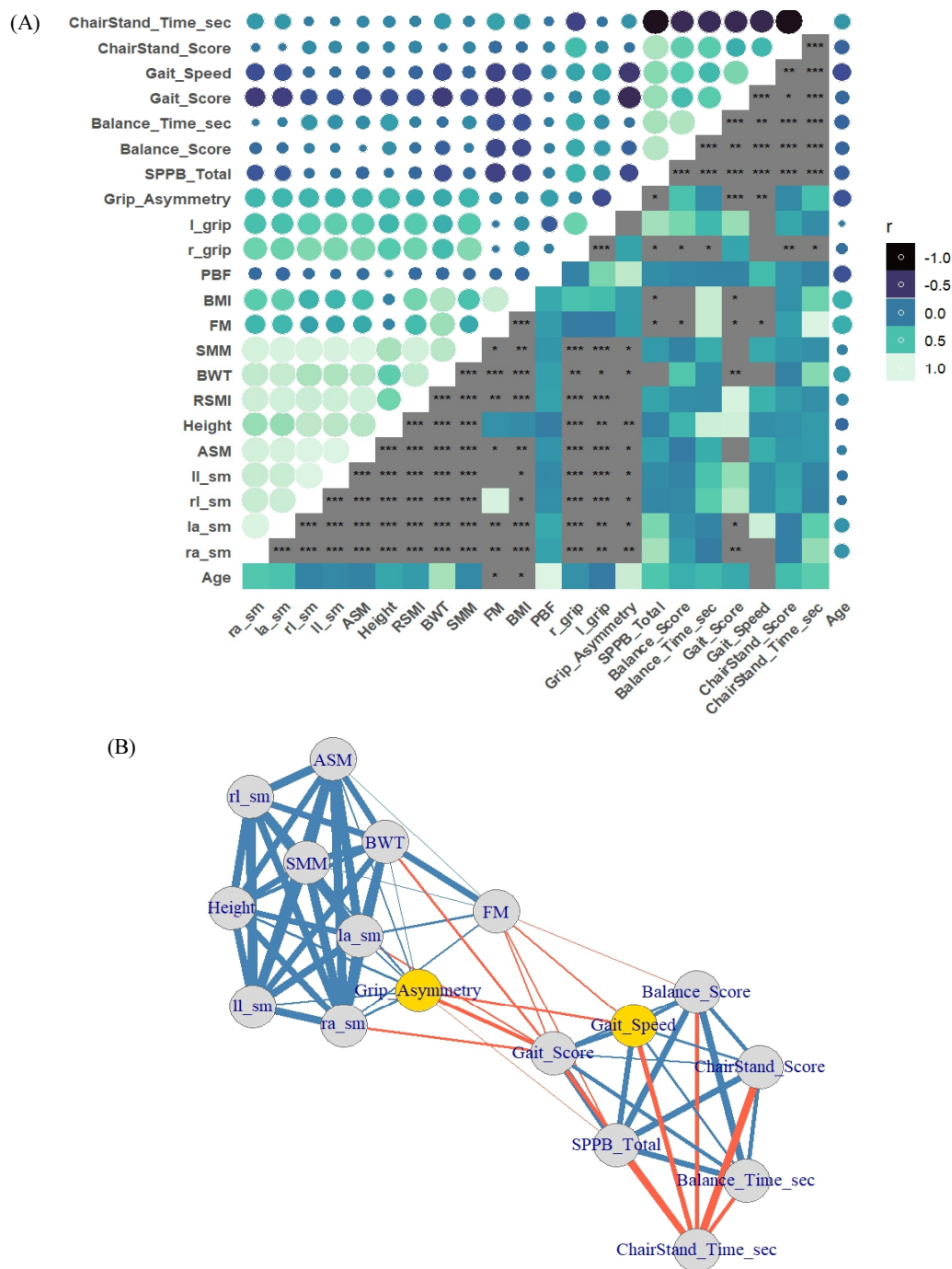


Fig. 1. Correlation matrix and network analysis of body composition, limb asymmetry, and physical performance variables. (A) Pearson correlation matrix among all variables. (B) Network representation of significant inter-variable correlations. ChairStand_Time_sec: 5-times chair stand time, ChairStand_Score: 5-times chair stand score (SPPB domain, 0~4), Gait_Speed: usual 4-m gait speed, Gait_Score: 4-m gait score (SPPB domain, 0~4), Balance_Time_sec: static balance time (sum across 3×10-s stages), Balance_Score: static balance score (Andante Fit), SPPB_Total: short physical performance battery total score (0~12), Grip_Asymmetry: grip strength asymmetry rate ($|\text{right-left}|/\text{mean} \times 100$), l_grip: left handgrip strength, r_grip: right handgrip strength, PBF: percent body fat, BMI: body mass index, FM: fat mass, SMM: total skeletal muscle mass, BWT: body weight, RSMI: relative skeletal muscle index, Height: standing height, ASM: appendicular skeletal muscle mass, ll_sm: left leg skeletal muscle mass, rl_sm: right leg skeletal muscle mass, la_sm: left arm skeletal muscle mass, ra_sm: right arm skeletal muscle mass.

SMM ($r=-0.137$), RSMI ($r=-0.176$)은 보행 속도와의 상관 관계에서 음의 방향성을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다. 연령(age)은 보행속도와 음의 상관($r=-0.310$, $p=0.066$)을 보였으며, 정적 균형 유지 시간과는 유의한 음의 상관($r=-0.419$, $p=0.010$)을 나타냈다.

3. 악력 불균형 여부에 따른 기능 차이

악력 비대칭률이 10% 이상인 불균형군($n=22$)은 남성 5명, 여성 17명으로 구성되었고, 균형군($n=16$)은 남성 2명, 여성 14명으로 구성되었다. 두 집단 간의 기능 지표를 비교한 결과(Table II), 보행속도는 균형군이 불균형군에 비해 유의하게 높았으며, 보행 점수 역시 균형군이 불균형군보다 유의하게 높았다(Fig. 2).

SPPB 총점, 정적 균형 점수 및 유지 시간, 의자 일어나기 점수 및 소요 시간에서는 두 군 간 유의한 차이가 없었다.

Table II Comparison of Functional Outcomes by Grip Strength Asymmetry

Variable	Balanced (mean±SD)	Unbalanced (mean±SD)	p-value
SPPB total score	11.06±1.34	10.23±2.65	0.2129
Balance score	3.56±0.73	3.45±0.91	0.6875
Balance time (s)	27.83±3.34	28.17±3.57	0.7733
Gait score	4.00±0.00	3.36±1.05	0.0097*
Gait speed (m/s)	1.18±0.23	0.92±0.30	0.0043*
Chair stand score	3.50±0.82	3.45±1.06	0.8820
Chair stand time (s)	10.15±3.97	13.89±11.56	0.1706

SPPB: short physical performance battery.

* $p<0.05$, statistically significant.

4. 선형 회귀 분석

보행 속도에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 다중 선형 회귀 분석을 수행하였다(Table III). 종속변수는 보행 속도로 설정하였으며, 주요 독립변수로는 악력 비대칭률, 체질량지수, 나이, 총골격근량, 정적 균형 유지 시간, 체지방률이 포함되었다. 해당 모델은 통계적으로 유의하였으며 $F(6, 29)=7.000$, $p=0.0001$, 결정계수(R^2)는 0.6184, 수정된 R^2 는 0.5230으로, 전체 보행속도 분산의 약 52.3%를 설명하는 것으로 나타났다. 그중에서도 악력 비대칭률과 나이는 보행 속도에 대해 통계적으로 유의한 음의 영향을 미치는 변수로 확인되었다(Fig. 3). 총골격근량, 체질량지수, 정적 균형 유지 시간, 체지방률

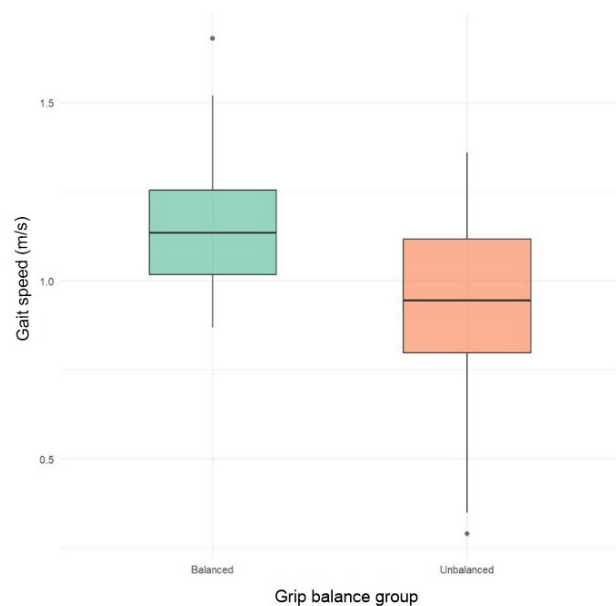


Fig. 2. Gait speed by grip strength asymmetry.

Table III Results of Linear Regression Analysis Predicting Gait Speed

Variable	Estimate (β)	Std. error	t value	p-value
Intercept	1.4263	0.4958	2.880	0.0075
Grip asymmetry rate	-0.0042	0.0009	-4.630	<0.001
BMI	-0.0097	0.0128	-0.760	0.4519
Age	-0.0120	0.0045	-2.680	0.0121
SMM	+0.0073	0.0093	0.790	0.4370
Balance time (s)	+0.0183	0.0111	1.650	0.1099
PBF	+0.0012	0.0010	1.210	0.2368

Std.: standard error, BMI: body mass index, SMM: skeletal muscle mass, PBF: percent body fat.

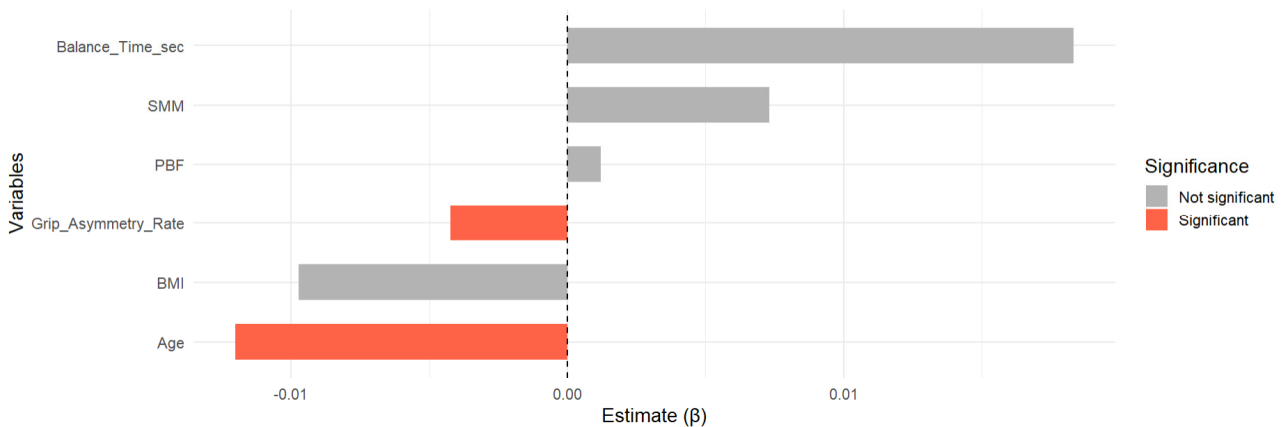


Fig. 3. Linear regression coefficients predicting gait speed.

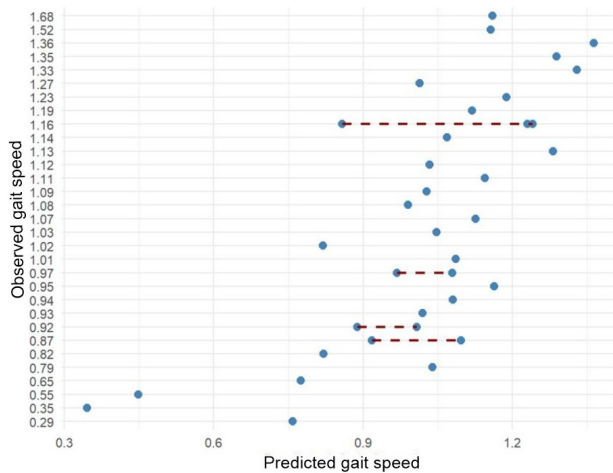


Fig. 4. Predicted vs. observed gait speed plot.

등의 변수는 유의수준에는 도달하지 않았으나, 모델의 설명력 향상에 기여하였다. 선형 회귀식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Gait speed} = & 1.4263 - 0.0042 \times \text{grip asymmetry rate} - 0.0097 \\ & \times \text{BMI} - 0.0120 \times \text{age} + 0.0073 \times \text{SMM} + 0.0183 \\ & \times \text{balance time} + 0.0012 \times \text{PBF} \end{aligned}$$

모델의 예측값과 실제 관측값 간 관계는 Fig. 4에, 잔차 분석 결과는 Fig. 5에 제시하였다.

분산팽창지수(variance inflation factor, VIF) 분석 결과, 모든 변수의 VIF 값은 2 미만으로 확인되었다(Grip asymmetry rate: 1.34, BMI: 1.84, age: 1.41, SMM: 1.73, balance time sec: 1.30, PBF: 1.11).

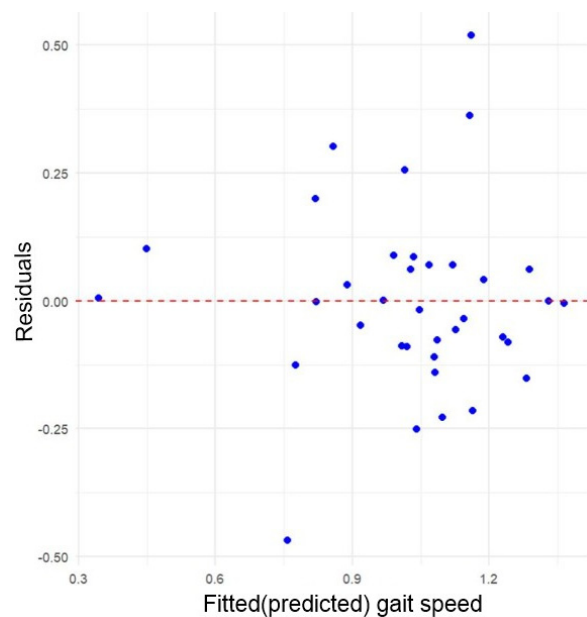


Fig. 5. Residuals vs. fitted values plot.

5. 랜덤 포레스트 회귀 분석

보행 속도의 예측 정확도를 보완하고 비선형적 변수 간 상호작용을 탐색하기 위해, 랜덤 포레스트 회귀 분석을 수행하였다. 독립변수로는 선형 회귀 분석과 동일하게 악력 비대칭률, 체질량지수, 나이, 골격근량, 정적 균형 유지시간, 체지방률을 포함하였다. 랜덤 포레스트 모델은 500개의 결정 트리를 기반으로 구축되었으며, 평균 제곱 오차(mean squared error, MSE)는 0.0515, 설명된 분산 비율(% variance explained)은 33.2%로 나타났

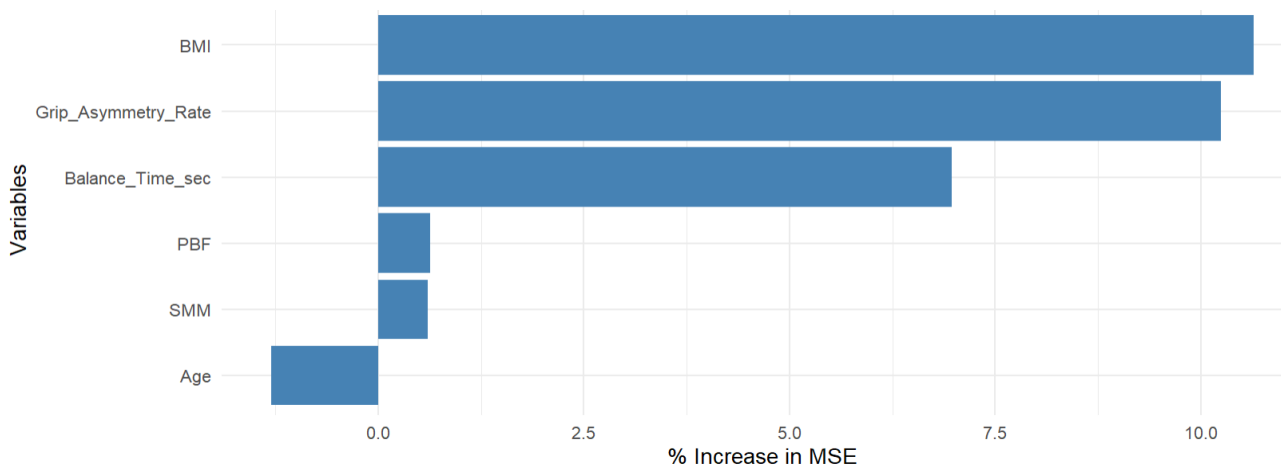


Fig. 6. Variable importance plot from random forest regression model predicting gait speed. BMI: body mass index, PBF: percent body fat, SMM: total skeletal muscle mass, MSE: mean squared error.

다. 변수 중요도 분석(Fig. 6)에 따르면, 체질량지수, 악력 비대칭률, 정적 균형 유지 시간이 보행 속도 예측에 가장 기여도가 높은 변수로 나타났다. 특히, 체질량지수와 악력 비대칭률은 평균제곱오차(MSE)를 각각 약 10% 이상 증가시키는 정도로, 모델의 예측 정확도에 중대한 영향을 미치는 변수로 평가되었다. 반면, 나이, 총골격근량, 체지방률 등은 상대적으로 낮은 중요도를 보였다.

고찰»»»»

본 연구는 50세 이상 외래 환자를 대상으로 사지 간 근력의 비대칭성이 보행 기능에 미치는 영향을 평가하고, 선형 회귀와 랜덤 포레스트 회귀 분석을 통해 예측력을 종합적으로 비교하였다. 악력 비대칭률은 노쇠 및 기능 저하의 조기 지표로 제시되어 왔으나, 국내 연구에서는 대부분 악력 절대값을 중심으로 분석하거나 우울 증상 등 다른 건강 지표와 연관성을 평가한 경우가 많고, 악력 비대칭률 자체를 이동 기능과 직접적으로 연관 지어 분석한 연구는 상대적으로 적다. 반면 국제 연구에서는 악력 비대칭이 frailty, 기능 저하, 사망률 증가와 관련된 중요한 지표임이 지속적으로 보고되고 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 악력의 양적 크기뿐 아니라 양측 기능의 균형(비대칭률)에 초점을 두어 이동 기능과의 연관성을 직접 평가하였다는 점에서 기존 연

구 대비 의의가 크다.

본 연구에서 악력 비대칭률이 10% 이상인 불균형군은 균형군에 비해 보행 속도와 보행 점수가 유의하게 낮았으며, Pearson 상관분석에서도 악력 비대칭률은 보행 속도와 음의 상관관계를 보였다. SPPB 총점, 보행 점수, 정적 균형 유지 시간도 보행 속도와 유의한 양의 상관을 보인 바, 보행 속도가 하위 기능 항목 전반과 밀접하게 연관된 기능 지표임을 시사한다. 반면 사지 근육량, ASM, SMM, RSMI 등 절대적 근육량 지표는 보행 속도와 유의한 관련성을 보이지 않았으며 대부분 음의 방향성을 나타냈다. 이러한 결과는 근육의 ‘양’보다는 기능적 균형, 협응력, 그리고 전신 근기능의 통합적 수행 능력이 이동 기능을 결정하는 중요한 요소임을 보여주며, 이는 McGrath 등²⁾, Wei 등³⁾이 보고한 악력 비대칭의 frailty 및 activities of daily living 저하 예측 능력과도 일치한다.

다중 선형 회귀 분석에서 악력 비대칭률과 연령은 보행 속도의 독립적 예측 인자로 확인되었고, 전체 모델은 약 절반 이상의 보행 속도 변이를 설명하였다. 랜덤 포레스트 분석에서도 악력 비대칭률은 주요 변수로 확인되었으며, 체질량지수 및 정적 균형 유지 시간과 함께 높은 변수 중요도를 보였다. 선형 회귀와 머신러닝 기반 분석 모두에서 악력 비대칭률의 중요성이 일관되게 확인된 점은, 절대 근육량 기반 지표로는 설명되지 않는 기능적 불균형 요소가 실제 보행 능력에 중요한 영향을 미친다는 점을 더욱 명확히 한다.

본 연구는 국내외에서 상대적으로 부족한 악력 비대칭률과 이동 기능 간의 직접적 연관성을 다각도로 분석했다는 점에서 독창적이다. 악력 비대칭률은 측정이 간단하고 장비 접근성이 높으며 외래에서 반복 측정이 가능하다는 장점이 있어, frailty 조기 선별, 낙상 위험군 파악, 보행 기능 저하 조기 감지 등 실제 임상에서 즉각적인 적용 가능성을 가진다. 또한 기능적 불균형을 표적으로 하는 맞춤형 운동 처방, 재활 프로그램, 균형·협응력 강화 치료 등 환자 중심의 중재 전략 개발에도 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구는 단일기관의 소규모 표본을 대상으로 한 후향적 연구로 일반화에 제한이 있으며, 악력 측정 시 시간대·피로도 등 외부요인의 영향을 충분히 통제하기 어려웠다는 점, 4 m 보행 측정이 실제 보행 능력의 모든 측면을 반영하지 못할 가능성 등이 한계로 남는다. 향후 연구에서는 보다 큰 규모의 다기관 표본을 기반으로 성별·연령·체성분 등의 교란 요인을 통제한 분석이 필요하다. 또한 악력 비대칭률, 균형 능력, 보행 속도 등 기능지표를 통합한 장기 예측 모델을 구축하여, 낙상 위험 또는 기능 저하의 실제 발생과의 연관성을 규명하는 전향적 연구가 이루어진다면 임상적 활용도는 더욱 높아질 것이다.

결론>>>>

본 연구는 50세 이상 외래 환자를 대상으로, 좌우 악력 비대칭률을 중심으로 보행 기능과의 연관성을 분석한 결과, 악력의 좌우 불균형이 보행속도 저하와 유의한 관련이 있음을 통계적 및 기계학습 모델 모두에서 확인하였다. 특히, 악력 비대칭률은 선형 회귀 분석에서 보행속도의 독립적인 음의 예측인자로 작용하였으며, 머신러닝 기반 랜덤 포레스트 회귀 분석에서도 높은 변수 중요도를 나타내었다. 이러한 결과는 단순한 근육량 중심의 기존 진단 방식에서 벗어나, 사지 간 기능적 불균형의 정량적 평가가 고령자의 이동성 및 낙상 위험 예측에 유의미한 정보를 제공할 수 있음을 시사한다.

특히, 비침습적이며 간단한 악력 측정을 활용하여 기능 저하를 조기에 선별할 수 있는 가능성을 제시한 점에서, 임상적 활용도와 예방적 개입의 실마리를 제공한다. 향후에는 더 큰 규모의 전향적 연구를 통해 성별, 연령, 질환 상태 등을 포함한 보다 정교한 예측 모델을 구축하고, 실제 악력 비대칭 개선을 위한 중재가 이동 기능 향상으로 이어지는지를 규명하는 연구가 필요하다.

References>>>>

1. Bohannon RW. Grip strength: an indispensable biomarker for older adults. *Clinical Interventions in Aging*. 2019;14:1681-91.
2. McGrath R, Vincent BM, Jurivich DA, Hackney KJ, Tomkinson GR, Dahl LJ, Clark BC. Handgrip strength asymmetry and weakness together are associated with functional disability in aging Americans. *The Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*. 2021;76(2):291-6.
3. Wei L, Wang B, Wang Y. Low handgrip strength with asymmetry is associated with elevated all-cause mortality risk in older Chinese adults with abdominal obesity. *PLoS One*. 2024;19(8):e0306982.
4. Mertz KH, Reitelseder S, Jensen M, Lindberg J, Hjulmand M, Schucany A, Binder Andersen S, Bechshoeft RL, Jakobsen MD, Bieler T, Beyer N, Lindberg Nielsen J, Aagaard P, Holm L. Influence of between-limb asymmetry in muscle mass, strength, and power on functional capacity in healthy older adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2019;29(12):1901-8.
5. Heap-Eldridge KL, Thompson BJ, Fisher C, Louder TJ, Carey J. A comprehensive examination of age-related lower limb muscle function asymmetries across a variety of muscle action types. *Geriatrics*. 2024;9(3):79.
6. Ferraris C, Amprimo G, Masi G, Vismara L, Cremascoli R, Sinagra S, Pettiti G, Mauro A, Priano L. Evaluation of arm swing features and asymmetry during gait in Parkinson's disease using the Azure Kinect sensor. *Sensors*. 2022;22(16):6282.
7. Hill A, Nantel J. The effects of arm swing amplitude and lower-limb asymmetry on gait stability. *PLoS One*. 2019;14(12):e0218644.