



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

의학박사 학위논문

스마트벨트 (WELT)를 이용하여
측정한 일상 보행 속도의 특성 및
일상 보행 속도와 근감소증과의 관계
- Association between Gait Speed Measured
Using a Wearable Device and Sarcopenia -

2022년 2월

서울대학교 대학원

의학과 내과학

강민구

스마트벨트 (WELT)를 이용하여
측정한 일상 보행 속도의 특성 및
일상 보행 속도와 근감소증과의 관계
- Association between Gait Speed Measured
Using a Wearable Device and Sarcopenia -
지도교수 김 광 일

이 논문을 의학박사 학위논문으로 제출함
2021년 10월

서울대학교 대학원
의학과 내과학
강 민 구

강민구의 박사 학위논문을 인준함
2022년 1월

위 원 장 장 학 철 (인)

부위원장 김 광 일 (인)

위 원 진 호 준 (인)

위 원 임 재 영 (인)

위 원 김 창 오 (인)

국문초록

스마트벨트 (WELT)를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 특성 및 일상 보행 속도와 근감소증과의 관계

서울대학교 대학원

의학과 내과학

강민구

느린 보행 속도는 노쇠를 반영하는 주요한 지표이며 근감소증의 진단 기준이기 때문에 보행 속도 측정은 임상에서 폭넓게 활용되고 있다. 임상에서는 검사실에서 한 시점에 측정되는 ‘usual gait speed’가 흔히 사용되고 있는데, 지속적인 측정이 어렵고 검사 시점의 검사 대상자의 컨디션 및 의지가 결과에 영향을 미칠 가능성이 크다는 단점을 가지고 있다. 최근 웨어러블 디바이스들은 대단히 빠른 속도로 발달하고 있으며, 다양한 웨어러블 센서를 통해 여러 생체 신호 및 신체 기능을 측정하는 것이 가능해지고 있다. 특히 단순히 웨어러블 디바이스를 착용하는 것만으로 일상생활 속에서 보행 속도를 측정하는 것이 가능해졌다. 본 연구는 벨트 형태의 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 다양한 특성을 확인하고 일상 보행 속도와 근감소증과의 관련성을 분석하는 것을 목적으로 시행하였다. 연구는 대학 병원 외래에 내원하는 50세 이상의 지역 사회 거주 남성을 대상으로 진행하였다. 연구에 참여하는 사

람들은 벨트 형태의 웨어러블 디바이스를 일상생활에서 4주간의 기간 동안 착용하도록 하였고, 연구기간 동안 최소한 10일 이상 벨트를 착용한 사람들로부터 보행 속도 데이터를 획득하였다. 4주 이후에는 연구 참가자들이 병원에 내원하도록 하여 질병 과거력 및 사회력에 대한 설문 조사를 시행하고, 'usual gait speed' 측정, 악력 측정, 그리고 dual-energy X-ray absorptiometry를 이용한 골격근량 측정을 시행하였다. 연구 참가자 106명으로부터 217,578회의 보행 속도를 측정하였고 측정된 평균 보행 속도는 1.23 ± 0.26 m/s 였다. 연구 참가자들의 평균 연령은 71.1 ± 7.6 세였고, 1일 평균 보행 시간은 88.0 ± 40.2 분이였다. 일상 보행 속도는 일중 시간과 주중 요일에 따라 차이가 있었는데 오전 5시에서 7시 사이의 보행 속도가 유의하게 빨랐으며, 주말에 비하여 주중 보행 속도가 빨랐다. 주중에는 주말보다 보행 시간 또한 유의하게 길었다. 나이가 많을수록 일상 보행 속도가 유의하게 느렸으며, 직장에 재직 중인 참가자가 퇴직한 참가자에 비하여 일상 보행 속도가 빨랐다. 일상 보행 속도는 'usual gait speed'와 관련성이 낮았지만, 평균 일상 보행 속도는 'usual gait speed'와 유의한 양의 상관관계를 보였다. (Pearson $r=0.504$; $P<0.001$). 연구 참가자들 중 근감소증을 가진 참가자는 13명 (12.3%) 이었고, 근감소증 참가자의 평균 일상 보행 속도는 1.12 ± 0.11 m/s로 근감소증이 없는 참가자들의 평균 일상 보행 속도인 1.23 ± 0.08 m/s보다 유의하게 느렸다. 근감소증 참가자는 일상 보행 속도의 분포상 2개의 피크를 보인다는 점에서 근감소증이 없는 참가자와 차이를 보였다. 근감소증이 있는 참가자도 오전 5시에서 7시 사이의 일상 보행 속도가 유의하게 빨랐으나, 주중과 주말의 일상 보행 속도에는 차이가 없었다. 근감소증 참가자는 1일 보행 시간이 정상 참가자에 비하여 유의하게 짧았다. 일상 보행 속도와 관련된 요인들을 분석해 보았을 때 상관 분석에서 나

이, 신장, 중복 이환 지수, 악력, 사지 골격근량 및 하지 골격근량이 일상 보행 속도와 유의한 상관관계가 확인되었고, 추가적으로 선형 회귀 분석을 통하여 나이와 하지 골격근량이 일상 보행 속도에 유의하게 관련된 요인임을 확인하였다. 우리는 웨어러블 디바이스를 이용하여 일정 기간 동안 일상 보행 속도를 측정함으로써 검사실에서 1회 측정하는 것보다 보행 속도에 대한 보다 다양한 정보를 확인할 수 있었다. 일상 보행 속도는 연속적으로 측정할 수 있기 때문에 ‘usual gait speed’의 단점을 보완할 수 있다. 근감소증이 있는 사람은 일상 보행 속도가 느릴 뿐 아니라 일상 보행 속도의 분포도 근감소증이 없는 사람과 차이가 있으며, 일상 보행 속도는 나이 이외에 하지 골격근량과 유의하게 연관되어 있다. 보행 속도는 신체수행 기능(physical performance)을 반영하는 대표적인 지표이기 때문에 노인들은 실생활에서 자신의 보행 속도를 확인하면서 신체수행 기능(physical performance) 감소 여부를 알아낼 수 있을 것이다.

주요어 : 보행 속도, 근감소증, 골격근량, 웨어러블 디바이스

학 번 : 2018-32712

목 차

초록.....	i
목차	iv
표 목차	vi
그림 목차	vii
약어 목록	ix
제 1장 서론	1
제 2장 연구 설계	6
2.1. 연구 대상	6
2.2. 연구 방법	7
2.3. 통계 분석	10
제 3장 결과	11
3.1. 연구 참가자의 특성	11
3.2. 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 특성	13
3.3. 일상 보행 속도와 ‘usual gait speed’의 관련성 분석 ...	24
3.4. 근감소증 유무에 따른 연구 참가자의 보행 관련 특성 비교	31
3.5. 일상 보행 속도와 근감소증과의 관련성 분석	38
제 4 장 고찰	46
4.1. 주요 내용	46

4.2. 연구의 장점과 한계점	50
제 5 장 결론	52
참고 문헌	53
영문 초록	60
감사문	64

표 목 차

[표 1] 일상 보행 속도의 대푯값과 ‘usual gait speed’와의 상관 분석	29
[표 2] 근감소증 유무에 따른 연구 참가자의 특성 비교	33
[표 3] 평균 일상 보행 속도와의 상관 분석	41
[표 4] 선형 회귀 분석 (종속 변수: 평균 일상 보행 속도)	43
.....	

그림 목 차

[그림 1] 연구 참가자들의 연구 흐름도	12
[그림 2] 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 분포	15
[그림 3] 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 특성	16
[그림 4] 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 주중·주말 1일 보행 시간 비교	18
[그림 5] 연령대별 일상 보행 속도 비교	19
[그림 6] 연령대별 일상 보행 속도의 분포	20
[그림 7] 직업 유무에 따른 일상 보행 속도 비교	22
[그림 8] ‘Usual gait speed’에 대한 일상 보행 속도의 백분위수 분포	26
[그림 9] 일상 보행 속도와 ‘usual gait speed’에 대한 산점도	27
[그림 10] ‘Usual gait speed’에 따른 일상 보행 속도의 변동성	30
[그림 11] 근감소증 유무에 따른 일상 보행 속도 분포	35

[그림 12] 근감소증 있는 참가자의 일상 보행 속도의 특성	36
[그림 13] 근감소증 유무에 따른 1일 보행 시간 비교	37
[그림 14] 평균 일상 보행 속도와 근감소증 관련 요인의 산점도	40
[그림 15] 연령대 및 하지 골격근량에 따른 일상 보행 속도 비교	45

약어 목록

DXA	dual-energy X-ray absorptiometry
SD	standard deviation
BMI	body mass index
VIF	variance inflation factor

제 1 장 서론

전 세계적으로 인구 고령화가 일어나고 있으나 특히 한국 인구는 늘어난 기대 수명 [1] 과 낮은 출산율로 인하여 인구 고령화가 빠르게 이루어지고 있다. 우리나라는 2000년에 65세 이상 노인 인구가 총인구에서 차지하는 비율이 7% 이상인 고령화 사회로 들어섰고, 2017년에 그 비율이 14% 이상인 고령 사회로 진입하였으며, 700만 명 이상이 노인 인구이다. 머지않아 인구의 20% 이상이 65세 이상인 초고령사회가 도래할 것으로 보인다.

인구의 고령화는 필연적으로 사회·경제적 부담, 특히 의료비의 빠른 증가를 초래하고 있다. 2017년 건강보험 기준 전체 의료비 69조 3천억 원 중 65세 이상 고령자의 의료비가 27조 6천억 원으로 전체의 40%를 차지하였고, 고령자 1인당 진료비도 빠르게 증가하고 있다. 전체 노인 중 독거 노인의 비율 또한 증가하는 추세로 이에 따른 돌봄 비용이 증가하는 등 보건 의료 및 사회·경제 등 다양한 측면에서 그 부담이 매우 증가하는 실정이다. 고령화를 피할 수 없는 상황에서 건강한 노화를 위한 체계적인 노력은 노인 개인의 삶의 질뿐만 아니라 사회·경제적 측면에서도 매우 중요한 과제이다.

노인의 전반적인 건강 상태를 평가하는 데에는 노쇠 정도를 평가하는 것이 대단히 중요하다. 노쇠는 노화와는 다른 개념으로 신체 여러 기관의 생리학적 기능과 예비력의 감소로 인하여 스트레스에 더욱 취약한 상태를 의미하며 생물학적 나이[2], 현재의 의학적 상태, 질병 이환과 밀접하게 연관되어 있다. 노쇠한 노인 인구는 급성 질환이나 만성 질환의 급성 악화에 취약하여 발병 시 사망하거나 일상 기능의 소실이 발생할 가능성이 크며 그 결과로 요양 시설로 입소하는 비율도 높다. 그러나 시설 입소는 와상 상태의 조장을 통해 급격한 기능 저하를 일으키는 경우가 많으며, 결과적으로 매우 부정적인 예후를 보이는 경우가 많기 때문에 노

쇠한 노인은 장수하기 어렵다.[3] 노인들은 같은 나이라 하더라도 그 건강 상태가 매우 다양하기 때문에 노인 환자를 진료할 때에는 기능 저하 상태인지 아닌지를 감별하고 기능 저하를 초래할 수 있는 다양한 위험 인자를 찾아내어 이를 교정해 주며 의료지지 체계를 형성함으로써 독립적인 기능을 최대한 장기간 유지하게 하는 것이 향후 예후 및 삶의 질에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서 노쇠 평가는 노인들의 실제 건강 상태를 확인하는 데에 임상적으로 매우 유용하다. [4]

근감소증은 근육량 감소 및 근력 저하로 정의할 수 있는데 근육의 주요한 기능인 운동 또는 보행을 저해하여 독립적인 일상생활에 장애를 초래하고, 낙상 빈도를 높이는 등 노쇠의 중요한 원인이며, 노쇠의 발병 기전 중 핵심적인 요인으로 지목받고 있다. [5-7]. 근감소증은 최근 ICD-10CM에 등재되었고, 그 치료는 노쇠를 예방하거나 극복할 수 있는 핵심적인 전략으로 많은 관심을 불러일으키며 다양한 임상연구들이 이루어지고 있다. [8] 미국에서 조사한 바에 따르면 근감소증으로 인한 사회적 비용은 2000년도 기준으로 185억 달러에 이르는 것으로 보고되었는데, 이는 미국의 총 의료 관리 비용의 1.5%에 해당하는 금액으로, 근감소증의 10%가 감소하면 매년 110억 달러의 직간접적 비용을 절감할 수 있을 것으로 추정한 바 있다. 따라서 보건 의료적 측면 이외에 사회·경제적인 측면을 고려하였을 때에도 근감소증에 대한 사회적 이해와 대책이 매우 필요한 상황이다. [9, 10]

근감소증의 진단에 대해서 2010년 European Working Group에서 근육량 감소와 함께 근력 저하 또는 신체수행 기능(physical performance) 감소가 있는 경우를 진단 기준으로 제시했으며, 2018년에는 근력 저하와 근육량 감소가 있을 때 진단하고 신체수행 기능(physical performance) 저하가 같이 있을 때 심한 근감소증으로 진단하는 기준을 제시한 바 있다. Asian Working Group에서는 2014년 근력 저하 또는 신체수행 기능(physical performance) 저하가 있는 경우 근육량을 측정하여 근육량 감

소가 있는 경우 근감소증으로 진단하는 기준을 제시하였고, 2019년 그 기준을 수정하였으나 큰 골격은 유지하였으며 근육량 감소, 근력 저하, 그리고 신체수행 기능(physical performance) 감소가 같이 있는 경우를 심한 근감소증으로 진단하도록 하였다.

근감소증의 주요한 진단 기준으로 신체수행 기능(physical performance) 저하가 있는데 이를 평가하는 방법으로 European Working Group이나 Asian Working Group 모두 보행 속도 측정을 첫 번째로 제시하고 있다. [6, 7] 그 이유는 여러 선행 연구에서 보행 속도가 전반적인 기능 상태를 평가하는 데에 타당하고 믿을 만한 도구이며 기능 의존이나 노쇠, 인지 저하, 낙상, 시력 감소 및 사망의 결과를 예측하는 데에 유효함을 밝혔기 때문이다. [11] 기능적 의존성에 대한 근감소증의 부정적인 영향은 보행 속도에 의해 매개된다는 논문도 있는 만큼 [12] 보행 속도는 기능의 ‘vital sign’이라 할 수 있다. [13] 보행 속도 측정은 널리 사용되고 있으나 그 측정 방법이 매우 다양하고 완전히 표준화되어 있지는 않다. 일반적으로 사용되는 것은 ‘usual gait speed’인데 검사실에서 검사를 받는 사람에게 정해진 거리를 그들의 평소 걸음걸이로 걷도록 지시하고, 걸리는 시간을 측정하여 보행 속도를 계산하는 방법이다. [14] 이는 여러 가지 요인에 따라 그 측정 결과에 차이가 있을 수 있다. 보행 거리를 몇 미터로 할 것인지, 가속 및 감속 구간을 둘 것인지, 측정 방법은 어떻게 할 것인지, 보행 지시를 어떻게 할 것인지 등을 결정해야 한다.

‘Usual gait speed’에 대해서는 많은 선행 연구가 있었고, 이를 활용한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 이러한 연구들을 근거로 보행 속도 측정은 기능평가에서 필수적인 요소가 되고 있으며 측정 방법에 대해서도 다양한 방법들이 고려되고 있다. [15] ‘Usual gait speed’가 널리 활용되는 이유는 검사 시간이 짧고 안전하며 비용이 적게 들면서 비교적 신체 기능을 잘 반영하기 때문이다. [16, 17] 그러나 개인의 보행 속도는 일정하지 않다. 상황에 따라 빠르게 걸을 때도 있고, 천천히 걸기도 한

다. 검사실에서 평소 걸음걸이로 걷도록 지시하여도 지시에 정확히 따르지 못하는 경우가 있다. 그리고, 보행 거리가 4 m인 경우와 6 m인 경우, 혹은 그 이상일 때 정확도에 차이가 있으며 일정 거리 이상은 검사실에서 확보하기 어려운 문제가 있다. 가속 구간을 두지 않고 정적인 상태에서 측정을 시작하는 경우와 가속 구간을 두고 동적인 상태에서 측정하는 경우에는 보행 속도에 차이가 있으며, 가속 구간 및 감속 구간을 고려한다면 실제 임상에서 검사 거리 확보는 더욱 쉽지 않은 문제가 될 수 있다. 정밀하게는 측정 방법으로 스톱워치를 사용할 것인지, 대상자가 일정 지점에 도달하면 자동으로 측정이 시작되고 끝나는 설비가 이루어진 보행로를 걷게 할 것인지에 따라서도 측정된 보행 속도에 차이가 날 수 있다. 그리고 한 시점에서의 측정이기 때문에 검사를 받는 사람의 검사 당시의 컨디션 및 의지에 의하여 결과가 영향을 받을 수 있고, 현실적으로 지속적인 측정이 어려운 단점이 있다.

위와 같은 이유로 대상의 보행 속도를 정확하게 알아내는 방법으로 실제 세계에서 의 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 측정하는 방법을 고려할 수 있다. 과거에는 현실적으로 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 반복하여 측정하는 것이 가능하지 않은 방법이었다. 그러나 최근 웨어러블 디바이스 분야는 대단히 빠른 속도로 발달하고 있으며, 다양한 웨어러블 센서를 통해 여러 생체 신호 및 신체 기능을 측정하는 것이 가능해지고 있다. 특히 웨어러블 디바이스를 통하여 우리는 다양한 신체 활동을 연속적으로 측정하는 것도 가능하다. [15, 18] 웨어러블 디바이스를 활용하면 단순히 기기를 착용하는 것만으로 별다른 추가적인 노력 없이 실제 세계에서 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 측정할 수 있다. [19, 20] 개발되어 있는 가속도 센서를 활용한 웨어러블 디바이스들은 실제 보행을 video 판독과 같은 방법으로 측정한 것과 걸음 수 일치율이 매우 높으며, 보행을 판별하는 민감도와 양성 예측도도 90%를 상회할 만큼 높다는 것이 알려져 있다.[21] 검사실에서 측정된 ‘usual gait speed’가 개개인의 실제 세계에서 의 일상 보행 속도(daily

life gait speed)를 대표할 수 있는지 의문이 있으며, 4 m 보행 검사에 측정된 보행 속도가 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 관련성이 낮다는 기존 연구 결과가 있었다. [22]

웨어러블 디바이스를 이용하여 측정된 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 특성을 알아보고, 일반적으로 진단기준 및 예후 예측에 널리 활용되고 있는 ‘usual gait speed’와 관련성 및 차이점을 확인함으로써 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 의의를 평가하는 것은 의미가 있다. 다음으로 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 근감소증과 어떠한 관련성이 있는지, 근감소증 진단 기준인 근력이나 골격근량과는 어떠한 관련성을 보이는지 등을 알아보는 것은 흥미로운 주제가 될 수 있다. 그러나 실제 세계에서 고령층의 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 측정하여 동일한 사람의 ‘usual gait speed’와 비교하는 연구는 많지 않은 실정이다.[23] 다양한 웨어러블 디바이스들이 개발되어 많은 데이터를 생산한다고 하여도 이를 실제 임상에 활용할 수 있도록 뒷받침하는 연구들이 이루어지지 못한다면 결국 관련된 기기들이 발달하는 것도 한계에 직면할 것이다.

본 연구의 목적은 첫째, 지역 사회에 거주하는 고령의 남성들로부터 측정된 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 특성을 확인하고, 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 검사실에서 측정된 ‘usual gait speed’를 비교해 보는 것이다. 둘째, 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 근감소증과의 관련성을 분석하는 것이다. 근감소증 유무에 따른 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 차이를 확인하고, 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 골격근량 및 근력과의 관련성을 분석해 보고자 한다.¹⁾

1) 이 학위 논문은 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

제2장 연구 설계

2.1. 연구 대상

이 연구는 지역 사회에 거주하는 50세 이상의 남성 중 독립적인 보행이 가능한 사람을 대상으로 하였다. 성별을 남성으로 제한한 것은 남성들은 평소 일상생활에서 자연스럽게 벨트를 착용하는 경우가 많으므로 연구 참가자에 다른 부담을 주지 않고 최대한 자연스럽게 많은 일상생활 보행 데이터를 얻기 위해서였다. 여성은 특히 고령의 경우에 벨트를 일상적으로 착용하지 않는 경우가 많으므로 연구 대상으로 포함할 때 특정 상황의 보행 속도만을 반영하거나 충분한 횟수의 보행 속도 데이터를 얻지 못할 가능성이 크다고 보았다. 근육량은 좌식 생활 습관 등과 관련되어 있으나 일반적으로 50세 이후에 매년 대략 1~2 % 정도 감소한다고 알려져 있으므로 50세 이상으로 연구 참가자의 연령을 제한하였다. 연구 참가자는 2018년 11월 16일부터 2019년 4월 12일까지 연속적으로 모집하였다.

연구 참가자의 수는 기본적으로 다음의 가설을 검증하기 위한 목적으로 산출하였다.

귀무가설: 웨어러블 디바이스인 ‘WELT’를 통하여 얻은 정상인의 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed) 값은 근감소증 환자군의 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed) 값과 같다.

대립가설: 웨어러블 디바이스인 ‘WELT’를 통하여 얻은 정상인의 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed) 값은 근감소증 환자군의 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed) 값과 다르다.

선행연구에서 60세 이상의 남성에서 근감소증의 유병률은 10 % 정도로 확인된 바 있어[24] 연구에 동의한 남성들을 구분 없이 참여시켰을 때 근감소증이 없는 군과 근감소증이 있는 군의 N수 배정 비율은 유병률을 참고하여 9:1 정도로 생각되었다. 또한 근감소증 환자의 보행 속도에 관

한 선행 연구[25] 및 동일인에 대하여 검사실에서 측정된 보행 속도와 웨어러블 디바이스를 통하여 측정된 보행 속도 사이의 차이에 관한 선행 연구 결과를 참조하여[23] 각각의 보행 속도 사이에 20 % 정도 차이가 발생할 수 있다는 점을 고려하였다. 유의수준(level of significance) 5 %의 양측 검정을 시행하고, 제2종 오류(beta)는 0.2로 하여 검정력(power of test)을 80 %로 PASS 15 프로그램에서 'Tests for Two Means'로 계산한 연구 대상자 수는 총 90명이다. 20 % 정도의 중도 탈락이 있다고 가정하면 가설 검정을 위해 등록해야 하는 적정 연구 대상자 수는 총 113명으로, 113명의 연구 참가자 모집을 계획하였다.

2.2. 연구 방법

이 연구는 분당 서울대학교병원에서 수행된 관찰 연구이다. 연구 참가자들은 4주 동안 일상생활을 하는 동안에 WELT (WELT Corp, Ltd)를 착용하도록 하였고, 이를 통하여 연구기간 동안 그들의 일상 보행 속도(daily life gait speed) 데이터를 획득하였다. 연구 기간은 충분한 보행 속도 데이터를 안정적으로 확보하고자 4주로 정하였고, 벨트를 1회 충전하여 연속적으로 착용할 수 있는 기간도 고려하였다. 4주 이후에는 연구 참가자들에게 질병 과거력 및 흡연과 같은 건강 관련 행위에 대한 질문을 포함한 설문 조사를 시행하였다. 이후 검사실에서는 신장, 체중 등 신체 계측 및 'usual gait speed'와 악력을 측정하였다. 그리고 dual-energy X-ray absorptiometry (DXA)를 시행하여 연구 참가자의 골격근량을 측정하였다.

이 연구는 일상 보행 속도(daily life gait speed) 측정을 위하여 WELT라는 벨트 형태의 웨어러블 디바이스를 사용하였다. 웨어러블 디바이스가 일상적으로 자연스럽게 착용할 수 있는 형태가 아니라면 일정 기간 지속해서 착용하도록 하는 데 한계가 있으며, 그 결과 충분한 보행 속도 데이터를 얻지 못할 가능성이 크다. 스마트 벨트는 남성들이 일상생활에

서 대부분의 시간 동안 벨트를 착용한다는 점을 고려할 때 현실 세계에서 보행 속도를 연속적으로 측정할 수 있는 적합한 기기 형태라고 판단된다. WELT 디바이스는 삼축 가속도계를 이용하여 보행 중 착용자의 보행 속도를 연속적으로 측정할 수 있다. 보행은 stance phase와 swing phase로 구성되는데, stance phase는 heel-strike부터 toe-off까지이며, 한쪽 발의 heel-strike부터 반대쪽 발의 heel-strike까지가 한 스텝이 된다.[26] 디바이스는 스텝간 시간 간격 및 보폭을 이용하여 보행 속도를 측정하는 방법을 이용하는데, 기기는 특정 알고리즘을 이용하여 피크를 찾아내고 분석하여 스텝을 확인한다. 스텝으로 판명된 2개의 연속적인 피크가 발생하면 두 피크 사이의 스텝 시간 간격이 0.1초 단위로 측정된다. 보폭을 추정하는 방법은 다양한데 WELT는 성별에 따른 상수와 신장을 이용하는 방법을 사용하고 있다. [27, 28] 이를 통하여 스텝간 시간 간격에 따라 변화하는 보행 속도를 연속적으로 측정하는 것이 가능하며 기기는 20 스텝 이상이 연속될 때의 보행 속도만을 기록하여 측정의 안정성을 높이고 일회성의 이상 값이 기록되는 것을 줄였다.

‘Usual gait speed’ 는 거리는 미터 단위, 시간은 초 단위를 이용하여 측정하여 계산하였다. 검사실 바닥에 표시된 곳을 걷도록 하고, 검사실 벽에 부착된 자동화된 laser-gated chronometer를 이용하여 시간을 측정함으로써 보행 속도를 산출했다. [29] 검사실 보행 구간은 4.5 m의 시간 측정 구간과 각각 1 m의 가속 및 감속 구간으로 이루어져 있어 측정의 정확도를 높였다. Laser-gated chronometer는 각각의 연구 참가자들이 시간 측정 구간에 들어올 때와 나갈 때 자동적으로 시작되고 멈출 수 있도록 설정되어 스톱워치 사용에 의한 오차를 줄이도록 하였다. 연구 참가자들에게는 그들의 평소 걸음걸이대로 걷도록 지시하고 보행 속도 측정을 진행하였다.

악력은 여러 가이드라인에서 검증된 도구로 소개된 Jamar Plus digital hand dynamometer (Patterson Medical) 라는 악력계를 이용하여 측정하

였다. 연구 참가자들에게는 의자에 앉아서 그들의 어깨를 내전하고 중립 위치로 회전시키도록 하였으며, 팔꿈치는 90도로 굽히고 전완부와 손목은 중립 위치에 두는 자세를 취하도록 하였다. 주로 사용하는 손의 악력을 총 3회 연속적으로 측정하였으며, 측정과 측정 사이에는 잠시 휴식을 취할 수 있도록 하였다. 3회 측정값의 평균을 구하였고 이를 킬로그램 단위로 기록하였다.

연구 참가자들의 상지 및 하지의 골격근량을 측정하기 위하여 DXA를 사용하였다. 골격근량 측정 방법은 MRI, CT 등의 방법도 있으나 여러 가이드라인에서 근육량 감소의 cut-off 수치를 제시하고 있는 표준 방법인 DXA를 이용하여 근감소증 진단의 정확도를 높이고자 하였다. DXA는 체성분 분석에 매우 유용한데 그 이유는 DXA 결과를 이용하여 지방량과 근육량, 그리고 뼈무기질량을 부위별 및 전신 수준에서 각각 구할 수 있기 때문이다. [30] Horizon W machine (Hologic Inc)이 사지의 골격근량을 측정하기 위하여 사용되었다. [31] DXA 검사를 정확하게 시행하기 위해 검사 전에 연구 참가자들에게 모든 금속 물질을 제거하고 병원 가운데로 갈아입도록 하였으며, 검사는 검사실에서 영상 기사에 의하여 수행되었다. 검사 시간은 약 10분 정도가 소요되었다. 사지 골격근량은 양 팔과 다리의 골격근량을 합산하여 계산하였다.

근감소증 진단은 Asian Working Group for Sarcopenia [6] 진단 기준에 의하였다. 악력이 28 kg 미만일 경우 근력 저하로 보았고, 'usual gait speed' 가 1.0 m/s 미만인 경우 신체수행 기능(physical performance) 저하로 판단하였다. 근육량을 판단하는 기준은 신장으로 보정한 골격근량을 이용하였고 7.0 kg/m² 미만일 경우 근육량이 감소된 것으로 보았다. 연구 참가자가 골격근량이 감소되고 근력이 저하된 경우 또는 골격근량이 감소되고 신체수행 기능(physical performance)이 저하된 경우에 근감소증으로 진단하였다.

이 연구는 분당서울대학교병원 임상연구윤리센터의 승인 (IRB No. B-1808/486-002)을 받았다. 모든 연구 참가자들은 연구에 참여하기 전에 서면 동의를 하였으며 연구는 헬싱키 선언의 원칙에 맞게 진행되었다.

2.3. 통계 분석

일상 보행 속도(daily life gait speed) 분석은 4주간의 연구기간 동안 최소한 10일 이상 웨어러블 디바이스를 착용한 연구 참가자의 데이터만을 수집하여 분석에 활용함으로써 측정 횟수가 너무 적어서 발생할 수 있는 데이터의 이상치를 줄일 수 있도록 하였다. 실제 세계에서의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 특성을 확인하였고, 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 ‘usual gait speed’의 관련성을 분석하였다. 근감소증 유무에 따른 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 차이를 확인하고, 근육량 및 근력과 일상 보행 속도(daily life gait speed)와의 관련성을 분석하였다.

모든 통계 분석은 SPSS version 21.0 (IBM corporation)을 이용하여 수행하였다. 연속 변수는 평균값 (mean±SD) 으로 표기하였고 t 검정이나 one-way analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 비교하였다. 비연속 변수의 경우에는 수치와 퍼센트 (%)를 이용하여 표기하였고 chi-square test나 Fisher exact test를 이용하여 비교하였다. 또한 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 관련된 요인들을 확인하기 위하여 상관 분석과 선형 회귀 분석을 이용하였다. 이 연구에서 모든 통계 분석은 양측 검정으로 P값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

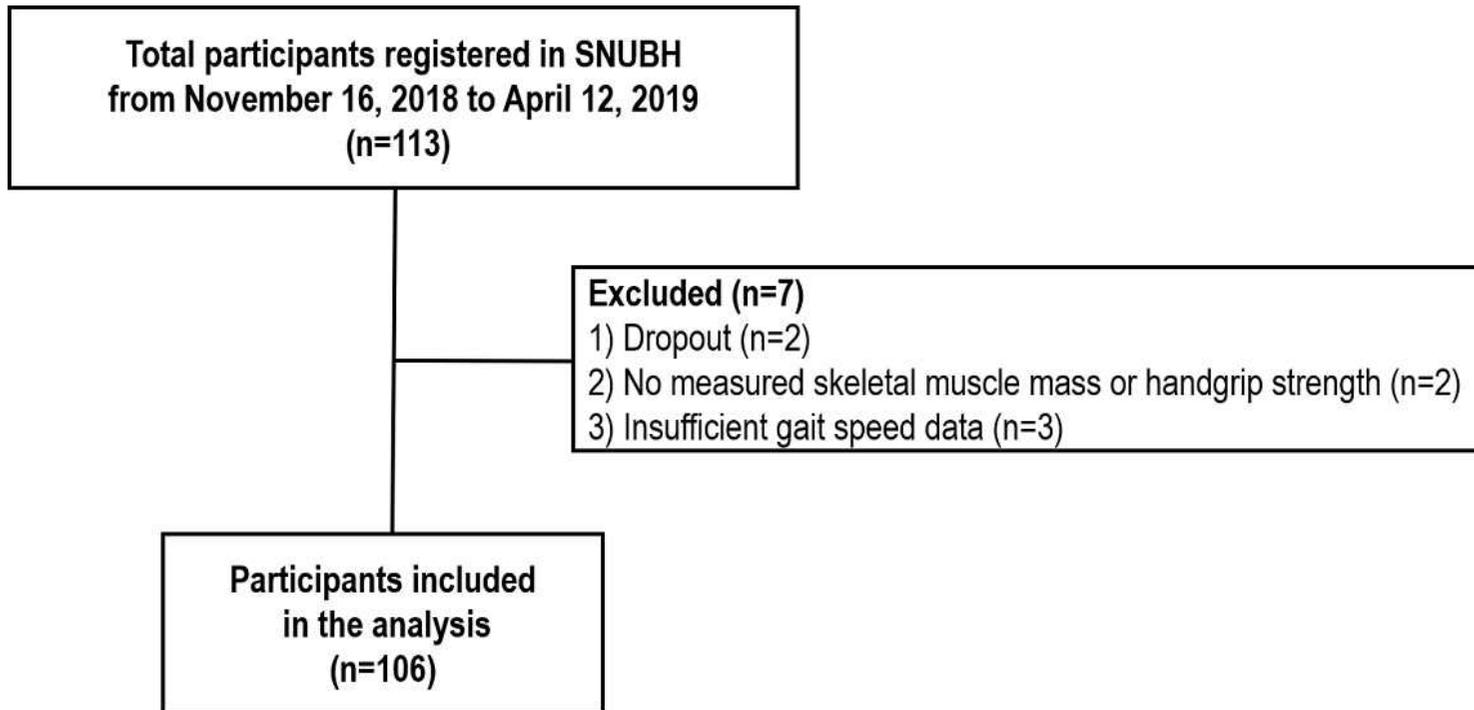
제3장 결과

3.1. 연구 참가자의 특성

총 113명의 연구 참가자를 모집하였고, 중도 탈락 및 연구 프로토콜을 위반한 7명을 제외하고 연구를 완료한 106명의 연구 참가자로부터 측정된 총 217,578 회의 일상 보행 속도(daily life gait speed) 데이터와 검사실 검사 데이터를 분석하였다. (그림 1) 연구 참가자의 평균 나이는 71.1 ± 7.6 세였고, 교육 기간은 평균 14.3 ± 3.2 년이었다. 직업 상태는 재직 중인 사람의 비율 (41.5 %)보다 퇴직한 사람의 비율 (57.5 %)이 더 높았다. 고혈압이 있다고 응답한 사람의 비율이 63.2 %이고, 당뇨병이 있다고 응답한 사람도 26.4 %로 만성 질환이 있는 참가자들이 상당수 있었다. 흡연 상태는 현재 흡연이나 비흡연에 비하여 과거 흡연의 비율이 71.7 %로 월등하게 높았다.

연구 참가자들의 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed) 측정 횟수는 2052.6 ± 1022.3 회였고 참가자들의 평균 'usual gait speed'는 1.24 ± 0.19 m/s, 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 1.23 ± 0.26 m/s, 하루 평균 보행 시간은 88.0 ± 40.2 분이었다.

[그림 1] 연구 참가자들의 연구 흐름도 (SNUBH: 분당 서울대학교병원)²⁾



2) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

3.2. 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 특성

웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도(daily life gait speed)에는 다양한 특성들이 있었다. 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 분포를 확인하기 위하여 연구 참가자 각각의 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 자신들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값과 비교하여 퍼센트로 계산하고 그 분포를 확인하였다. (그림 2) 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 우측으로 편향된 형태의 분포를 보였고, 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 빠른 보행 속도를 피크로 하였다. 자신의 평균보다 빠른 보행 속도로 걷는 빈도가 112,484회 (51.7 %)로 자신의 평균보다 느린 보행 속도로 걷는 빈도 105,094회 (48.3 %) 보다 높았다. 일상생활 중에 자신의 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 20 % 이상 빠르게 걷는 경우는 전체 보행 속도 측정 횟수의 10.8 %인 23,539회 확인되었고, 20 % 이상 느리게 걷는 경우도 15.4 %인 33,495회 있었다.

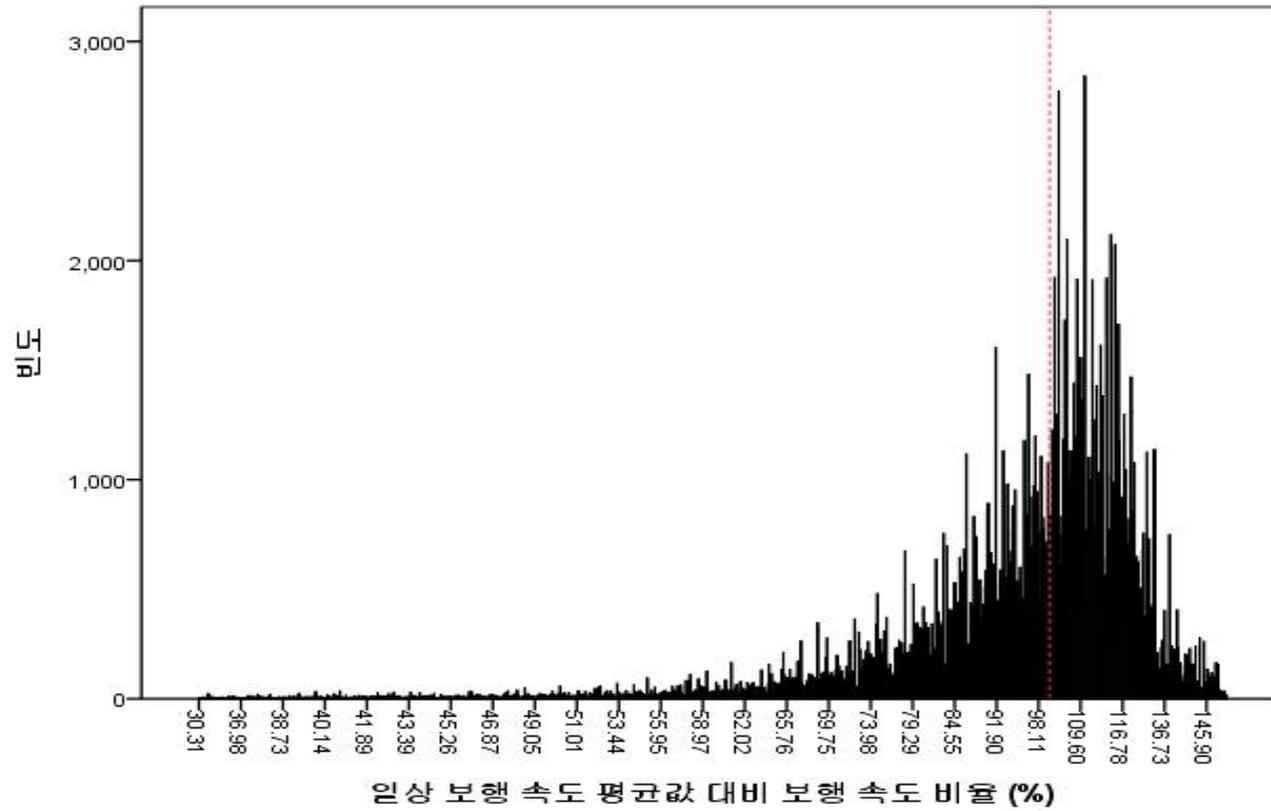
연구 참가자들은 오전 5시에서 7시 사이에 가장 빠르게 걸었으며 밤 시간에 보행 속도가 가장 느렸다. ($P < 0.001$) 주중 요일에 따라서도 일상 보행 속도(daily life gait speed)에 유의한 차이가 있었으며 ($P < 0.001$), 주중 평균 보행 속도 (1.23 ± 0.26 m/s)가 주말 평균 보행 속도 (1.22 ± 0.26 m/s)에 비하여 유의하게 빨랐다. ($P < 0.001$) (그림 3) 하루 평균 보행 시간 또한 주중 평균 보행 시간 (93.4 ± 47.0 분)이 주말 평균 보행 시간 (74.5 ± 41.6 분)에 비하여 더 길었다. (그림 4)

나이가 많은 사람은 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 유의하게 느렸다. ($P < 0.001$) (그림 5) 연령대별로 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 자신들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값과 비교하여 분포를 확인하여 보았을 때, 모든 연령대에서 평균 일상 보행 속

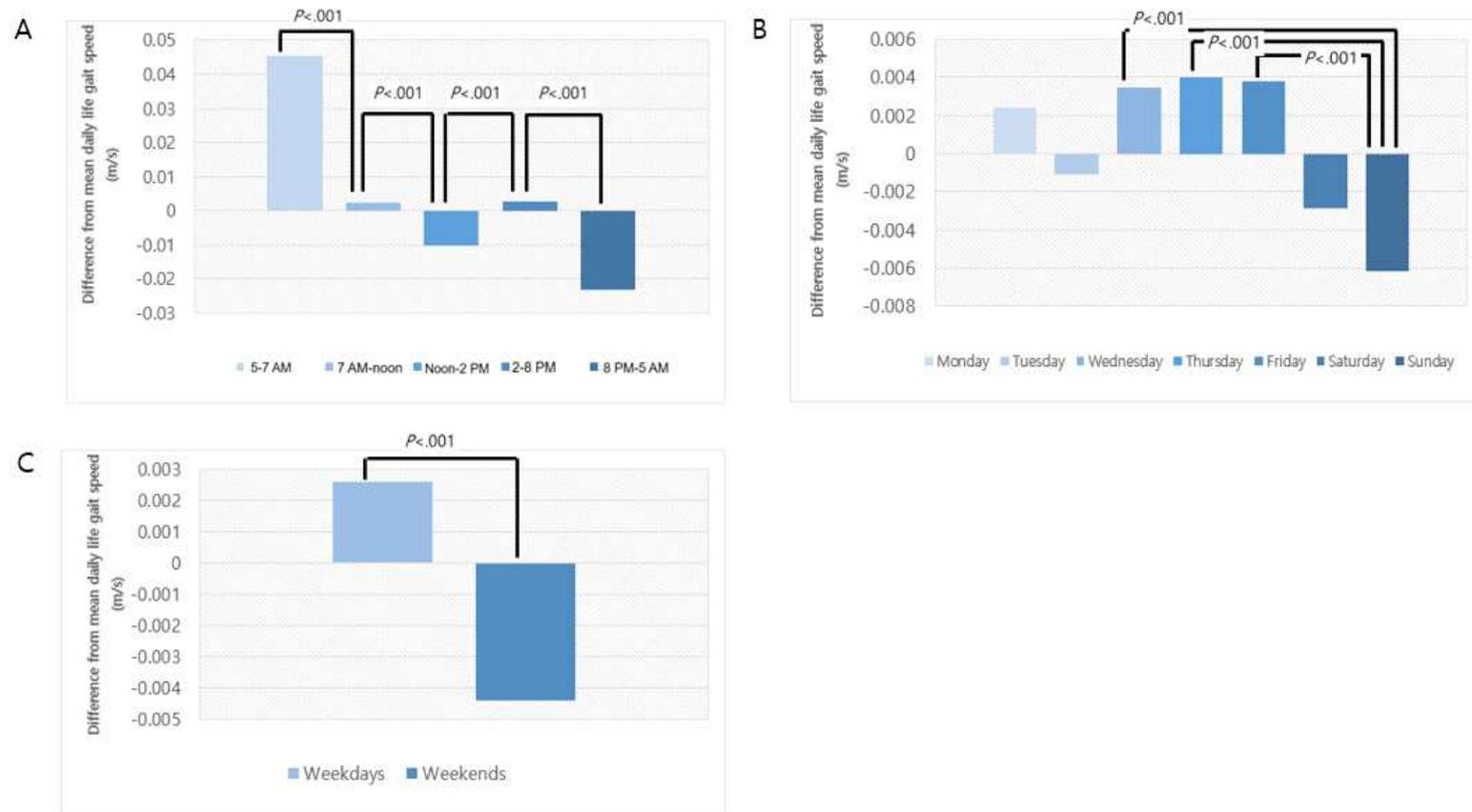
도(daily life gait speed)보다 빠른 보행 속도를 피크로 하여 평균보다 빠르게 걷는 횟수가 많았다. (그림 6)

직업 유무에 따라 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 비교하였을 때, 재직 중인 연구 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed) (1.24 ± 0.26 m/s)가 퇴직한 연구 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed) (1.22 ± 0.26 m/s) 보다 유의하게 빨랐다. ($P < 0.001$) 그러나 직업 유무와 관계없이 시간에 따른 보행 속도의 변화 패턴에는 큰 차이가 없었다. (그림 7)

[그림 2] 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 분포 (점선: 평균 일상 보행 속도)



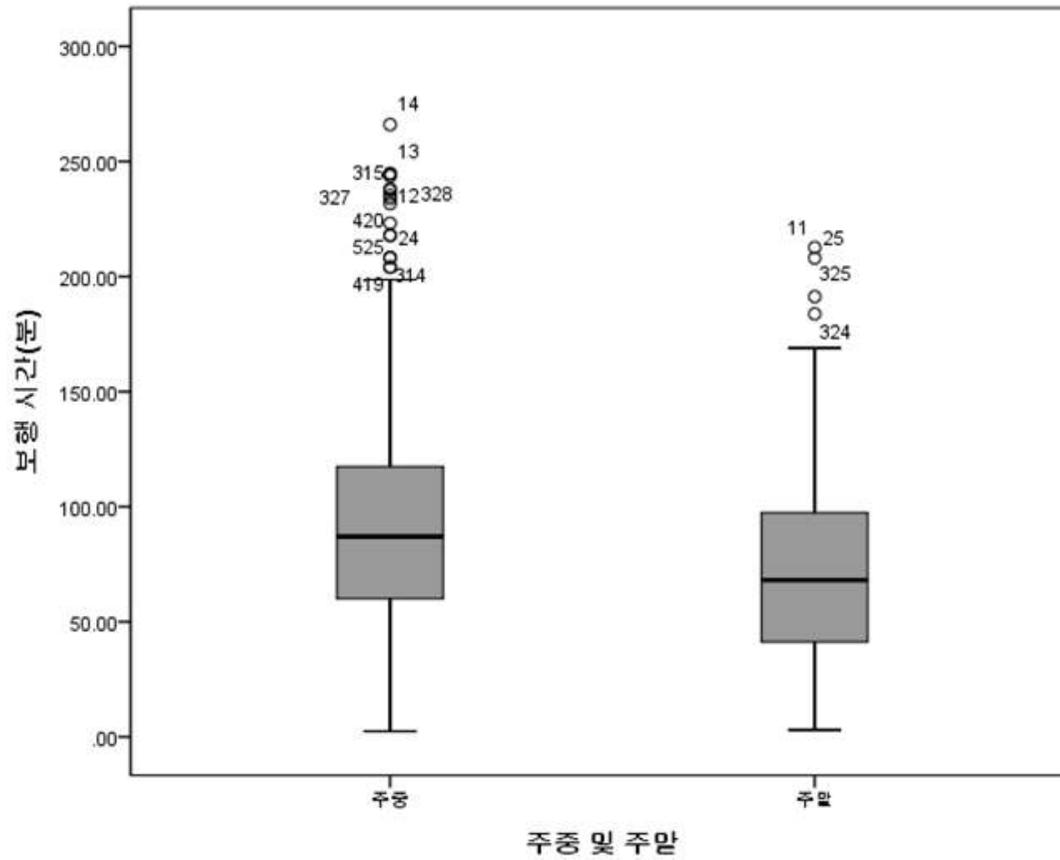
[그림 3] 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도의 특성³⁾



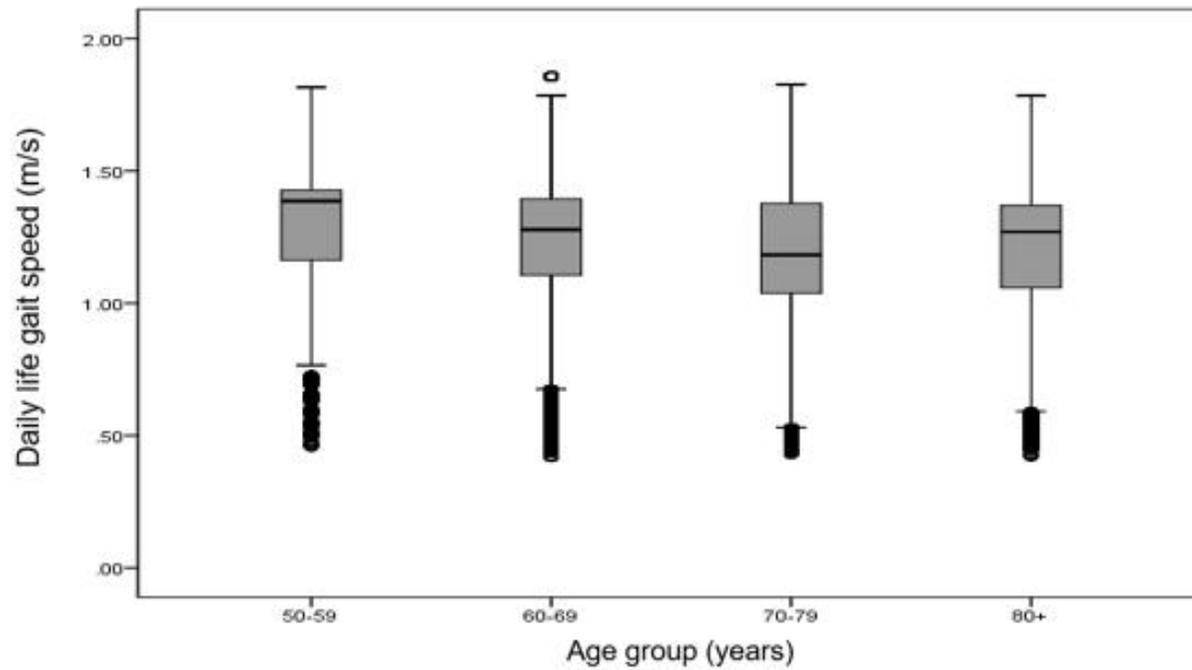
3) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

- (A) 일중 시간에 따른 일상 보행 속도 비교
- (B) 주중 요일에 따른 일상 보행 속도 비교
- (C) 주중과 주말 사이의 일상 보행 속도 비교

[그림 4] 웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 주중·주말 1일 보행 시간 비교

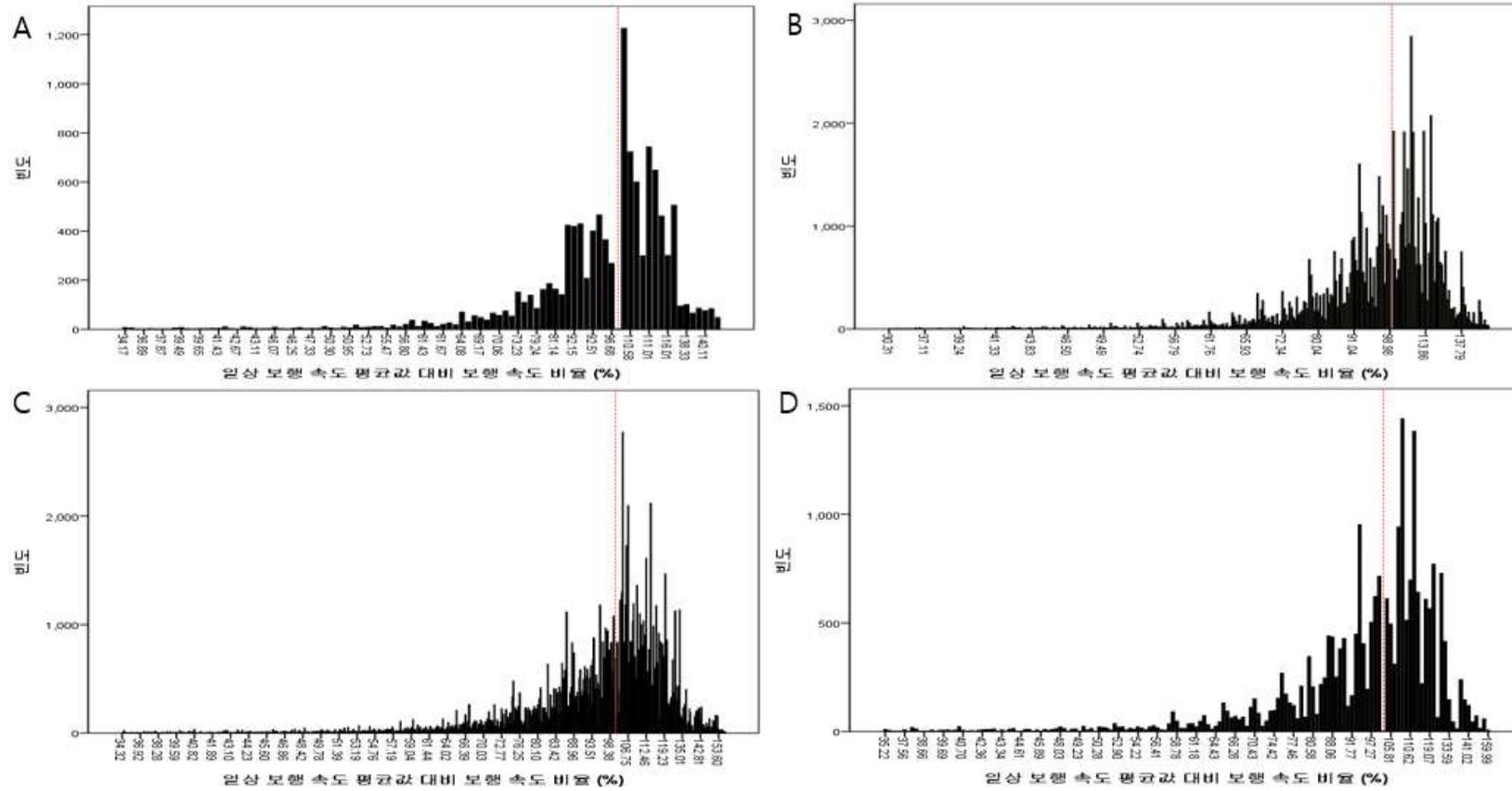


[그림 5] 연령대별 일상 보행 속도 비교⁴⁾



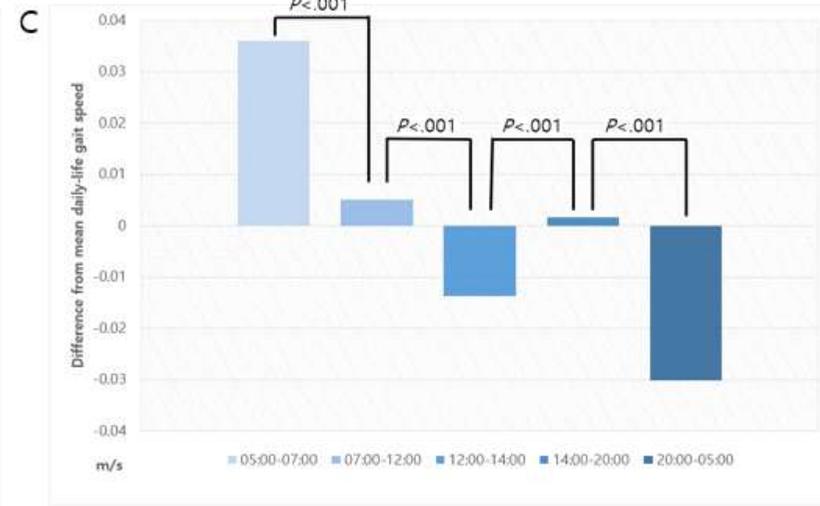
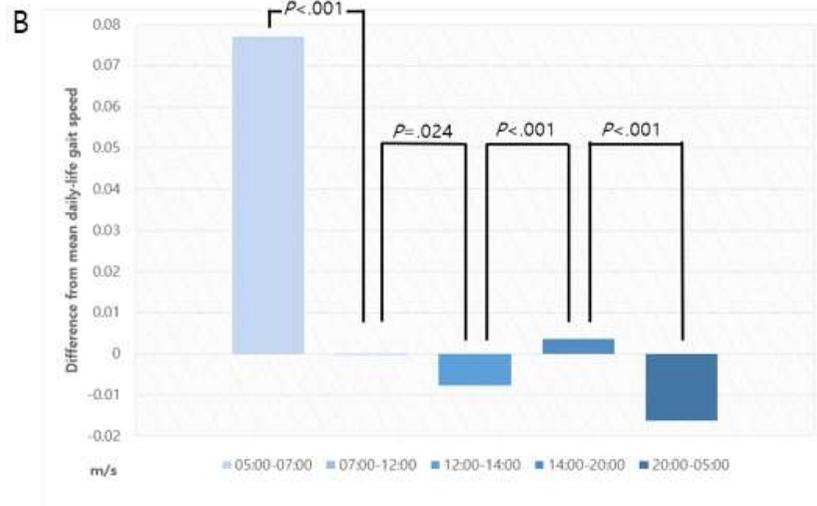
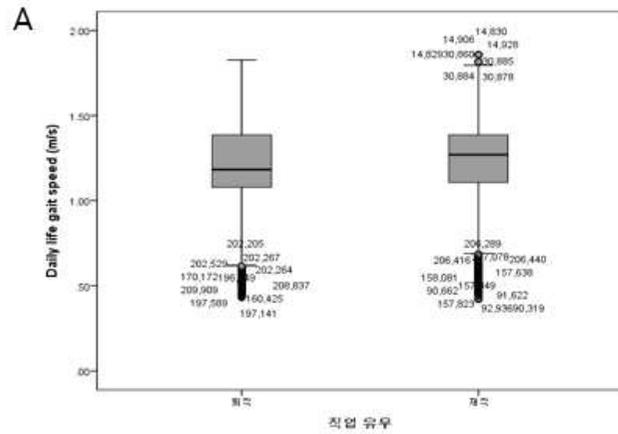
4) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

[그림 6] 연령대별 일상 보행 속도의 분포 (점선: 평균 일상 보행 속도)



- (A) 50대 참가자 일상 보행 속도 분포
- (B) 60대 참가자 일상 보행 속도 분포
- (C) 70대 참가자 일상 보행 속도 분포
- (D) 80대 참가자 일상 보행 속도 분포

[그림 7] 직업 유무에 따른 일상 보행 속도 비교



- (A) 직업 유무에 따른 일상 보행 속도 비교
- (B) 퇴직 참가자의 일중 시간에 따른 일상 보행 속도 비교
- (C) 재직 참가자의 일중 시간에 따른 일상 보행 속도 비교

3.3. 일상 보행 속도와 ‘usual gait speed’의 관련성 분석

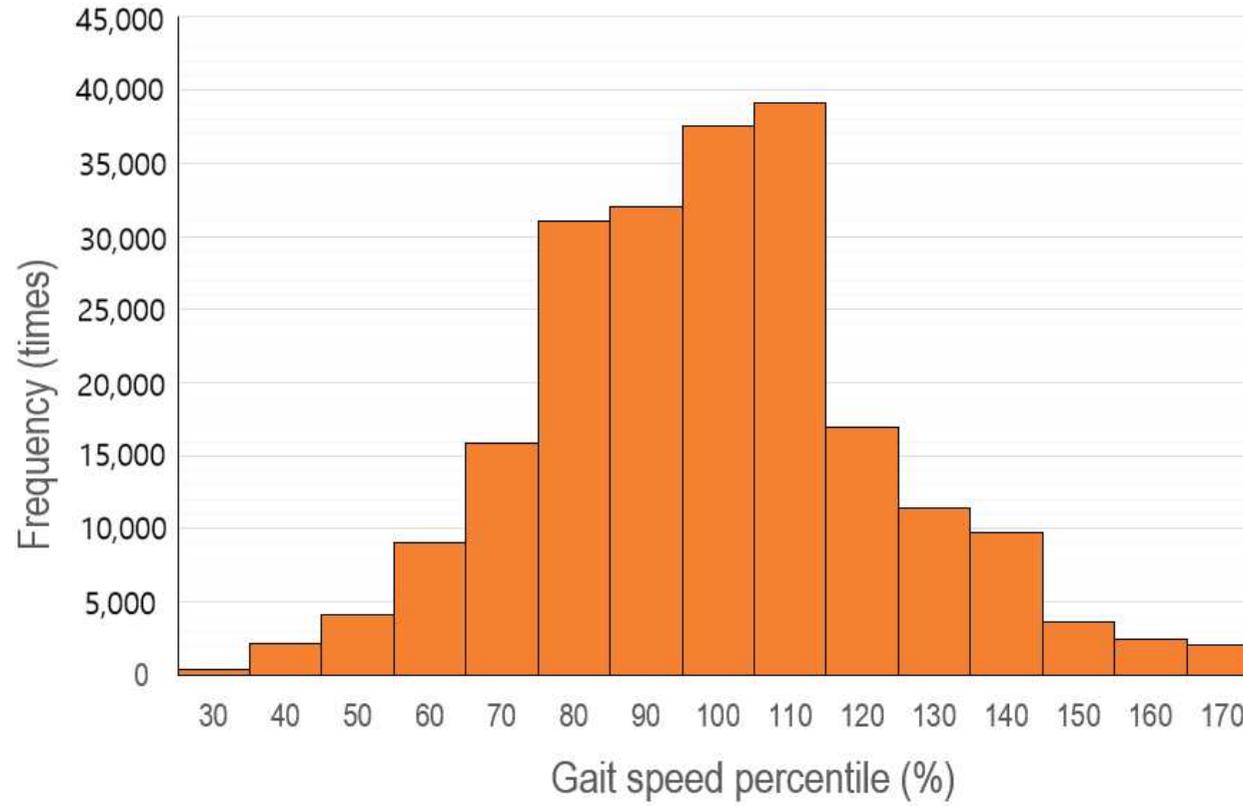
일상 보행 속도(daily life gait speed)와 ‘usual gait speed’를 비교하기 위하여 연구 참가자 각각의 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 자신들의 ‘usual gait speed’와 비교하여 퍼센트로 계산하고 그 분포를 확인하였다. (그림 8) 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 매우 다양하였는데, 자신들의 ‘usual gait speed’에 비하여 30.3 %의 속도부터 181.0 %의 속도까지 분포하였고, 중앙값은 102.9 %였다. 일상생활 중에 자신의 ‘usual gait speed’보다 25 % 이상 빠르게 걷는 경우는 전체 보행 속도 측정 횟수의 13.5 %인 29,279회 확인되었고, 25 % 이상 느리게 걷는 경우도 14.6 %인 31,728회 있었다.

일상 보행 속도(daily life gait speed)와 ‘usual gait speed’에 대하여 다양한 상관 분석을 시행하였다. (그림 9) 일상 보행 속도(daily life gait speed) 측정값 전체와 ‘usual gait speed’와 상관 분석을 시행했을 때에는 미미한 상관관계만 있었다. (Pearson $r=0.155$; $P<0.001$) 그러나 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값과 ‘usual gait speed’ 사이에는 중등도의 양의 상관관계가 확인되었다. (Pearson $r=0.504$; $P<0.001$) 평균 이외에 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 중앙값과 최빈값도 각각 ‘usual gait speed’와 유의한 양의 상관 관계가 확인되었다. (Pearson $r=0.412$; $P<0.001$) (Pearson $r=0.429$; $P<0.001$) (표 1)

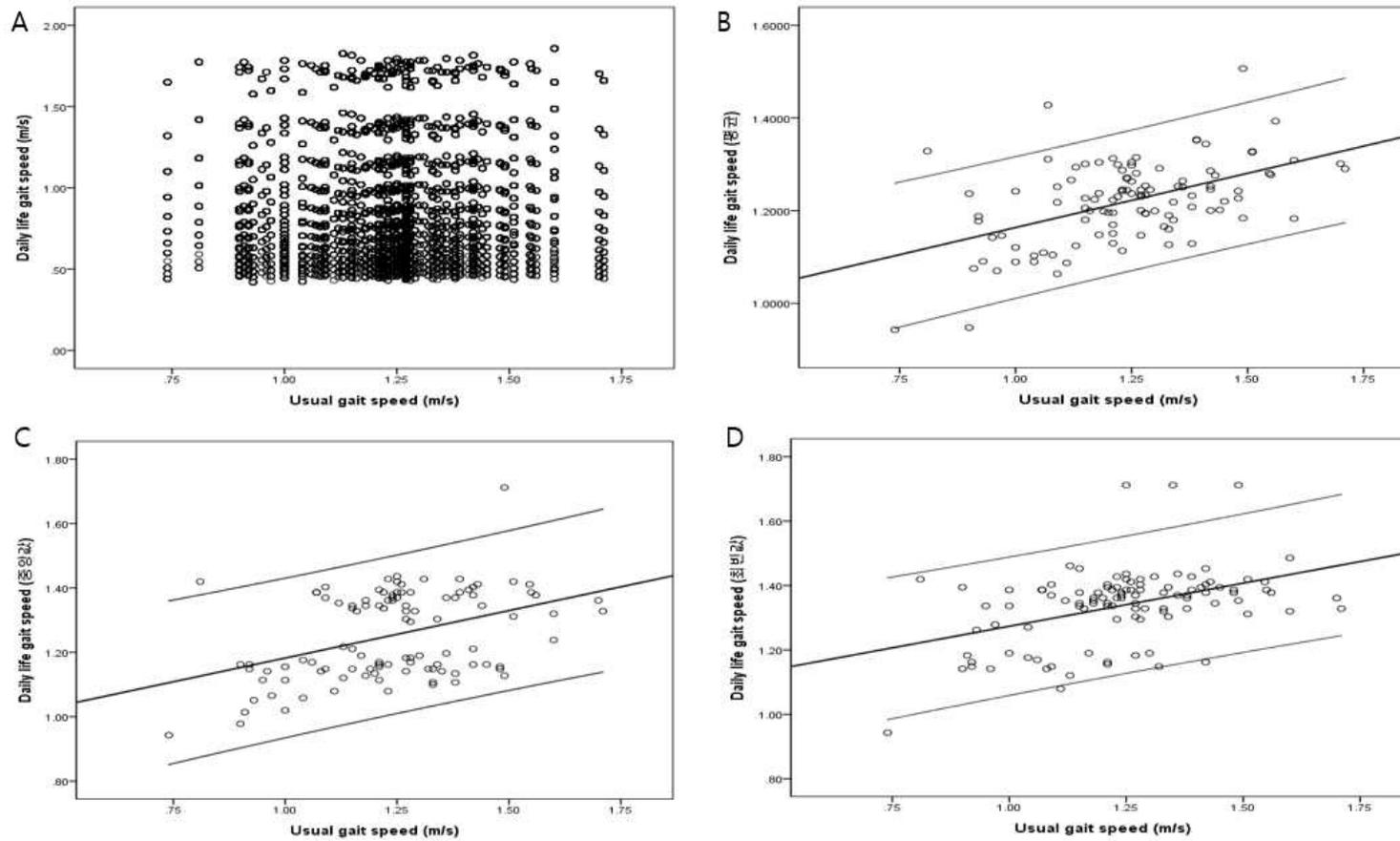
‘Usual gait speed’에 따라 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 변동성(variability)에 차이가 있는지 여부를 확인하기 위하여 ‘usual gait speed’와 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 표준 편차(standard deviation) 및 변동 계수(coefficient of variation)와 상관 분석을 시행하였다. (그림 10) 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 표준 편차와는 미미한 상관관계만 있었으며 (Pearson $r=0.195$; $P=0.046$), 변동 계수와는

유의한 상관관계가 확인되지 않았다. (Pearson $r=-0.139$; $P=0.16$)

[그림 8] 'Usual gait speed'에 대한 일상 보행 속도의 백분위수 분포



[그림 9] 일상 보행 속도와 ‘usual gait speed’에 대한 산점도5)



5) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

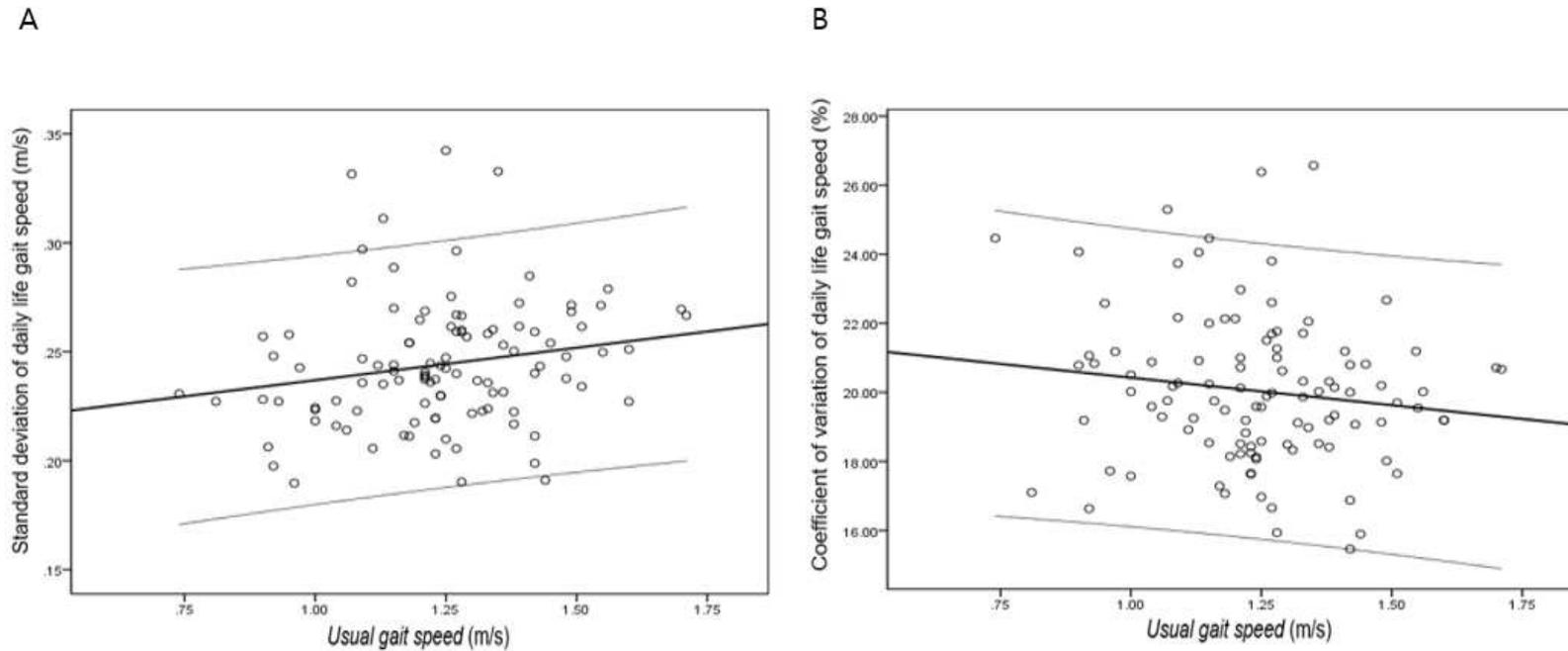
- (A) 일상 보행 속도와 'usual gait speed'의 산점도
- (B) 일상 보행 속도의 평균과 'usual gait speed'의 산점도
- (C) 일상 보행 속도의 중앙값과 'usual gait speed'의 산점도
- (B) 일상 보행 속도의 최빈값과 'usual gait speed'의 산점도

[표 1] 일상 보행 속도의 대푯값과 'usual gait speed'와의 상관 분석

변수	Usual gait speed	일상 보행 속도 (평균)	일상 보행 속도 (중앙값)	일상 보행 속도 (최빈값)
Usual gait speed				
<i>r</i>	1	0.504	0.412	0.429
<i>P</i> 값	—*	<.001	<.001	<.001
일상 보행 속도 (평균)				
<i>r</i>	0.504	1	0.825	0.701
<i>P</i> 값	<.001	—	<.001	<.001
일상 보행 속도 (중앙값)				
<i>r</i>	0.412	0.825	1	0.561
<i>P</i> 값	<.001	<.001	—	<.001
일상 보행 속도 (최빈값)				
<i>r</i>	0.429	0.701	0.561	1
<i>P</i> 값	<.001	<.001	<.001	—

*해당 없음

[그림 10] ‘Usual gait speed’에 따른 일상 보행 속도의 변동성⁶⁾



(A) 일상 보행 속도의 표준 편차와 ‘usual gait speed’의 산점도 (Pearson $r=0.195$; $P=0.046$)

(B) 일상 보행 속도의 변동 계수와 ‘usual gait speed’의 산점도 (Pearson $r=-0.139$; $P=0.16$)

6) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

3.4. 근감소증 유무에 따른 연구 참가자의 보행 관련 특성 비교

전체 106명의 연구 참가자 중에 13명 (12.3 %)의 참가자가 Asian Working Group for Sarcopenia 2019년 진단 기준에 따라 근감소증으로 진단되었다. 근감소증이 있는 참가자들의 나이 (76.0 ± 6.2 세)는 정상인 참가자들의 나이 (70.5 ± 7.6 세)에 비하여 유의하게 많았고 ($P=0.01$), 근감소증 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed) (1.12 ± 0.11 m/s)는 정상인 참가자들의 보행 속도 (1.23 ± 0.08 m/s)에 비하여 유의하게 느렸다. ($P<0.001$) 근감소증이 있는 참가자들은 악력과 사지 골격 근량이 유의하게 저하되어 있으며, 협심증 병력을 가진 경우가 많았고 현재 흡연을 하는 경우가 많았다. (표 2)

근감소증 유무에 따라 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 분포에 차이가 있는지를 확인하기 위하여 연구 참가자 각각의 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 자신들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값과 비교하여 퍼센트로 계산하고 그 분포를 확인하였다. (그림 11) 근감소증이 없는 연구 참가자는 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 빠른 보행 속도를 피크로 하는 우측으로 편향된 형태의 분포를 보였으며 평균보다 빠르게 걷는 횟수가 많았다. 근감소증이 있는 참가자는 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 빠른 보행 속도의 피크 이외에 평균 보행 속도보다 느린 보행 속도의 피크가 있었으며 평균보다 느리게 걷는 횟수가 더 많았다. 근감소증이 있는 참가자의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값 (1.12 ± 0.11 m/s)은 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 중앙값 (1.11 ± 0.12 m/s)과 유의한 차이가 없었다. ($P=0.45$) 그러나 근감소증이 없는 참가자들은 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 중앙값 (1.27 ± 0.13 m/s)이 평균값 (1.23 ± 0.08 m/s)보다 유의하게 높았다. ($P<0.001$)

근감소증이 있는 참가자들은 일중 오전 5시부터 7시까지 사이에 가장 빠르게 걸었다. ($P < 0.001$) 그러나 주중과 주말의 보행 속도 사이에는 유의한 차이가 없었다. ($P = 0.64$) (그림 12) 근감소증 있는 참가자는 하루 평균 보행 시간이 78.2 ± 45.4 분으로 정상인 참가자의 보행 시간인 89.3 ± 46.3 분보다 유의하게 짧았다. ($P = 0.03$) (그림 13) 추가적으로 근감소증이 있는 사람들은 주중 보행 시간 (82.4 ± 46.3 분)과 주말 보행 시간 (67.8 ± 42.1) 사이에 유의한 차이가 없었다. ($P = 0.17$)

근감소증이 있는 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)에서의 표준 편차 (0.23 ± 0.02 m/s)와 근감소증이 없는 참가자들의 표준 편차 (0.25 ± 0.03 m/s) 사이에는 유의한 차이가 없었다. ($P = 0.06$) 근감소증이 있는 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)에서의 변동 계수 (20.58 ± 2.37 %)와 근감소증이 없는 참가자들의 변동 계수 (19.96 ± 2.13 %)도 유의한 차이를 보이지 않았다. ($P = 0.34$)

[표 2] 근감소증 유무에 따른 연구 참가자의 특성 비교⁷⁾

특성	전체 (N=106)	근감소증 (n=13)	정상 (n=93)	P 값
나이 (세)				.01
평균 (SD)	71.1 (7.6)	76.0 (6.2)	70.5 (7.6)	
BMI (kg/m ²)				.54
평균 (SD)	24.6 (2.5)	25.0 (2.5)	24.5 (2.5)	
교육 기간 (년)				.38
평균 (SD)	14.3 (3.2)	13.5 (3.3)	14.4 (3.2)	
직업 상태				.79
재직	44 (41.5)	5 (38.5)	39 (41.9)	
퇴직	61 (57.5)	8 (61.5)	53 (57)	
고혈압, n (%)	67 (63.2)	11 (84.6)	56 (60.2)	.13
당뇨병, n (%)	28 (26.4)	3 (23.1)	25 (26.9)	.99
협심증, n (%)	22 (20.8)	6 (46.2)	16 (17.2)	.03
관절염, n (%)	18 (17)	2 (15.4)	16 (17.2)	.99
중복 이환 지수*	0.6 (0.8)	0.9 (1.0)	0.6 (0.8)	.14
흡연 상태, n (%)				.004
현재 흡연	16 (15.1)	6 (46.2)	10 (10.8)	
과거 흡연	76 (71.7)	6 (46.2)	70 (75.3)	
비흡연	14 (13.2)	1 (7.7)	13 (14)	

7) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

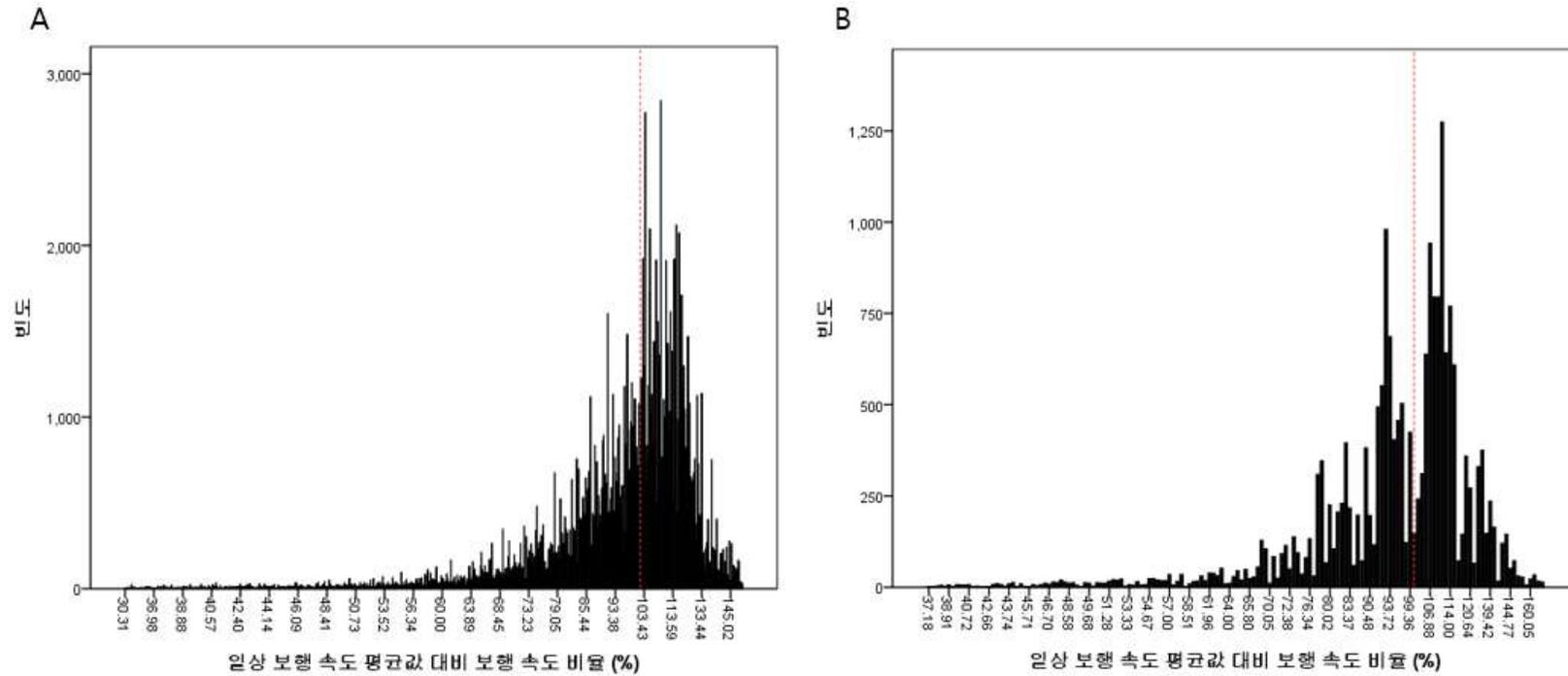
악력 (kg) [†]				<.001
평균 (SD)	36.0 (6.6)	27.4 (5.4)	37.2 (5.8)	
사지 골격근량/신장 ² (kg/m ²)				.003
평균 (SD)	6.74 (0.74)	6.39 (0.34)	6.79 (0.77)	
Usual gait speed (m/s)				<.001
평균 (SD)	1.24 (0.19)	0.97 (0.12)	1.28 (0.16)	
일상 보행 속도 (m/s)				<.001
평균 (SD)	1.22 (0.09)	1.12 (0.11)	1.23 (0.08)	
일상 보행 속도, 중앙값 (m/s)				<.001
평균 (SD)	1.25 (0.13)	1.11 (0.12)	1.27 (0.13)	
일상 보행 속도, 최빈값 (m/s)				.001
평균 (SD)	1.34 (0.12)	1.24 (0.14)	1.35 (0.11)	

축약어 ; SD, standard deviation; BMI, body mass index(calculated as weight in kilograms divided by height in meters squared)

*Charlson Comorbidity index[32] 에서 심근경색, 심부전, 뇌혈관질환, 치매, 만성폐질환, 만성간질환, 당뇨병, 만성콩팥병, 악성종양 항목으로 계산

[†] 주로 사용하는 손에서 3회 측정된 악력의 평균값

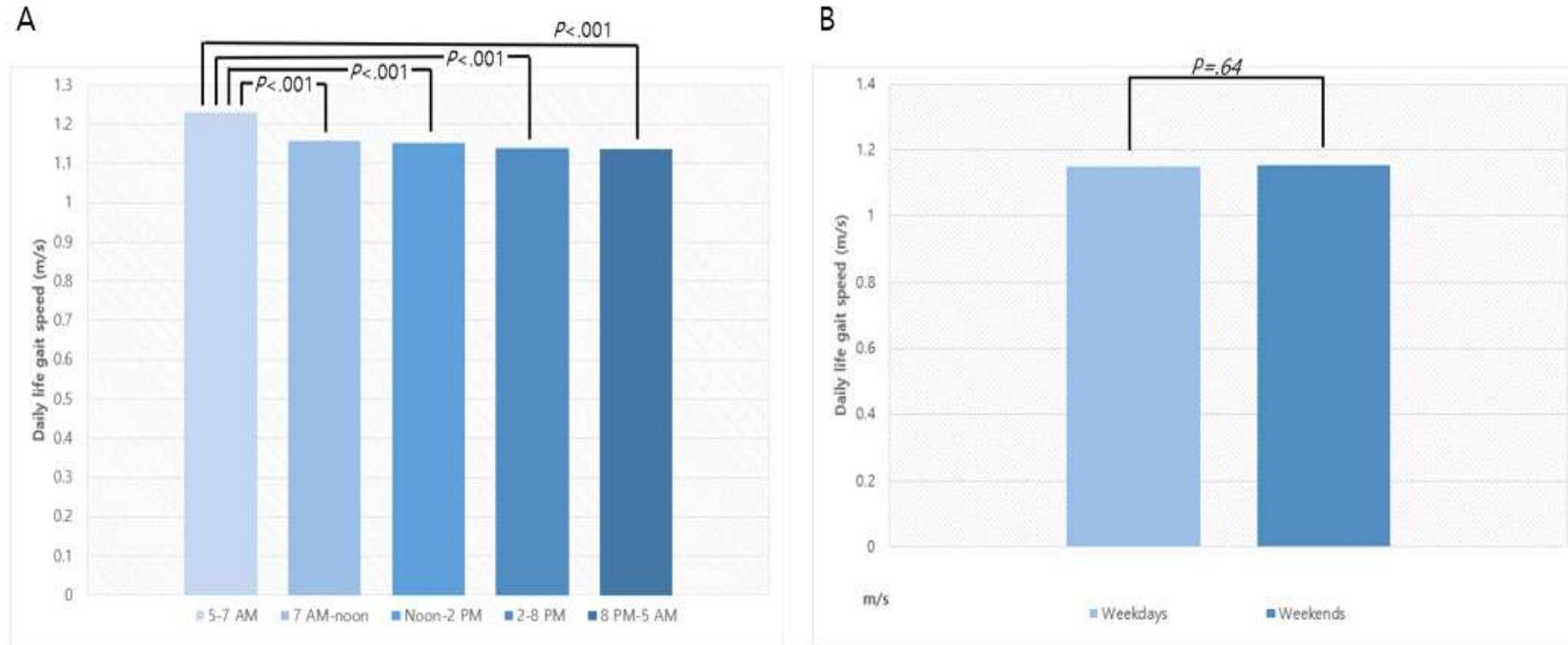
[그림 11] 근감소증 유무에 따른 일상 보행 속도 분포 (점선: 평균 일상 보행 속도)



(A) 근감소증 없는 참가자의 일상 보행 속도 분포

(B) 근감소증 있는 참가자의 일상 보행 속도 분포

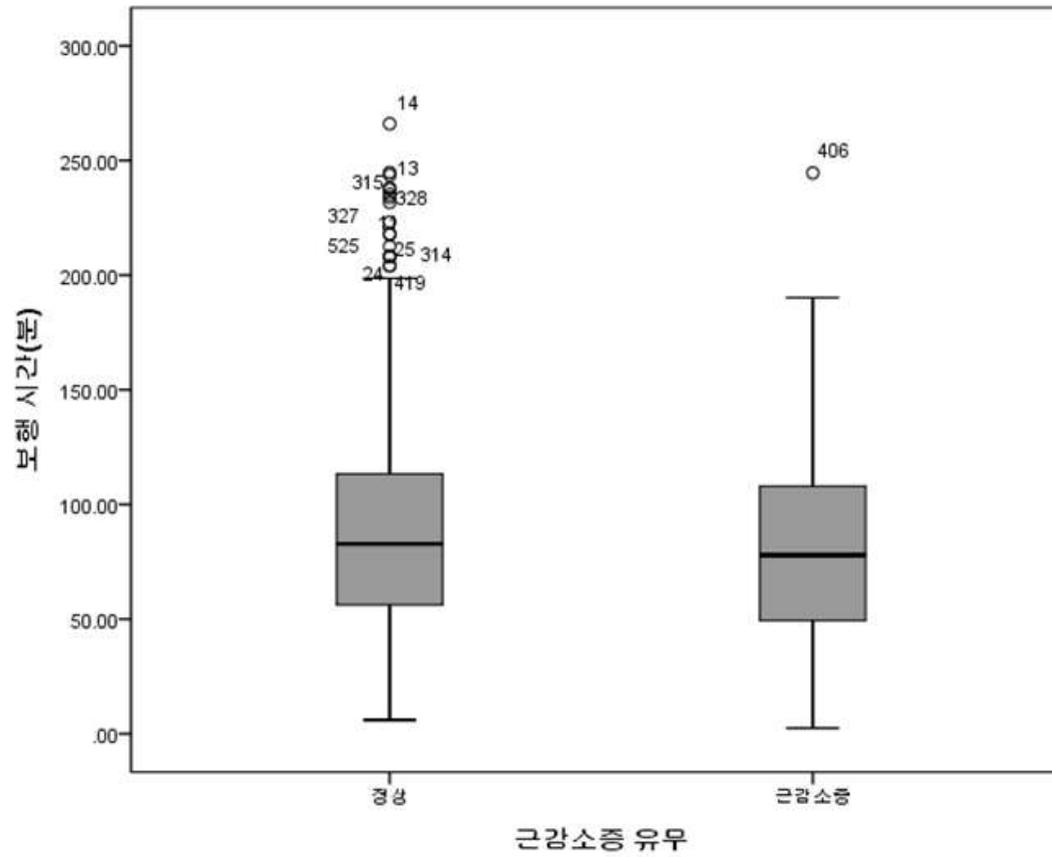
[그림 12] 근감소증 있는 참가자의 일상 보행 속도의 특성



(A) 일중 시간에 따른 일상 보행 속도 비교

(B) 주중과 주말 사이의 일상 보행 속도 비교

[그림 13] 근감소증 유무에 따른 1일 보행 시간 비교



3.5. 일상 보행 속도와 근감소증과의 관련성 분석

웨어러블 디바이스를 이용하여 측정한 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 악력 및 사지 골격근량과의 관련성을 분석하였다. 측정된 악력이 28 kg 미만으로 근력이 저하된 참가자는 11명 (10.4 %)이었고, 근력 저하 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed) (1.15 ± 0.25 m/s)는 근력이 정상인 참가자들의 보행 속도 (1.23 ± 0.26 m/s)에 비하여 유의하게 느렸다. ($P < 0.001$) 신장으로 보정한 사지 골격근량이 7.0 kg/m^2 미만인 근육량이 감소된 참가자는 70명 (66.0 %)이었고, 근육량 감소 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed) (1.22 ± 0.26 m/s) 역시 근육량이 정상인 참가자의 보행 속도 (1.25 ± 0.26 m/s)에 비하여 유의하게 느리다는 것이 확인되었다.

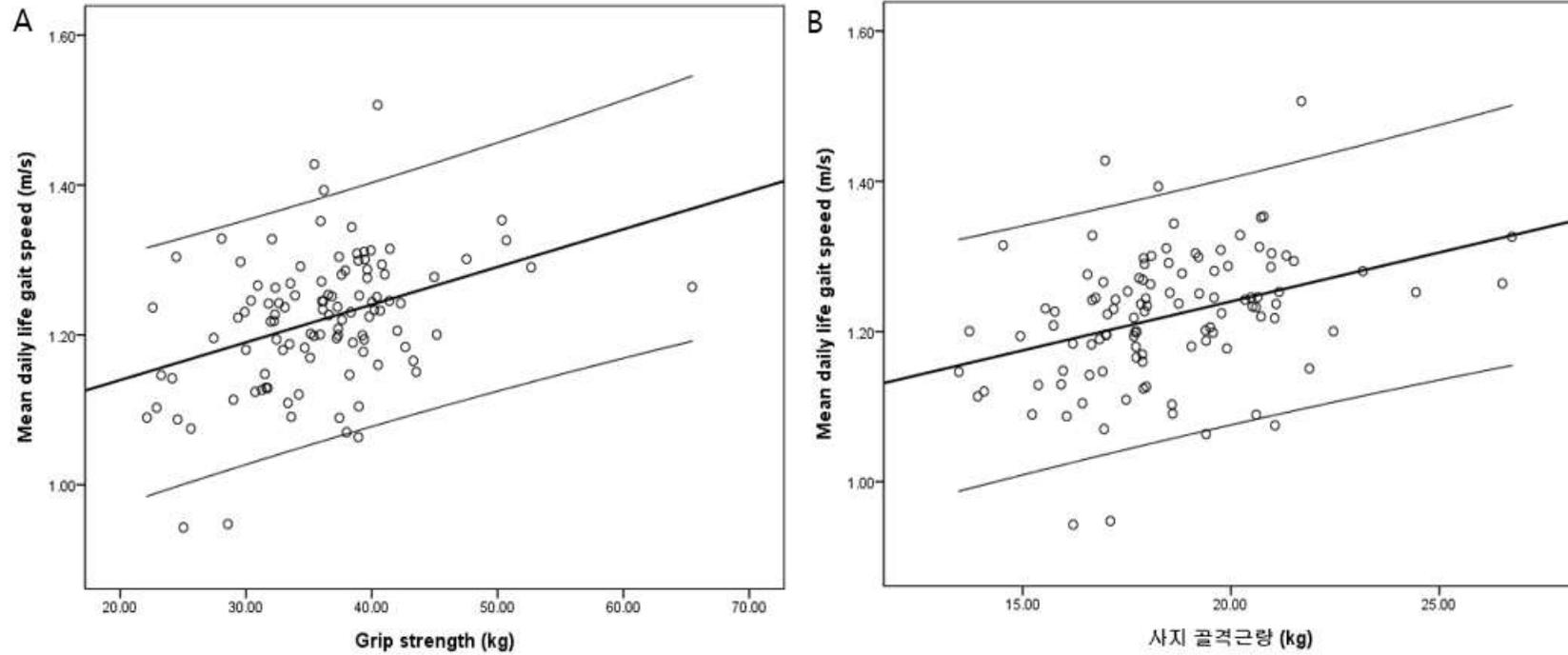
평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 악력과 유의한 양의 상관관계가 있었고 (Pearson $r=0.380$; $P < 0.001$), 사지 골격근량과도 유의한 양의 상관관계를 보였다. (Pearson $r=0.355$; $P < 0.001$)(그림 14) 추가적으로 ‘Usual gait speed’는 악력과는 유의한 양의 상관관계를 보였으나 (Pearson $r=0.501$; $P < 0.001$), 근육량과는 상관성이 떨어졌다. (Pearson $r=0.227$; $P=0.02$)

일상 보행 속도(daily life gait speed)와 잠재적 관련 요인들과 상관 분석을 시행하였을 때 나이, 신장, 중복 이환 지수, 악력, 사지 골격근량 그리고 하지 골격근량이 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 유의한 상관관계를 보였다. (표 3) 관련된 요인들로 선형 회귀 분석을 시행하였고, 단계적 선택법(stepwise selection)을 통해 나이와 하지 골격근량이 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 유의하게 관련된 요인으로 확인되었다. (표 4(B)) 사지 골격근량과 하지 골격근량은 회귀 분석에서 분산 팽창 요인 (variance inflation factor) 값이 10 이상으로 크기 때문에 모델링에 모두 포함시키기는 어렵다. 50대에 하지 골격근량이 평

균 이상인 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 1.29 ± 0.25 m/s로 다른 연령대 및 하지 골격근량이 평균 이하인 참가자들의 일상 보행 속도에 비하여 유의하게 빨랐다. ($P < 0.001$)(그림 15)

일일 보행 시간과 근감소증 관련 요인들과의 상관 분석을 시행하였을 때, 악력과 하지 골격근량, 그리고 'usual gait speed'는 보행 시간과 미미한 상관관계를 보였다. (보행 시간과 악력: Pearson $r=0.111$; $P=0.003$; 보행 시간과 하지 골격근량: Pearson $r=0.152$; $P < 0.001$; 보행 시간과 'usual gait speed' : Pearson $r=0.112$; $P=0.002$) 일일 보행 시간과 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값과는 낮은 양의 상관관계가 확인되었다. (Pearson $r=0.315$; $P < 0.001$)

[그림 14] 평균 일상 보행 속도와 근감소증 관련 요인의 산점도



(A) 평균 일상 보행 속도와 악력의 산점도

(B) 평균 일상 보행 속도와 사지 골격근량의 산점도

[표 3] 평균 일상 보행 속도와의 상관 분석 (Pearson r 과 P 값)⁸⁾

변수	평균 일상 보행 속도	나이	신장	몸무게	BMI	중복 이환 지수	약력	사지 골격근량	하지 골격근량
평균 일상 보행 속도	1	-0.357	0.333	0.108	-0.074	-0.238	0.380	0.355	0.383
r	1	-0.357	0.333	0.108	-0.074	-0.238	0.380	0.355	0.383
P 값	-*	<.001	<.001	.27	.45	.01	<.001	<.001	<.001
나이	-0.357	1	-0.274	-0.237	-0.073	0.220	-0.374	-0.328	-0.338
r	-0.357	1	-0.274	-0.237	-0.073	0.220	-0.374	-0.328	-0.338
P 값	<.001	-	.004	.01	.46	.02	<.001	.001	<.001
신장	0.333	-0.274	1	0.466	-0.062	-0.168	0.271	0.515	0.523
r	0.333	-0.274	1	0.466	-0.062	-0.168	0.271	0.515	0.523
P 값	<.001	.004	-	<.001	.53	.09	.005	<.001	<.001
몸무게	0.108	-0.237	0.466	1	0.824	0.033	0.231	0.806	0.797
r	0.108	-0.237	0.466	1	0.824	0.033	0.231	0.806	0.797
P 값	.27	.01	<.001	-	<.001	.74	.02	<.001	<.001
BMI	-0.074	-0.073	-0.062	0.824	1	0.133	0.080	0.609	0.596
r	-0.074	-0.073	-0.062	0.824	1	0.133	0.080	0.609	0.596
P 값	.45	.46	.53	<.001	-	.17	.42	<.001	<.001
중복 이환 지수 [†]	-0.238	0.220	-0.168	0.033	0.133	1	-0.138	-0.161	-0.180
r	-0.238	0.220	-0.168	0.033	0.133	1	-0.138	-0.161	-0.180
P 값	.01	.02	.09	.74	.17	-	.16	.10	.07

8) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

약력									
<i>r</i>	0.380	-0.374	0.271	0.231	0.080	-0.138	1	0.493	0.475
<i>P</i> 값	<.001	<.001	.005	.02	.42	.16	-	<.001	<.001
사지 골격근량									
<i>r</i>	0.355	-0.328	0.515	0.806	0.609	-0.161	0.493	1	0.983
<i>P</i> 값	<.001	.001	<.001	<.001	<.001	.10	<.001	-	<.001
하지 골격근량									
<i>r</i>	0.383	-0.338	0.523	0.797	0.596	-0.180	0.475	0.983	1
<i>P</i> 값	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.07	<.001	<.001	-

축약어 ; BMI, body mass index(calculated as weight in kilograms divided by height in meters squared)

*해당 없음

† Charlson Comorbidity index[32] 에서 심근경색, 심부전, 뇌혈관질환, 치매, 만성폐질환, 만성간질환, 당뇨병, 만성콩팥병, 악성종양 항목으로 계산

[표 4] 선형 회귀 분석 (종속 변수: 평균 일상 보행 속도)⁹⁾

A.

독립 변수	B	β	t statistic	P값	VIF
상수	0.751	N/A*	N/A	N/A	N/A
나이 (세)	-0.002	-.167	-1.753	.08	1.264
신장 (m)	0.259	.151	1.511	.13	1.394
중복 이환 지수	-0.010	-.098	-1.112	.27	1.083
악력 (kg)	0.002	.177	1.728	.09	1.472
사지 골격근량 (kg)	-0.033	-.892	-1.888	.06	31.150
하지 골격근량 (kg)	0.052	1.049	2.223	.03	31.107

B.

독립 변수	B	β	t statistic	P값	VIF
상수	1.203	N/A*	N/A	N/A	N/A
나이 (세)	-0.003	-.250	-2.695	.01	1.131
하지 골격근량 (kg)	0.016	.329	3.550	.001	1.131

축약어 ; VIF, Variance inflation factor

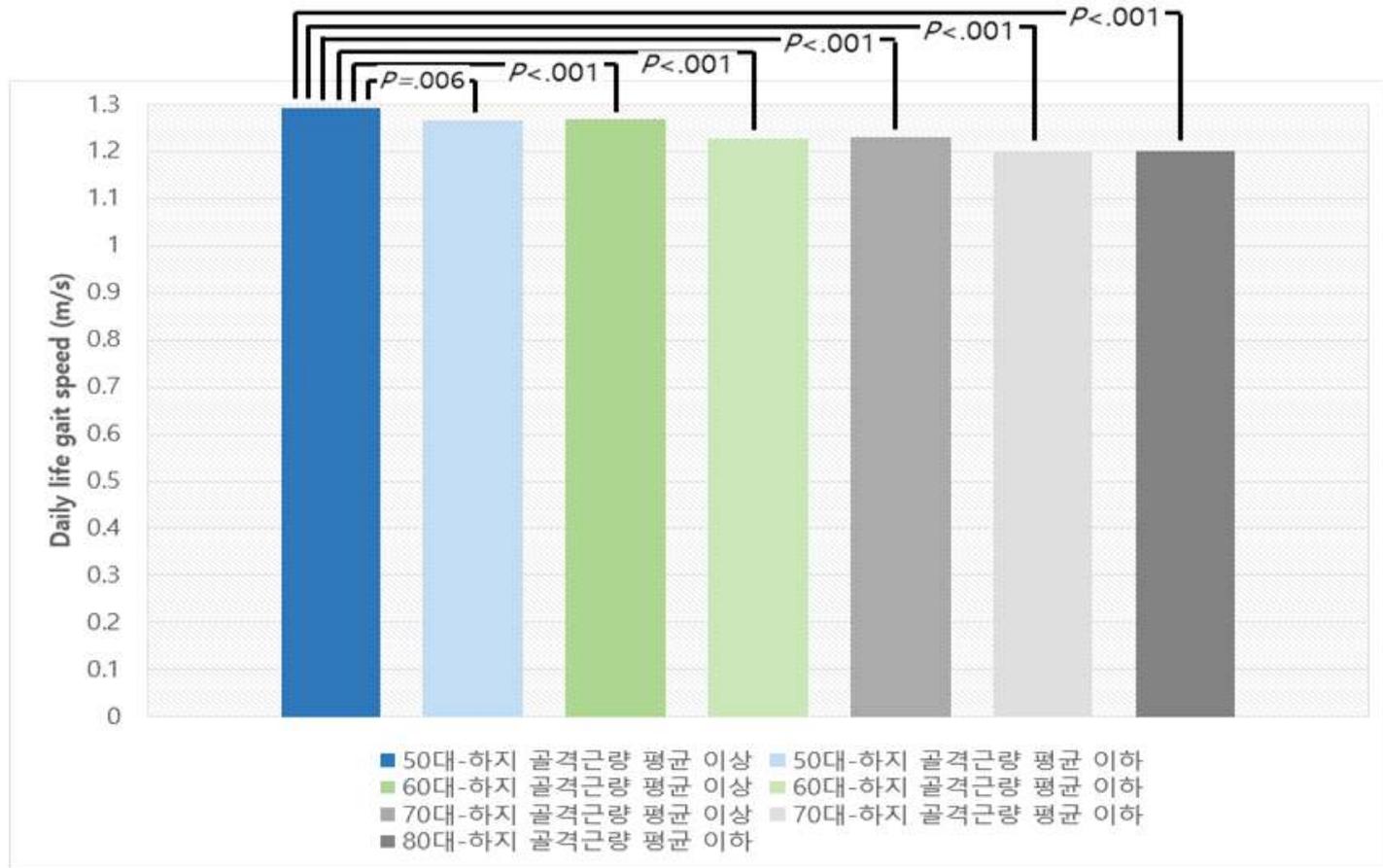
*해당 없음

9) 2021년 Journal of Medical Internet Research에 발표한 연구를 바탕으로 한다. (*J Med Internet Res.* 2021 Oct 11;23(10))

(A) 선형회귀분석 (입력으로 시행)

(B) 선형회귀분석 (단계적 선택법으로 시행)

[그림 15] 연령대 및 하지 골격근량에 따른 일상 보행 속도 비교



제4장 고찰

4.1. 주요 내용

이 연구에서 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 일중 시간과 주중 요일에 따라 다양하며 ‘usual gait speed’ 측정에서 알기 어려운 보행 속도의 다양한 특성을 일상 보행 속도(daily life gait speed) 측정을 통하여 알 수 있다는 것을 확인하였다. 연구 참가자들은 하루 중 아침에 가장 빠르게 걸었으며 주중 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 주말에 비하여 빨랐다. 나이가 많은 사람은 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 유의하게 느렸고 직업이 있는 사람의 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 퇴직한 사람들에 비하여 유의하게 빨랐다. 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 ‘usual gait speed’와의 관련성을 보았을 때, 일상 보행 속도(daily life gait speed) 측정값 전체와 ‘usual gait speed’는 미미한 상관 관계만 있었으나, 측정치의 대표값인 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균, 중앙값, 최빈값은 모두 ‘usual gait speed’와 유의한 양의 상관 관계를 보였다.

근감소증이 있는 참가자는 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 정상 참가자에 비하여 느렸고, 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 분포를 확인하였을 때 근감소증이 있는 참가자는 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 느린 보행 속도의 피크가 있었으며, 평균보다 느리게 걷는 횟수가 더 많았다. 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 악력 및 사지 골격근량과 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 관련된 다양한 요인들을 분석하였을 때 나이와 하지 골격근량이 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값과 유의하게 관련되어 있었다.

보행 속도는 노인들의 기능 상태를 평가하기 위한 유효하고 신뢰할만한

도구이며[13], 보행 속도가 느리다는 것은 노쇠를 진단하는 간단한 접근 법이기도 하다. [33] ‘Usual gait speed’는 노인들의 생존과 연관되어 있다는 것이 알려져 있으며 [34], 지역 사회 거주 노인들의 낙상, 기능 저하, 요양 시설 입소, 그리고 사망과 같은 부정적 예후를 예측하는 도구로 다양하게 활용되고 있다. [11, 35] 그러나 ‘usual gait speed’가 일상생활에서의 보행 속도와 관련성이 떨어지기 때문에 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 대표하지 못한다는 연구도 있었다.[22]

이번 연구에서 측정된 일상 보행 속도(daily life gait speed)에 따르면 사람들은 하루 중 다른 시간보다 아침에 빠르게 걸었으며, 이는 근감소증을 가진 사람들도 마찬가지였다. 이른 아침에 빠르게 걷는 것은 지역 사회에 거주하는 사람들이 대개 아침에 정해진 시간까지 직장이나 다른 사회 활동을 하는 장소로 이동하기 때문일 것이다. 직장 유무와 관계없이 아침 시간의 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 빠른 것은 고령층의 아침 운동과도 관련이 있을 수 있다. 노인실태조사에서 고령층의 운동은 걷기가 차지하는 비율이 매우 큰데 운동 시간이 아침인 경우가 많기 때문이다.

연구 참가자들은 또한 주말보다 주중에 빠르게 걸었는데, 근감소증이 있는 참가자들에게는 그 차이가 유의하지 않았다. 이는 근감소증이 있는 참가자들은 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 느리고 특히 빠른 보행 속도로 걷는 경우가 적다는 것과 관련되어 있을 것이다. 근감소증이 없는 사람들은 자신의 평균 보행 속도보다 빠르게 걷는 횟수가 많았지만 근감소증이 있는 사람들은 그렇지 않았다는 사실이 이를 뒷받침한다. 보행 속도가 시간과 요일에 따라 다르고 그 분포가 매우 다양하기 때문에 검사실에서 1-2회 측정으로 얻어진 ‘usual gait speed’는 개인의 실제 보행 속도를 정확하게 반영하기는 어려울 수 있다. 이 연구에서 측정된 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 ‘usual gait speed’ 사이의 상관 분석에서도 Pearson 상관계수를 고려하면 그 관련성이 미미하였다.

[36] 또한 ‘usual gait speed’는 검사 시점의 일시적인 검사 대상자의 컨디션 및 의지가 결과에 영향을 미칠 가능성이 큰데, 지속적인 측정이 가능한 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 이용하여 이를 보완할 수 있다. 웨어러블 디바이스에 따라 보행 속도 측정 빈도는 차이가 있을 수 있으나 대부분 수천 회 이상의 일상 보행 속도(daily life gait speed) 데이터를 안정적으로 얻을 수 있기 때문에 임상적 판단에 더욱 신뢰할 수 있는 근거를 제시할 가능성이 크다. 추가적으로 보행 시간과 근감소증 관련 요인들과의 직접적인 상관관계는 명확하지 않았으나 일일 보행 시간이 긴 사람들이 일상생활에서 더 빠르게 걷는 경향을 보였다. 보행 관련 신체 활동의 증가가 아마도 근감소증의 감소와 연관되어 있을 것이다. [37]

통계적으로 유의하지는 않았으나 ‘usual gait speed’가 느린 사람이 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 변동 계수가 큰 경향성을 보인 것은 주목할 만하다. 연구 참가자들의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 분포를 보면 아마도 옥외에서 특정 목적을 가진 보행 동안 보일 수 있는 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 빠른 속도의 피크를 일반적으로 보이는데, 근감소증 참가자에서는 근감소증이 없는 참가자와 달리 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)보다 느린 속도의 추가적인 피크가 확인된다는 점으로 설명될 수 있다.

근감소증이 있는 참가자들은 근감소증이 없는 참가자에 비하여 일상 생활에서 유의하게 보행 속도가 느렸다. 근감소증 환자들은 신체 기능에서 다방면의 악화를 보인다는 점을 고려할 때 이 결과는 자연스럽다. [38, 39] 보행 속도는 신체수행 기능(physical performance)을 나타내는 대표적인 지표로 근감소증의 진단 기준에 포함되어 있다. [6, 7] 진단 기준에는 보통 4 m 혹은 6 m의 ‘usual gait speed’ 측정 결과가 포함되어 있는데, 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 근력 및 근육량과의 관련성을 고려하면 일상 보행 속도(daily life gait speed) 또한 근감소증 상태

를 비교적 정확히 반영할 수 있음을 알 수 있다

이번 연구에서 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 관련된 요인들을 확인하고 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 근감소증 사이의 관련성을 분석하기 위하여 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 평균값을 이용하였다. 사지 골격근량 뿐만 아니라 하지 골격근량에 대하여도 상관 분석을 시행하였는데, 이는 하지 근육량의 감소가 보행 속도의 감소와 연관되어 있다는 연구들을 [40][41] 참조하여 분석에 포함하였다. 분석을 통해 나이와 하지 골격근량이 평균 일상 보행 속도(daily life gait speed)와 유의하게 연관되어 있음을 확인하였는데, 이와 관련해서 보행 속도 감소가 고령과 연관되어 있다는 연구 결과가 있다. [42-44] 나이에 따른 보행 속도의 감소는 골격근량의 감소 이외에도 보행에 있어서 stance phase의 증가 등 복합적인 요인에 의한 것임이 알려져 있다.[45]

웨어러블 디바이스의 발달로 인하여 실제 세계에서 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 연속적으로 측정하는 것이 가능해졌다. 스마트 벨트 착용자는 특정 애플리케이션을 활용하여 그들의 평균 보행 속도를 일 단위, 주 단위, 또는 월 단위로 확인할 수 있다. 따라서 노인들은 실제로 자신들의 신체수행 기능(physical performance) 감소를 확인할 수 있으며 그런 경우에는 적극적인 중재를 위하여 병원 등 의료기관에 방문하는 것도 가능하다. 또한 정보통신기술을 활용하여 지역 사회에 거주하는 고령층의 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 변화를 주기적으로 파악하고 보행 속도의 감소가 확인된 경우 의료기관에서 근감소증 평가를 받도록 권유함으로써 근감소증 선별 검사 모델로 활용될 가능성이 있다.

4.2. 연구의 장점과 한계점

이 연구의 장점은 다음과 같다. 첫째, 10일 이상의 기간에 걸쳐 측정된 20만 회 이상의 일상 보행 속도(daily life gait speed) 데이터를 이용하여 분석이 이루어졌다. 따라서 현재 임상에서 사용되는 검사실에서 하루 중 특정 시점에 측정된 ‘usual gait speed’ 보다 연구 참가자의 실제 보행 속도를 더 정확하게 반영한다. 둘째, 참가자의 골격근량을 DXA를 이용한 표준적인 방법으로 정확하게 측정하였으며, 측정한 하지 골격근량과 일상 보행 속도(daily life gait speed) 사이에 통계적으로 유의한 상관관계가 확인되었다. 셋째, 이 연구를 통해 벨트 형태의 웨어러블 디바이스를 이용하여 장기간에 걸쳐 연속적으로 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 측정될 수 있음을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 향후에는 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 변화에 따른 부정적 예후의 예측과 같은 연구를 포함하여 보행 속도와 관련된 보다 정확한 종단 연구를 수행할 수 있을 것이다.

이 연구는 몇몇 한계점이 있다. 첫째, 본 연구는 연구 디자인상 단면 연구의 한계로 인하여 하지 골격근량과 일상 보행 속도(daily life gait speed) 사이의 관련성은 확인할 수 있으나 인과 관계 확인은 어렵다. 둘째, 이 연구는 남성만을 연구 참가자로 모집하였다. 그 이유는 연구의 나이 기준에 부합하는 한국 여성들은 벨트를 착용하지 않는 경우가 많은데, 연구자들은 연구 참가자들이 디바이스를 최대한 손쉽게 거부감없이 착용하기를 원했기 때문이다. 따라서 이 연구 결과를 여성들에게 바로 적용하는 것은 한계가 있다. 이 문제를 극복하기 위해서 연구자들은 2가지 정도의 해결책을 고려하고 있다. 한 가지는 벨트의 미관을 개선하여 여성들이 패션 액세서리의 하나로 착용할 수 있도록 하는 것이다. 다른 한 가지는 벨트의 버클 안에 디바이스의 핵심 구성품인 센서, 회로, 및 배터리가 들어 있는데 이 내용물을 포함한 플라스틱 케이스를 클립 형태로 제조하여 버클 위치에 끼울 수 있도록 하는 것이다. 셋째, 연구에서

사용한 웨어러블 디바이스의 보행 속도 측정 알고리즘이 완전히 검증되지 않는다는 것이다. 이전 연구에서 삼축 가속도계를 통해 heel-strike event를 감지하여 각각의 스텝을 확인하는 방법은 보행 속도 측정에 적합하다는 점을 보고한 바 있다. [32][21] 내부적으로 10명의 건강한 성인을 대상으로 하여 WELT를 이용하여 측정한 보행 데이터와 비디오 관독을 통한 보행 데이터를 비교하였을 때 평균 스텝 숫자는 $95.9 \pm 4.2\%$ 일치하였다. WELT의 스텝 감지 알고리즘의 민감도는 $87.9 \pm 2.8\%$ 이고, 양성 예측도는 $92.4 \pm 3.3\%$ 였다. 그러나 파킨슨병과 같은 신경학적 이상이나 관절 이상으로 인하여 병적 보행 패턴을 보이는 환자들의 보행 속도 관련 데이터는 없는 실정으로 이런 측면에서 웨어러블 디바이스를 이용한 보행 속도 측정의 유효성을 확인하기 위한 추가적인 연구가 필요하다. 마지막으로, WELT의 보행 속도 측정 알고리즘으로는 평지에서 보행과 계단 오르내리기와 같은 활동을 구분할 수 없기 때문에 측정된 일상 보행 속도(daily life gait speed) 값 안에 다양한 형태의 활동이 포함될 수 있으며 이를 분리하여 각각의 속도를 계산할 수 없다. 웨어러블 디바이스에 위치 개념을 추가할 수 있다면 특정 활동을 나누어 분석하는 것도 가능할 것이다.

제5장 결론

웨어러블 디바이스를 이용하여 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 측정함으로써 보행 속도에 대한 다양하고 정확한 정보를 얻을 수 있다. 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 ‘usual gait speed’에 비하여 기간에 걸쳐 연속적으로 측정될 수 있는 장점이 있기 때문에 검사 시점의 검사 대상자의 컨디션 및 의지가 결과에 영향을 미칠 가능성이 크다는 ‘usual gait speed’의 단점을 보완할 수 있다. 근감소증이 있는 사람은 일상 보행 속도(daily life gait speed)가 느릴 뿐 아니라 일상 보행 속도(daily life gait speed)의 분포도 근감소증이 없는 사람과 차이가 있으며 일상 보행 속도(daily life gait speed)는 나이 및 하지 골격근량과 유의하게 관련되어 있다. 보행 속도는 신체수행 기능(physical performance)을 반영하는 대표적인 지표이기 때문에 노인들은 실생활에서 자신의 보행 속도를 확인하면서 신체수행 기능(physical performance) 감소 여부를 알아낼 수 있을 것이다. 웨어러블 디바이스를 이용하여 장기간에 걸쳐 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 연속적으로 측정하는 것이 가능하기 때문에 일상 보행 속도(daily life gait speed) 데이터는 향후 다양한 종단 연구에 이용될 수 있을 것이다.

본 연구는 일상 보행 속도(daily life gait speed)를 측정하여 중요한 기능 상태를 평가하기 위한 도구로 웨어러블 디바이스를 사용할 수 있도록 근거를 제공하는 의미 있는 연구이며, 향후 웨어러블 디바이스를 이용한 근감소증 선별검사 모델 개발에 근거를 제공하는 연구로 활용될 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Kontis V, Bennett JE, Mathers CD, Li G, Foreman K, Ezzati M. Future life expectancy in 35 industrialised countries: projections with a Bayesian model ensemble. *Lancet* (London, England). 2017 Apr 1;389(10076):1323-35.
2. Mitnitski A, Collerton J, Martin-Ruiz C, Jagger C, von Zglinicki T, Rockwood K, et al. Age-related frailty and its association with biological markers of ageing. *BMC medicine*. 2015 Jul 13;13:161.
3. Klein BE, Klein R, Knudtson MD, Lee KE. Frailty, morbidity and survival. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2005 Sep-Oct;41(2):141-9.
4. Mach M, Watzal V, Hasan W, Andreas M, Winkler B, Weiss G, et al. Fitness-Tracker Assisted Frailty-Assessment Before Transcatheter Aortic Valve Implantation: Proof-of-Concept Study. *JMIR mHealth and uHealth*. 2020 Oct 15;8(10):e19227.
5. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The journals of gerontology Series A, Biological sciences and medical sciences*. 2001 Mar;56(3):M146-56.
6. Chen LK, Woo J, Assantachai P, Auyeung TW, Chou MY, Iijima K, et al. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2020 Mar;21(3):300-7.e2.
7. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O,

Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and ageing*. 2019 Jan 1;48(1):16-31.

8. Hoogendijk EO, Afilalo J, Ensrud KE, Kowal P, Onder G, Fried LP. Frailty: implications for clinical practice and public health. *Lancet (London, England)*. 2019 Oct 12;394(10206):1365-75.

9. Janssen I, Shepard DS, Katzmarzyk PT, Roubenoff R. The healthcare costs of sarcopenia in the United States. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2004 Jan;52(1):80-5.

10. Kirk PS, Friedman JF, Cron DC, Terjimanian MN, Wang SC, Campbell DA, et al. One-year postoperative resource utilization in sarcopenic patients. *The Journal of surgical research*. 2015 Nov;199(1):51-5.

11. Abellan van Kan G, Rolland Y, Andrieu S, Bauer J, Beauchet O, Bonnefoy M, et al. Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The journal of nutrition, health & aging*. 2009 Dec;13(10):881-9.

12. Perez-Sousa MA, Venegas-Sanabria LC, Chavarro-Carvajal DA, Cano-Gutierrez CA, Izquierdo M, Correa-Bautista JE, et al. Gait speed as a mediator of the effect of sarcopenia on dependency in activities of daily living. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2019 Oct;10(5):1009-15.

13. Middleton A, Fritz SL, Lusardi M. Walking speed: the functional vital sign. *Journal of aging and physical activity*. 2015 Apr;23(2):314-22.

14. Karpman C, Lebrasseur NK, Depew ZS, Novotny PJ, Benzo RP. Measuring gait speed in the out-patient clinic: methodology and feasibility. *Respiratory care*. 2014 Apr;59(4):531-7.
15. Jung HW, Roh HC, Kim SW, Kim S, Kim M, Won CW. Cross-Comparisons of Gait Speeds by Automatic Sensors and a Stopwatch to Provide Converting Formula Between Measuring Modalities. *Annals of geriatric medicine and research*. 2019 Jun;23(2):71-6.
16. Cesari M, Kritchevsky SB, Penninx BW, Nicklas BJ, Simonsick EM, Newman AB, et al. Prognostic value of usual gait speed in well-functioning older people--results from the Health, Aging and Body Composition Study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2005 Oct;53(10):1675-80.
17. Hardy SE, Perera S, Roumani YF, Chandler JM, Studenski SA. Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2007 Nov;55(11):1727-34.
18. Li X, Dunn J, Salins D, Zhou G, Zhou W, Schüssler-Fiorenza Rose SM, et al. Digital Health: Tracking Physiomes and Activity Using Wearable Biosensors Reveals Useful Health-Related Information. *PLoS biology*. 2017 Jan;15(1):e2001402.
19. Kim KI, Gollamudi SS, Steinhubl S. Digital technology to enable aging in place. *Experimental gerontology*. 2017 Feb;88:25-31.
20. Mueller A, Hoefling HA, Muaremi A, Praestgaard J, Walsh LC, Bunte O, et al. Continuous Digital Monitoring of Walking Speed

in Frail Elderly Patients: Noninterventional Validation Study and Longitudinal Clinical Trial. *JMIR mHealth and uHealth*. 2019 Nov 27;7(11):e15191.

21. Fortune E, Lugade V, Morrow M, Kaufman K. Validity of using tri-axial accelerometers to measure human movement - Part II: Step counts at a wide range of gait velocities. *Medical engineering & physics*. 2014 Jun;36(6):659-69.

22. Van Ancum JM, van Schooten KS, Jonkman NH, Huijben B, van Lummel RC, Meskers CGM, et al. Gait speed assessed by a 4-m walk test is not representative of daily-life gait speed in community-dwelling adults. *Maturitas*. 2019 Mar;121:28-34.

23. Takayanagi N, Sudo M, Yamashiro Y, Lee S, Kobayashi Y, Niki Y, et al. Relationship between Daily and In-laboratory Gait Speed among Healthy Community-dwelling Older Adults. *Scientific reports*. 2019 Mar 5;9(1):3496.

24. Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, Ahadi Z, Larijani B, Heshmat R. Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta-analysis of general population studies. *Journal of diabetes and metabolic disorders*. 2017;16:21.

25. Harada H, Kai H, Shibata R, Niiyama H, Nishiyama Y, Murohara T, et al. New diagnostic index for sarcopenia in patients with cardiovascular diseases. *PloS one*. 2017;12(5):e0178123.

26. Tomasi J, editor. Development and Evaluation of a Sensor System to Monitor the Stance-Phase Control Function of the Automatic Stance-Phase Lock (ASPL) Mechanism. 2016.

27. Grieve DW, Gear RJ. The relationships between length of stride, step frequency, time of swing and speed of walking for children and adults. *Ergonomics*. 1966 Sep;9(5):379-99.
28. Guest R, Miguel-Hurtado O, Stevenage S, Black S. Exploring the relationship between stride, stature and hand size for forensic assessment. *Journal of forensic and legal medicine*. 2017 Nov;52:46-55.
29. Choi JY, Kim KI, Choi Y, Ahn SH, Kang E, Oh HK, et al. Comparison of multidimensional frailty score, grip strength, and gait speed in older surgical patients. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2020 Apr;11(2):432-40.
30. Guerri S, Mercatelli D, Aparisi Gómez MP, Napoli A, Battista G, Guglielmi G, et al. Quantitative imaging techniques for the assessment of osteoporosis and sarcopenia. *Quantitative imaging in medicine and surgery*. 2018 Feb;8(1):60-85.
31. Lee SY, Ahn S, Kim YJ, Ji MJ, Kim KM, Choi SH, et al. Comparison between Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Bioelectrical Impedance Analyses for Accuracy in Measuring Whole Body Muscle Mass and Appendicular Skeletal Muscle Mass. *Nutrients*. 2018 Jun 7;10(6).
32. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *Journal of chronic diseases*. 1987;40(5):373-83.
33. Castell MV, Sánchez M, Julián R, Queipo R, Martín S, Otero Á. Frailty prevalence and slow walking speed in persons age 65 and

older: implications for primary care. *BMC family practice*. 2013 Jun 19;14:86.

34. Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, et al. Gait speed and survival in older adults. *Jama*. 2011 Jan 5;305(1):50-8.

35. Verghese J, Holtzer R, Lipton RB, Wang C. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *The journals of gerontology Series A, Biological sciences and medical sciences*. 2009 Aug;64(8):896-901.

36. Mukaka MM. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal : the journal of Medical Association of Malawi*. 2012 Sep;24(3):69-71.

37. Yoo SZ, No MH, Heo JW, Park DH, Kang JH, Kim SH, et al. Role of exercise in age-related sarcopenia. *Journal of exercise rehabilitation*. 2018 Aug;14(4):551-8.

38. Cesari M, Landi F, Vellas B, Bernabei R, Marzetti E. Sarcopenia and physical frailty: two sides of the same coin. *Frontiers in aging neuroscience*. 2014;6:192.

39. Dutta C, Hadley EC, Lexell J. Sarcopenia and physical performance in old age: overview. *Muscle & nerve Supplement*. 1997;5:S5-9.

40. Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E, et al. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *Journal of the*

American Geriatrics Society. 2002 May;50(5):897-904.

41. Beavers KM, Beavers DP, Houston DK, Harris TB, Hue TF, Koster A, et al. Associations between body composition and gait-speed decline: results from the Health, Aging, and Body Composition study. *The American journal of clinical nutrition*. 2013 Mar;97(3):552-60.

42. Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, Paterson DH. Age-related changes in speed of walking. *Medicine and science in sports and exercise*. 1988 Apr;20(2):161-6.

43. Busch Tde A, Duarte YA, Pires Nunes D, Lebrão ML, Satya Naslavsky M, dos Santos Rodrigues A, et al. Factors associated with lower gait speed among the elderly living in a developing country: a cross-sectional population-based study. *BMC geriatrics*. 2015 Apr 1;15:35.

44. Piasecki M, Ireland A, Jones DA, McPhee JS. Age-dependent motor unit remodelling in human limb muscles. *Biogerontology*. 2016 Jun;17(3):485-96.

45. Lord SR, Lloyd DG, Li SK. Sensori-motor function, gait patterns and falls in community-dwelling women. *Age and ageing*. 1996 Jul;25(4):292-9.

ABSTRACT

Characteristics of Daily Life Gait Speed Measured Using Smart Belt (WELT) and Association between Daily Life Gait Speed and Sarcopenia

Min-gu Kang

Department of Medicine

The Graduate School

Seoul National University

Gait speed measurements are widely used in clinical practice, as slow gait is a major predictor of frailty and a diagnostic criterion for sarcopenia. In clinical practice, ‘usual gait speed’, which is measured at one point in time in a laboratory, is commonly used, but it has some disadvantages. First, it is difficult to be measured continuously. Second, the condition and will of the subject at the time of the examination are likely to affect the results. Wearable devices are developing very rapidly, and it is becoming possible to measure various bio-signals and body functions through wearable sensors. In particular, it is possible to estimate the gait speed in daily life by

simply wearing the device. This study aims to accurately determine the characteristics of daily life gait speed and analyze their association with sarcopenia. We invited community-dwelling men aged >50 years who had visited the outpatient clinic at a tertiary university hospital to participate in the study. Daily life gait speed was assessed using a wearable smart belt (WELT) for a period of 4 weeks. Data from participants who wore the smart belt for at least 10 days during this period were included. After 4 weeks, data from a survey about medical and social history, 'usual gait speed' measurements, handgrip strength measurements, and dual-energy x-ray absorptiometry were analyzed. A total of 217,578 daily life gait speed measurements from 106 participants (mean age 71.1 ± 7.6 years) were analyzed. The mean daily life gait speed was 1.23 ± 0.26 m/s and average walking time per day was 88.0 ± 40.2 minutes. The daily life gait speed of the participants varied according to the time of the day and day of the week. Participants walked the fastest between 5 AM and 7 AM ($P < 0.001$), weekday daily life gait speed was significantly faster than weekend gait speed ($P < 0.001$). Walking time per day differed significantly on weekdays and weekends ($P < 0.001$). Daily life gait speed was significantly slower as people got older ($P < 0.001$), and incumbent participants walked faster in their daily lives than retired participants ($P < 0.001$). In the analysis of the correlation between daily life gait speed and 'usual gait speed', only a negligible correlation was confirmed. However, in the analysis of the correlation between mean daily life gait speed and 'usual gait speed',

a moderate positive correlation was confirmed (Pearson $r=0.504$; $P<0.001$). A total of 13 participants (12.3%) were diagnosed with sarcopenia based on the diagnostic criteria of the Asian Working Group for Sarcopenia. Participants with sarcopenia had significantly lower mean daily life gait speed (mean 1.12 ± 0.11 m/s) than participants without sarcopenia (mean 1.23 ± 0.08 m/s; $P<0.001$). Participants with sarcopenia differed from those without sarcopenia in that they showed two peaks in the distribution of daily life gait speed. Participants with sarcopenia walked faster from 5 AM to 7 AM than at other times of the day ($P<0.001$); however, there were no significant differences between weekday and weekend gait speeds ($P=0.64$). Sarcopenic participants had significantly less walking time per day than participants without sarcopenia ($P=0.03$). Analysis of factors related to mean daily life gait speed showed that age, height, comorbidity index, grip strength, appendicular skeletal muscle mass, and skeletal muscle mass of the lower limbs were significantly correlated characteristics in correlation analysis. Additionally, it was confirmed through linear regression analysis that age and skeletal muscle mass of the lower limbs were significantly associated with mean daily life gait speed. More diverse and accurate information about gait speed can be obtained by measuring daily life gait speed using a wearable device over an appropriate period, compared with one-time measurements performed in a laboratory setting. Since the daily life gait speed can be continuously measured, the disadvantage of the 'usual gait speed' can be compensated for. Participants with

sarcopenia not only have a slower daily life gait speed, but also the distribution of daily life gait speed is different from that of participants without sarcopenia. Daily life gait speed is significantly associated with age and skeletal muscle mass of the lower limbs. As gait speed is a representative indicator of physical performance, older individuals would be able to detect a decrease in physical performance in real life by checking their daily life gait speed.

**keywords : gait speed, sarcopenia, skeletal muscle mass,
wearable device**

Student Number : 2018-32712

감사문

이 논문은 분당 서울대학교병원의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다.
(과제번호: SNUBH 14-2018-001) 연구 지원자는 본 연구의 연구 설계,
데이터 수집, 데이터 해석, 및 원고 작성에 관여하지 않았음을 밝힙니다.