



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](#)

스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반
동작분석장치를 이용한 노인 신체 기능
평가의 디지털화

연세대학교 대학원
의료기기산업학과
박 경 민

스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반
동작분석장치를 이용한 노인 신체 기능
평가의 디지털화

지도교수 박 중 현

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2023년 12월

연세대학교 대학원

의료기기산업학과

박 경 민

박경민의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 홍중현 인

심사위원 조병우 인

심사위원 김기승 인

연세대학교 대학원

2023년 12월

감사의 글

어느덧 2년이라는 시간이 흘러 석사과정을 무사히 마칠 수 있었습니다. 저의 석사과정 동안 도움을 주신 분들께 깊은 감사의 인사를 드리고자 합니다.

먼저, 부족했던 저에게 많은 가르침을 주시고, 연구의 시작부터 끝까지 무사히 마칠 수 있도록 지도와 지원을 아끼지 않으셨던 지도교수님이신 박중현 교수님께 진심으로 감사드립니다. 따뜻한 격려와 세심한 지도를 해주신 김기송 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 논문의 완성도를 높일 수 있게 지도해 주신 조병우 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 또한, 저와 함께 연구를 진행하며, 많은 도움을 주신 장찬웅 선생님께서도 감사드립니다.

언제나 저를 믿고 응원과 격려를 해주시며, 학업에 전념할 수 있도록 지원을 해주신 부모님께 감사드립니다. 미처 언급하지 못한 모든 분께 감사의 인사를 드립니다.

항상 제가 받은 도움에 감사하며 겸손하고 베풀 수 있는 사람으로 성장하도록 노력하겠습니다. 감사합니다.

박경민 올림

차 례

그림 차례	iii
표 차례	v
국문 요약	vi
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	5
1. 연구대상자	5
2. FTSST 측정 프로토콜	6
3. FTSST 측정 기기	7
가. 스마트 인솔	7
나. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치	8
4. 자료 처리 및 분석	10
가. 스마트 인솔 분석	10
나. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 분석	11
다. 공변량	12
5. 통계적 분석	14
가. 대상자 수	14
나. 평가방법	14

Ⅲ. 결 과	15
1. 연구대상자 특성	15
2. 평가자 신뢰도 분석	16
3. 스마트 인솔-스톱위치 FTSST 결과 비교	17
4. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치-스톱위치 FTSST 결과 비교	20
5. 스마트 인솔-RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 FTSST 결과 비교	23
6. FTSST 임상적 관련성 평가	26
Ⅳ. 고 찰	27
Ⅴ. 결 론	31
참고 문헌	32
부 록	37
Abstract	46

그림 차례

그림 1 5번 앉았다 일어서기 검사	2
그림 2 착석 및 기립 상태	6
그림 3 스마트 인솔	7
그림 4 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치	8
그림 5 구조광(Structured-Light) 원리	8
그림 6 스마트 인솔 족저압 그래프	10
그림 7 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 머리 높낮이 그래프	11
그림 8 스마트 인솔 - 스톱워치 시간 일치도 비교 (상관관계)	18
그림 9 스마트 인솔 - 스톱워치 시간 일치도 비교 (Bland-Altman plot)	18
그림 10 스마트 인솔 - 스톱워치 점수 일치도 비교 (Jitter scatter plot)	19
그림 11 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 시간 일치도 비교 (상관관계)	21

그림 12 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치	
시간 일치도 비교 (Bland-Altman plot).....	21
그림 13 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치	
점수 일치도 비교 (Jitter scatter plot).....	22
그림 14 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치	
시간 일치도 비교 (상관관계).....	24
그림 15 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치	
시간 일치도 비교 (Bland-Altman plot).....	24
그림 16 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치	
점수 일치도 비교 (Jitter scatter plot).....	25

표 차례

표 1 5번 앉았다 일어서기 검사 동작 수행 시간 점수	2
표 2 RGB-D 카메라 성능	9
표 3 연구대상자 특성	15
표 4 평가자 신뢰도 분석	16
표 5 스마트 인솔-스톱워치 시간 일치도	17
표 6 스마트 인솔-스톱워치 점수 일치도	17
표 7 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 시간 일치도	20
표 8 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 점수 일치도	20
표 9 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 시간 일치도	23
표 10 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 점수 일치도	23
표 11 FTSST 임상적 관련성	26

국문 요약

스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한

노인 신체 기능 평가의 디지털화

5번 앉았다 일어나기 검사(Five times sit to stand test, FTSST)는 의자에 앉아 양팔을 사용하지 않고 앉은 상태에서 일어서는 동작을 최대한 빠르게 5회 반복한 동작 수행 시간을 측정하는 노인 신체 기능 평가 중 하나이다. FTSST는 하지 근력 측정, 낙상 예측 등 다양한 목적으로 시행되며, 일반적으로 검사자가 스톱워치를 이용하는 수동적인 측정 방법을 사용한다. 그러나 선행연구에서 수동적인 측정 방법은 인적 오류로 인해 결과값에 영향을 줄 수 있음이 보고되었다. 따라서 본 연구는 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한 FTSST의 새로운 측정 방법을 제안한다. 본 연구에서 총 37명을 대상으로 3가지 측정 방법을 동시에 적용하여 FTSST의 동작 수행 시간과 점수 일치도를 분석하였다. 본 연구를 통해 두 장비가 기존의 수동적인 스톱워치 측정 방법의 인적 오류를 최소화하고, 대체할 수 있는 과학적 평가 방법임을 보여준다.

핵심되는 말: 노인 신체 기능 평가, 5번 앉았다 일어서기 검사, 스마트 인솔, RGB-D 카메라

스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한

노인 신체 기능 평가의 디지털화

<지도교수 박 중 현>

연세대학교 대학원 의료기기산업학과

박 경 민

I. 서론

앉았다 일어서기 검사는 1985년에 Csuka와 McCarty가 하지의 근력 측정을 목적으로 처음 도입하였다. 이 검사는 방법 자체가 간단하고, 소요 시간이 짧으며, 공간의 제약이 없는 장점이 있다. 균형 기능 장애의 선별, 낙상 예측, 뇌졸중 환자의 근력 평가 등의 목적으로 사용되고 있으며, 그 활용도가 점차 증가하고 있다. 앉았다 일어서는 동작의 반복 횟수와 동작 수행 시간에 따른 평가는 선행연구마다 조금씩 다르게 사용된다.¹⁻⁵

일반적으로 5번 앉았다 일어서기 검사(Five Times Sit to Stand Test, FTSST)는 노인의 신체 기능 수준을 평가하기 위한 간편신체기능평가(Short Physical Performance Battery, SPPB)의 3가지 검사 중 하나로 사용된다.⁶ FTSST의 표준화된 검사 방법은 대상자가 팔걸이 없는 의자에 앉아 양팔을 교차로 가슴에 얹고 최대한 빠르게 의자에서 일어서고 앉는 동작을 반복하여 다섯 번째 기립 상태까지의 소요된 시간을 검사자가 스톱워치를 이용하여 측정한다(그림 1). 측정된 동작 수행 시간에 따라 0~4점으로 평가한다(표 1).⁶ 그러나 수동적인 스톱워치 방법은 검사자의 숙련도와 경험에 따른 인적 오류가

발생할 가능성이 있으며, 이로 인한 측정 시간의 오차가 결과값에 영향을 줄 수 있음이 보고 되었다.⁷ 이는 인적 오류가 배제된 정확한 동작 수행 시간 측정의 중요성과 신뢰성 높은 과학적인 새로운 측정 방법 개발의 필요성을 보여 준다.

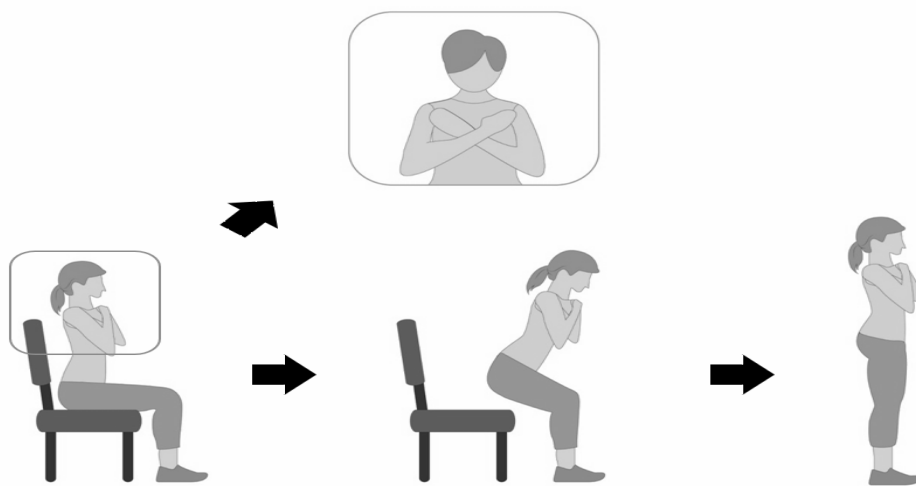


그림 1. 5번 앉았다 일어서기 검사(FTSST)

표 1. 5 번 앉았다 일어서기 검사(FTSST) 동작 수행 시간 점수

Time (Sec)	Score
11.1 or less	4
11.2 - 13.6	3
13.7 - 16.6	2
16.7 - 60.0	1
>60.0 or Unable	0

최근 이러한 인적 오류를 최소화하고, FTSST의 정확도와 신뢰성을 높이기 위한 연구들이 보고되었다. 관성센서(Inertial measurement unit, IMU)를 내장한 안경이나 벨트를 이용한 측정 방법, 여러 대의 카메라를 이용한 측정 방법, 압력센서(Load cell)와 LiDAR (Light detection and ranging) 센서가 삽입된 패드를 이용한 측정 방법 등이 있다.⁸⁻¹¹ 이러한 연구들은 단순히 동작 수행 시간을 정확하게 측정하는 것이 아닌 검사 시 가속도, 착석 압력 등과 같은 추가적인 정보를 획득할 수 있으며, 이를 통해 신체 상태를 정밀하게 파악할 수 있다는 장점이 보고되었다.

그러나 선행연구에서 몇 가지 제한점들이 있었다. 관성센서를 이용한 측정 방법은 벨트 또는 안경 등에 관성센서를 부착하여 신체에 착용 후 동작 수행 속도를 이용한 검사 방법을 사용하였다.^{8,9} FTSST는 신체 기능 평가이므로 신체에 부착하여 측정하는 방법은 앉고 일어서는 동작 중 불편함을 유발할 수 있다. 이로 인해 동작 수행 시간이 평소보다 느리게 측정되어 결과에 영향을 줄 가능성이 있다. 카메라를 이용한 측정 방법은 3대의 카메라를 여러 각도에 설치하고, 신체의 이미지를 3차원으로 추출하여 검사하는 방법을 사용하였다.¹⁰ 카메라의 복잡한 설치 과정과 시간, 공간의 제약적인 측면에서 효율성이 떨어져 임상 평가로 적절하지 않을 수 있다. 압력센서와 LiDAR 센서를 융합하여 측정하는 방법은 압력센서로 대상자의 체중을 측정하여 시간에 따른 압력 변화를 추정하고, LiDAR 센서로 대상자의 엉덩이까지의 거리를 측정하여 시간에 따른 거리 변화를 추정하는 방법을 사용하였다.¹¹ 이 방법은 평가자 간의 오류를 줄이고 검사의 정확도를 높였으나, 고가의 센서를 사용하여 경제적인 부담이 발생된다.

선행연구에서 사용한 측정 방법의 단점들을 보완하고자 스마트 인솔과 RGB-D (Red Green Blue-Depth) 카메라 기반 동작분석장치를 이용한 과학적

측정 방법을 새롭게 제안하고자 한다. 일반적으로 스마트 인솔은 압력센서와 가속도센서가 내장되어 있어 족저압, 보행 속도, 보행 거리, 걸음 수 등 다양한 매개변수 측정이 가능하다. 이전의 연구에서 스마트 인솔의 족저압 측정 신뢰도는 입증되었다.¹² 이러한 측정 변수의 다양성과 신뢰도를 바탕으로 보행 분석, 당뇨병성 족부질환 모니터링 등 의료 분야에서 활용도가 높아지고 있다.¹³⁻¹⁵ 대부분의 사람들은 신발을 신고 활동하는 것에 익숙하며, 각 사용자의 발 크기에 맞는 신발에 삽입하여 사용할 수 있어 웨어러블 측정 방법의 불편함을 최소화할 수 있다. 또한, 일반 병원에서 사용하는 발판형 족저압 측정 장비보다 저렴하고, 무선 연결이 가능하여 공간제약을 받지 않는다.

RGB-D 카메라는 2010년 처음 Microsoft Kinect v1 제품에서 비디오 게임용 신체 동작 인식 장비로 사용되었다. 그 후 근적외선, 초음파, 레이저 등으로 사물의 거리를 측정하는 기술인 TOF (Time of flight), 물체에 특정 패턴을 투영하고, 카메라로 투영된 물체를 분석하여 3차원의 정보를 얻는 구조광(structured light) 방법 등을 이용하여 신체 추적 알고리즘을 갖춘 여러 가지 제품들이 출시되었다. 최근 이러한 기술들을 통해 보행 평가, 자세, 균형 평가 등 의료의 다양한 분야 연구로 확장되고 있다.¹⁶⁻²⁰ RGB-D 카메라는 기존의 모션캡처 장비(Vicon)에 비해 저렴하고, 간단한 설치 과정과 인체에 별도의 마킹 없이 신체 관절의 위치를 추정하여 움직임을 추적할 수 있는 장점을 가지고 있다.

선행연구들에서 다양한 센서를 이용한 FTSST 측정 방법을 제안했으나, 지금까지 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한 FTSST 측정 방법을 제시한 연구는 없었다. 본 연구는 표준화된 스톱워치 측정 방법과 스마트 인솔 측정 방법, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 측정 방법의 일치도를 분석하여 FTSST의 새로운 과학적 측정 방법을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상자

본 연구는 강남세브란스병원 재활의학과에 내원한 외래환자 또는 입원환자 중 선정 기준에 부합하는 환자 40명을 대상으로 연구윤리심의위원회의 승인 후 진행한 연구이다(승인 번호: 3-2022-0440). 선정 기준은 1) 만 50세 이상, 2) 독립 보행이 가능한 자(보행 보조기기를 사용하여 걸어도 포함), 3) 동의서 작성 및 의료진의 검사 수행 지시에 따를 수 있는 인지기능을 가진 대상자이다. 제외 기준은 1) 독립 보행을 하지 못하거나 기립 상태를 유지하는 것이 불가능한 대상자, 2) 급성 내과적 또는 외과적 문제가 있는 대상자, 3) 검사 수행에 동의하지 않은 대상자, 4) 인지기능 저하로 인해 동의서 작성 및 의료진의 검사 수행 지시를 따를 수 없는 대상자이다.

2. FTSST 측정 프로토콜

먼저, 대상자의 발 크기에 맞는 스마트 인솔이 장착된 신발을 착용하고, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 앞에 위치한 팔걸이가 없는 의자에 앉아 준비하였다. 검사 시작 전 정확한 측정을 위해 모든 연구대상자에게 FTSST 측정 방법에 대한 교육이 이루어졌으며, 최소 1 회 이상 앉았다 일어서기 연습을 진행하였다(그림 2). 검사는 준비된 의자 등받이에 등을 기대어 앉아 양손을 교차로 어깨에 올린 뒤 숙련된 검사자의 “시작” 구두지시에 따라 최대한 빠르게 5 회 앉았다 일어서는 동작을 반복하였고, 다섯 번째 완전 기립 상태까지 동작 수행 시간을 3 가지 방법(스톱워치, 스마트 인솔, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치)으로 동시에 측정하였다. FTSST 점수는 동작 수행 시간에 따라 표 1 을 참고하여 환산하였다. 본 연구의 FTSST 측정 방법은 선행연구를 참고하여 표준화된 방법을 사용하였다.⁶

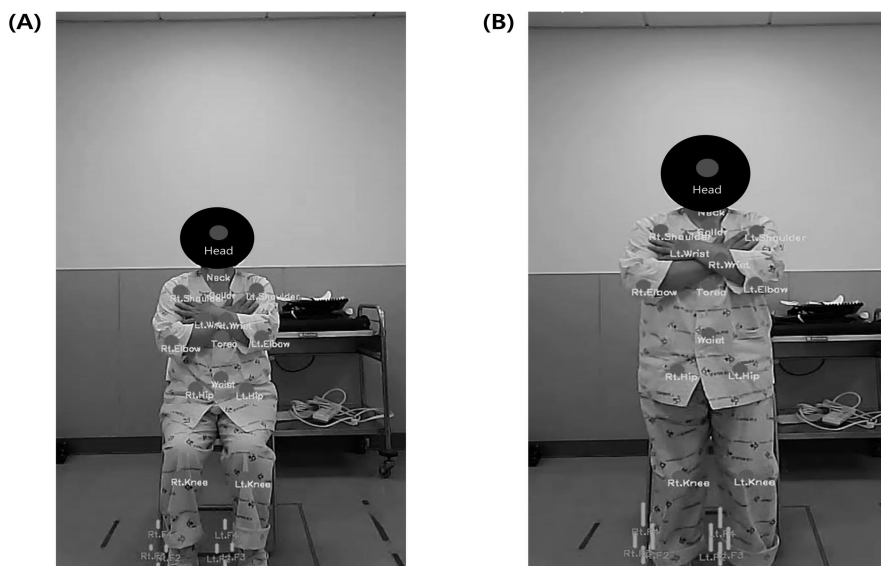


그림 2. 착석 및 기립 상태

3. FTSST 측정 기기

가. 스마트 인솔

스마트 인솔(I-SOL, Gilon Inc., Seongnam, Republic of Korea)은 4 개의 FSR (Force sensitive resistor) 압력센서와 1 개의 3 축 가속도센서, 블루투스 4.2 BLE 모듈, 동전형 배터리(CR2032)로 구성되어 있다(그림 3). FSR 압력센서는 족무지(hallux), 내측 전족부(medial forefoot), 외측 전족부(lateral forefoot), 후족부(heel)에 각각 하나씩 장착되어 있다. 14 mm 의 크기의 FSR 압력센서로 압력이 가해지면 전기 저항이 감소하여 압력의 변화를 40 Hz 빈도로 감지한다. 가속도센서는 신발의 움직임을 감지하고 가속도와 방향을 측정한다. 또한, 이 블루투스 4.2 BLE 모듈로 인솔이 스마트폰 등 다른 장치와 통신할 수 있다. 이 인솔의 무게는 60 g 이며, 230 mm 에서 280 mm 까지 신발에 착용할 수 있다.

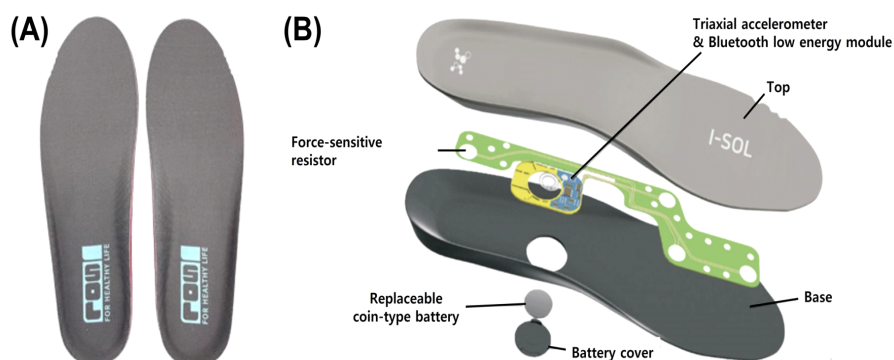


그림 3. 스마트 인솔

나. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치

RGB-D 카메라 기반 동작분석장치(Motiphysio Pro, MG solutions Co.,Ltd., Seoul, Republic of Korea)는 본체, 모니터, RGB-D 카메라(Astra Pro, Orbbec 3D Technology International, Inc. Troy, MI, USA)로 구성되어 있다(그림 4). 이 RGB-D 카메라는 프로젝터를 통해 코드화된 패턴 영상을 연속적으로 투영하고 카메라에서 투영된 장면의 영상을 획득하는 구조광 원리를 사용하여 카메라를 기준으로 각 관절점의 3차원 위치를 추정한다(그림 5).²¹ 이 장비는 총 19개의 관절점의 위치를 정량화된 X, Y, Z 값으로 표현한다(표 2).

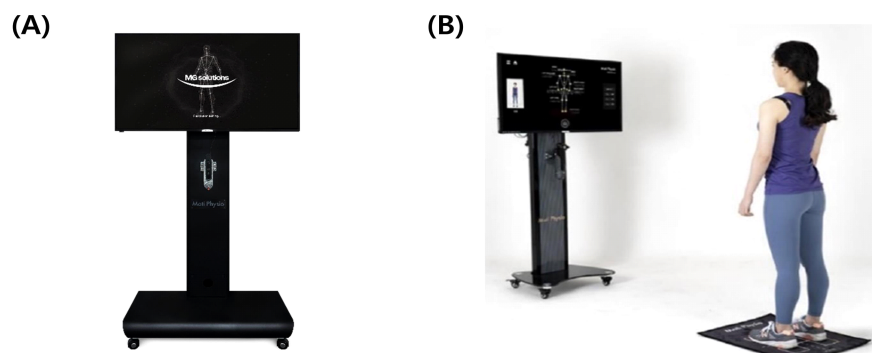


그림 4. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치

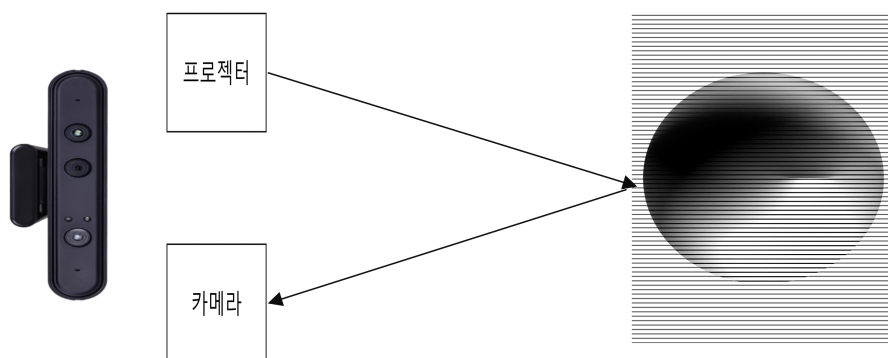
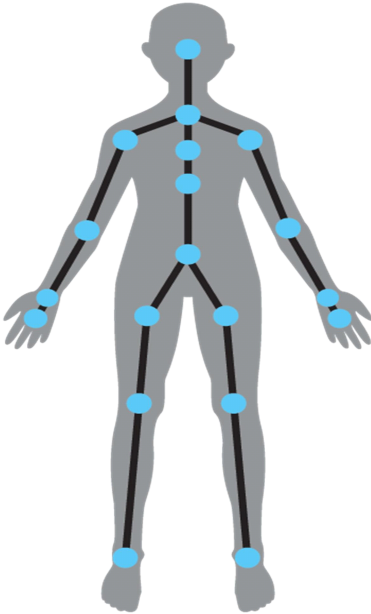


그림 5. 구조광(Structured-Light) 원리

표 2. RGB-D 카메라 성능

제품명	Astra Pro
제품 사진	
깊이 카메라 해상도	640 × 480 @30fps
RGB 이미지 해상도	1280 × 720 @30fps
깊이 FOV	60 °H × 49.5 °V × 73 °D
최적의 측정 범위	0.6 - 8.0 m
신체 추적 관절점	

4. 자료 처리 및 분석

가. 스마트 인솔 분석

스마트 인솔의 FTSST 분석 방법은 족저압을 활용하였다. 양발의 족무지, 내측 전족부, 외측 전족부, 후족부 총 8개의 FSR 압력센서에서 얻은 압력 변화의 상대적 수치(0 ~ 1,023)를 선행연구에서 사용한 식을 참고하여 압력 값 킬로파스칼(kPa) 단위로 환산하였다(식 1).¹² 환산된 총 8개의 압력 값을 합산하여 시간에 따른 족저압 그래프로 시각화하였다. 족저압 그래프 분석은 처음 압력이 낮은 지점에서 증가하기 시작하는 점을 FTSST 시작 단계로 정의하였고, 그래프의 다섯 번째 봉우리에서 가장 압력이 높은 지점을 완전 기립 상태인 종료 지점으로 정의하였다. 독립된 두 평가자가 정의한 시작점과 종료점을 고려하여 FTSST 동작 수행 시간을 측정하고, 두 평가자가 측정한 시간의 평균값을 스마트 인솔 FTSST 측정 방법으로 사용하였다(그림 6).

$$\text{Pressure kPa} = 10.7835 + 0.0587 \times \text{FSR} + 0.0004 \times \text{FSR}^2 \text{ [식 1]}$$

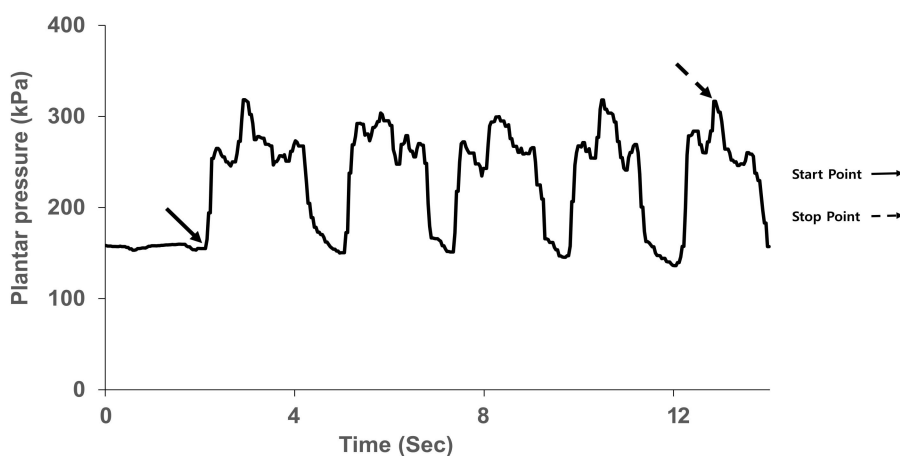


그림 6. 스마트 인솔 족저압 그래프

나. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 분석

RGB-D 카메라 기반 동작분석장치는 의복, 의자 등 여러 방해 요소로 인해 관절 인식의 오류 가능성을 고려하여 19개의 골격점 중 머리를 기준으로 설정하였다. RGB-D 카메라를 기준으로 측정된 머리 높이 값을 시간에 따른 머리 높낮이 그래프로 시각화하였다. 스마트 인솔 측정 방법과 유사하게, 동작의 시작 단계는 처음 머리 높이가 낮은 지점에서 높이가 상승하는 지점으로 정의하였다. 그래프의 다섯 번째 봉우리에서 최댓값을 완전 기립 상태인 종료 지점으로 정의하였다. 독립된 두 평가자가 정의한 시작점과 종료점을 고려하여 동작 수행 시간을 각각 측정하고, 두 평가자가 측정한 시간의 평균값을 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 FTSST 측정 방법으로 사용하였다(그림 7).

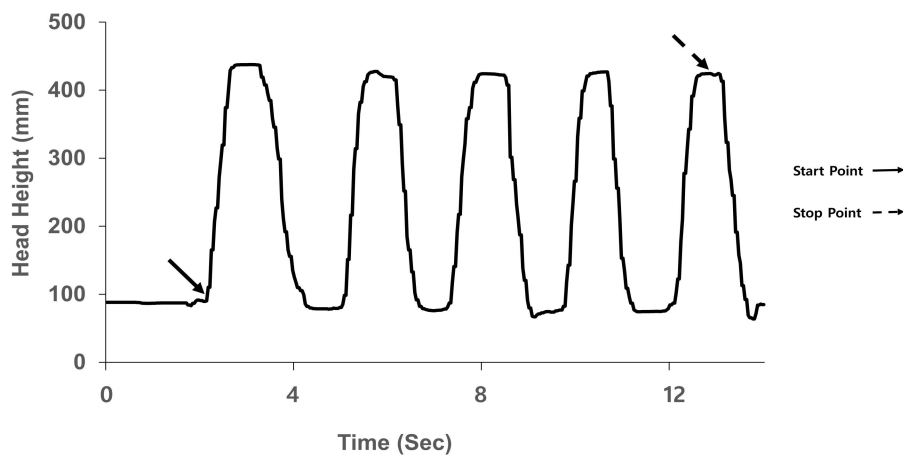


그림 7. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 머리 높낮이 그래프

다. 공변량

FTSST 검사 결과의 임상적 관련성을 평가하기 위해 노인 기능 매개변수를 추정하였다. 이를 위해 총 6개의 평가 도구를 사용하였다. 한국판 노쇠 척도(The Korean version of the FRAIL scale, K-FRAIL)를 사용하여 노쇠(frailty)상태를 평가하였다. K-FRAIL은 피로, 저항, 보행, 질병, 체중감소로 총 5가지 항목으로 이루어져 있으며, 0점은 정상(robust), 1~2점은 전-노쇠(prefrail), 3~5점은 노쇠(frail)로 분류하였다(부록 1).²²

악력(Grip strength)은 대상자가 일어나서 팔꿈치를 펴고 Smedley 타입의 악력계를 사용하여 양손의 최대 악력을 측정하였다. 남자는 28 kg 이상, 여자는 18 kg 이상을 정상 범주로 설정하였다.²³

일상생활동작 수행 능력은 한국판 수정바텔지수(The Korean version of Modified Barthel Index, K-MBI)를 사용하여 평가하였다. 총 10개의 항목(개인위생, 목욕하기, 식사하기, 화장실 이용, 계단 오르기, 옷 입기, 대변 조절, 소변 조절, 걷기 또는 휠체어 사용, 의자/침대 이동)으로 이루어져 있으며, 각 항목은 5단계로 평가한다. 총 점수는 100점 만점으로 평가하였다(부록 2).²⁴

한글판 버그 균형 척도(Berg Balance Scale, BBS)는 참여자의 낙상 위험 정도를 평가하기 위해 사용하였다. 자세 유지 능력, 자발적 운동 조절 능력, 외부요인에 대한 반사 능력 3개의 영역으로 나누어 총 14개의 평가 항목으로 이루어져 있다. 각 항목은 0~4점 총 5단계로 이루어져 있고, 총 점수는 56점 만점으로 평가하였다(부록 3).²⁵

대상자의 보행 능력은 기능적 보행 지수(Functional Ambulation Classification, FAC)를 사용하여 평가하였다. 총 0~5단계로 나뉘며, 0단계는

보행 불가능 또는 2명 이상의 도움, 1단계는 치료사 1인의 지속적인 지지, 2단계는 치료사 1인의 간헐적인 도움, 3단계는 감독하에 보행 가능, 4단계는 평지에서의 독립적 보행, 5단계는 독립적 보행으로 평가하였다(부록 4).²⁶

인지기능은 한국판 간이정신상태검사(Korean Mini-Mental State Examination, K-MMSE)를 사용하여 평가하였다. K-MMSE는 시간 지남력 5점, 장소 지남력 5점, 기억등록 3점, 주의집중과 계산 5점, 기억회상 3점, 언어능력 8점, 시공간 구성 1점, 총 7개 항목과 총 30점 만점으로 평가하였다(부록 5).²⁷

5. 통계적 분석

가. 대상자 수

본 연구는 총 40명을 대상으로 진행하였으나, 동작 수행 시간의 정확한 일치도 분석을 위해 FTSSST를 완료하지 못한 3명은 통계적 분석에서 제외하였다. 따라서, 총 37명의 FTSSST 동작 수행 시간과 점수 일치도를 분석하였다.

나. 평가 방법

스마트 인솔의 족저압 그래프와 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 머리 높낮이 그래프를 이용하여 독립적인 두 평가자가 각각 FTSSST의 시간을 측정하고 평균값을 사용하였다. 측정된 동작 수행 시간은 표 1을 참고하여 점수로 환산하였다. 평가자 신뢰도 분석을 위해 시간은 피어슨 상관관계수(Pearson correlation coefficient)를 사용하였고, 점수는 카파 상관관계수(Kappa correlation coefficient)를 사용하여 분석하였다.

스톱워치, 스마트 인솔, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한 FTSSST 측정 방법의 동작 수행 시간은 피어슨 상관관계수를 사용하여 상관관계를 확인하고 측정값들의 일치도 비교를 위해 평균 차이를 Bland-Altman plot으로 나타내었다.²⁸ FTSSST 점수 일치도 비교는 카파 상관관계수를 사용하여 분석하고, Jitter scatter plot을 이용하여 시각화하였다.²⁹ 스피어만 상관관계수(Spearman correlation coefficient)를 사용하여 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 매개변수와 노인 기능 매개변수 간의 상관관계를 평가하였다. 모든 자료의 통계학적 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다. 데이터 분석을 위한 프로그램은 SPSS(ver. 26, IBM Inc, USA)를 이용하였고, 그래프는 Microsoft office Excel(ver 2016, Microsoft, USA)을 사용하였다.

III. 결과

1. 연구대상자 특성

본 연구에서 남성 15명, 여성 22명 총 37명의 대상자를 평가하였다. 연구대상자의 일반적인 특성으로는 평균 나이 72.5 ± 9.4세, 평균 신체질량지수(BMI) 23.5 ± 2.4 kg/m², 평균 K-FRAIL 점수 1.5 ± 1.1점, 평균 Grip strength 20.9 ± 8.4 kg, 평균 K-MBI 점수 89.1 ± 15.2점, 평균 BBS 점수 46.1 ± 9.1점, 평균 FAC 점수 4.2 ± 1.0점, 평균 K-MMSE 점수 27.2 ± 1.8점이었다(표 3).

표 3. 연구대상자 특성

Characteristics	Total (N=37)
Sex, women	22 (59.0%)
Age (years), mean (SD)	72.5 (9.4)
55-64	6 (16.0%)
65-74	11 (27.0%)
75-84	23 (57.0%)
BMI (kg/m ²), mean (SD)	23.5 (2.4)
K-FRAIL score, mean (SD)	1.5 (1.1)
Grip strength (kg), mean (SD)	20.9 (8.4)
K-MBI score, mean (SD)	89.1 (15.2)
BBS score, mean (SD)	46.1 (9.1)
FAC score, mean (SD)	4.2 (1.0)
K-MMSE score, mean (SD)	27.2 (1.8)

약어: K-FRAIL: Korean version of the FRAIL scale, 한국판 노쇠 척도

BBS: Berg Balance Scale, 버그 균형 척도

FAC: Functional ambulatory category, 기능적 보행 지수

K-MBI: Korean version of the modified Barthel index, 한국판 수정바텔지수

K-MMSE: Korean Mini-Mental State Examination, 한국판 간이정신상태검사

2. 평가자 신뢰도 분석

스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 평가자 내 신뢰도 (Intra-rater reliability)는 두 장비의 동작 수행 시간 모두 $r=0.999$ 로 매우 높은 신뢰도가 관찰되었고, 점수는 스마트 인솔이 $k=0.888$, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치가 $k=0.923$ 으로 높은 신뢰도가 관찰되었다. 또한, 평가자 간 신뢰도 (Inter-rater reliability)는 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 동작분석장치의 동작 수행 시간 모두 $r=0.999$ 로 매우 높은 신뢰도가 관찰되었고, 점수는 스마트 인솔이 $k=0.852$, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치는 $k=0.885$ 로 두 장비 모두 높은 신뢰도를 보였다(표 4).

표 4. 평가자 신뢰도 분석

	Intra-interpretor reliability	Inter-interpretor reliability
Times		
Smart Insole Times	0.999	0.999
RGB-D Times	0.999	0.999
Scores		
Smart Insole Scores	0.888	0.852
RGB-D Scores	0.923	0.885

$p<.001$

3. 스마트 인솔 - 스톱워치 FTSST 결과 비교

FTSST를 스마트 인솔과 스톱워치 방법을 동시에 사용하여 두 측정 방법의 결과값을 비교하였다. 스마트 인솔 측정 시간은 16.73 ± 9.32 초, 스톱워치 측정 시간은 16.88 ± 8.71 초이다. 두 측정 방법의 동작 수행 시간은 $r=0.993$ 으로 매우 높은 상관관계가 관찰되었다(그림 8). 동작 수행 시간을 Bland-Altman plot으로 나타내면 평균 차이(mean difference) 0.15초, 일치한계 (2.57, -2.27)초로 높은 일치도를 보이며, 대부분의 측정값이 일치한계 안에 위치하였다(그림 9).

각 방법으로 측정된 시간은 표 1을 참고하여 점수로 환산하였다. 스마트 인솔 점수는 2.41 ± 1.28 점, 스톱워치 점수는 2.38 ± 1.19 점이다. 두 측정 방법의 점수 일치도는 $k=0.816$ 으로 ‘거의 완벽(almost perfect)’ 수준이다(그림 10).

표 5. 스마트 인솔 - 스톱워치 시간 일치도

Parameter	Correlation	Mean difference	Standard deviation	Upper LOA	Lower LOA
FTSST_Times	0.993(<.001)	0.15	1.24	2.57	-2.27

약어: LOA: Limits of Agreement, 일치한계

Mean difference: Mean of the differences between measurements, 평균 차이 difference(차이) = 스톱워치 - 스마트 인솔

표 6. 스마트 인솔 - 스톱워치 점수 일치도

Parameter	k coefficient	p Value
FTSST_Scores	0.816	<.001

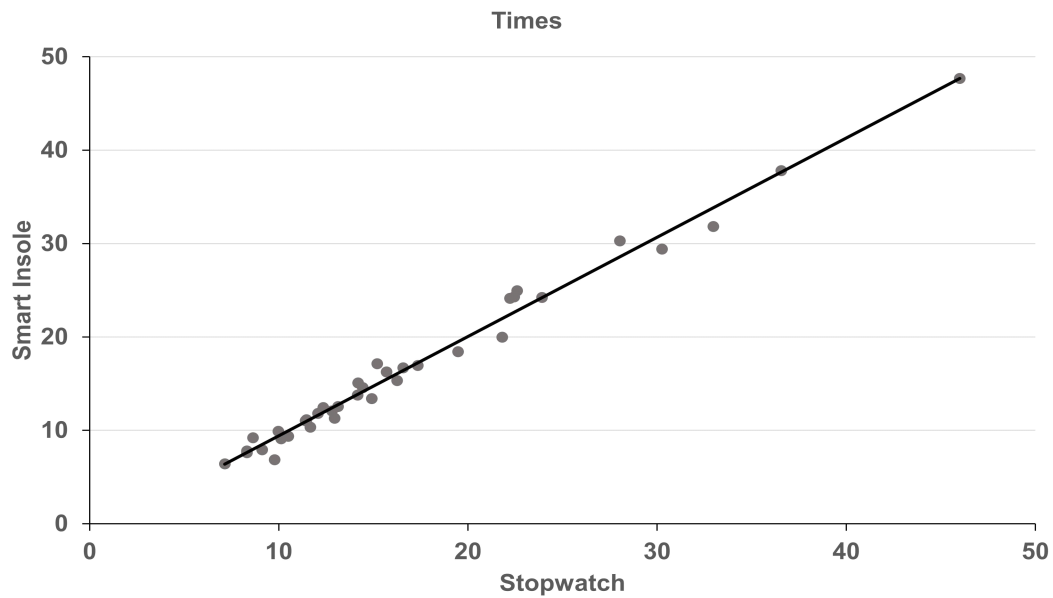


그림 8. 스마트 인솔 - 스톱워치 시간 일치도 비교
(상관관계)

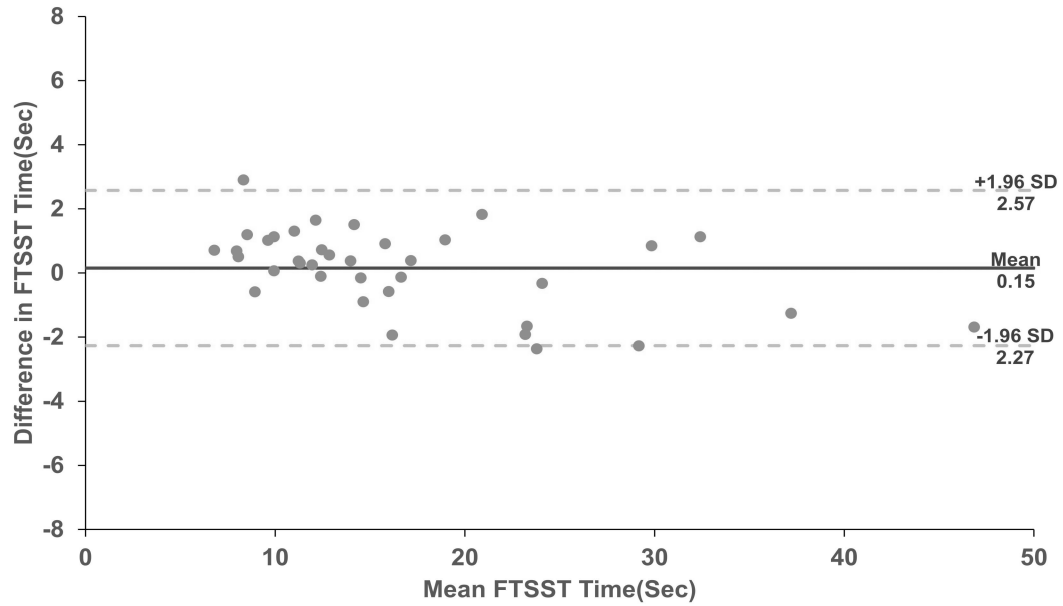


그림 9. 스마트 인솔 - 스톱워치 시간 일치도 비교
(Bland-Altman plot)

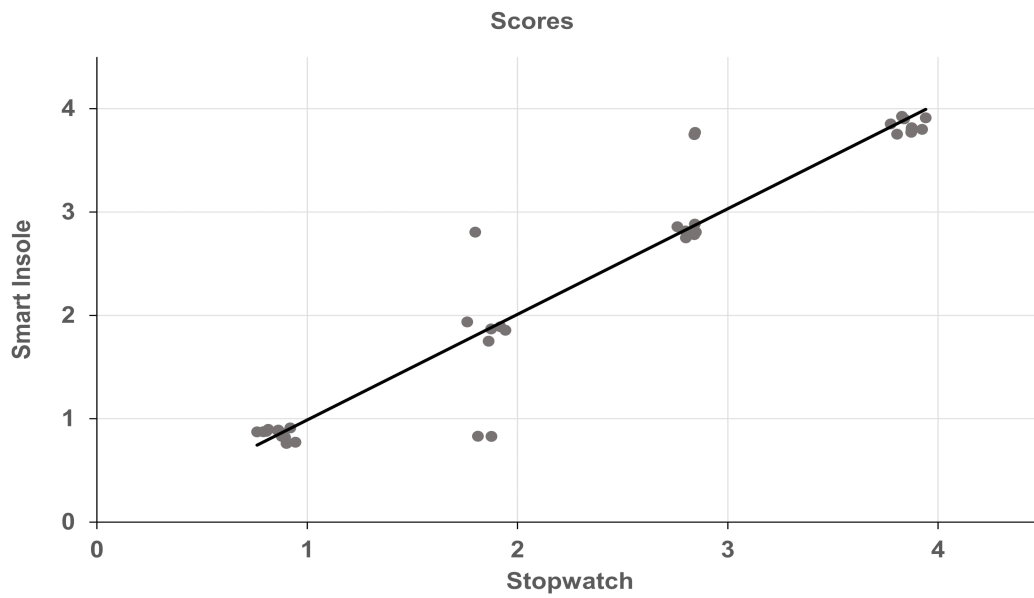


그림 10. 스마트 인솔 - 스톱워치 점수 일치도 비교
 (Jitter scatter plot)

4. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 FTSST 결과 비교

FTSST를 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치와 스톱워치 방법을 동시에 사용하여 두 측정 방법의 결과값을 비교하였다. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 측정 시간은 17.03 ± 9.03 초, 스톱워치 측정 시간은 16.88 ± 8.71 초이다. 두 측정 방법의 동작 수행 시간은 $r=0.993$ 으로 매우 높은 상관관계가 관찰되었다(그림 11). 동작 수행 시간을 Bland-Altman plot으로 나타내면 평균 차이 -0.15 초, 일치한계 ($2.07, -2.37$)초로 높은 일치도를 보이며, 대부분의 측정값이 일치한계 안에 위치하였다(그림 12).

각 방법으로 측정된 시간은 표 1을 참고하여 점수로 환산하였다. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 점수는 2.32 ± 1.29 점, 스톱워치 점수는 2.38 ± 1.19 점이다. 두 측정 방법의 점수 일치도는 $k=0.778$ 로 '상당한(Substantial)' 수준이다(그림 13).

표 7. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 시간 일치도

Parameter	Correlation	Mean difference	Standard deviation	Upper LOA	Lower LOA
FTSST_Times	0.993(<.001)	-0.15	1.13	2.07	-2.37

약어: LOA: Limits of Agreement, 일치한계

Mean difference: Mean of the differences between measurements, 평균 차이
Difference(차이) = 스톱워치 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치

표 8. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 점수 일치도

Parameter	k coefficient	p Value
FTSST_Scores	0.778	<.001

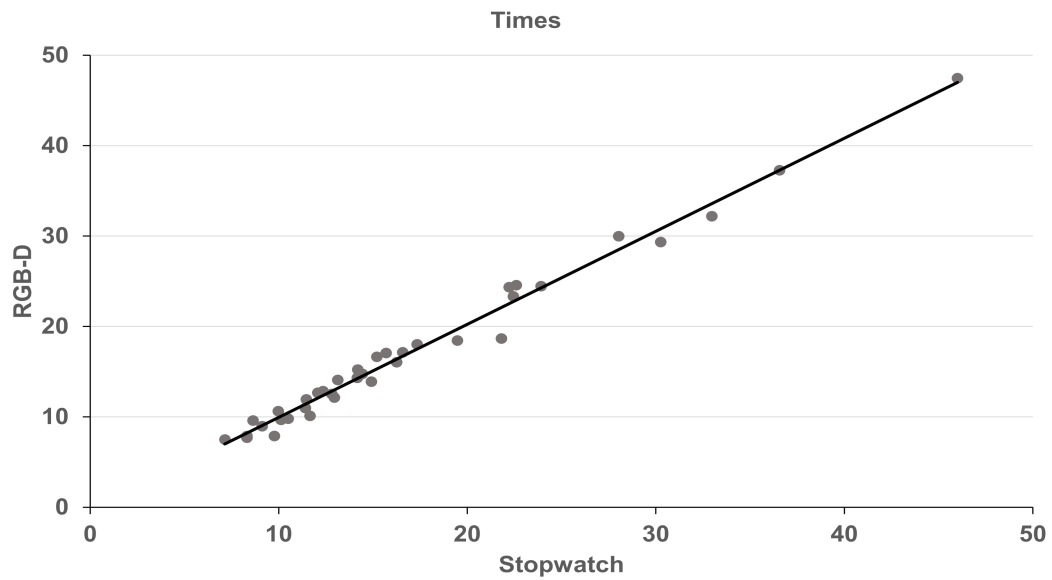


그림 11. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 시간 일치도 비교
(상관관계)

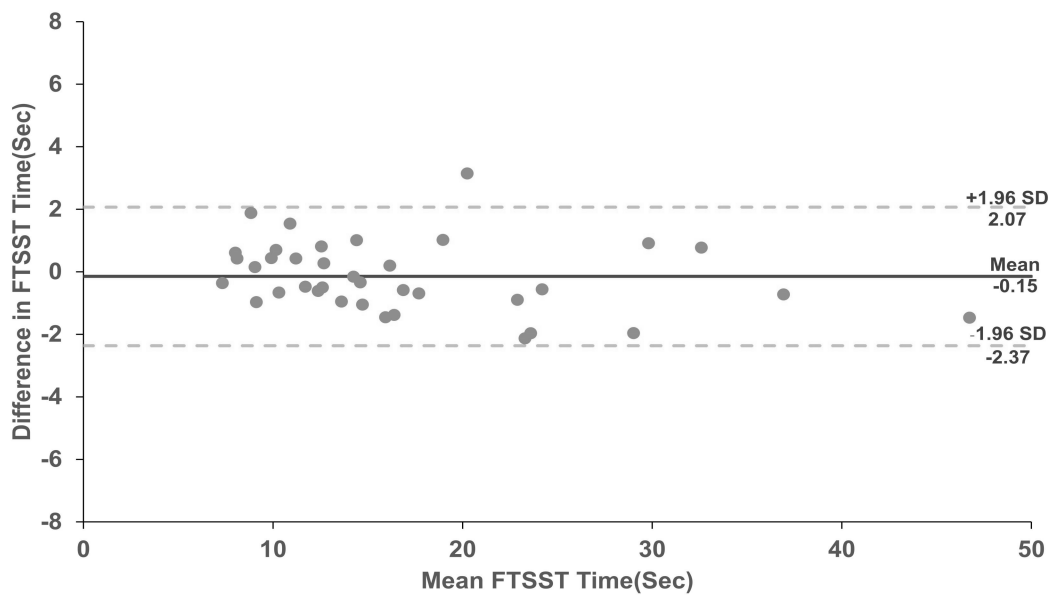


그림 12. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 시간 일치도 비교
(Bland-Altman plot)

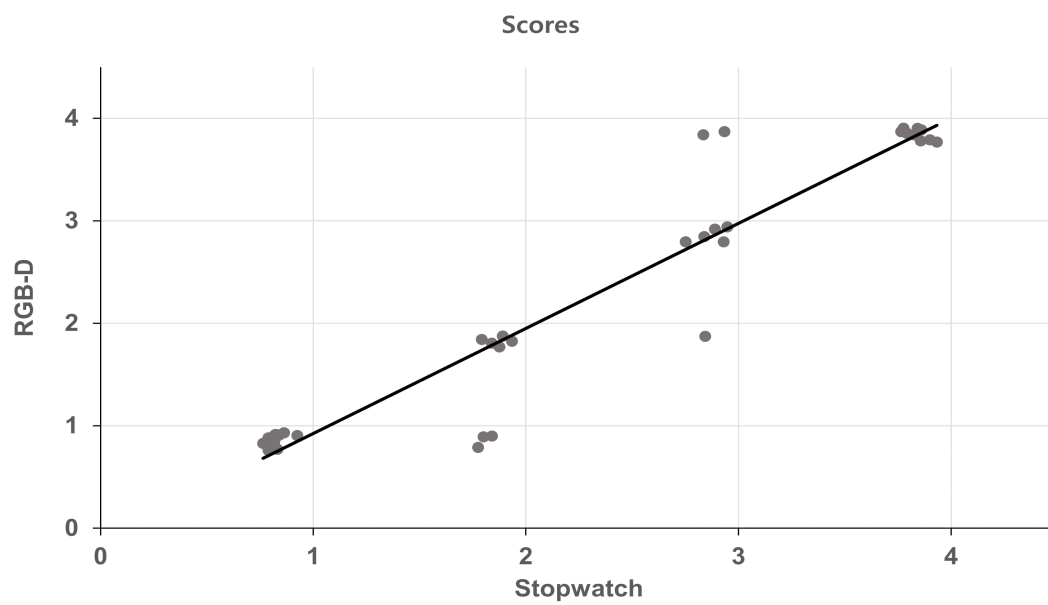


그림 13. RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 - 스톱워치 점수 일치도 비교
 (Jitter scatter plot)

5. 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 FTSST 결과 비교

FTSST를 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치로 동시에 측정하여 두 장비의 측정 결과값을 비교하였다. 스마트 인솔 측정 시간은 16.73 ± 9.32 초, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 측정 시간은 17.03 ± 9.03 초이다. 두 측정 방법의 동작 수행 시간은 $r=0.998$ 로 매우 높은 상관관계가 관찰되었다(그림 14). 동작 수행 시간을 Bland-Altman plot으로 나타내면 평균 차이는 -0.30 초, 일치한계 ($0.85, -1.46$)초로 높은 일치도를 보이며, 대부분의 측정값이 일치한계 안에 위치하였다(그림 15).

각 방법으로 측정된 시간은 표 1을 참고하여 점수로 환산하였다. 스마트 인솔 점수는 2.41 ± 1.28 점, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 점수는 2.32 ± 1.29 점이다. 두 측정 방법의 점수 일치도는 $k=0.886$ 으로 ‘거의 완벽(almost perfect)’ 수준이다(그림 16).

표 9. 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 시간 일치도

Parameter	Correlation	Mean difference	Standard deviation	Upper LOA	Lower LOA
FTSST_Times	0.998(<.001)	-0.30	0.59	0.85	-1.46

약어: LOA: Limits of Agreement, 일치한계

Mean difference: Mean of the differences between measurements, 평균 차이 difference(차이) = 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치

표 10. 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 점수 일치도

Parameter	k coefficient	p Value
FTSST_Scores	0.886	<.001

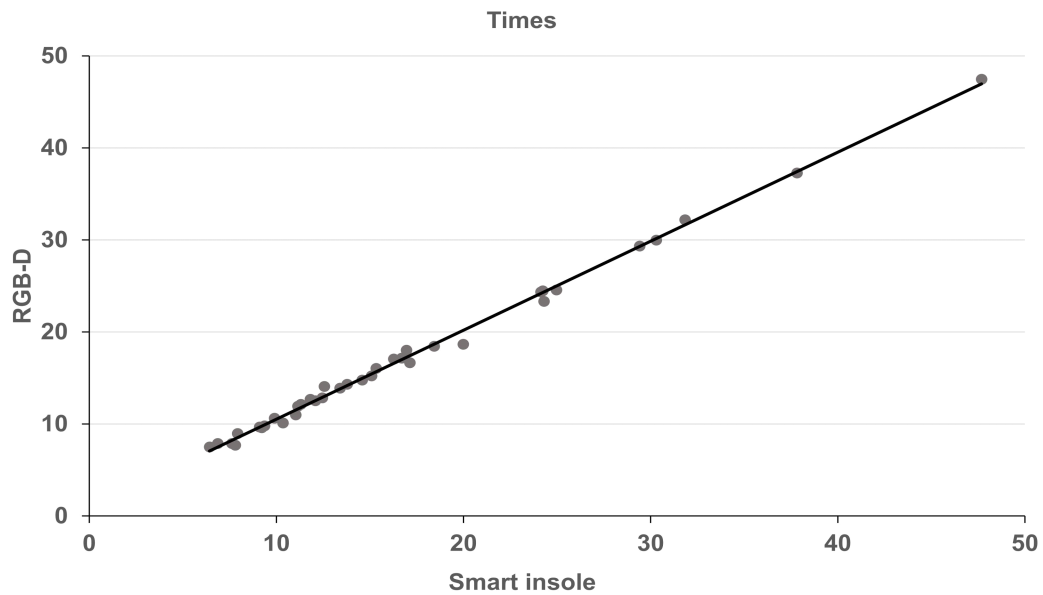


그림 14. 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 시간 일치도 비교
(상관관계)

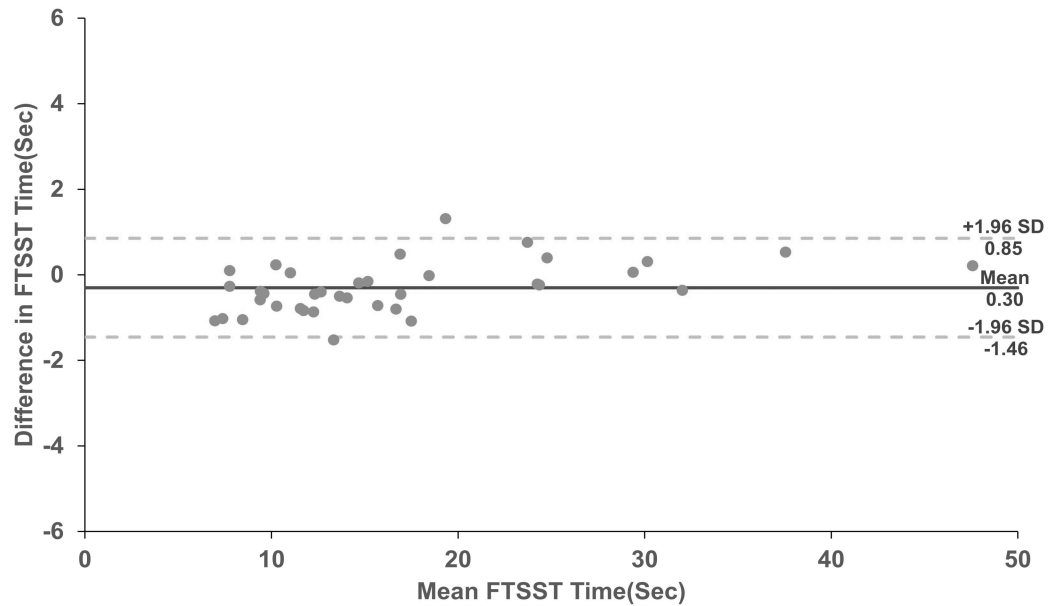


그림 15. 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 시간 일치도 비교
(Bland-Altman plot)

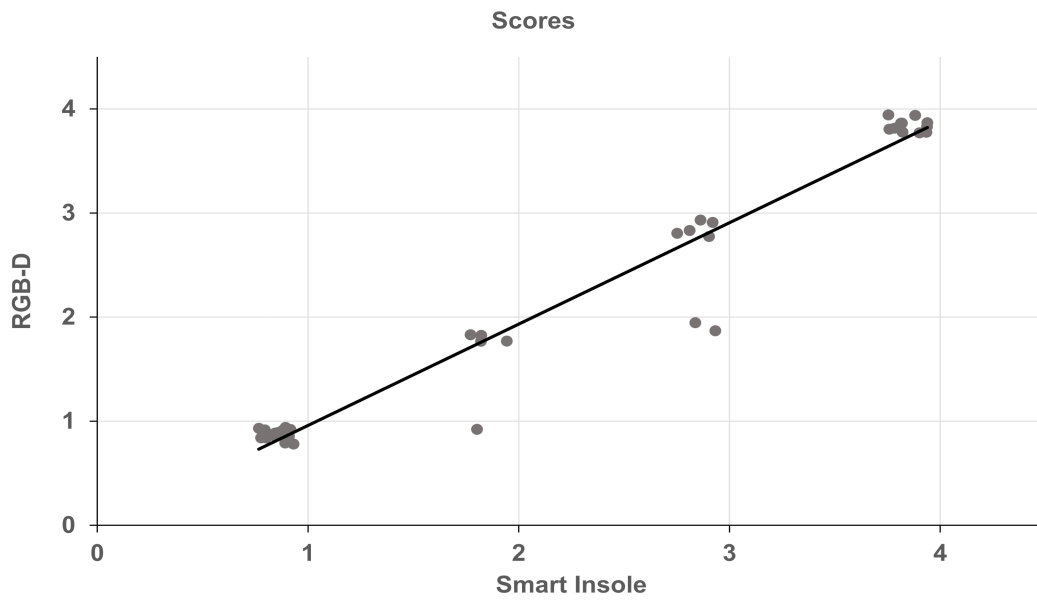


그림 16. 스마트 인솔 - RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 점수 일치도 비교
 (Jitter scatter plot)

6. FTSST 임상적 관련성 평가

스톱워치, 스마트 인솔, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 FTSST 측정 방법 유효성을 평가하기 위해 FTSST 동작 수행 시간 점수와 노인 평가에서 일반적으로 사용하는 K-FRAIL, BBS, FAC, K-MBI, Grip strength, K-MMSE 기능 점수 간의 상관관계를 분석하였다. 일반적으로 스톱워치, 스마트 인솔, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치와 임상적 매개변수의 상관관계 경향은 일치하였다(표 11).

표 11. FTSST 임상적 관련성

Parameter	K-FRAIL	BBS	FAC	K-MBI	Grip strength	K-MMSE
Stopwatch	-.209(.215)	.556(<.001)	.661(<.001)	-.172(<.309)	.031(.858)	.322(.052)
Smart Insole	-.214(.205)	.594(<.001)	.695(<.001)	-.117(<.491)	.034(.840)	.322(.052)
RGB-D	-.169(.317)	.559(<.001)	.650(<.001)	-.114(<.503)	.017(.921)	.295(.076)

약어: K-FRAIL: Korean version of the FRAIL scale, 한국판 노쇠 척도

BBS: Berg Balance Scale, 버그 균형 척도

FAC: Functional ambulatory category, 기능적 보행 지수

K-MBI: Korean version of the modified Barthel index, 한국판 수정바텔지수

K-MMSE: Korean Mini-Mental State Examination, 한국판 간이정신상태검사

IV. 고찰

앉았다 일어서기 검사는 하지 기능, 낙상, 균형 기능 장애 선별 등 다양한 목적으로 사용되며, 선행연구마다 동작 반복 횟수와 동작 수행 시간에 따른 평가 기준에 차이가 있다. 본 연구에서는 SPPB 검사에서 사용하는 FTSST를 기준으로 진행하였다. FTSST는 일반적으로 앉은 자세에서 다섯 번째 기립 상태까지의 동작 수행 시간을 숙련된 평가자가 스톱워치로 측정하는 수동적인 방법을 사용한다.⁶ 그러나 이전 연구에서 기존의 수동적인 측정 방법은 평가자의 숙련도와 대상자의 반응 속도 차이 등과 같은 인적 오류로 인한 결과값 신뢰도의 문제점이 보고되었다.⁷ 선행연구들에서 벨트 또는 안경에 부착한 관성센서를 이용한 측정 방법, 여러 대의 카메라를 이용한 방법, 압력센서와 LiDAR 센서를 융합한 측정 방법 등 디지털화된 장비를 사용하여 인적 오류를 최소화할 수 있는 측정 방법들을 제안하였다.⁸⁻¹¹ 그러나 FTSST의 빠른 검사 시간, 공간제약 없음, 저 비용 등의 특성에 대한 충분한 고려가 되지 않았다.

따라서, 본 연구는 새로운 과학적 측정 방법을 제시하기 위해 표준화된 FTSST 측정 방법인 수동적 스톱워치 측정 방법과 스마트 인솔, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한 측정 방법의 FTSST 동작 수행 시간과 점수 일치도를 비교하고 임상적 매개변수를 측정하여 임상적 관련성을 평가하였다. 표준화된 스톱워치 측정 방법을 기준으로 스마트 인솔의 동작 수행 시간의 상관관계는 $r=0.993$ 으로 높은 상관관계를 보였고, 평균 차이 0.15초로 높은 일치도를 보였다. 점수 일치도 또한 $k=0.816$ 으로 높게 관찰되었다.

표준화된 스톱워치 측정 방법과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치 측정 방법의 동작 수행 시간은 $r=0.993$ 으로 높은 상관관계를 보였고, 평균 차이 -0.15 초로 높은 일치도를 보였다. 점수 일치도 또한 $k=0.778$ 로 높은 일치도가 관찰되었다. 상대적으로 RGB-D 카메라 동작분석장치 측정 방법의 점수 일치도가 스마트 인솔 측정 방법보다 낮게 관찰되었다. 이는 FTSST 점수 컷오프 지점에서 약간의 시간 차이로 점수가 다르게 평가되어 상대적으로 일치도가 낮게 관찰되었을 것으로 판단된다. 그러나 점수 일치도의 통계적 수치를 고려하면 높은 일치도가 관찰되었으며, 동작 수행 시간의 평균 차이의 절댓값은 같으므로 스마트 인솔과 유사한 측정 일치도를 보여준다. 선행연구에서 신체적 성능 변화의 FTSST 최소 감지 가능 변화(Minimal Detectable Change, MDC)가 2.5 초로 보고되었다.³⁰ 따라서, 스톱워치 측정 방법을 기준으로 두 장비의 일치도를 분석한 결과에서 관찰된 일치 한계 내의 차이는 임상적으로 용인될 수준의 차이로 판단되며, 높은 점수 일치도 또한 두 장비의 FTSST 측정 방법이 표준화된 스톱워치 측정 방법을 대체할 수 있음을 증명한다.

스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 동작 수행 시간과 점수 일치도를 비교한 결과, Bland Altman plot 을 통해 가장 좁은 일치 한계의 범위와 데이터의 분포가 평균 차이에 가깝게 관찰되었다. 이는 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 측정 방법 일치도가 가장 높게 측정되었음을 의미한다. 이러한 차이는 스톱워치 측정 방법의 인적 오류로 인한 결과라고 판단된다. 스톱워치 측정 방법은 검사자가 수동으로 스톱워치를 조작하여, 검사자의 시작과 종료 체크 타이밍의 주관적인 판단, 대상자의 반응 속도 차이 등의 인적 오류로 인해 비교적 큰 차이가 발생하였을 것으로 판단된다. 반면에, 새로운 두 측정 방법은 시작점과

종료점을 정의하고 FTSST 동작을 정량화된 그래프로 평가하여, 인적 오류의 발생 가능성을 최소화하였기 때문에 높은 일치도가 관찰되었다고 판단된다. 이 결과는 두 장비가 수동적인 스톱위치 측정 방법에서 발생할 수 있는 인적 오류를 최소화하고, 객관적인 평가가 가능한 장비임을 보여준다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 본 연구의 대상자는 37 명이며, 연구 결과를 일반화하기엔 상대적으로 적은 연구대상자 수이다. 충분한 표본 크기를 대상으로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 둘째, 평가 방법의 오류 가능성이다. 본 연구에서 측정된 스마트 인솔의 족저압 그래프, RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 머리 높낮이 그래프를 보고 독립된 평가자 2 명이 시작점과 종료점을 정의하여, 각 평가자가 추정한 동작 수행 시간의 평균값을 사용하였다. 평가 방법의 인적 오류 발생 가능성이 있지만, 인적 오류를 최소화하기 위해 평가자 간 신뢰도, 평가자 내 신뢰도를 분석하였으며, 높은 신뢰도를 보여주었다. 셋째, 본 연구의 대다수 대상자는 운동능력, 인지기능 등이 정상 수준이었다. 그러나 선행연구에서 대상자의 낙상, 만성질환 여부 등에 따라 앉았다 일어서는 동작의 변동성이 증가하는 경향이 보고되었다.^{31,32} 이처럼 동작의 불안정성은 데이터 또는 그래프의 변동성을 초래할 수 있으며, 이에 따라 평가 방법의 오류가 발생할 가능성이 있다. 본 연구를 기반으로 만성질환 여부, 낙상 경험 등을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 스마트 인솔의 족저압과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 머리 높낮이 변화를 이용해 FTSST의 동작 수행 시간 측정에 중점을 두었다. 그러나, 스마트 인솔의 측정된 족저압 데이터를 이용하여 발바닥 압력 중심(COP)의 이동, RGB-D 카메라로 추정된 각 관절점의 위치를 계산하여 질량중심(COM)의 이동, 동작 수행 속도 등

FTSST 측정 중에 발생한 다양한 신체적 변화에 대한 이벤트를 파악할 수 있다. 이러한 다양한 접근 방식들을 활용하는 추가적인 연구가 진행된다면 FTSST의 사용 목적을 다양화할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 스마트 인솔과 RGB-D 카메라를 융합한 새로운 FTSST 측정 방법의 연구가 진행된다면 각 측정 장비의 단점을 보완할 수 있다. 예를 들어, 스마트 인솔은 족부 기능 상태를 모니터링하기 위한 매개변수 추출은 용이하나, 상지 기능 상태 모니터링을 위한 매개변수 추출은 부족하다. 이 단점을 RGB-D 카메라로 보완하여 융합된 장비로 활용한다면 FTSST 뿐만 아니라 다양한 노인 신체 기능을 평가할 수 있는 장비의 역할로 확장이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 몇 가지 제한점들이 있었으나, 이 연구는 새로운 측정 방법을 개발하고, 유의미한 결과를 도출한 것에 의의가 있다. 향후 본 연구 데이터를 기반으로 자동화된 알고리즘 개발 등의 후속 연구가 진행된다면 실제 임상 환경에서도 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치를 이용한 FTSST의 새로운 측정 방법을 제시하였다. 표준화된 스톱워치 측정 방법과 비교하여 스마트 인솔과 RGB-D 카메라 기반 동작분석장치의 동작 수행 시간과 점수의 높은 일치도가 관찰되었다. 이 결과는 기존의 스톱워치 측정 방법에서 발생할 수 있는 인적 오류를 최소화하고, 대체할 수 있는 과학적 측정 장비임을 증명한다.

참고 문헌

1. Csuka M, McCarty DJ. Simple method for measurement of lower extremity muscle strength. The American journal of medicine. 1985;78(1):77-81.
2. Whitney SL, Wrisley DM, Marchetti GF, Gee MA, Redfern MS, Furman JM. Clinical measurement of sit-to-stand performance in people with balance disorders: validity of data for the Five-Times-Sit-to-Stand Test. Physical therapy. 2005;85(10):1034-45.
3. Buatois S, Miljkovic D, Manckoundia P, Gueguen R, Miget P, Vançon G, et al. Five times sit to stand test is a predictor of recurrent falls in healthy community living subjects aged 65 and older. Journal of the American Geriatrics Society. 2008;56(8):1575-7.
4. Mong Y, Teo TW, Ng SS. 5-repetition sit-to-stand test in subjects with chronic stroke: reliability and validity. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2010;91(3):407-13.
5. Vaidya T, Chambellan A, De Bisschop C. Sit-to-stand tests for COPD: a literature review. Respiratory medicine. 2017;128:70-7.
6. de Fátima Ribeiro Silva C, Ohara DG, Matos AP, Pinto ACPN, Pegorari MS. Short physical performance battery as a measure of physical performance and mortality predictor in older adults: A comprehensive literature review. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(20):10612.

7. 이원제, 이은미, 손주영, 염광래, 조혜련, 김효찬, et al. 노인들의 SPPB 테스트 수행에서의 인적 오류로 인한 영향 연구. 한국 HCI 학회 학술대회. 2018:960-4.
8. Helleg J, Chorin F, Castagnetti A, Colson SS. Sit-to-stand movement evaluated using an inertial measurement unit embedded in smart glasses – A validation study. *Sensors*. 2020;20(18):5019.
9. Hellmers S, Fudickar S, Lau S, Elgert L, Diekmann R, Bauer JM, et al. Measurement of the chair rise performance of older people based on force plates and IMUs. *Sensors*. 2019;19(6):1370.
10. Allin S, Mihailidis A, editors. Low-cost, automated assessment of sit-to-stand movement in “natural” environments. 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering: ECIFMBE 2008 23 - 27 November 2008 Antwerp, Belgium; 2009: Springer.
11. Jung H-W, Yoon S, Baek JY, Lee E, Jang I-Y, Roh H. Comparison of human interpretation and a rule-based algorithm for instrumented sit-to-stand test. *Annals of geriatric medicine and research*. 2021;25(2):86.
12. 강호원, 안예린, 김대유, 이동오, 박길영, 이동연. 스마트 인솔의 족저압 측정 결과에 대한 타당도 및 신뢰도 평가. *Journal of Korean Foot & Ankle Society*. 2022;26(3).
13. Almuteb I, Hua R, Wang Y. Smart insoles review over the last two decade: Applications, potentials, and future. *Smart Health*. 2022:100301.

14. Rana N, editor Application of force sensing resistor (FSR) in design of pressure scanning system for plantar pressure measurement. 2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering; 2009: IEEE.
15. Kim J, Kang H, Yang J, Jung H, Lee S, Lee J. Multi-task Deep Learning for Human Activity, Speed, and Body Weight Estimation using Commercial Smart Insoles. IEEE Internet of Things Journal. 2023
16. Yang Y, Pu F, Li Y, Li S, Fan Y, Li D. Reliability and validity of Kinect RGB-D sensor for assessing standing balance. IEEE Sensors Journal. 2014;14(5):1633-8.
17. Coroiu ADCA, Coroiu A, editors. Interchangeability of kinect and orbbec sensors for gesture recognition. 2018 IEEE 14th international conference on intelligent computer communication and processing (ICCP); 2018: IEEE.
18. do Carmo Vilas-Boas M, Choupina HMP, Rocha AP, Fernandes JM, Cunha JPS. Full-body motion assessment: Concurrent validation of two body tracking depth sensors versus a gold standard system during gait. Journal of biomechanics. 2019;87:189-96.
19. Lee HJ, Cho HE, Kim M, Chung SY, Park JH, editors. Validity and Reliability of a Non-Radiographic Postural Analysis Device Based on an RGB-Depth Camera Comparing EOS 3D Imaging: A Prospective Observational Study. Healthcare; 2023: MDPI.

20. Jang CW, Park J, Cho HE, Park JH. Appraisal of the new posture analyzing and virtual reconstruction device (PAViR) for assessing sagittal posture parameters: A prospective observational study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(17):11109.
21. Yeung L-F, Yang Z, Cheng KC-C, Du D, Tong RK-Y. Effects of camera viewing angles on tracking kinematic gait patterns using Azure Kinect, Kinect v2 and Orbbec Astra Pro v2. *Gait & posture*. 2021;87:19-26.
22. Jung H-W, Yoo H-J, Park S-Y, Kim S-W, Choi J-Y, Yoon S-J, et al. The Korean version of the FRAIL scale: clinical feasibility and validity of assessing the frailty status of Korean elderly. *The Korean journal of internal medicine*. 2016;31(3):594.
23. Lee SH, Gong HS. Measurement and interpretation of handgrip strength for research on sarcopenia and osteoporosis. *Journal of bone metabolism*. 2020;27(2):85.
24. Jung HY, Park BK, Shin HS, Kang YK, Pyun SB, Paik NJ, et al. Development of the Korean version of Modified Barthel Index (K-MBI): multi-center study for subjects with stroke. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*. 2007;31(3):283-97.
25. Jung HY, Park JH, Shim JJ, Kim MJ, Hwang MR, Kim SH. Reliability Test of Korean Version of Berg Balance Scale. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*. 2006;30(6):611-8.

26. Martin B, Cameron M. Evaluation of walking speed and functional ambulation categories in geriatric day hospital patients. *Clinical rehabilitation*. 1996;10(1):44-6
27. Kang Y, NA D-L, Hahn S. A validity study on the Korean Mini-Mental State Examination (K-MMSE) in dementia patients. *Journal of the Korean neurological association*. 1997:300-8.
28. Giavarina D. Understanding bland altman analysis. *Biochemia medica*. 2015;25(2):141-51.
29. 공경애. 검사법 평가: 검사법 비교와 신뢰도 평가. *Ewha Med J*. 2017;40(1):9-16.
30. Goldberg A, Chavis M, Watkins J, Wilson T. The five-times-sit-to-stand test: validity, reliability and detectable change in older females. *Aging clinical and experimental research*. 2012;24:339-44.
31. Ippersiel P, Robbins S, Preuss R. Movement variability in adults with low back pain during sit-to-stand-to-sit. *Clinical Biomechanics*. 2018;58:90-5.
32. Ghahramani M, Stirling D, Naghdy F. The sit to stand to sit postural transition variability in the five time sit to stand test in older people with different fall histories. *Gait & Posture*. 2020;81:191-6.

부 록

[부록 1]

한국판 노쇠 척도

(The Korean version of the FRAIL scale, K-FRAIL)

1. Fatigue (피로)

지난 한 달 동안 피곤하다고 느낀 적이 있습니까?

- 1) 항상 그렇다 (1점) 2) 거의 대부분 그렇다 (1점) 3) 종종 그렇다 (0점)
4) 종종 그렇다 (0점) 5) 전혀 그렇지 않다 (0점)

2. Resistance (저항)

도움이 없이 혼자서 쉬지 않고 10개의 계단을 오르는 데 힘이 듭니까?

- 1) 예 (1점) 2) 아니요 (0점)

3. Ambulation (이동)

도움이 없이 300미터를 혼자서 이동하는 데 힘이 듭니까?

- 1) 예 (1점) 2) 아니요 (0점)

4. Illness (질병)

의사에게 다음 질병이 있다고 들은 적이 있습니까?

(고혈압, 당뇨, 암, 만성폐질환, 심근경색, 심부전, 협심증, 천식, 관절염, 뇌경색, 신장 질환)

- 1) 5개 이상 : 5개~11개 해당 (1점) 2) 5개 미만: 0개~4개 해당 (0점)

5. Loss of weight (체중 감소)

현재와 1년 전의 체중은 몇 kg이었습니까?

- 1) 1년간 5 % 이상 감소 (1점) 2) 1년간 5 % 미만 감소 (0점)

[부록 2]

한국판 수정바텔지수

(The Korean version of Modified Barthel Index, K-MBI)

	전혀 할 수 없음	많은 도움 필요	중간 정도 도움 필요	경미한 도움 필요	완전히 독립적 수행
개인위생	0	1	3	4	5
목욕하기	0	1	3	4	5
식사하기	0	2	5	8	10
화장실 이용	0	2	5	8	10
계단 오르고 내리기	0	2	5	8	10
옷 입고 벗기	0	2	5	8	10
배변 조절	0	2	5	8	10
소변 조절	0	2	5	8	10
걷기 또는 휠체어 사용	0	3	8	12	15
	0	1	3	4	5
의자/침대로 이동	0	3	8	12	15
총점		/100(점)			

[부록 3]

한글판 버그 균형 척도

(Berg Balance Scale, BBS)

1. 앉은 자세에서 일어나기

점수:

지시사항: 일어서시오, 될 수 있으면 손을 사용하지 않고 일어서십시오

4점) 손을 사용하지 않고 일어서서 안정된 자세를 유지할 수 있다.

3점) 손을 사용하여 스스로 설 수 있다.

2점) 일어서기를 몇 번 시도한 후 손을 사용하여 설 수 있다.

1점) 일어서기 위해 또는 안정을 유지하기 위해서는 최소한 도움이 필요하다.

0점) 일어서기 위해 중간 정도 또는 최대한의 도움이 필요하다.

2. 잡지 않고 서 있기

점수:

지시사항: 아무것도 잡지 말고 2분간 서 있으시오

4점) 안전하게 혼자서 2분 동안 서 있을 수 있다.

3점) 옆에서 지켜봐 주면 2분 동안 서 있을 수 있다.

2점) 잡지 않고 30초 동안 서 있을 수 있다.

1점) 잡지 않고 30초 동안 서 있기 위해서 여러 번의 시도가 필요하다.

0점) 도움 없이는 30초 동안 서 있을 수 없다.

3. 의자의 등받이에 기대지 않고 바른 자세로 앉기

점수:

지시사항: 2분 동안 팔짱을 낀 채로 등을 등받이에 대지 않고 앉으시오

4점) 2분 동안 안전하고 확실하게 앉을 수 있다.

3점) 옆에서 지켜봐 주면 2분 동안 앉아 있을 수 있다.

2점) 30초 동안 앉아 있을 수 있다.

1점) 10초 동안 앉아 있을 수 있다.

0점) 도움 없이는 10초 동안 앉아 있을 수 없다.

4. 선 자세에서 앉기

점수:

지시사항: (의자에) 앉으시오.

4점) 손을 거의 사용하지 않고(또는 손을 조금 사용하여) 안전하게 앉는다.

3점) 뭔가를 붙들어야 천천히 앉을 수 있다.

2점) 앉을 때 다리 뒷부분을 의자에 기대고 천천히 앉는다.

1점) 혼자 앉기는 하지만 털썩 주저앉는다.

0점) 앉을 때 도움이 필요하다.

5. 의자에서 의자로 이동하기

점수:

지시사항: 의자 2개를 준비하되, 한 개는 팔걸이가 있는 것, 또 다른 한 개는 팔걸이가 없는 것으로 준비하시오. 대상자에게 의자에서 다른 의자로 옮겨 앉았다가 다시 원래 의자로 돌아오게 하시오.

4점) 손을 거의 사용하지 않고 안전하게 옮겨 앉을 수 있다.

3점) 확실히 손을 사용해서 안전하게 옮겨 앉을 수 있다.

2점) 발로 가르쳐 주거나 옆에서 지켜봐 주어야 옮겨 앉을 수 있다.

1점) 한 사람의 도움이 필요하다.

0점) 안전을 위해 옆에서 지켜봐 주거나 도움을 줄 두 사람이 필요하다.

6. 두 눈을 감고 잡지 않고 서 있기

점수:

지시사항: 두 눈을 감고 10초 동안 가만히 서 있으시오

4점) 10초 동안 안전하게 서 있을 수 있다.

3점) 옆에서 지켜봐 주면 10초 동안 서 있을 수 있다.

2점) 3초 동안 서 있을 수 있다.

1점) 안정적으로 서 있으나 두 눈을 감고 3초 동안 유지할 수는 없다.

0점) 넘어지는 것을 방지하기 위하여 도움이 필요하다.

7. 두 발을 붙이고 잡지 않고 서 있기

점수:

지시사항: 두 발을 꼭 붙이고 아무것도 잡지 말고 서 있으시오

4점) 혼자서 두 발을 붙이고 1분 동안 안정하게 서 있을 수 있다.

3점) 혼자서 두 발을 붙이고 옆에서 지켜봐 주면 1분 동안 안정하게 서 있을 수 있다.

2점) 혼자서 두 발을 붙이고 설 수 있으나 30초 동안 유지할 수는 없다.

1점) 두 발을 붙이는 데에 도움이 필요하나 15초 동안 서 있을 수 있다.

0점) 두 발을 붙이는 데에 도움이 필요하며 15초 동안 서 있을 수 없다.

8. 선 자세에서 앞으로 팔을 뻗어 내밀기

점수:

지시사항: 팔을 90도로 올리고 손가락을 펴고 가능한 최대 앞으로 뻗으시오

4점) 25 cm 이상 앞으로 자신 있게 뻗을 수 있다.

3점) 12.5 cm 이상 앞으로 안전하게 뻗을 수 있다.

2점) 5 cm 이상 앞으로 안전하게 뻗을 수 있다.

1점) 앞으로 뻗을 수 있으나 옆에서 지켜봐 주는 것이 필요하다.

0점) 넘어지지 않기 위해 도움이 필요하다.

9. 바닥에 있는 물건을 집어 올리기

점수:

지시사항: 당신의 발 앞에 놓여있는 물건(신발/슬리퍼)을 집어 드시오

4점) 안전하고 쉽게 물건을 집어 들 수 있다.

3점) 물건을 집어들 수 있으나 옆에서 지켜봐 주는 것이 필요하다.

2점) 물건을 잡을 수는 없으나 물건이 있는 지점으로부터 2.5 cm ~ 5 cm의 거리까지 손이 닿으며 혼자 균형을 잡을 수 있다.

1점) 물건을 집어 들 수 없으며 집으려고 시도하는 동안에도 옆에서 지켜봐 주는 것이 필요하다.

0점) 물건을 집으려고 시도할 수 없으며 넘어지지 않게 하려면 도움이 필요하다.

10. 왼쪽과 오른쪽으로 뒤돌아보기

점수:

지시사항: 상체를 왼쪽으로 돌려 뒤돌아보시오. 오른쪽으로도 해보시오

- 4점) 왼쪽과 오른쪽으로 뒤돌아보며 체중 이동을 잘할 수 있다.
- 3점) 한쪽으로만 잘 돌아보고 다른 쪽은 체중 이동이 적게 나타난다.
- 2점) 옆 방향으로만 비스듬히 돌릴 수 있으나 균형은 유지된다.
- 1점) 몸을 돌리려 할 때 옆에서 지켜봐 주는 것이 필요하다.
- 0점) 넘어지지 않기 위해 도움이 필요하다.

11. 제자리에서 360도 회전하기

점수:

지시사항: 한 방향으로 완전히 돌고 잠시 후 반대 방향으로 완전히 도십시오.

- 4점) 각 방향을 4초 이내에 안전하게 360도 돌 수 있다.
- 3점) 한 방향으로만 4초 이내에 안전하게 360도 돌 수 있다.
- 2점) 안전하게 360도 천천히 돌 수 있다.
- 1점) 근접해서 지켜봐 주거나 말로 지시를 해주어야 한다.
- 0점) 돌 때 도움이 필요하다.

12. 일정한 높이의 발판 위에 발을 교대로 놓기

점수:

지시사항: 발판 위에 각 발을 번갈아 가며 올려놓으시오

- 4점) 혼자 서서, 20초 이내에 안전하게 발판 위에 발을 교대로 8회 올려놓을 수 있다.
- 3점) 혼자 서서 발판 위에 안전하게 발을 교대로 8번 올려놓는 데 20초 이상이 걸린다.
- 2점) 보조자의 도움 없이 안전하게 교대로 발을 4회 발판에 올려놓을 수 있다.
- 1점) 약간의 도움으로 안전하게 발을 2회 이상 발판에 올려놓을 수 있다.
- 0점) 넘어지지 않기 위해 도움이 필요하며 과제를 수행할 수 없다.

13. 한 발 앞에 다른 발을 일자로 두고 서 있기 점수:

지시사항: 한 발을 다른 발 바로 앞에 일자로 밀착하여 붙이시오. 만약 한 발을 다른 발 바로 앞에 붙일 수 없다고 여겨지면, 자신의 발길이 이상 앞으로 띄우되 정상 보폭만큼 벌려서 서시오.

4점) 혼자 두 발을 일자로 하여 30초 동안 그대로 서서 유지할 수 있다.

3점) 혼자 큰 발걸음으로 30초 동안 유지할 수 있다.

2점) 혼자 작은 발걸음으로 30초 동안 유지할 수 있다.

1점) 걸음을 내딛는 데 도움이 필요하지만 그대로 서서 15초 동안 유지할 수 있다.

0점) 발을 내딛거나 서 있는 동안 균형을 잃는다.

14. 한 다리로 서 있기 점수:

지시사항: 아무것도 잡지 않고 가능한 한 오랫동안 한 발로 서있으시오.

4점) 혼자서 한 발을 들고 10초 이상 서 있을 수 있다.

3점) 혼자서 한 발을 들고 5 ~ 10초 정도 서 있을 수 있다.

2점) 혼자서 한 발을 들고 3초 동안 또는 그 이상 서 있을 수 있다.

1점) 한 발을 들려고 시도하며, 3초 동안 유지하지는 못하지만 혼자서 서 있을 수 있다.

0점) 넘어지지 않기 위해서는 도움이 필요하거나 과제를 시도할 수 없다.

[부록 4]

기능적 보행 지수

(Functional Ambulation Classification, FAC)

0단계 - 보행 불가능

전혀 걸을 수 없거나 치료사 2명의 도움이 필요함

1단계 - 한 명의 치료사의 지속적인 지지

무게를 지탱하거나 균형을 유지하기 위해 지속적인 보조가 필요함

2단계 - 한 명의 치료사의 간헐적인 지지

균형 또는 조정을 간헐적으로 보조함

3단계 - 감독하에 보행 가능

다른 사람의 수동적인 접촉 없이 평지에서 보행할 수 있으나, 안전 또는 구두 안내를 위해 한 사람의 감독하에 진행하여야 함

4단계 - 평지에서의 독립적 보행

평지에서는 독립적 보행이 가능하나 계단, 경사면 등 평지가 아닌 곳에서는 도움이 필요함

5단계 - 독립적 보행

계단, 잔디, 경사면 등 다양한 장소에서 독립적 보행이 가능함

[부록 5]

한국판 간이정신상태검사

(Korean Mini-Mental State Examination, K-MMSE)

항목	내용	가능(1점)	불가능(0점)
시간(5점)	년		
	월		
	일		
	요일		
	계절		
장소(5점)	나라		
	시, 도		
	무엇 하는 곳		
	현재 장소		
	몇 층		
기억등록(3점)	비행기		
	연필		
	소나무		
주의집중 및 계산 (5점)	100-7		
	-7		
	-7		
	-7		
	-7		
시공간 구성	오각형 그리기		
기억회상(3점)	비행기		
	연필		
	소나무		
이름대기	시계		
	볼펜		
명령시행	종이를 뒤집고		
	반으로 접은 다음		
	저에게 주세요		
따라 말하기	“백문이 불여일견”		
읽기	“눈을 감으세요”		
쓰기	오늘 기분 또는 날씨		
총점		/30(점)	

Abstract

Digitalization of physical function assessment in older adults using smart insoles and RGB-D camera-based motion analysis device

Kyoung Min Park

Department of Medical Device Engineering and Management
The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Jung Hyun Park)

The five times sit to stand test (FTSST) is an older adult physical function assessment that measures the time it takes to perform five repetitions of the movement from sitting to standing as quickly as possible without using both arms while sitting on a chair. The FTSST is used for a variety of purposes, including measuring lower extremity strength and predicting falls, and is traditionally performed using a passive measurement method in which the examiner uses a stopwatch. However, previous studies have reported that passive measurement methods can affect the results due to human error. Therefore, this study proposes a new measurement method for FTSST using a smart insole and RGB-D

camera-based motion analysis device. In this study, the three measurement methods were applied simultaneously to a total of 37 subjects to analyze the performance time and score agreement of FTSST. This study shows that the two devices can minimize human error and replace the traditional passive stopwatch measurement method as a scientific evaluation method.

Key words: physical functional performance, five times sit to stand, smart insole, rgb-d camera, frail, aged, wearable electronic device