

균형과 보행분석을 위한 스마트 인솔의 신뢰도와 타당도 분석

이병권¹ · 한동욱² · 김창용³ · 김기영⁴ · 박대성^{1*}

^{1*}건양대학교 물리치료학과 교수, ²신라대학교 물리치료학과 교수, ³한국보건산업진흥원 연구원,
⁴한국산업기술시험원 연구원

The Reliability and Validity of Smart Insole for Balance and Gait Analysis

Byoung-Kwon Lee, PT, Ph.D¹ · Dong-Wook Han, PT, Ph.D² · Chang-Young Kim³
Gi-Young Kim⁴ · Dae-Sung Park, PT, Ph.D^{1*}

^{1*}*Dept. of Physical Therapy, Konyang University, Professor*

²*Dept. of Physical Therapy, Silla University, Professor*

³*Dept. of Pharmaceutical and Bio-Pharmaceutical Industry, Korea Health Industry Development Institute, Researcher*

⁴*Korea Testing Laboratory, Researcher*

Abstract

Purpose: The Pedisole is a newly developed shoe-mounted wearable assessment system for analyzing balance and gait. This study aimed to determine the reliability and validity of the parameters provided by the system for static balance and gait analysis of healthy adults.

Methods: This study included 38 healthy adults (22.4±1.9 years) with no history of injury in the lower limbs. All participants were asked to perform balance and gait tasks for undertaking measurements. For analysis of balance, both the smart Pedisole and Pedoscan systems were concurrently used to analyze the path length of the center of pressure (COP) and the weight ratio of the left and right for 10 s. Gait was measured using the smart Pedisole and GaitRite walkway systems simultaneously. The participants walked at a self-selected preferred gait speed. The cadence, stance time, swing time, and step time were used to analyze gait characteristics. Using the paired t-test, the intra-class coefficient correlation (ICC) was calculated for reliability. The Spearman correlation was used to assess the validity of the measurements. In total, data for balance from 36 participants and the gait profiles of 37 participants were evaluated.

Results: There were significant differences between the COP path lengths ($p < .050$) derived from the two systems, and a significant correlation was found for COP path length ($r = .382 \sim .523$) for static balance. The ICC for COP path length and weight ratio was found to be greater than .687, indicating moderate agreement in balance parameters. The ICC of gait parameters was found to be greater than .697 except for stance time, and there was significant correlation ($r = .678 \sim .922$) with the GaitRite system.

Conclusion: The newly developed smart insole-type Pedisole system and the related application are useful, reliable, and valid tools for balance and gait analysis compared to the gold standard Pedoscan and the GaitRite systems in healthy individuals.

Key Words : balance, gait analysis, reliability, smart insole, test-retest, validity

*교신저자 : 박대성, daeric@konyang.ac.kr

제출일 : 2021년 10월 5일 | 수정일 : 2021년 11월 11일 | 게재승인일 : 2021년 11월 19일

I. 서론

인솔은 일반적으로 발바닥의 기능 보완 목적으로 사용되며, 신발과 발사이에서 발바닥의 피로와 통증을 줄이기 위해 쿠션형태로 사용된다(Lord, 1981). 인솔은 발과 지면 사이에서 보행시에 신체에 가해지는 지면 반발력으로부터 충격을 흡수하는 역할을 하게 된다(Zulkifli & Loh, 2020).

보행은 다리를 사용하여 무게중심을 이동하는 것으로 일상생활에서 반복적으로 사용되는 동작이며, 신체의 안정성과 상호작용에 의해 신체를 다양한 방향으로 이동시키는 것이다. 19세기부터 기술의 발달에 의해 발의 압력의 분포와 변화를 측정할 수 있게 되었으며, 치료중재 전과 후에 발의 기능을 기록할 수 있게 되었다(Alexander 등, 1990). 최근에는 데이터 기록 뿐만 아니라 높은 정밀도의 정량적 데이터를 수집할 수 있게 되면서 쉽게 그래픽으로 표현하고, 임상적으로 중요한 가치 있는 정보들을 분석하여 제공하기 시작하였다(Lee 등, 2021; Rogan 등, 2017).

압력분석을 통해 측만증이 있는 아이들의 압력분포는 Cobb 각에 따라 차이를 보이고(Hornig 등, 2021), 넙다리뼈에서 악성종양으로 인해 치환술을 받은 환자 20명을 대상으로 4년간의 관찰을 통해 보행시 압력분포가 점차적으로 감소된다(Tsuboyama 등, 1994). 류마티스 질환 환자에서 발앞쪽 부위에서의 압력증가를 확인하였고, 보행 변수와 압력간에 유의한 상관관계가 있었다(Konings-Pijnappels 등, 2019). 보행은 앞의 선행연구들에서와 같이 다양한 질환에서 특징적인 변화들을 확인할 수 있으며, 이 외에도 당뇨, 뇌졸중, 파킨슨병, 안뜰기관질환, 만성통증 환자 등에서 비정상적인 보행을 파악하기 위한 도구로 활용되기도 하며, 중재로 인한 기능의 개선 등을 파악하기 위한 유용한 도구로 활용되고 있다(Buldt 등, 2018; Chatwin 등, 2020; Korada 등, 2020; Tay 등, 2019).

보행의 변동성은 분당보행수, 보폭, 입각기, 유각기 등의 변수 측정을 일반적으로 사용한다(Picouleau 등, 2020). 보행분석을 위해 사용되고 있는 GAITRite는 4~6 m의 거리에 압력센서 기반으로 되어 있는 매트를 깔아 놓고 걷게 되면 보행변수와 압력변수가 측정되는 장비

로 평균보행변수와 각 보행마다의 변수를 측정할 수 있는 신뢰도와 타당도가 입증된 보행장비로 평가된다(Egerton 등, 2014; Roche 등, 2018). GAITRite 장비는 보행 변수를 측정하는데 높은 수준의 검사-재검사 신뢰도는 ICC=.92~.99를 보이며, 평가자 간 신뢰도 ICC=.940~.990)를 보인다. 하지만, GAITRite 시스템은 지면이 고르지 못한 환경에서는 사용이 불가능하다는 단점이 있다.

최근에는 기술의 발달과 다수의 센서개발에 의해 가격이 저렴해지고, 사용하기 쉬우면서도 야외나 적은 공간에서 효과적으로 사용할 수 있는 족저압을 이용한 압력센서 타입 보행 측정 장비가 개발되고 있다. 웨어러블 형태의 족저압의 지면반발력을 검사는 얇은 필름형의 압력센서(force sensor resistor; FSR) 센서, 세라믹 피에조 센서(ceramic piezoelectric sensor), MEMS센서(micro-electromechanical systems)를 이용하는 방법을 주로 사용한다(Chatzaki 등, 2021; de Fazio 등, 2021; Macdonald 등, 2021; Tahir 등, 2020; Tao 등, 2020; Ziagkas 등, 2021). 임상에서 보행분석을 측정함에 있어 측정대상자의 특성을 고려함과 동시에, 사용자 측면에서 측정 시 번거로움이 적으며, 보행 불균형을 유발할 수 있는 질환의 진단, 치료 및 재활의 경과를 예측하고 평가하는데 유용한 지표로 활용될 수 있다(Tahir 등, 2020; Ziagkas 등, 2021). 스마트 인솔은 특정 보행구간을 데이터를 수집하여 분석하는 형태로 사용되거나(Ziagkas 등, 2021) 일상생활 중에서 스마트인솔은 보행특성, 걸음걸이 교정, 질병예측, 낙상예측과 디지털 치료기기로 사용을 위한 데이터 수집을 위한 연구(Chen 등, 2021; Ziagkas 등, 2021)들이 이루어지고 있고, 이와 함께 저전력 설계 연구 등에 관한 연구가 이루어지고 있다(de Fazio 등, 2021).

따라서 본 연구의 목적은 국내에서 FSR 센서 타입으로 개발된 균형과 보행을 측정할 수 있는 안드로이드 기반 스마트 센서를 이용하여 균형변수인 압력중심점의 이동거리와 정량적 보행평가 지수인 분당보행수, 입각기 비율, 유각기비율, 보시간의 결과값의 신뢰도와 타당도를 확인하여 임상에서 활용이 가능한 지 확인하고자 실시하였다.

II. 연구방법

실험 참여 대상자는 대전시의 만 20세 이상 건강한 성인들을 대상으로 하였다. 선정기준은 최근 6개월간 정형외과적 상해 및 신경계에 손상이 없는 신체 건강한 20~30대 성인으로 하였다. 제외기준은 첫째, 현재 일상생활이 힘들 만큼 신체에 정형외과적 손상이 있는 자, 둘째, 최근 6개월 이내에 다리에 정형외과적 외상이나 수술 경력이 있는 자, 셋째, 전신의 신경계에 질환이 있는 자, 넷째, 실험 중 어지러움 및 근피로에 의해 실험 진행이 불가하다고 판단되는 자로 하였다. 건강한 일반 성인 중 자발적으로 실험에 참여하고자 하는 자를 대상으로 실험 전 연구의 목적과 과정, 참여를 통해 얻는 이익, 연구를 위해 수집된 개인정보의 관리 및 파기, 연구에 참여하는 동안 언제든지 자발적으로 참여 중단을 할 수 있음을 설명하고 서면동의를 한 대상자 총 38명이 연구에 참여하였다. 본 연구의 모든 절차와 방법은 K대학교 기관생명윤리위원회(KYU-2020-164-01)의 심사를 받은 후 실시하였다.

연구에 필요한 연구 대상자 수를 G*power 소프트웨어를 이용하여 산출한 결과 대상자 수는 35명(효과크기=.250, α =.050, 검정력=.950)이 적정인원수로 판단되어 중도 탈락 15%를 고려하여 40명의 대상자를 선정하기로 하였다.

1. 스마트인솔

페디솔(Pedisol, Spinal Systems, KOR)은 인솔형센서, 블루투스, 상태표시LED, 전원과 배터리로 구성되어 있으며, 스마트폰과 어플리케이션을 통해 데이터의 송수신이 이루어진다. 어플리케이션은 균형측정과 보행측정으로 구성되어 있다. 스마트인솔은 100 mm 단위로 사이즈가 구비되어 있으며, 스마트인솔 한개당 총 35개의 압력센서를 내장하고 있으며, 좌우 총 70개의 센서로 구성되어 있다. 압력 센서에 블루투스를 이용하여 스마트폰과 연결된다.

2. 균형

페디솔을 착용한 상태에서 족압스캔장비(Pedoscanner, DIERS International GmbH, GER)위로 올라가 총 10초간 3회 균형을 측정하였다. 대상자는 발사이를 어깨넓이로 벌린 상태에서 서게 한 후, 두 손은 앞으로 교차하여 가슴 위에 놓고 시선은 정면 눈높이에 있는 표적을 바라보고 편안하게 서게 하였다. 균형은 총 3회 측정하였으며, 데이터 수집은 족압스캔 장비의 데이터 수집은 컴퓨터 소프트웨어(ABW-MED ver3.51.02, DIERS International GmbH, GER)를 이용하였고, 페디솔은 안드로이드 어플리케이션에서 균형측정결과의 데이터에서 압력중심점 이동거리와 좌우 체중분포율을 결과로 사용하였다. 데이터의 샘플링은 100 Hz로 기록되며, 두 장비간의 타당도를 확인하기 위해 공통적으로 확인할 수 있는 압력중심점 이동거리(mm), 좌우 체중분포(%)를 기록하였다.

3. 보행

페디솔을 착용한 상태에서 보행분석장비(GaitRite Software ver3.2, CIR systems Inc., Slifton, NJ, USA)위를 편안한 보행속도로 걷도록 하였다. 측정횟수는 편안한 보행속도는 총 5회 중 중간 3회의 데이터를 결과로 사용하였다. 페디솔의 데이터는 안드로이드 어플리케이션에서 보행분석 메뉴에 있는 결과를 사용하였다. GaitRite는 6개의 센서패드가 포함되어 있으며, 길이 366 cm, 너비 61 cm, 높이 0.6 cm의 휴대용 롤업 카펫형태로 센서패드 안에는 13,824(48x288)개의 센서가 발의 압력으로 활성화되고, 초당 80 Hz의 샘플률로 데이터를 기록한다. 노트북의 usb serial 통신을 이용하여 데이터를 수집하였으며, 분속수 등의 데이터에 대하여 신뢰도 ICC=.920~.960(van Uden & Besser, 2004)를 보이는 장비이다. 두 장비간의 타당도를 확인하기 위해 공통적으로 확인할 수 있는 변수를 선정하였고, 분당보행수(cadence, step/min), 디딤기 비율(stance time, %), 흔들기비율(swing time, %), 걸음시간(step, s)을 비교하였다.

4. 통계분석

균형 데이터의 정규성 검정결과 대부분 정규분포하였으나, 보행 데이터는 대부분 정규분포하지 않았다. Pedisol

과 Pedoscan장비 데이터의 차이를 비교하기 위해 가장 처음 측정된 데이터에서 두 장비간의 차이를 Wilcoxon 부호검정과 대응표본 t검정하여 분석하였으며, 두 장비간의 COP 데이터의 상관분석을 위해서 Spearman 상관분석을 실시하였고, Pedisol과 GAITRite 시스템 장비의 신뢰도분석을 위해서 3회 보행측정값 간의 급내상관계수 (intraclass correlation coefficient; ICC)분석을 실시하였다. 1~3회 보행측정 변수에 대하여 두 장비간에 차이를 비교하기 위해 Wilcoxon 순위검정을 실시하였으며, 두 장비간의 보행변수의 상관관계를 확인하기 위해 Spearman 상관관계분석을 실시하였다.

Ⅲ. 결 과

본 연구에는 총 38명(남 15명, 여 23명)의 대상자가 참여하였다. 모든 대상자는 실험을 완료하였으나, 측정과정에서 기기의 오작동으로 균형평가에서 2명과 보행평가에서 1명이 분석에서 제외되었다. 최종적으로 분석에 사용된 데이터의 수는 균형에서 36명, 보행에서 37명이 사용되었다(Table 1).

Table 1. General characteristics

Variables	Mean±SD	Range (Min-Max)
Gender (male/female)	15 / 23	
Age (years)	22.39±1.85	9 (20, 29)
Weight (kg)	59.74±11.21	41 (45, 86)
Height (cm)	166.66±8.28	33 (153, 186)

1. 균형

압력중심점의 이동거리는 장비간 유의한 차이를 보였으나($p<.050$), 체중분포는 장비간 유의한 차이가 없으므로 나타났다(Table 2). 두 장비간의 상관관계는 $r=.382\sim.523$ 으로 유의하게 나타났다($p<.050$)(Table 4).

2. 보행

페디솔 장비의 신뢰도는 입각기비율 데이터를 제외하고, $ICC=.697\sim.881$ 범위로 나타났다(Table 2). 두 장비에서 분당보행수와 보시간은 유의한 상관관계($r=.678, r=.922$)가 있는 것으로 나타났다($p<.050$)(Table 5).

Table 2. Mean difference of devices of balance and gait

	Mean ± SD			Z / t (p)
	Pedisol	Standard	Difference	
Balance (n=36)				
COP (mm)	127.03±98.81	270.44±45.84	-143.41±81.72	-4.698 (<.001)
Weight ratio left (%)	51.05±6.57	50.42±3.62	.63±6.88	.551 (.585)
Weight ratio right (%)	48.95±6.57	49.57±3.62	-.63±6.88	-.551 (.585)
Gait (n=37)				
Cadence (step/min)	68.04±13.17	85.30±17.41	-17.26±13.24	-5.001 (<.001)
Lt stance (%)	66.63±5.40	65.55±2.55	1.08±6.13	-1.365 (.172)
Rt stance (%)	66.12±6.02	65.43±2.73	.69±6.90	-1.516 (.129)
Lt swing (%)	32.23±5.45	34.46±2.55	-2.22±5.89	-1.969 (.049)
Rt swing (%)	34.96±15.78	34.57±2.73	.39±15.80	-1.931 (.053)
Lt step time (s)	1.42±.35	1.48±.38	-.06±.14	-1.896 (.058)
Rt step time (s)	1.40±.35	1.48±.38	-.07±.20	-2.283 (.022)

Table 3. The reliability of test-retest of pedisole in balance and gait

	Mean ± SD			ICC (95% CI)
	1st trial	2nd trial	3rd trial	
Balance (n=36)				
COP (mm)	127.03±98.81	113.67±77.59	106.79±90.22	.687 (.456, .830)
Weight ratio left (%)	51.05±6.57	50.82±6.78	52.59±9.36	.729 (.529, .853)
Weight ratio right (%)	48.95±6.57	48.59±6.94	47.41±9.36	.794 (.643, .888)
Gait (n=37)				
cadence (step/min)	69.14±14.38	69.24±13.81	65.74±18.98	.772 (.607, .875)
stance (%)	67.71±5.39	67.48±6.43	64.70±12.07	.265 (-.267, .597)
swing (%)	31.77±6.88	32.52±6.43	32.41±7.38	.697 (.477, .834)
step time (s)	1.48±.44	1.43±.31	1.36±.40	.881 (.795, .935)

Table 4. The correlation of center of pressure in pedisole and pedoscan (n=36)

	Pedoscan		
	1st trial	2nd trial	3rd trial
Pedisole	1st trial	.523*	
	2nd trial		.382*
	3rd trial		.462*

*p<.050 by Spearman correlation analysis

Table 5. The correlation of gait variables in pedisole and GaitRite (n=37)

	GaitRite	
	cadence (step/min)	step time (s)
Pedisole	cadence (step/min)	.678*
	step time (s)	.922*

*p<.050 by Spearman correlation analysis

IV. 고찰

본 연구는 건강한 성인 38명을 대상으로 페디솔 스마트인솔 보행분석 장비의 신뢰도와 타당도를 알아보기 위해 균형과 보행을 각각 측정하였고, 균형은 Pedoscan 장비와 동시에 측정하여 압력중심점 이동거리, 좌우체중분포율을 측정하여 비교하였다. 보행은 GaitRite 장비와 동시에 측정하여 보행속도, 입각기, 유각기, 보시간을 측정하여 비교하였다. 균형측정에서 신뢰도는 ICC=.687~.794를 보였고, 체중분포율은 평균의 유의한 차이를 보이지 않았으며, 압력중심점 이동거리는 두 장

비의 데이터 수집률의 차이로 인해 이동거리의 차이를 보였으나 이는 데이터 수집 특성으로 인한 차이이므로 신뢰도에 영향을 주지는 않는다. 두 장비간의 COP 타당도는 모두 유의한 상관성을 보였고, 상관관계는 $r=.382\sim.523$ 의 양의 상관관계를 보였으며, 보행측정은 편안한 보행속도에서 측정하였다. 신뢰도 ICC=.900~1.0은 매우 높은 일치, ICC=.700~.890은 높은 일치, ICC=.500~.690은 중간 일치, ICC=.260~.490은 낮은 일치, ICC=0~.250은 약한 일치도를 나타낸다(Sundmacher 등, 2014). 편안한 보행에서 신뢰도는 입각기 값을 제외하고, ICC=.697~.881를 보였다. 이에 따라 페디솔은 편안한 보

행에서 대체적으로 높은 일치도를 나타낸다고 판단된다. 하지만 입각기비율의 데이터 분석방법은 점검을 해볼 필요가 있다고 판단된다. 두 장비간의 동시타당도를 확인하기 위해 평균차이를 분석한 결과는 보빈도를 제외하고 모두 유의한 차이가 없어 유사한 결과를 나타내는 것으로 판단된다. 보빈도는 페디솔장비가 다소 낮게 나타났다. 이는 착용한 센서의 사이즈로 인해 나타났을 것으로 판단된다. 연구에서 사용된 스마트인솔센서는 10 mm 단위로 제작되어 대상자에 따라 본인의 발 사이즈와 센서의 사이즈에 편차를 보일 수 있다. 이로 인해 발뒤꿈치 들어올리기(heel-off)시의 시간에서 측정시마다 센서에서 인식하는 값의 차이가 나타날 것으로 판단된다. 두 장비간의 상관관계는 분당보행수가 $r=.678$, 보시시간이 $r=.922$ 로 높게 나타났으며 유사한 특성을 나타내고 있다고 판단된다.

보행에서 센서를 사용하여 분석하는 것은 다양한 상황에서 활용될 수 있다. 선행연구에서는 무지외반증 환자의 보행특성을 분석하였으며, 무지외반증 환자의 경우 발바닥압에서 중간입각기에서 말기디딤기까지에서 과도한 안쪽 변침을 보인다고 하였다(Yu 등, 2011). 발바닥압력의 크기와 분포는 발의 구조와 기능적 상태, 통증, 신발이나 노면상태에 의해 변화될 수 있다(Lee 등, 2021; Takata 등, 2021). 특히, 당뇨병, 관절염, 파킨슨병, 말초신경병증 환자의 기능평가에서 중요한 요소로 사용될 수 있는데, 스마트인솔 등의 사용에 의해 토크의 감소를 확인할 수 있고(Korada 등, 2020; Shalin 등, 2020), 족압 분포의 변화와 토크의 방향을 개선하는데 도움을 줄 수 있다(Wynn & Freeman, 2019).

스마트인솔은 폴리우레탄 등의 소재와 배터리, 압전센서 등의 부속으로 구성된다. 해외의 스마트인솔 제품 레찰팟(Lechal Pod, Ducere technologies, India), 국내에는 발가이더(Feet guider, BMSYS, Korea), 3L Labs 사의 풋로거(FootLogger, 3L Labs, Korea), 아이솔(I-SOL, TLI, Korea) 등의 제품이 있다. 연구 목적으로 가장 정확한 표준이 되는 제품으로는 페다(Pedar, Novel gmbh, Germany) 제품이 있다. 스마트 인솔은 웰니스 관련 콘텐츠와 함께 걸음걸이를 교정하거나 신체활동량을 서비스하거나 달리기 혹은 골프와 같이 전문 스포츠 영역에서 자세교정 등의 목적으로 활용이 가능하고, 노인재활에서도 활용이

가능해지면서 다양한 형태의 제품이 개발되고 있으며, 점차 전문스포츠 분야나 임상에서 활용하기 쉬워지고 있는 추세이다. 선행연구들에서 스마트 인솔센서의 보행에 대한 신뢰도는 PODO 스마트 인솔(Podo smart, Digitsole SAS, France)은 보행속도는 ICC=.990으로 높았으나 입각기는 ICC=.568~.575, 유각기(%)는 ICC=.525~.577, 로 낮은 수준을 보였다(Ziagkas 등, 2021). PKmas 인솔(PKmas insole, ProtoKinetics, USA)을 이용하여 GaitRite 제품과 비교하였을 때 분당보행수, 보폭, 입각기, 유각기 모두에서 ICC=1.0의 높은 일치도를 보였다(Egerton 등, 2014). 이와 같이 국외에서의 우수한 스마트인솔이 개발과 연구결과들이 보고되고 있으나 국내에서 의미있는 연구결과는 매우 부족하다.

본 연구는 페디솔 장비의 신뢰도와 타당도를 확인하기 위해 수행되었고, 유사한 타장비와 동시에 측정하는 방식을 사용하였다. 페디솔은 신발 안에 인솔형태로 삽입하여 페드와 연결하여 균형과 보행을 측정하는 장비이다. 연구과정에서 개선이 필요한 사항으로 뒷꿈치 아래 부분에 회로기판이 존재하여 보행과정에서 회로에 충격을 줄 수 있는 문제가 나타났다. 연속적 보행측정에 의한 연구가 진행되는 도중 센서가 파손되는 현상이 확인되었다. 보행 중에는 발바닥에는 체중의 1~3배의 하중이 가해지기 때문에 상당한 압력이 장치에 가해질 수 있다. 유사한 해외장비에서는 센서를 신발 밖으로 송수신기를 빼내어 신발의 끈이나 측면에 부착하는 방식이나 발의 아치부분의 공간에 센서를 두는 방식 등을 사용하여 압력으로 인한 손상을 피할 수 있는 방법으로서의 개선을 고려해볼 필요가 있다고 판단된다. 압력센서 아래에 있는 바닥부의 재질이 단단한 부분과 부드러운 부분으로 서로 다른 부분이 있어 측정값의 일관성에서 차이를 보일 것으로 예상되어 이 부분도 함께 개선을 고려해볼 필요가 있다고 판단된다. 연구과정에서 발견된 이러한 제품의 보완사항들을 개선하여 일상에서나 임상에서 사용할 수 있는 가능성을 확인하였고, 어플리케이션을 통해 저장되는 데이터는 임상적으로 의미있는 수준의 신뢰도 있으며, 타당도가 있는 데이터임을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 연구는 신발내에서 압력을 측정할 수 있도록 고안된 스마트인솔 센서를 사용하여 균형과 보행측정을 실시하여 신뢰도와 타당도를 확인하였다. 신뢰도를 확인하기 위한 방법으로 균형은 Pedoscan 장비를 사용하였으며, 보행은 GaitRite 장비를 사용하였고, 신발내에 스마트인솔을 착용한 상태로 동시측정을 실시하였고, 장비간 평균차이와 검사-재검사 신뢰도, 장비간 변수의 상관관계를 분석하였다. 페디솔은 균형과 보행 측정에서 적절한 수준의 신뢰도와 타당도를 보여 임상에서 활용할 수 있는 장비로 판단된다.

참고문헌

- Alexander II, Chao EY, Johnson KA(1990). The assessment of dynamic foot-to-ground contact forces and plantar pressure distribution: a review of the evolution of current techniques and clinical applications. *Foot Ankle*, 11(3), 152-167. <https://doi.org/10.1177/107110079001100306>.
- Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, et al(2018). Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait Posture*, 62, 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.005>.
- Chatwin KE, Abbott CA, Boulton AJM, et al(2020). The role of foot pressure measurement in the prediction and prevention of diabetic foot ulceration-A comprehensive review. *Diabetes Metab Res Rev*, 36(4), Printed Online. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3258>.
- Chatzaki C, Skaramagkas V, Tachos N, et al(2021). The smart-insole dataset: Gait analysis using wearable sensors with a focus on elderly and Parkinson's patients. *Sensors (Basel)*, 21(8), Printed Online. <https://doi.org/10.3390/s21082821>.
- Chen D, Asaekheybari G, Chen H, et al(2021). Ubiquitous fall hazard identification with smart insole. *IEEE J Biomed Health Inform*, 25(7), 2768-2776. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.3046701>.
- de Fazio R, Perrone E, Velazquez R, et al(2021). Development of a self-powered Piezo-resistive smart insole equipped with low-power BLE connectivity for remote gait monitoring. *Sensors (Basel)*, 21(13), Printed Online. <https://doi.org/10.3390/s21134539>.
- Egerton T, Thingstad P, Helbostad JL(2014). Comparison of programs for determining temporal-spatial gait variables from instrumented walkway data: PKmas versus GAITRite. *BMC Res Notes*, 7, Printed Online. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-542>.
- Hong J, Liu XC, Thometz J, et al(2021). Evaluation of plantar pressures and center of pressure trajectories in adolescent idiopathic scoliosis. *Stud Health Technol Inform*, 280, 131-135. <https://doi.org/10.3233/SHTI210451>.
- Konings-Pijnappels APM, Tenten-Diepenmaat M, Dahmen R, et al(2019). Forefoot pathology in relation to plantar pressure distribution in patients with rheumatoid arthritis: A cross-sectional study in the Amsterdam Foot cohort. *Gait Posture*, 68, 317-322. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.12.015>.
- Korada H, Maiya A, Rao SK, et al(2020). Effectiveness of customized insoles on maximum plantar pressure in diabetic foot syndrome: A systematic review. *Diabetes Metab Syndr*, 14(5), 1093-1099. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.06.041>.
- Lee HS, Lee KJ, Kim JL, et al(2021). Gait characteristics during crossing over obstacle in patients with glaucoma using insole foot pressure. *Medicine*, 100(32), Printed Online. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026938>.
- Lord M(1981). Foot pressure measurement: a review of methodology. *J Biomed Eng*, 3(2), 91-99. [https://doi.org/10.1016/0141-5425\(81\)90001-7](https://doi.org/10.1016/0141-5425(81)90001-7).
- Macdonald EM, Perrin BM, Cleeland L, et al(2021). Podiatrist-delivered health coaching to facilitate the use of a smart insole to support foot health monitoring in people with diabetes-related peripheral neuropathy. *Sensors (Basel)*, 21(12), Printed Online.

- <https://doi.org/10.3390/s21123984>.
- Picoulean A, Orsoni N, Hardy J, et al(2020). Analysis of the effects of arthrodesis of the hallux metatarsophalangeal joint on gait cycle: results of a GAITRite((R)) treadmill test. *Int Orthop*, 44(10), 2167-2176. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04716-5>.
- Roche B, Simon AL, Guilmin-Crepon S, et al(2018). Test-retest reliability of an instrumented electronic walkway system (GAITRite) for the measurement of spatio-temporal gait parameters in young patients with Friedreich's ataxia. *Gait Posture*, 66, 45-50. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.08.017>.
- Rogan S, de Bie R, Douwe de Bruin E(2017). Sensor-based foot-mounted wearable system and pressure sensitive gait analysis : Agreement in frail elderly people in long-term care. *Z Gerontol Geriatr*, 50(6), 488-497. <https://doi.org/10.1007/s00391-016-1124-z>.
- Shalin G, Pardoel S, Nantel J, et al(2020). Prediction of freezing of gait in Parkinson's disease from foot plantar-pressure arrays using a convolutional neural network. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2020, 244-247. <https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176382>.
- Sundmacher L, Gotz N, Vogt V(2014). Statistical methods for research on regional health-care services. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 57(2), 174-179. <https://doi.org/10.1007/s00103-013-1887-y>.
- Tahir AM, Chowdhury MEH, Khandakar A, et al(2020). A systematic approach to the design and characterization of a smart insole for detecting vertical ground reaction force (vGRF) in gait analysis. *Sensors (Basel)*, 20(4), Printed Online. <https://doi.org/10.3390/s20040957>.
- Takata Y, Kawamura R, Matsuoka S, et al(2021). Comparison of flatfeet and normal feet using data of the gait cycle, contact area, and foot pressure. *Data Brief*, 36, Printed Online. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106990>.
- Tao J, Dong M, Li L, et al(2020). Real-time pressure mapping smart insole system based on a controllable vertical pore dielectric layer. *Microsyst Nanoeng*, 6, Printed Online. <https://doi.org/10.1038/s41378-020-0171-1>.
- Tay WL, Lo ZJ, Hong Q, et al(2019). Toe pressure in predicting diabetic foot ulcer healing: a systematic review and meta-analysis. *Ann Vasc Surg*, 60, 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2019.04.011>.
- Tsuboyama T, Windhager R, Bochdansky T, et al(1994). Gait after knee arthroplasty for femoral tumor. Foot pressure patterns recorded in 20 patients. *Acta Orthop Scand*, 65(1), 51-54. <https://doi.org/10.3109/17453679408993718>.
- van Uden CJ, Besser MP(2004). Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured with an instrumented walkway system (GAITRite). *BMC Musculoskelet Disord*, 5, Printed Online. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-5-13>.
- Wynn M, Freeman S(2019). The efficacy of negative pressure wound therapy for diabetic foot ulcers: A systematised review. *J Tissue Viability*, 28(3), 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2019.04.001>.
- Yu JH, Lee GC, Lee DY(2011). A study on the change of gait temporal parameter and ankle joint moment in patients with Achilles tendinitis. *J Korea Acad-Industr Cooper Soc*, 12(12), 5766-5772. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.12.5766>.
- Ziagkas E, Loukovitis A, Zekakos DX, et al(2021). A novel tool for gait analysis: Validation study of the smart insole PODOSmart((R)). *Sensors (Basel)*, 21(17), Printed Online. <https://doi.org/10.3390/s21175972>.
- Zulkifli SS, Loh WP(2020). A state-of-the-art review of foot pressure. *Foot Ankle Surg*, 26(1), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.12.005>.