

Wii Balance Board를 이용한 Sit-to-Stand와 보행기능 측정의 검사-재검사 신뢰도

양승례, 오유리, 전예림, 박대성
건양대학교 의과대학 물리치료학과

Test-retest Reliability of Sit-to-Stand and Gait Assessment Using the Wii Balance Board

Seong-rye Yang, Yu-ri Oh, Ye-rim Jeon, Dae-sung Park, PhD, PT
Dept. of Physical Therapy, College of Medical Science, Konyang University

Abstract

Background: Assessments of Sit-to-Stand (STS) and gait functions are essential procedures in evaluating level of independence for the patients after stroke. In a previous study, we developed the software to analyze center of pressure (COP) in standing position on Wii Balance Board (WBB).

Objects: This purpose of this study is to measure test-retest reliability of ground reaction forces, COP and time using WBB on STS and gait in healthy adults.

Methods: Fifteen healthy participants performed three trials of STS and gait on WBB. The time (s), vertical peak (%) and COP path-length (cm) were measured on both tasks. Additionally, counter (%), different peak (%), symmetry ratio, COP x-range and COP y-range were analyzed on STS, 1st peak (%), 2nd peak (%) of weight were analyzed on gait. Intra-class correlation coefficient (ICC), standard error measurement (SEM) and smallest real difference (SRD) were analyzed for test-retest reliability.

Results: ICC of all variables except COP path-length appeared to .676~.946 on STS, and to .723~.901 on gait. SEM and SRD of all variables excepting COP path-length appeared .227~8.886, .033~24.575 on STS. SEM and SRD excepting COP path-length appeared about .019~3.933, .054~11.879 on gait.

Conclusion: WBB is not only cheaper than force plate, but also easier to use clinically. WBB is considered as an adequate equipment for measuring changes of weight bearing during balance, STS and gait test which are normally used for functional assessment in patients with neurological problems and elderly. The further study is needed concurrent validity on neurological patients, elderly patients using force plate and WBB.

Key Words: Gait; Ground reaction force; Test-retest reliability; Wii balance board.

I. 서론

앉은자세에서 일어서기 동작(Sit-to-Stand; STS)은 일상생활에서 가장 많이 수행되는 움직임 중에 하나이다 (Yoshioka 등, 2007). STS는 보행을 하기 위해 필수적으로 선행하는 기능 중 하나이며, 보행과 함께 일상생활을 평가하기 위한 방법으로 사용된다(Etnyre와 Thomas, 2007).

보행 능력을 평가하는 검사로는 일어난 후 걸어가서 돌아오는 시간을 측정하여 기능적인 보행 능력을 분석하는 Timed Up and Go 검사가 있고(Podsiadlo와 Richardson, 1991), 6분간 보행 거리를 측정하는 6분 걷기 검사가 있다(Pohl 등, 2002). 하지만 이는 시간을 기반으로 평가하는 방법으로 균형에 대한 질적 평가가 어렵다. 보행에 대한 정량적인 평가는 근전도와 에너지

산소소모율(energy expenditure rate)을 이용한 방법을 사용하기도 한다. 그러나 이런 방법은 환자의 상태에 따라 적용여부가 결정되고 검사방법이 까다로운 단점이 있다(Harris와 Wertsch, 1994). 보다 정확한 평가 방법으로는 삼차원 동작분석기를 이용한 검사방법이 있다. 이를 이용하여 인체의 삼차원적 움직임을 평가할 수 있는 운동형상학 및 운동역학적인 데이터를 추출해 정상 보행과 이상 보행의 특성을 정밀하게 분석할 수 있게 되었다(Han과 Bae, 2007). 정량적이고 객관적인 평가가 가능한 삼차원 동작분석은 임상적으로 보행 형태 이상 유무와 이상 정도를 파악하고 원인을 규명할 수 있는 평가방법이다. 그러나 값비싼 장비와 공간이 요구되고 사용자의 전문성이 필요해 사용에 제약이 따른다(Lee 등, 2004).

Wii Balance Board(Nintendo, WA, USA)(WBB)는 Nintendo사에서 개발한 가정용 게임기로 비교적 저가에 보급되어 있으며 사각형 판의 각 모서리에 아날로그 압력센서가 장착되어 있어 체중과 center of pressure(COP)를 측정할 수 있고 운반이 쉽다는 장점이 있다. 선행연구(Park 등, 2013)에서 정상인을 대상으로 WBB의 압력센서로부터 COP 측정값을 추출하고, 힘판에서의 측정값을 비교하여 신뢰도를 평가하였다. 그 결과 WBB와 힘판의 급내상관계수(intra-class correlation coefficient; ICC) 값은 검사자간 신뢰도 .89~.79, 검사자내 신뢰도 .92~.70 으로 높은 신뢰도를 보였다. 따라서 WBB는 높은 신뢰도를 가지고 있으며, 연구는 시간을 기반으로 보행을 평가하는 임상평가도구보다 질적인 평가가 가능하고, 근전도와 에너지 산소소모율방법보다 검사방법이 편리하며, 삼차원 동작분석기를 사용한 검사보다 저렴하게 평가가 가능할 것으로 생각된다.

본 연구의 목적은 정상 성인을 대상으로 WBB를 이용하여 STS와 보행을 수행하는 동안 수집된 지면반발력 값이 임상에서 활용이 가능한지 알아보기 위하여 검사-재검사의 신뢰도를 알아보려고 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 D광역시 소재의 K대학교 대학원에 재학 중인 건강한 성인 남자 6명, 여자 9명으로

하였다(Table 1). 본 연구의 대상자는 실험참가에 동의했으며, 눈을 뜨고 기립 자세를 유지하는데 결함이 없고 신경학적인 문제로 인하여 협응 능력이 저하되거나 운동 감각에 결손이 없는 자로 구성되었다. 연구에 참여한 대상자의 제외기준은 보행에 영향을 주는 요통이 있거나 하지의 골절경험이 있는 대상자로 하였다.

2. 연구도구 및 측정 방법

가. Wii Balance Board(WBB)

대상자의 지면반발력 및 COP의 이동거리를 측정하기 위해 WBB를 사용하였다. WBB를 이용해서 추출한 데이터를 분석하는 프로그램으로 Balancia software ver. 2.0(Mintosys, Seoul, Korea)을 사용하였다. 측정된 지면반발력 정보와 COP의 이동거리정보를 블루투스가 연결된 컴퓨터에 입력하여 Balancia 프로그램으로 수집되며, WBB에서는 다리가 지면에 닿아있는 동안 WBB 판에 가해지는 지면반발력을 초당 100 Hz의 샘플링으로 추출하였다. 저장된 데이터는 Excel 소프트웨어(Microsoft Corporation, Washington, USA)를 사용하여 다음의 값들을 분석하였다.

보행에서는 stance time(s), vertical peak(%), COP path-length(cm), 1st peak(%), 2nd peak(% of weight)를 측정하였고, 보행에서 시간은 체중이 입력되기 시작한 값부터 종료된 값까지의 시간으로 하였다. 보행의 그래프에서는 발꿈치 닿기와 발가락 떼기 시기의 값을 추출하여 비교하였다. COP path-length는 보행동안 COP의 이동거리를 측정한 값이며, 1st peak는 발꿈치 닿기(heel contact)는 입각기의 첫 부분으로 발뒤꿈치가 지면에 닿아 지면반발력이 입각기에서 처음 정점을 이루는 시기를 말한다. 2nd peak은 발가락 떼기(toe off)는 전유각기로 신체를 앞으로 움직이기 위해 발가락 끝을 떼는 단계로 지면반발력이 두 번째로 정점을 이루는 시기를 말한다(Hunt 등, 2001). 1st peak와 2nd peak값은 체중으로 나누어 %로 나타내었다.

Table 1. Characteristics of subjects (N=15)

Variables	Mean±SD ^a
Age (year)	29.8±3.4
Height (cm)	167.9±10.6
Weight (kg)	65.5±18.0

^astandard deviation.

STS에서는 time(s), vertical peak(%), COP path-length(cm), counter(%), different peak(%), symmetry ratio(SR), COP x-range(cm), COP y-range(cm) 를 분석하였다. 수집된 STS 데이터에서 동작의 시작과 끝은 안정시 초기 1초구간의 데이터 평균값에서 표준편차의 두 배 값을 뺀 값보다 작아지는 시점을 동작의 시작시점으로 하였고, 선 자세를 유지하고 있는 마지막 1초구간의 평균값에서 표준편차 값의 두 배 값을 뺀 값보다 작은 지점을 끝 구간으로 정의하였다. STS시의 그래프에서는 counter, vertical peak 두 군데의 값을 추출하여 비교하였다. 첫번째 최고값인 counter란 움직임을 시작한 후 vertical force의 감소로 관찰되는 반력을 말한다. 즉, 앉은 상태에서 일어나기 위해 체중을 부하하기 전, 발에 실려 있던 적은 압력이 없어진 상태라고 할 수 있다. Counter force가 가장 높을 때는 vertical force의 값이 가장 낮을 때이다. Vertical peak는 발에 압력이 최대로 증가한 상태로 최대하중이 주어진 값을 말한다. 즉, 일어서서 모든 체중이 발에 완전히 실렸을 때라고 할 수 있다(Etnyre와 Thomas, 2007). COP path-length는 STS 동안 COP의 이동거리를 말한다. Different peak(%)는 STS 동안 좌측과 우측에 가해지는 체중값의 차이값 중에서 최대값을 말한다. 값이 클수록 일어나는 동안 한 쪽으로 체중이 치우쳐졌음을 말한다. SR은 vertical peak 시기에 좌우 체중의 대칭비율을 나타내며, 1에 가까울수록 좌우가 대칭임을 말한다. COP x-range는 STS 동안 COP가 좌우로 움직임 범위를 말하며, COP y-range는 앞뒤로 움직인 범위를 말한다.

3. 연구절차

본 연구는 WBB를 대상자 당 세 번의 검사-재검사를 실시하였다. 측정자는 장비에 대한 교육을 충분히 받은 후 1주 이상 충분히 사용하고 연구에 참여하였다. 모든 검사는 검사 간 휴식 10초의 휴식시간을 두었다.

앉은 상태에서 WBB에 양발을 올린 후 엉덩관절이 90°가 유지되도록 하였고, 팔을 교차하여 가슴에 가볍게 올려놓도록 지시하였다. 발 위치는 무릎보다 후방에 위치하도록 하였다. 참가자는 시작 신호에 맞춰 자연스러운 속도로 STS를 수행하도록 하였다. 데이터의 저장 시작버튼을 누른 후 3초가 되었을 때 '시작'구령을 넣었고, 데이터 저장시간이 총 10초가 될 때까지 선 자세를 바르게 유지하도록 하였다(Figure 1A).

WBB와 같은 높이의 나무판을 제작하였고, WBB를 중심으로 약 2 m씩의 보행로가 확보되도록 하였다. 왼발과 오른발을 각각 3회씩 WBB를 밟고 지나가게 하였다. 각 참가자들은 시작 신호에 맞춰 나무 판의 끝에서 끝까지 자신의 평소 보행 속도로 보행하면서 WBB판을 밟도록 하였다. 데이터는 총 10초간 측정하였고 데이터 기록 시작시점부터 3초가 되었을 때 시작이라는 구령을 넣어 보행이 시작되게 하였다(Figure 1B).

4. 분석방법

본 연구에서는 SPSS ver. 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 상대적 신뢰도 지수는 ICC로 표기하

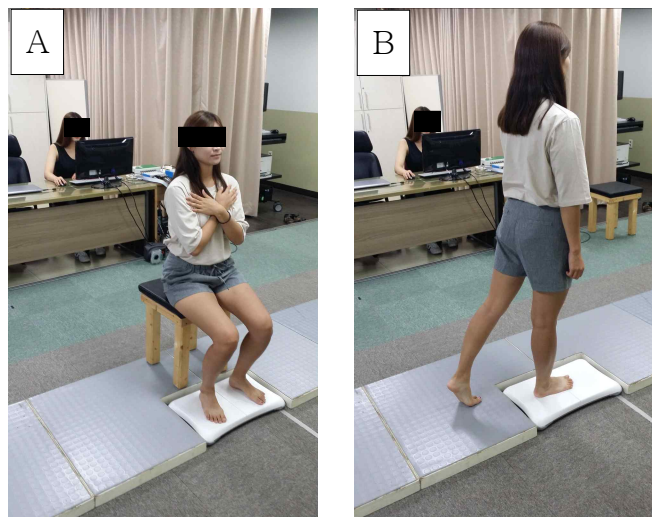


Figure 1. Experimental set up of sit-to-stand (A) and gait (B).

였고, ICC=.80 이면 일치도 수준이 높다고 할 수 있다 (Richman 등, 1980). 절대적 신뢰도는 측정오차의 정량화를 위해 표준 오차 측정(standard error of measurement; SEM)[모든 검사-재검사 점수의 표준 편차 $\times\sqrt{(1-ICC)}$]과 개개 환자들의 평가점수가 95% 신뢰수준에서 결정 (Beckerman 등, 2001) 되는지 알아보기 위하여 최저 실제 차이(smallest real difference; SRD)($1.96\times SEM\times\sqrt{2}$)를 이용하였다(Goldsmith 등, 1993). SEM은 측정된 평균값의 10% 미만, SRD는 측정된 값 중 최고 점수의 20% 미만인 경우 측정 오차가 작아 신뢰할 만하다로 간주하였다(Beckerman 등, 2001).

III. 결과

1. STS시 지면반발력의 신뢰도 검사

STS시 COP path-length를 제외한 항목은 높은 신뢰

도를 보였다. COP path-length는 낮은 신뢰도를 보였다 (Table 2). STS 전체를 100%로 정규화하였을 때 각 시기 당 지면반발력의 평균과 표준편차는 Figure 2와 같았다.

2. 보행시 지면반발력의 신뢰도 검사

보행시 COP path-length를 제외한 항목은 높은 신뢰도를 보였다. COP path-length는 낮은 신뢰도를 보였다(Table 3). 보행 전체를 100%로 정규화 하였을 때 각 시기 당 지면반발력의 평균과 표준편차는 Figure 2와 같았다.

IV. 고찰

WBB는 Nintendo사에서 개발한 가정용 게임기로 비교적 저가에 보급되어 있으며 사각형 판의 각 모서리에 압력센서가 장착되어 있어 체중분포와 COP를 측정할

Table 2. Reliability in ground reaction force of sit-to-stand

(N=15)

Parameters	Mean \pm SD ^a			Mean \pm SD of 3 trials	ICC ^b (95% CI ^c)	SEM ^d	SRD ^e
	Trial 1	Trial 2	Trial 3				
Time (s)	2.11 \pm .53	1.92 \pm .23	1.89 \pm .36	1.97 \pm .40	.676(.231~.882)	.227	.629
Vertical peak (%)	114.28 \pm 3.73	114.35 \pm 4.55	117.21 \pm 6.13	115.29 \pm 4.99	.720(.336~.898)	2.638	7.312
COP ^f path-length (cm)	50.47 \pm 18.57	45.92 \pm 26.30	73.40 \pm 88.14	56.59 \pm 54.31	.294(.676~.743)	45.635	126.493
Counter (%)	.05 \pm .04	.06 \pm .04	.05 \pm .04	.05 \pm .04	.896(.753~.962)	.012	.033
Difference peak (%)	44.60 \pm 26.17	45.35 \pm 28.74	40.04 \pm 25.14	43.33 \pm 26.22	.897(.756~.963)	8.415	23.326
Symmetry ratio	1.00 \pm .14	.98 \pm .08	1.03 \pm .12	1.00 \pm .11	.758(.426~.912)	.055	.154
X_range (cm)	15.88 \pm 14.94	18.28 \pm 20.51	18.81 \pm 24.17	17.66 \pm 19.81	.946(.872~.980)	4.604	12.761
Y_range (cm)	23.76 \pm 25.85	18.24 \pm 11.82	22.34 \pm 20.00	21.45 \pm 19.74	.864(.677~.951)	7.281	20.182

^astandard deviation, ^bintra-class correlation coefficient, ^cconfidence interval, ^dstandard error of measurement, ^esmallest real difference, ^fcenter of pressure.

Table 3. Reliability in ground reaction force of gait

(N=15)

Parameters	Mean \pm SD ^a			Mean \pm SD of 3 trials	ICC ^b (95% CI ^c)	SEM ^d	SRD ^e
	Trial 1	Trial 2	Trial 3				
Stance time (s)	.54 \pm .06	.53 \pm .06	.53 \pm .07	.53 \pm .06	.901(.818~.949)	.019	.054
Vertical peak (kg)	112.10 \pm 9.46	109.97 \pm 9.30	112.02 \pm 7.84	111.36 \pm 8.92	.840(.707~.919)	3.540	9.812
COP ^f path-length (cm)	26.77 \pm 4.49	27.28 \pm 4.23	28.25 \pm 4.43	27.43 \pm 4.38	.458(.676~.743)	3.224	8.936
1st Peak (%)	106.78 \pm 9.49	104.90 \pm 7.84	105.66 \pm 7.07	105.77 \pm 8.14	.723(.491~.859)	4.186	11.879
2nd Peak (%)	109.51 \pm 10.59	109.12 \pm 9.24	108.67 \pm 12.72	109.10 \pm 10.82	.868(.758~.919)	3.933	10.901

^astandard deviation, ^bintra-class correlation coefficient, ^cconfidence interval, ^dstandard error of measurement, ^esmallest real difference, ^fcenter of pressure.

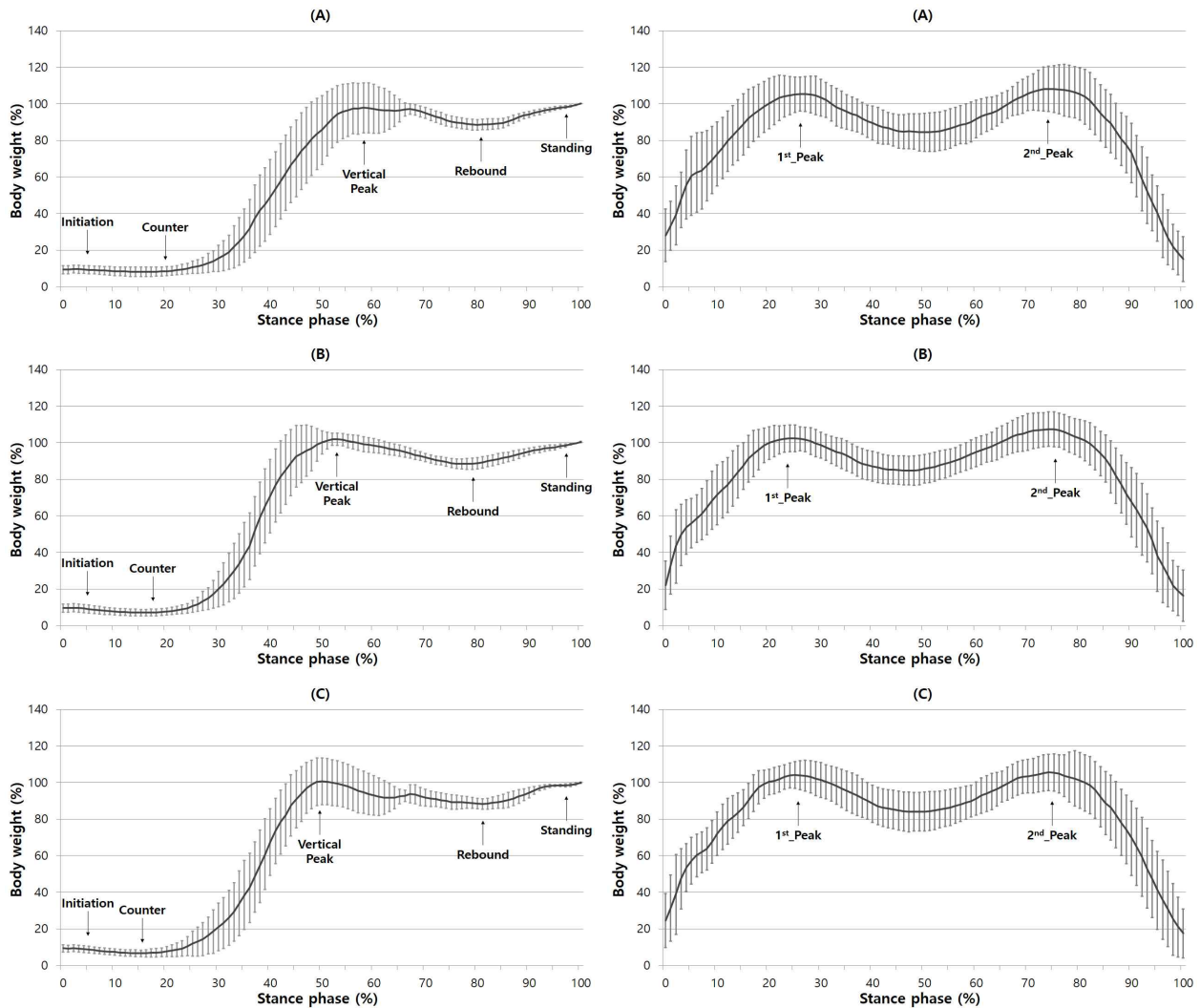


Figure 2. Ground reaction force of sit-to-stand (left) and gait (right) (A) 1st trial, (B) 2nd trial, (C) 3rd trial.

수 있다(Park 등, 2013). 본 연구는 WBB의 임상적용에 관한 사전 연구로서 상대적·절대적인 신뢰도를 알아보 고자 하였다. WBB로 STS와 보행시 지면반발력과 COP의 이동거리를 측정하였다. 각각 세 번의 검사를 실시하여 검사-재검사 신뢰도를 알아보았다. 그러나 ICC 값은 반복 측정을 할 경우 측정값의 불일치의 크기를 알 수 없기 때문에 상대적인 신뢰도로 평가되어 절대적인 신뢰도가 필요한 평가자간의 일치도를 반영하는 데 한계가 있다(Chen 등, 2014; Hsueh 등, 2008). 이에 대해 본 연구에서는 부가적으로 SEM과 SRD를 사용하여 절대적인 신뢰도를 알아보았다. 이는 심리학적 특성을 반영할 수 있는 절대적인 신뢰도 지수로서, 검

사를 반복적으로 평가하였을 때 피실험자의 평가 수행 점수가 신뢰도 구간(95%)에서 일정하게 유지되고 있는지 아니면 무작위로 변화하고 있는지 구별할 수 있다(Flansbjerg 등, 2005; Liaw 등, 2008). 본 연구에서 두 지수는 측정의 표준 오차 범위를 파악 하는 데 사용되고 있으며, 신뢰도 지수(ICC)와 역의 관계에 있기 때문에 신뢰도가 클수록 값이 작아지고 오차 범위가 작을수록 신뢰할 수 있다는 것을 알 수 있다(Lu 등, 2008).

지면반발력은 STS와 보행시 WBB에 가해지는 체중 값을 이용하여 측정하였다. STS의 최고값은 counter, vertical peak로 구분되어지며, 정상인의 경우 counter에서는 체중의 12%, vertical peak에서는 체중의 116%

로 나타난다(Etnyre와 Thomas, 2007). 본 논문에서는 양발을 동일한 판에 올려놓은 후 측정을 하여 두 발 사이의 차이를 알 수는 없지만 COP의 path-length와 COP y-range를 측정하여 두 발 사이의 균형이 맞는지 알 수 있었다. 세 번의 검사-재검사를 시행한 STS의 데이터에서 두 군데의 최고값을 추출하여 비교하였는데, 각각의 최고값에서의 검사-재검사 신뢰도(ICC)는 counter에서 .896, vertical peak에서 .72으로 유의할만한 수준으로 나타났다. 절대적인 신뢰도인 SEM은 측정된 평균값의 10%보다 작아야 하고, SRD는 측정된 값에서의 최고 점수의 20%보다 작아야 신뢰할 만하다고 간주한다(Beckerman 등, 2001). STS의 SEM은 counter에서 .012, vertical peak에서 2.638으로 평균값의 10%보다 작아 신뢰할 만한 수준이었다. SRD는 counter에서 .033, vertical peak에서 7.312로 vertical peak은 최고점수의 20%보다 낮아 신뢰할 만한 수준이었지만, counter에서는 .021이 높았다.

보행은 입각기의 지면반발력을 측정하였을 때 발꿈치 닿기와 발가락 떼기로 구분할 수 있다(Hunt 등, 2001). 보행에서의 최고값은 발꿈치 닿기와 발가락 떼기가 있는데, 정상인의 경우 발꿈치 닿기에서는 체중의 104%, 발가락 떼기에서는 체중의 109%로 나타난다. Sacco 등(2010)에 의하면 당뇨병자와 정상군의 보행시 최고값을 비교했을 때, 1st peak의 구간 유의확률은 $p=.262$ 이었고, 1st peak과 2nd peak의 차이값에서도 구간 유의확률은 유의한 차이가 없었다. 그러나 2nd peak의 구간 유의확률은 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<.05$). 본 연구는 세 번의 검사-재검사를 시행한 보행의 데이터에서 두 군데의 최고값을 추출하여 비교하였는데, 각각의 최고값에서의 검사-재검사 신뢰도(ICC)는 발꿈치 닿기에서 .723, 발가락 떼기에서 .868로 각각 좋은 신뢰도를 나타냈다. 또한 SEM은 발꿈치 닿기에서 4.186, 발가락 떼기에서 3.933으로 평균값의 10%보다 작아 신뢰할 만한 수준이었다. SRD는 발꿈치 닿기에서 11.879, 발가락 떼기에서 10.901로 최고점수의 20%보다 낮아 신뢰할 만한 수준이었다.

COP path-length는 STS와 보행시 측정하였는데, STS시의 검사-재검사 신뢰도(ICC)는 .294, SEM은 45.635, SRD는 126.493으로 나타났다. 보행시에서도 검사-재검사 신뢰도(ICC)는 .458, SEM은 3.224, SRD는 8.936으로 신뢰도가 낮았다. 그러나 COP path-length는 신체의 동요정도를 나타내는 것이므로, 과제를 수행할 때의

환경, 자세, 속도, 균형 정도에 따라 민감하게 변할 수 있는 요인으로 생각된다. 따라서 정상인의 검사-재검사에서는 높은 신뢰도가 나타날 만큼의 일치성을 보이지 않았지만, 정상인과 질환을 가지고 있는 사람이나 노인과 비교했을 때는 유의한 차이를 보일 것이라고 생각되므로 이에 따른 향후 연구가 필요하다.

본 연구에서 사용한 WBB는 정량적인 균형능력을 평가하기 위해 지면반발력을 측정하여 과제를 실시할 때 체중부하가 잘 이루어지고 있는지 알 수 있고, COP path-length를 측정하여 과제를 실시할 때 신체의 동요가 얼마나 일어났는지를 알 수 있다. WBB는 동작을 시행하는 데 소요되는 시간뿐만 아니라 각 동작의 진행 시간을 기록할 수 있어 임상에서 균형 능력을 평가하는데 사용 가능하다. Buatois 등(2008)에 의하면 STS 동작을 수행하는데 15초 이하가 소요되는 노인에게 비해 그 이상의 시간이 소요되는 노인이 낙상 위험이 2배 이상 커진다고 하였다. 또 다른 선행 연구 de Oliveira Silva 등(2015)은 무릎다리통증(patellofemoral pain)을 가진 피실험자를 대상으로 계단 오르기를 시행하여 지면반발력과 통증이 상관관계가 있다는 것을 입증하였다. 이 논문은 계단 오르기를 시행할 때 첫 번째 peak 시기에서 지면반발력의 값을 통해 통증(36.5%)과 기능적 제한(28.7%)을 유의하게 예측하였다. 이를 통해 지면반발력의 값을 측정하여 통증과 기능적 제한을 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이처럼 WBB를 활용하여 정량적인 평가와 이를 기반으로 한 예측이 가능하고, 이는 임상에서 다양하게 활용될 수 있다.

본 연구의 제한점은 기존에 사용되는 힘판은 3축으로 구성되어 있어서 세 방향의 힘을 알 수 있지만 WBB는 1축으로 구성되어 있어서 세 방향의 힘이 합해진 Z축 방향으로의 힘만 알 수 있다. 따라서 힘판에 비해서는 세밀한 측정이 불가능하다고 할 수 있다. 또한 보행시 압력이 가해지는 입각기는 분석이 가능하지만 발이 공중에 떠있는 유각기에서는 분석이 불가능하다는 제한점이 있다.

연구 결과를 종합하여 볼 때 WBB를 이용해 STS와 보행시 검사-재검사를 실시하였을 때 검사-재검사 신뢰도는 매우 높을 뿐만 아니라 절대적 신뢰도(SEM, SRD) 또한 매우 높다고 할 수 있었다. 그러므로 WBB를 임상에서 환자에게 적용하였을 때 동작의 진행시마다 체중 대비 체중부하 비율을 체크하여 질적인 임상 의사결정에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 정상 성인을 대상으로 WBB를 이용하여 보행과 STS시 추출된 지면반발력 값이 임상적용이 가능한지 확인하기 위하여 검사-재검사의 신뢰도를 알아보고자 하였다. 연구결과, COP path-length를 제외한 모든 변수의 ICC는 STS시 .676~.946로 나타났고 보행시 .723~.901로 높은 신뢰도를 보였다. COP path-length를 제외한 STS시 SEM은 .227~.8.866, SRD는 .033~24.575로 나타났고 보행시 SEM은 .019~3.933, SRD는 .054~11.879로 나타났다. 따라서 WBB는 힘판과 비교하여 적은 가격에 임상에서 사용하기에 간편하면서, 기능평가를 위해 흔히 사용하는 STS와 보행과 같은 동작에서 과제동안에 체중부하 변화를 정량적으로 평가하는 데 적합한 장비로 판단된다. 추후 연구로는 뇌졸중 환자 와 노인을 대상으로 한 타당성 연구와 3축 로드셀이 내장된 힘판과 WBB를 비교한 연구 등이 필요하다.

References

- Beckerman H, Roebroek ME, Lankhorst GJ, et al. Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. *Qual Life Res.* 2001; 10(7):571-578.
- Buatois S, Miljkovic D, Manckoundia P, et al. Five times sit to stand test is a predictor of recurrent falls in healthy community-living subjects aged 65 and older. *J Am Geriatr Soc.* 2008;56(8):1575-1577. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01777>
- Chen KL, Chen CT, Chou YT, et al. Is the long form of the Fugl-Meyer motor scale more responsive than the short form in patients with stroke? *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(5):941-949. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2014.01.014>
- de Oliveira Silva D, Briani R, Pazzinatto M, et al. Vertical ground reaction forces are associated with pain and self-reported functional status in recreational athletes with patellofemoral pain. *J Appl Biomech.* 2015;31(6):409-414. <http://dx.doi.org/10.1123/jab.2015-0048>
- Etnyre B, Thomas DQ. Event standardization of sit-to-stand movements. *Phys Ther.* 2007;87(12):1651-1666.
- Flansbjerg UB, Holmback AM, Downham D, et al. Reliability of gait performance tests in men and women with hemiparesis after stroke. *J Rehabil Med.* 2005;37(2):75-82.
- Goldsmith CH, Boers M, Bombardier C, et al. Criteria for clinically important changes in outcomes: Development, scoring and evaluation of rheumatoid arthritis patient and trial profiles. OMERACT Committee. *J Rheumatol.* 1993;20(3):561-565.
- Han JT, Bae SS. Gait analysis methods and walking pattern of hemiplegic patients after stroke. *Journal of the Korean Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association.* 2007;5(1):37-47.
- Harris GF, Wertsch JJ. Procedures for gait analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(2):216-225.
- Hsueh IP, Hsu MJ, Sheu CF, et al. Psychometric comparisons of 2 versions of the Fugl-Meyer Motor Scale and 2 versions of the stroke rehabilitation assessment of movement. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008;22(6):737-744. <http://dx.doi.org/10.1177/1545968308315999>
- Hunt AE, Smith RM, Torode M, et al. Inter-segment foot motion and ground reaction forces over the stance phase of walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2001;16(7):592-600.
- Lee JH, Park SW, Kim DA, et al. Gait analysis using accelerometer in stroke patients. *J Korean Acad Rehabil Med.* 2004;28(5):488-493.
- Liaw LJ, Hsieh CL, Lo SK, et al. The relative and absolute reliability of two balance performance measures in chronic stroke patients. *Disabil Rehabil.* 2008;30(9):656-661.
- Lu WS, Wang CH, Lin JH, et al. The minimal detectable change of the simplified stroke rehabilitation assessment of movement measure. *J Rehabil Med.* 2008;40(8):615-619. <http://dx.doi.org/10.2340/16501977-0230>
- Park DS, Lee DY, Choi SJ, et al. Reliability and validity of the Balancia using Wii balance board for assessment of balance with stroke patients. *Journal of the Korea Academia-Industrial coop-*

eration Society. 2013;14(6):2767-2772.

Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991;39(2):142-148.

Pohl PS, Duncan PW, Perera S, et al. Influence of stroke-related impairments on performance in 6-minute walk test. *J Rehabil Res Dev.* 2002;39(4):439-444.

Richman J, Makrides L, Prince B. Research methodology and applied statistics, part 3: Measurement procedures in research. *Physiother Can.* 1980;32:253-257.

Sacco IC, Akashi PM, Hennig EM. A comparison of lower limb EMG and ground reaction forces between barefoot and shod gait in participants with diabetic neuropathic and healthy controls. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010;11:24. <http://dx.doi.org/>

10.1186/1471-2474-11-24

Sharp SA, Brouwer BJ. Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: Effects on function and spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(11):1231-1236.

Yoshioka S, Nagano A, Himeno R, et al. Computation of the kinematics and the minimum peak joint moments of sit-to-stand movements. *Biomed Eng Online.* 2007;6:26.

This article was received March 17, 2016, was reviewed March 17, 2016, and was accepted May 24, 2016.