

스마트폰 어플리케이션을 이용한 보행 평가

정상철 · 이인영¹ · 윤수빈² · 김수연³ · 우영근^{4†}

서울재활병원 물리치료실, ¹삼남재활병원 물리치료실, ²전주대학교 대학원 재활과학과,
³한솔정형외과 물리치료실, ⁴전주대학교 의과대학 물리치료학과

Analysis of Walking Using Smartphone Application

Sangcheol Jung · Inyoung Lee¹ · Soobin Yoon² · Suyeon Kim³ · Youngkeun Woo^{4†}

Department of Physical therapy, Seoul Rehabilitation Hospital

¹*Department of Physical Therapy, Samnam Rehabilitation Hospital*

²*Department of Rehabilitation Sciences, Graduate School of Jeonju Univierstity*

³*Department of Physical Therapy, Hansol Orthopedics*

⁴*Department of Physical Therapy, College of Medical Sciences, Jeonju University*

Received: February 15, 2014 / Revised: March 10, 2015 / Accepted: March 15, 2015

© 2015 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The accelerometer is a tool for evaluating walking by the displacement of the center of mass (COM) in the body. Recently, smartphones have added an accelerometer app, and it can be used to evaluate outcomemanures in rehabilitation. The purpose of this study was to investigate the COM in the bodies of normal persons and stroke patients using this smartphone application while walking.

Methods: Twenty normal persons and twenty-two stroke patients were recruited and had their COM measured using G-walk and the smartphone application, SMAP, during 10 m walking. Subjects repeated the 10 m of walking 3 times, and we used the SMAP, Accelerometer Monitor ver. 1.5.0, to evaluate COM during the walk. To measure the displacement of COM, we used the difference in value between the maximal angle and the minimum anterior-posterior (AP), mediolateral (ML), and rotational angles during the walk.

Results: For the normal persons, there was significant correlation between the AP and AP of SMAP, and was also a significant correlation between rotational angle and the ML of SMAP. In the stroke patients, there was significant correlation between AP and ML, and the rotational angle of SMAP.

Conclusion: Our research results suggest that if the SMAP system is reinforced in the case of patients who have a greater displacement of COM, it may be used as an evaluation tool during walking.

Key Words: Accelerometer, Center of Mass, Smartphone, Waking

†Corresponding Author : Youngkeun Woo (ykwoo92@naver.com)

I. 서론

재활 영역에서 환자의 보행 능력은 기능적 회복을 위하여 필수적으로 향상시켜야 되는 가장 중요한 요소 중 하나이며, 치료 목표 중 하나가 되고 있다(Ng et al, 2008; Patterson et al, 2007). 이러한 환자의 보행 능력 개선을 위해 반드시 수행되어야 하는 평가 또는 분석은 필수적인 과정이며, 대부분의 보행 분석은 3차원 보행분석 시스템, 힘 판, 근전도 등을 사용하고 있다(Yook et al, 1999). 3차원 보행 분석 시스템은 작은 움직임의 양도 측정할 수 있는 장점이 있지만, 임상적으로 적용하고 하는데 있어 많은 공간과 비싼 장비, 그리고 사용자의 높은 숙련성을 요구 한다(Windolf, 2008). 그리고, 지면 반발력을 측정할 수 있는 힘 판은 명확한 값이 나올 수 있는 보행 분석 도구지만 힘과 방향에 대한 혼선으로 인하여, 분석 시 오류가 발생할 가능성을 가지고 있으며, 특정 구간에서의 보행만을 평가한다. 또한, 특정 동작 시 어떤 근육이 활성화 되고 쓰이는지 알 수 있는 근전도는 근육 반응 시간을 세분화하여 측정이 가능하지만 근전도 전극의 부착점이 평가자나 피험자마다 부착 시 차이가 발생할 수 있는 단점이 제시될 수 있다(Yook et al, 1999).

많은 신경계 환자들은 하지 근육 약화(Neckel et al, 2006), 발목관절의 뻣뻣함과 움직임 때 발생하는 힘의 감소로 인하여(Chung et al, 2004), 정상적인 근육의 활동 패턴을 잃고, 안정감을 상실하게 된다(Hidler et al, 2007). 특히, 뇌졸중 환자는 지구력이 떨어지고(Dean et al, 2001), 걷는 속도가 떨어지며(von Schroeder et al, 1995), 보행 주기에 비대칭을 보이며(Olney et al, 1991), 이런 보행 패턴의 비대칭으로 인하여 넘어짐과 넘어짐으로 인한 손상의 위험성이 높게 된다(Titianova et al, 1995). 따라서 효과적인 보행 재활을 위한 보행 평가는 치료의 결과 측정, 예후, 재활과 일상 생활 수행능력을 볼 수 있는 중요한 치료적 지표로서 재활 과정에서 반드시 이루어져야 한다(Park et al, 2012).

최근 보행분석을 위해 사용되고 있는 가속도계는 3차원으로 보행 분석을 하여, 시공간적 변수를 제공하고 있다. 또한, 이러한 측정에 대한 객관적이고 신뢰성 또한 제시되고 있으며, 휴대하기 편하여 이동시 분석이 쉽고, 장비 자체가 작고 가벼운 특징을 가지고 있다(Mizuike et al, 2009). 3차원 가속도계는 세 가지의 축으로서 전후 축(anterior-posterior axis), 내외 축(medio-lateral axis), 수직 축(vertical axis)으로 구성되어, 각각의 축에 따른 보행 시 시간에 따른 보행 속도 또는 가속도를 통한 변수를 제공해준다(Zijlstra & Hof, 2003). 가속도계를 이용한 분석은 대부분 체중심의 수직 가속도계와 삼차원 동작 분석 시스템을 이용하여, 보행주기를 검출하고 이를 통해 보행 특성들을 분석한다(Yi et al, 2002).

Park 등(2004)은 체중심 가속도를 측정하여 편마비 환자의 보행 대칭성에 관한 연구를 하였고, Moe-Nilssen (1998)의 연구에서는 가속도계를 이용하여 서 있을 때와 보행 시의 검사-재검사 신뢰도(0.79-0.94)를 확인하였다. 또한, 노인의 보행 시 골반의 움직임을 양적으로 측정하고, 불안정한 보행의 특성을 파악하여 노인의 보행에 있어서 넘어짐으로 인한 손상의 위험성을 예방 할 수 있다고 보고하였다(Ishigak et al, 2011).

현재 많이 사용되고 있는 IT기기들은 대부분 가속도계를 내장하고 있으며, 특히 스마트폰에 가속도 센서가 내장되어 재활 영역에서 평가도구로서 사용되고 있는 추세이다. 스마트폰의 가속도계는 의료용 가속도계와 비교하였을 때 휴대하기 편리하여 인체 움직임의 평가 시 쉽게 적용하고 이동성의 자유로움이 있는 장점이 있다(Ayu et al, 2012). 또한, 최근 보행 분석 어플리케이션이 개발되고 있는 실정이다. 따라서 스마트폰에 장착된 가속도계가 실생활에 유용하게 사용되고 있는 시점에서, 스마트폰에 내장된 가속도계의 원 자료를 이용하여 정상성인과 뇌졸중 환자에서 체중심을 이용한 보행 분석의 상관성을 알아보고, 보행 평가의 가능성을 알아보고자 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects

	Normal subjects (n=20)	Stroke patients (n=22)
Age (yers)	20.00±0.00*	50.86±10.26
Height (cm)	75.40±4.42	72.36±4.68
Weight (kg)	59.95±13.14	64.43±9.88
Leg length of dominant side (less affected side)(cm)	75.40±4.42	72.34±4.71
Onset (months)		12.45±11.50
Berg Balance Scale		46.72±7.41
Sex (Male / Female)	10 / 10	15 / 7
More affected side (Right / Left)		9 / 13
Dignosis (Hemorrhage / Infarction)		8 / 14

*Mean±SD

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 정상인 20명과 전주시 소재 재활병원에서 입원중인 뇌졸중 환자 22명을 대상으로 하였다. 뇌졸중 환자는 발병기간이 6개월 이상의 만성 뇌졸중 환자로서, 독립적 보행이 15 m 이상 가능한 환자로 하였다. 하지만, 뇌졸중 환자가 보조기를 착용하여 걸거나, 인지능력에 결함이 있거나 의사소통이 안 되는 경우, 소뇌 손상이 있는 경우와 두 가지 이상의 만성 질환을 가지고 있는 경우, 그리고 뇌졸중 이외의 다른 신경학적 문제나 정형학적 문제를 가진 환자는 본 연구에서 제외하였다. 모든 연구 대상자는 실험 목적에 대한 설명을 듣고, 동의를 하고 자발적 참여를 하였으며, 측정 중 환자 본인이 원하지 않을 경우 중지할 수 있음을 알려주었다.(Table 1).

2. 측정 도구

1) 스마트폰 어플리케이션(Smartphone Application, SMAP)

측정도구는 K3DH Acceleration Sensor가 내장된 Samsung Galaxy S II 스마트폰을 이용하였으며, 가속도계를 이용한 모니터로 사용한 어플리케이션은 가속도계 모니터(Accelerometer Monitor 1.5.0)를 사용하였다(Fig. 1). 이 어플리케이션을 이용한 표본 추출률은

30 Hz이었으며, 어플리케이션은 3축을 통한 기본 자료 값을 제시하였다. 주어진 자료값은 고주파 잡음 제거 과정과 적분처리를 통하여 위치계산을 하고, 계산된 위치 값을 기준으로 각도를 계산한 후, 계산된 각도의 잡음을 제거하였다. 이때 산출된 x축의 값은 medio-lateral axis, y축은 vertical axis, z축은 anterior-posterior axis로서, 체중심의 이동 변위를 각 면으로 산출되었다.

$$f_{\theta_x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \theta_x(n-i), \quad N=10$$

$$f_{\theta_y} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \theta_y(n-i), \quad N=10$$

$$f_{\theta_z} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \theta_z(n-i), \quad N=10$$

이 때 스마트폰 가속도계 모니터에서 얻은 값을 Zijstra 등(2003)이 제시한 방법에 근거하여 최고점을 입각기의 시작으로 정하고, 세 번의 보행 주기 동안의 최고 움직임 각도와 최저 움직임 각도의 차이 값을 변수로 사용하였다.

2) 보행 평가 도구

스마트폰 어플리케이션을 이용한 보행 평가의 상관성을 비교하기 위하여, 가속도계와 자이로스코프를 이용한 보행 평가 도구 G-Walk (BTS Bioengineering, Padova, Italy)를 사용하였다(Fig. 2). G-Walk는 컴퓨터

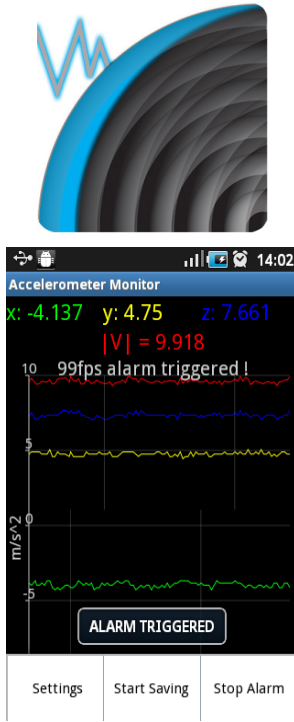


Fig. 1. Accelerometer monitor 1.5.0

와 무선센서를 이용하여 보행의 시공간적 변수를 측정 분석하는데 사용되고 있으며, 골반의 운동학적 특성을 분석한다. 골반 부위에 부착한 센서는 블루투스 방식으로 지정된 컴퓨터로 데이터를 전송하여, 속도, 활보 장, 보행 주기등의 변수를 측정하며, 본 연구에서는 골반에 부착된 체중심 이동 각도의 변위를 측정값으로 사용하였다.

3. 측정 절차

실험 대상자는 실내의 평평한 직선으로 뻗어있는 지면 10 m에서 편안한 보행속도로 걷도록 하였다. 정상인의 경우 우세 발부터 걷게 지시를 하였으며, 뇌졸중 환자의 경우는 건측부터 걷게 지시를 하였다. 보행 동안 체중심을 측정하기 위하여 G-Walk와 스마트폰을 밴드를 사용하여 부착하였다. G-Walk는 요추5번 위치에 부착시키고, 동시에 스마트폰을 G-Walk와 L자 모양이 되도록 피험자에게 부착하였다(Fig. 3). 대



Fig. 2. G-Walk



Fig. 3. G-Walk and smartphone

상자들은 시작점에서 측정자가 스마트폰을 실행 시키고, 3초 후 출발하게 하고, 끝 지점을 지난 후 3초 후에 스마트폰 실행을 중지시켰다. G-Walk을 이용한 체중심 값의 변수는 G-Walk를 통한 데이터 값이 전송된 컴퓨터에 내장된 G-Sensor Studio를 통하여 자동 분석되어 변수 값이 제시되었다. 측정자는 보폭의 수를 기록하여, 보행 동안의 가속구간과 감속구간을 제외하는데 사용하였으며, 총 3번의 보행을 이용하여 최종 평균값을 결과 값으로 사용하였다. 대상자들은 편안한 복장으로 맨발 보행을 하도록 하였다.

4. 자료 분석

본 연구의 자료 분석은 컴퓨터용 통계 프로그램 SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였으며, 정상인과 뇌졸중의 일반적 특성은 기술 통계를 이용하였으며, 정상인과 뇌졸중 환자의 체중심 이동 평균값의 상관성을 비교하기 위하여 피어슨 상관계수 (Pearson correlation coefficient)를 사용하였다. 통계학

Table 2. Correlation of COM between G-Walk and SMAP in normal subjects

SMAP†	G-Walk	Anterio-posterior angle	Medio-lateral angle	Rotational angle
Anterio-posterior angle	r	0.48	0.15	0.36
	p	0.03*	0.52	0.12
Medio-lateral angle	r	0.36	0.44	0.52
	p	0.12	0.06	0.02*
Rotational angle	r	0.28	0.04	0.18
	p	0.23	0.88	0.45

*p<0.05

† SMAP : Smartphone Application

Table 3. Correlation of COM between G-Walk and SMAP in stroke patients

SMAP	G-Walk	Anterio-posterior angle	Medio-lateral angle	Rotational angle
Anterio-posterior angle	r	0.08	0.30	0.04
	p	0.72	0.18	0.87
Medio-lateral angle	r	0.64	0.20	0.37
	p	0.00*	0.38	0.09
Rotational angle	r	0.68	0.32	0.26
	p	0.00*	0.15	0.24

*p<0.05

† SMAP : Smartphone Application

적 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

III. 연구 결과

1. 정상인에서 보행 시 체중심 이동의 상관관계

정상인에서 보행 시 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 전후 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계($r=0.48$)를 보여주었다($p<0.05$). 또한 체중심의 회전성 움직임은 스마트폰의 좌우 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계($r=0.52$)를 나타내었다. 하지만, 다른 축에서의 체중심의 움직임은 통계적으로 유의한 상관관계를 보여주지 않았다($p>0.05$)(Table 2).

2. 뇌졸중 환자에서 보행 시 체중심 이동의 상관관계

뇌졸중 환자에서 보행 시 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 좌우 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계($r=0.64$)를 보여주었다($p<0.05$). 또한 체중심의 전후측 움직임이 스마트폰의 회전성 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계($r=0.68$)를 나타내었다. 하지만, 다른 축에서의 체중심의 움직임은 통계적으로 유의한 상관관계를 보여주지 않았다($p>0.05$)(Table 3).

IV. 고찰

본 연구는 정상인과 뇌졸중 환자를 대상으로 스마

트폰에 내장된 가속도계를 이용하여, 보행 시 체중심의 움직임에 대한 상관관계를 알아보고, 향후 보행 분석에서 사용할 수 있는지의 가능성을 알아보고자 하였다. 연구 결과, 정상인에서 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 전후 움직임과 체중심의 회전성 움직임은 스마트폰의 좌우 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계를 보여주었으며, 뇌졸중 환자에서 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 좌우 움직임과 회전성 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다.

본 연구에서는 체중심을 이용한 가속도계와 가속도계가 내장된 스마트폰을 이용하여 보행 분석을 하였으며, 이를 정상인과 뇌졸중 환자에게 적용하였다. Yi 등(2002)은 가속도계를 이용한 보행 분석은 비교적 비싼 동작 분석 시스템 보다 간편한 보행 분석이 가능하고, 체중심의 가속도를 측정하여 정상 보행시 입각기와 유각기가 구분되는 것이 가능하며 지속적인 연구가 되고 있다고 하였으며, Evans 등(1991)은 체중심 가속도를 측정하여 보행 주기 단계들을 구분할 수 있다고 하였다. 본 연구에서도 체중심 기반으로 보행 분석을 시도하였으며, 입각기의 기준은 Zijstra 등(2003)이 분석한 방법에 기초하여 구분하였으며, 가능한 오차 값을 줄이기 위하여 3번의 보행동안 실시한 평균값을 사용하고, 한 번 보행 시 세 번의 보행주기를 측정 변수로 사용하였다.

정상인에서 체중심의 전후측 움직임과 스마트폰 체중심의 전후 움직임과 체중심의 회전성 움직임과 스마트폰의 좌우측 움직임에서만 통계적으로 유의한 상관관계를 보여주었다. 본 연구에서 체중심의 움직임 값은 각 면에서의 최대 값과 최소 값을 차이를 결과 값으로 상관관계를 분석하였다. 일반적으로 정상적인 보행의 경우, 체중심은 3개의 면에서 3차원적인 움직임을 만들며 이동하지만, 보행 동안 에너지를 극대화하기 위하여 체중심의 움직임을 최소한 양만을 만들어 내게 된다(Perry & Bumfield, 2010). 본 연구에서 체중심 기반의 전후측 움직임과 스마트폰을 이용한 체중심의 전후측 움직임이 통계적으로 유의한 상관관계를 보여주었

으며, 체중심의 회전성 움직임과 스마트폰의 좌우 움직임도 통계적으로 유의한 상관관계를 보여주었다. 이러한 것은 일반적으로 정상인의 보행은 체중심 움직임이 적고, 상대적으로 직선거리의 움직임이 빠르게 진행된다는 것을 고려한다면, 빠른 움직임에 대한 전후 움직임에 대한 감지능력은 스마트폰으로 측정할 수 있었지만, 비교적 체중심의 움직임이 적은 좌우측과 회전성 움직임간의 측정 변수의 상관성을 찾기에는 스마트폰이 제공하고 있는 가속도계의 표본 추출률이 낮아 상관관계가 나타나지 않았다고 생각된다.

뇌졸중 환자에서는 정상인과 다르게 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 좌우 움직임과 회전성 움직임과 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다. 뇌졸중 환자의 보행은 정상인과 다르게 회전성 변화와 좌우측 대칭성과 유의한 상관관계가 있으며, 좌우측 대칭성은 보행 능력 회복을 평가하는데 사용할 수 있다고 한다(Yi et al, 2002). 또한, Park 등(2004)은 편마비 환자의 보행에서 좌우측 대칭의 중요성을 보고하였다. 본 연구에서 체중심의 전후측 움직임이 스마트폰을 이용한 체중심의 좌우 움직임과 회전 움직임과 유의한 상관관계를 보여준 것은 일반적으로 편마비 환자의 보행의 특성을 반영해 줄 수 있는 것으로 보행의 입각기 시 체중 이동이 되지 않는 부분이 많이 반영된 것으로 보여진다. 또한, 정상인에 비해 직선거리의 움직임이 느리게 진행되지만, 좌우측과 회전성 움직임이 많이 나타내는 것을 고려한다면, 직선거리로 진행되는 속도의 감지 능력은 측정하기 어려웠지만, 비교적 체중심 이동이 많이 발생하는 좌우측과 회전성 움직임을 반영한 것으로 생각된다.

본 연구에서는 정상인 뿐만 아니라 뇌졸중 환자의 보행 특성을 체중심 기반의 보행 분석을 시도하였다. 스마트폰 기반의 체중심 분석은 3차원적 분석으로서 비교적 쉽게 사용할 수 있는 3차원 분석이 될 수 있다고 생각된다. Park 등(2014)의 연구에서 스마트폰을 이용하여 뇌졸중 환자의 수동관절 범위를 측정하여, 스마트폰의 사용이 평가도구의 사용가능성을 제시하였으며, 본 연구에서도 보행 분석을 시도하려 하였다. 하지

만, 스마트폰의 부착 부위와 체중심의 부착부위의 차이가 있어 대부분의 변수에서 상관관계가 없음을 보여주었지만, 정상인의 직선 방향의 체중심 움직임과 뇌졸중 환자의 좌우측에서는 통계적으로 유의한 차이를 보여주었다. 이는 스마트폰이 제시하는 표본 추출률이 적게 산출되었지만, 향후 표본 추출률이 움직임 분석에 필요한 만큼 제공되어준다면, 향후, 국내 스마트폰의 이용자가 점점 증가되고 있는 것을 고려하고, 많은 소프트웨어가 개발되고 있는 시점으로 보았을 때, 스마트폰의 장점은 편리성, 휴대성, 대중성을 고려한다면, 스마트폰 기반의 보행 분석도 가능하리라 생각된다.

V. 결론

본 연구는 스마트폰에 내장되어 있는 가속도 센서를 이용하여 정상인과 뇌졸중 환자를 대상으로 체중심 이동의 특성을 비교하여, 스마트폰 기반의 보행 분석 가능성을 알아보고자 하였다. 연구 결과, 정상인에서 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 전후 움직임과 체중심의 회전성 움직임은 스마트폰의 좌우 움직임, 그리고 뇌졸중 환자에서 체중심의 전후측 움직임은 스마트폰 체중심의 좌우 움직임과 회전성 움직임에서 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다. 따라서, 스마트폰을 이용한 보행 평가는 움직임의 변위가 크게 발생하는 경우이거나 스마트폰의 내장되는 가속도계의 부품이 고급화 되고, 소프트웨어의 개발이 된다면 스마트폰의 편리성과 효율성으로 인한 보행 분석도 충분히 가능할 것 이라고 생각된다.

Acknowledgement

본 연구에서 사용한 스마트폰 어플리케이션의 체중심 움직임의 데이터 변환을 도와주신 안동과학대학교 의료공학과 이주원교수님께 감사드립니다.

References

- Ayu MA, Ismail SA, Matin AFA, et al. A Comparison Study of Classifier Algorithms for Mobile-phone's Accelerometer Based Activity Recognition. *Procedia Engineering*. 2012;41:224-229.
- Chung SG, Van Rey E, Bai Z, et al. Biomechanic changes in passive properties of hemiplegic ankles with spastic hypertonia. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004;85(10):1638-1646.
- Dean CM, Richards CL, Malouin F. Walking speed over 10 metres overestimates locomotor capacity after stroke. *Clinical Rehabilitation*. 2001;15(4):415-442.
- Dong-won Yook, Byung-in Yoo, Yoon-shick Park. Benefits and Problems of Electromyographical Techniques in the Analysis of Human. *Journal of Physical Education, Sport & Leisure Studies*. 1999;6(1):39-50.
- Evans AL, Duncan G, Gilchrist W. Recording accelerations in body movements. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 1991;29(1):102-104.
- Hidler JM, Carroll M, Federovich EH. Strength and Coordination in the Paretic Leg of Individuals Following Acute Stroke. *IEEE Transactions on Neural systems and Rehabilitation Engineering*. 2007;15(4): 526-534.
- Il-woo Park, One-bin Lim, Kyue-nam Park, et al. Intra- and inter-rater reliability of measuring passive range of shoulder motion with smartphone and goniometer in patients with stroke. *Physical Therapy Korea*. 2014;21(1):1-12.
- Ishigaki N, Kimura T, Usui Y, et al. Analysis of pelvic movement in the elderly during walking using a posture monitoring system equipped with a triaxial accelerometer and a gyroscope. *Journal of Biomechanics*. 2011;44(9):1788-1792.
- Jin-bock Yi, Sung-jae Kang, Young-ho Kim. Characteristics of vertical acceleration at center of mass of the body

- in normal gait. *Physical Therapy Korea*. 2002;9(3):39-46.
- Jin-bock Yi. Gait analysis of the normal and the hemiplegic walking using the acceleration of the CoM. Yonsei University. Dissertation of Master's Degree. 2002.
- Mizuike C, Ohgi S, Morita S. Analysis of stroke patient walking dynamics using a tri-axial accelerometer. *Gait & Posture*. 2009;30(1):60-64.
- Moe-Nilssen R. Test-retest reliability of trunk accelerometry during standing and walking. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1998;79(11):1377-1385.
- Neckel N, Pelliccio M, Nichols D, et al. Quantification of functional weakness and abnormal synergy patterns in the lower limb of individuals with chronic stroke. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2006;3:17.
- Ng MF, Tong RK, Li SA. A pilot study of randomized clinical controlled trial of gait training in subacute stroke patients with partial body-weight support electromechanical gait trainer and functional electrical stimulation: six-month follow-up. *Stroke*. 2008;39(1):154-160.
- Olney SJ, Griffin MP, Monga TN, et al. Work and power in gait of stroke patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1991;72(5):309-314.
- Patterson SL, Forrester LW, Rodgers MM, et al. Determinants of walking function after stroke: differences by deficit severity. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2007;88(1):115-119.
- Perry J, Burnfield JM. Gait analysis: Normal and pathological function, 2nd ed. California. SLACK Incorporated. 2010.
- Si-woon Park, You-nam Choi, Soon-ja Jang, et al. Evaluation of hemiplegic asymmetric gait by trunk accelerometry. *Korean Journal of Stroke*. 2004;6(1):73-78.
- Sung-hyun Park, Un-hyo Baek. Analysis of walking speed of pelvic limb muscle activity and balance index of stroke patients. *The Korean Journal of Growth and Development*. 2012;20(4):239-246.
- Titianova EB, Tarkka IM. Asymmetry in walking performance and postural sway in patients with chronic unilateral cerebral infarction. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 1995;32(3):236-244.
- von Schroeder HP, Coutts RD, Lyden PD, et al. Gait parameters following stroke: a practical assessment. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 1995;32(1):25-31.
- Windolf M, Gottzen N, Morlock M. Systematic accuracy and precision analysis of video motion capturing systems exemplified on the Vicon-460 system. *Journal of Biomechanics*. 2008;41(12):2776-2780.
- Zijlstra W, Hof AL. Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking. *Gait & Posture*. 2003;18(2):1-10.