

뇌졸중 환자의 체중지지 비대칭과 보행 대칭성의 관련성

이용우 · 신두철 · 이경진 · 이승원¹

삼육대학교 일반대학원 물리치료학과, ¹삼육대학교 물리치료학과

The Relation between asymmetric weight-supporting and gait symmetry in patients with stroke

Yong-Woo Lee, PT, MS, Doo-Chul Shin, PT, MS,
Kyoung-Jin Lee, PT, MS, Seung-Won Lee, PT, PhD¹

Department of Physical Therapy, Graduate School of Sahmyook University

¹*Department of Physical Therapy, Sahmyook University*

<Abstract>

Purpose : The aim of this study was to investigate the relationship between weight-supporting asymmetry and gait symmetry in patients with stroke.

Methods : Sixty two stroke patients with hemiplegia stood quietly with eye opens on a force platform to calculate weight-supporting asymmetry from vertical reaction force. The GAITRite was used to evaluate their gait parameters. The data were analyzed using Pearson correlation.

Results : The results of this study was showed that the medio-lateral index (ML) was correlated with symmetry rate (SR), symmetry index (SI), and Gait asymmetry (GA) of step time and length but stronger correlation with spatial gait symmetry than temporal symmetry. In gait symmetry, step length has stronger correlation with weight-supporting asymmetry than step time.

Conclusions : The results of this study shows weight-supporting asymmetry was correlated with more spatial gait symmetry than temporal symmetry.

Key Words : stroke, symmetry index, gait symmetry, weight-supporting.

I. 서 론

통계청이 발표한 우리나라 사람들의 가장 큰 사

망원인은 남녀 모두 뇌혈관 질환이었고 남성은 인
구 10만 명당 뇌혈관 질환이 54.7명 여성은 58.3명
이었다(통계청, 2010). 뇌졸중 후 생존자들에게는 감

각, 운동, 인지 그리고 정서적인 장애가 복합적으로 나타나며, 이는 기본적인 일상생활 동작의 제한을 가져온다(Bohannon과 Leary, 1995; Fong 등, 2001; Keenan 등, 1984; Sandin과 Smith, 1990). 특히, 뇌졸중으로 인한 감각-운동 소실의 결과, 손상된 자세 조절 능력은 일상생활 동작의 독립성과 보행에 매우 큰 영향을 끼친다(Desrosiers 등, 2002). Geurts 등(2005)도 운동약화, 근 긴장도의 비대칭, 체성 감각의 장애, 공간 지각의 문제 등이 자세의 불안정성을 만든다고 보고하였다. 자세적인 장애는 뇌졸중 후의 일차적인 장애이며, 많은 환자들이 선 자세 시 교란에서 완벽하게 회복되지 못한다(Smith과 Baer, 1999). 뇌졸중 환자의 선 자세는 비마비측으로 무게가 더 많이 실리는 체중부하 비대칭과 넓은 자세 동요로 특징지어 진다(Bohannon과 Tinti-Wald, 1991). 이로 인해 정상인과 비교했을 때, 뇌졸중 환자는 선 자세 시 균형 조절의 장애로 높은 낙상 발병률을 보인다(Geurts 등, 2005). 따라서, 치료사들은 종종 치료 시 마비측에 좀 더 많은 체중 부하를 주어 환자의 체중부하 비대칭성을 개선하고자 노력하였다. 또한, 체중부하의 비대칭성은 운동 기능의 척도로 사용되어 왔고, 입원기간을 결정하기도 하였다(Sackley, 1991).

뇌졸중 후의 신경학적 손상으로 인한 다리 근력 소실, 평형 장애, 감각, 경직 등은 정상적인 보행을 어렵게 하며(Pang 등, 2005), 변화된 보행 양상과 기능적인 이동의 제한을 나타낸다. 뇌졸중 후 보행의 가장 큰 특징은 속도 감소와 에너지 소비의 증가이다. 체중부하의 비대칭성과 마찬가지로 보행의 비대칭은 흔하게 나타나며 이는 뇌졸중 후 보행의 특징을 이해하는 중요한 인자로 여겨지고 있으며, 균형 능력, 비마비측 하지의 근골격계 손상 위험, 마비측의 골밀도 감소 등에 부정적인 영향을 미치는 등 임상적으로 중요한 의미가 있어(Jorgensen 등, 2000; Patterson 등, 2008), 뇌졸중 후 재활 시 개선되어야 할 중요한 문제로 인식되어진다(Alexander 등, 2009). 보행은 기능적인 상태와 삶의 질을 결정하는 요인이 될 수 있어 재활의 결과를 평가하는데 사용되기도 하지만, 주로 자가선택적인 속도를 선택하며, 마비측보다 비마비측에 더 무게 중심을 두는

보상된 보행을 나타낼 수 있어 속도만으로 평가하기에는 어려움이 있다(Allen 등, 2011). 뇌졸중 환자의 보행은 운동 협응 능력의 장애로 인한 보행과 관련한 시공간적, 운동학적, 역학적인 지표들의 비대칭성으로 나타난다. 구체적으로, 느린 보행주기와 보행 속도, 마비측 보장과 비마비측 보장간의 할 보장 차이, 마비측의 짧은 입각기와 상대적으로 긴 유각기 등이 나타난다(Brandstater 등, 1983; Mauritz, 2002; Wall과 Turnbull, 1986). 이전의 연구들(Brandstater 등, 1983; Titianova과 Tarkka, 1995)에서 시간적인(유각기) 비대칭성은 반신마비 보행의 중요한 지표라고 보고 하였는데, 이것은 운동 기능 회복, 보행 속도, 낙상과 밀접하게 관련이 있기 때문이다. 그러나 이전의 연구들은 뇌졸중 환자의 동요와 보행의 상관성 연구나 비정상적인 보행의 시공간적, 운동학적, 역학적 혹은 대칭성에 대한 연구가 주를 이루었다. 이에 본 연구에서는 뇌졸중 환자들에게 나타나는 선 자세시의 체중부하 비대칭성과 보행시의 비대칭성에 대한 상관관계를 알아보려고 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 서울 소재 3개의 재활병원의 입원환자 중 편측 손상 뇌졸중 환자 62명을 대상으로 하였다. 대상자는 처음 뇌출혈이나 뇌경색을 당한 환자로 최소 1년 이상인 자, 보조 도구 없이 30초 이상 서 있는 것이 가능한 자, 보조 도구 없이 20m 이상 걷는 것이 가능한 자로 하였다. 또한 근 골격계나 신경계 질환이 있는 자, 양분 과제 검사(line bisection test) 시 편측 무시가 나타난 자는 제외하였다. 본 연구를 진행하기 전에 대상자들에게 연구에 대해 충분히 설명하였고, 동의서에 서명을 받은 후 시행하였다.

2. 연구 절차

좌우 체중지지 비대칭을 측정하기 위해 힘판(PDM Multifunction Force Measuring Plate, Zebris,

Germany, 2004)을 이용하였다. 대상자는 맨발로 힘판에 올라가 양팔을 몸통 옆에 이완시켜 위치시키게 하였다. 대상자는 최대한 편안한 자세로 서도록 하였고 대상자의 움직임이 안정된 후 대상자가 체중지지 압력을 측정하는지 여부를 인지하지 못한 상태에서 체중지지 압력을 측정하였다. 체중지지 압력의 평균값을 얻기 위해 3회 측정하였다. 좌우 체중지지 비대칭 측정이 끝난 후 보행을 평가하기까지 대상자가 충분한 휴식을 취할 수 있도록 하였다.

보행을 평가하기 위해 보행분석기(GAITRite, CIR

Systems, 2011, 미국)를 이용하였다. 대상자를 보행 분석기 1m 전방에 위치시키고 ‘출발’이라는 명령에 대상자의 평상시 보행속도로 걷게 하였으며 보행 분석기를 지나 1m 전방에 표시된 선까지 같은 속도로 걷도록 지시하였다. 보행분석기를 의식하지 않게 하고 보행분석기 위를 걷는 것을 익숙하게 하기 위해 연습을 3회 시킨 후 휴식시간을 제공하였다. 연습이 끝난 후 총3회 걷게 하여 보행의 시공간적 자료를 수집하였다.

$$\begin{aligned} & \text{ML Asymmetry Index} \\ & = -\frac{Fy_{\text{paretic}} - Fy_{\text{nonparetic}}}{0.5(Fy_{\text{paretic}} + Fy_{\text{nonparetic}})} \times 100 \end{aligned}$$

Fig 1. A formula of the ML asymmetry index. Fy_{paretic} and $Fy_{\text{nonparetic}}$ refer to the vertical ground reaction force at the paretic side and the non paretic side respectively.

$$\begin{aligned} & \text{Spatial symmetry} \\ & SR_{\text{Length}} = \frac{SL_{\text{paretic}} - SL_{\text{nonparetic}}}{SL_{\text{paretic}} + SL_{\text{nonparetic}}} \times 100 \\ & SI_{\text{Length}} = \frac{SL_{\text{paretic}} - SL_{\text{nonparetic}}}{0.5(SL_{\text{paretic}} + SL_{\text{nonparetic}})} \times 100 \\ & GA_{\text{Length}} = \left| \ln \frac{SL_{\text{paretic}}}{SL_{\text{nonparetic}}} \right| \times 100 \\ & \text{Temporal symmetry} \\ & SR_{\text{Time}} = \frac{ST_{\text{paretic}} - ST_{\text{nonparetic}}}{ST_{\text{paretic}} + ST_{\text{nonparetic}}} \times 100 \\ & SI_{\text{Time}} = \frac{ST_{\text{paretic}} - ST_{\text{nonparetic}}}{0.5(ST_{\text{paretic}} + ST_{\text{nonparetic}})} \times 100 \\ & GA_{\text{Time}} = \left| \ln \frac{ST_{\text{paretic}}}{ST_{\text{nonparetic}}} \right| \times 100 \end{aligned}$$

Fig 2. Formulas of symmetry ratio (SR), symmetry index (SI), and gait asymmetry (GA). SR_{Length} , SI_{Length} , and GA_{Length} are calculated on step length. SR_{Time} , SI_{Time} and GA_{Time} are calculated on step length. SL_{paretic} and $SL_{\text{nonparetic}}$ refer to step length at the paretic side and the non paretic side. ST_{paretic} and $ST_{\text{nonparetic}}$ refer to step time at the paretic side and the non paretic side.

3. 자료 수집

힘판의 자료를 힘판과 연결된 소프트웨어인 Footprint (Zebris, Germany)에 의해 구한 후 Excel (Microsoft, 2007, 미국)을 통해 정리하였다. 좌우 체중지지 비대칭은 Robinson 등(1987)에 의해 개발된 공식을 사용하여 구하였다. 좌우 체중지지 비대칭 지수(asymmetry index)를 구하는 공식은 다음과 같다(Figure 1).

좌우 체중지지 비대칭 지수가 양수로 커지는 것은 비마비측 하체에 체중 부하가 더 많이 주어지는 것을 의미하며, 0에 가까워질수록 대칭적 체중부하를 의미하게 된다.

보행의 시공간적 변수는 GAITRite에 의해 측정되었다. GAITRite는 길이가 366cm이고 폭이 81cm이며 1.27cm 간격으로 13,824 센서로 구성된 보행 분석기이다. 표본추출은 30Hz 하였고 응용소프트웨어를 사용하여 공간적 변수와 시간적 변수를 컴퓨터에 저장하였다. GAITRite를 통해 얻은 시공간적 변수는 보행속도, 분속수, 보장, 보시간이었으며, 이 결과들은 보행 대칭성을 구하기 위해 Excel에 저장되었다. 공간적과 시간적 보행 대칭성은 보장과 보시간으로 각각 구하였으며 아래의 공식에 의해 구하였다(Patterson 등, 2010)(Figure 2).

4. 분석 방법

모든 통계는 SPSS v 15.0을 사용하여 처리하였다. 모든 자료는 평균과 표준편차를 구하였고 정규성 검정 (Shapiro-Wilk test)을 실시한 결과 정규분포 하였다. 좌우 체중지지 비대칭지수와 보행 대칭성의 상관관계를 알아보하고자 Pearson의 상관분석을 실시하였고, 상관관계가 있는 변수에서는 회귀분석

하여 회귀식을 구하였다. 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

III. 결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 일반적 특성은 (Table 1)과 같다. 대상자의 평균 연령은 69.31세. 키는 166.63cm, 몸무게는 65.46kg이었다. 뇌졸중 발병 후 기간은 평균 3.41년이었으며, 마비측은 오른쪽이 27명, 왼쪽이 35명이었다.

2. 좌우 체중지지 비대칭 지수와 보행 대칭성과의 상관관계

좌우의 체중지지 비대칭 지수가 커질수록 보행속도는 감소하는 음의 상관관계를 나타냈으며($r = -.358, p < .05$), 분속수와는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

좌우의 체중지지 비대칭 지수가 양으로 커질수록 보행 대칭률에서는 보시간 대칭률($r = .418, p < .05$)과 보장 대칭률($r = .631, p < .05$)이 증가하는 양의 상관관계를 보였으며, 시간적 보행 변수보다는 공간적 보행 변수가 좀 더 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 대칭 지수에서도 대칭률과 마찬가지로 보시간($r = .436$)과 보장($r = .6234$)이 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 보시간보다 보장이 더 강한 상관관계를 나타냈다. 보행 비대칭에서는 좌우의 체중지지 비대칭 지수가 양으로 커질수록 보시간 보행비대칭($r = .434$)과 보장 보행비대칭($r = .625$)이 양으로 증가하는 상관관계를 나타냈고 보장이 보시간보다 더 강한 상관관계를 나타냈다($p < .05$). 보

Table 1. General characteristics

Sex (M/F)	Age (years)	Height (cm)	Weight (Kg)	Onset (years)	Hemiparetic side (R/L)
25/37	69.31±4.62	166.63±8.26	65.46±10.25	3.41±2.62	27/35

Note: Values are mean±S.D for age, height, weight, and onset. Number for Sex and hemiparetic side. Abbreviations: M, male; F, female; R, right; L, left.

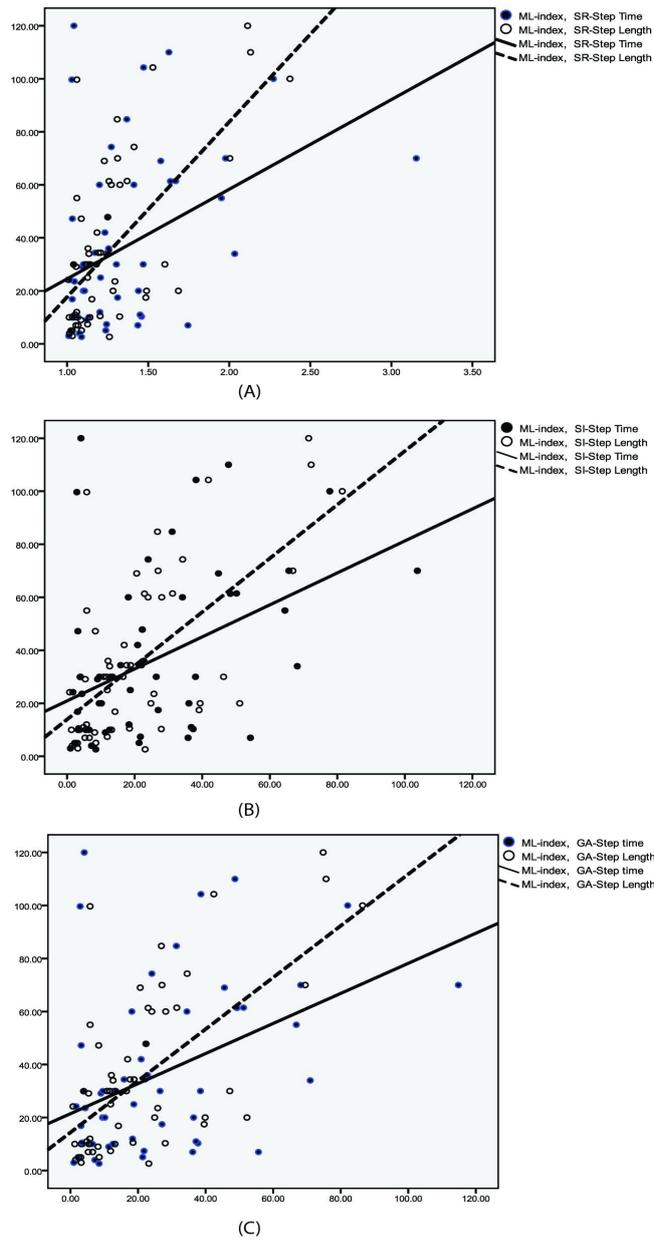


Fig. 2. Scatter plots for the correlation analysis. (A) Correlation between the ML-Index and symmetry rate of step time and length ($r = .418$ and $.631$, $p < .05$, $R^2 = .174$ and $.398$). (B) Correlation between ML-Index and symmetry index of step time and length ($r = .436$ and $.623$, $p < .05$, $R^2 = .19$ and $.388$). (C) Correlation between ML-Index and gait asymmetry of step time and length ($r = .434$ and $.625$, $p < .05$, $R^2 = .189$ and $.391$). Line of best fit has been added to each scatter plot. Note that an asymmetry index value represents greater weight-supporting on the non paretic side. Mediolateral asymmetry Index (ML-Index), symmetry ratio (SR), symmetry index (SI), and gait asymmetry (GA). $SR_{Step\ Length}$, $SI_{Step\ Length}$, and $GA_{Step\ Length}$ are calculated on step length. $SR_{Step\ Time}$, $SI_{Step\ Time}$ and $GA_{Step\ Time}$ are calculated on step time.

Table 2. Pearson correlations of quiet standing Asymmetry Index in individuals with stroke (N = 62)

	ML-Index	SR Step Time	SI Step Time	GA Step Time	SR Step Length	SI Step Length	GA Step Length
ML-Index	-	.418**	.436**	.434**	.631**	.623**	.625**
Velocity	-.358**	-.307*	-.313*	-.313*	-.434**	-.476**	-.470**
Cadence	-.235	-.258*	-.243	-.246	-.305*	-.328*	-.325*

Mediolateral asymmetry Index (ML-Index), symmetry ratio (SR), symmetry index (SI), and gait asymmetry (GA). SR_{Step Length}, SI_{Step Length}, and GA_{Step Length} are calculated on step length. SR_{Step Time}, SI_{Step Time} and GA_{Step Time} are calculated on step time.

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

행속도의 경우 보행 대칭성이 커지면 커질수록 보행속도가 느려지는 음의 상관관계를 나타냈고 보시간보다 보장에서 더욱 상관이 있는 것으로 나타났다. 분속수의 경우는 보장 대칭성에서 모든 항목에서 음의 약한 상관관계를 나타냈으나 보시간에서는 비대칭율만 상관관계가 있는 것으로 나타났다(Fig 2. Table 2).

IV. 고 찰

뇌졸중은 손상 받은 뇌의 위치, 크기에 따라서 운동장애, 감각결손, 인지결손, 기억력장애와 같은 다양한 문제들이 복합적으로 나타날 수 있다(Lundy-Ekman.L, 2007). 이러한 다양한 문제들로 인한 일상생활의 제한과 운동범위의 감소로 인하여 근약화, 관절가동범위의 감소, 강직, 구축, 정렬의 변화 등과 같은 근골격계 문제들이 발생할 수 있다(Shumway-Cook, 2007). 그리고 뇌졸중 환자는 비대칭적인 보행 형태인 마비측 입각기와 비마비측 유각기의 감소, 분속수와 보행 속도의 감소, 비대칭적인 체중 분포, 보장과 활보장의 차이로 인하여 보행 패턴의 질과 적응성에 문제를 가지게 된다(Dean 등, 2001). 뇌졸중 환자의 비정상적인 근육의 활성화, 비정상적인 자세역학, 감각의 장애들은 비대칭적 체중 지지의 원인이 되고, 이것은 다시 양측하지의 체중 지지 차이가 발생하는 원인으로 설명할 수 있다(Brunt 등, 1995).

이번 연구에서는 뇌졸중 환자의 여러 가지 문제점들 중에서 체중지지 비대칭이 그들의 보행 대칭성과 어느 정도 상관이 있는지를 알아보고자 하였

고, 그 결과 좌우 체중지지 비대칭이 심할수록 그들의 보행 비대칭도 심한 것으로 나타났다. 체중지지 비대칭은 보행 속도와 분속수 중 분속수와는 상관관계가 없으며, 속도와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉, 체중지지 비대칭이 적을수록 속도가 증가된 보행을 보이는 것으로 나타났는데, 이는 Tyrell 등(2011)이 트레드밀 위에서 속도를 증가시켜 가며 뇌졸중 환자들의 보행을 분석하였을 때, 속도가 증가할수록 보행 시 좌우 비대칭이 줄어드는 결과를 얻어낸 것과 동일한 결과였다(Tyrell 등, 2011). 다만, Allen 등(2011)은 보행 시 주로 자가적인 속도를 선택하고, 마비측보다 비마비측에 더 무게 중심을 두는 보상된 보행의 패턴을 보일 수 있어, 보행 평가 시 속도만으로 평가하기에는 어려움이 있다고 말하였다. Brunt 등(1995)은 체중지지 비대칭을 보이는 환자는 수의적인 움직임 동안 환측하지의 근전도 활성의 감소를 보이고, 뇌졸중 환자의 경우 기립 시 비대칭적인 체중지지를 보이는데 이것은 다시 뇌졸중 환자의 보행지표나 이동에도 영향을 미친다고 하였다. 이에 체중지지의 비대칭은 족저압의 비대칭으로 나타나고 이것은 다시 양측 하지의 근활동의 비대칭으로 이어지고 결국 보행의 비대칭으로 이어지는 것으로 생각된다. 또한, 체중지지의 비대칭은 시간적 보행 대칭 보다는 공간적 보행 변수와 좀 더 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 대칭 지수에서도 대칭률과 마찬가지로 보시간과 보장이 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 보시간보다 보장이 더 강한 상관관계를 나타냈다. 이는 Jessica 등(2011)이 뇌졸중 환자들마다 보행의 메커니즘이 다양하기 때문에, 자가 선택적인 보행 속도보다 보

장의 비대칭이 좀 더 장애를 이해하는데 근본적이라고 말한 것과 같은 의미라고 할 수 있다. 또한, Balasubramanian 등(2007)은 뇌졸중 환자들에게 보장의 비대칭과 보행 수행의 관계에 대해 연구하였는데, 보장의 비대칭이 보행 수행 시 추진력에도 영향을 미친다고 말하였다.

본 연구의 제한점으로는 체중지지 비대칭의 원인과 보행 대칭성의 원인을 직접적으로 밝혀내지 못한 것과, 연구 대상자의 선정에서 동일한 뇌병변군으로 정하지 못하고 무작위 선정을 하였으며, 보행 능력에 대한 구분을 하지 못하였다. 앞으로의 연구에서는 좀 더 대상자 선정에 통일성을 기한다면 더 좋은 결과가 있으리라 기대된다.

이번 연구를 통해서 체중지지의 비대칭이 보행 대칭성과 어느 정도 연관성이 있는지를 알아보았는데 이것은 앞으로 보행의 대칭성을 연구하는 것에 있어서 중요한 자료로 사용될 수 있을 것이라고 생각하고 나아가 뇌졸중 환자의 체중지지의 비대칭을 수정하기 위한 보조도구를 이용한 방법들이 그들의 보행에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 체중지지 비대칭성과 보행의 대칭성에 대한 상관관계를 알아보고자 하였다. 좌우의 체중지지 비대칭 지수가 양으로 커질수록 보행 대칭률에서는 보시간 대칭률과 보장 대칭률이 증가하는 양의 상관관계를 보였으며, 시간적 보행 변수보다는 공간적 보행 변수가 좀 더 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 대칭 지수에서도 대칭률과 마찬가지로 보시간과 보장이 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 보시간보다 보장이 더 강한 상관관계를 나타냈다. 보행 비대칭에서는 좌우의 체중지지 비대칭 지수가 양으로 커질수록 보시간 보행비대칭과 보장 보행비대칭이 양으로 증가하는 상관관계를 나타냈고 보장이 보시간보다 더 강한 상관관계를 나타냈다. 앞으로 뇌졸중 환자의 보행 대칭성을 연구하는 것에 있어서 중요한 자료로 사용될 수 있을 것이라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 통계청. 사망원인 통계연보. 2010.
- Alexander LD, Black SE, Patterson KK et al. Association between gait asymmetry and brain lesion location in stroke patients. *Stroke*. 2009; 40(2):537-44.
- Allen JL, Kautz SA, Neptune RR. Step length asymmetry is representative of compensatory mechanisms used in post-stroke hemiparetic walking. *Gait Posture*. 2011;33(4):538-43.
- Balasubramanian CK, Bowden MG, Neptune RR et al. Relationship between step length asymmetry and walking performance in subjects with chronic hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007;88(1): 43-9.
- Bohannon RW, Leary KM. Standing balance and function over the course of acute rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76(11):994-6.
- Bohannon RW, Tinti-Wald D. Accuracy of weightbearing estimation by stroke versus healthy subjects. *Percept Mot Skills*. 1991;72(3 Pt 1): 935-41.
- Brandstater ME, de Bruin H, Gowland C et al. Hemiplegic gait: analysis of temporal variables. *Arch Phys Med Rehabil*. 1983;64(12):583-7.
- Brunt D, Vander Linden DW, Behrman AL. The relation between limb loading and control parameters of gait initiation in persons with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76(7): 627-34.
- Dean CM, Richards CL, Malouin F. Walking speed over 10 metres overestimates locomotor capacity after stroke. *Clin Rehabil*. 2001;15(4):415-21.
- Desrosiers J, Noreau L, Rochette A et al. Predictors of handicap situations following post-stroke rehabilitation. *Disabil Rehabil*. 2002;24(15):774-85.
- Fong KN, Chan CCA, Au DK. Relationship of motor and cognitive abilities to functional performance in stroke rehabilitation. *Brain Inj*. 2001;15(5):

- 443-53.
- Geurts AC, de Haart M, van Nes IJ et al. A review of standing balance recovery from stroke. *Gait Posture*. 2005;22(3):267-81.
- Jorgensen L, Crabtree NJ, Reeve J et al. Ambulatory level and asymmetrical weight bearing after stroke affects bone loss in the upper and lower part of the femoral neck differently: bone adaptation after decreased mechanical loading. *Bone*. 2000;27(5):701-7.
- Keenan MA, Perry JJ, Jordan C. Factors affecting balance and ambulation following stroke. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;182:165-71.
- Lundy-Ekman L. *Neuroscience: Fundamentals for rehabilitation*. 3rd. W.B. Saunders, 2007.
- Mauritz KH. Gait training in hemiplegia. *Eur J Neurol*. 2002;9(1):suppl 23-9, discussion 53-61.
- Pang MY, Eng JJ, Dawson AS et al. A community-based fitness and mobility exercise program for older adults with chronic stroke: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc*. 2005;53(10):1667-74.
- Patterson KK, Gage WH, Brooks D et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture*. 2010;31(2):241-6.
- Patterson KK, Parafianowicz I, Danells CJ et al. Gait asymmetry in community-ambulating stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89(2):304-10.
- Robinson RO, Herzog WN, Nigg BM. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther*. 1987;10(4):172-6.
- Sackley CM. Falls, sway, and symmetry of weight-bearing after stroke. *Int Disabil Stud*. 1991;13(1):1-4.
- Sandin KJ, Smith BS. The measure of balance in sitting in stroke rehabilitation prognosis. *Stroke*. 1990;21(1):82-6.
- Shumway-Cook A, Woollacott M. H. *Motor Control: Translating research into clinical practice*. 3rd. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins., 2007.
- Smith MT, Baer GD. Achievement of simple mobility milestones after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(4):442-7.
- Titianova EB, Tarkka IM. Asymmetry in walking performance and postural sway in patients with chronic unilateral cerebral infarction. *J Rehabil Res Dev*. 1995;32(3):236-44.
- Tyrell CM, Roos MA, Rudolph KS et al. Influence of systematic increases in treadmill walking speed on gait kinematics after stroke. *Phys Ther*. 2011;91(3):392-403.
- Wall JC, Turnbull GI. Gait asymmetries in residual hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1986;67(8):550-3.