

편측성 걸음걸이 트레드밀 훈련이 만성 뇌졸중 환자의 보행 속도와 대칭성 회복에 미치는 효과

이지연¹ · 천승철^{2*}

¹건양대학교 일반대학원 석사과정 학생, ^{2*}건양대학교 물리치료학과 교수

Effects of Unilateral Step Treadmill Training on the Gait Speed and Recovery of Gait Symmetry in Patients with Chronic Stroke

Ji-Yeon Lee, PT¹ · Seung-Chul Chon, PT, Ph.D^{2*}

¹Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Konyang University, MS-Student

^{2*}Dept. of Physical Therapy, Konyang University, Professor

Abstract

Purpose : Stroke patients exhibit abnormal walking patterns such as slow walking speed and asymmetrical walking values. The recovery of symmetrical walking in the stance phase using a treadmill means improvements in walking speed and asymmetrical walking. The purpose of this research was to investigate the effect of unilateral step treadmill training (USTT) on gait speed and the recovery of symmetrical walking in chronic stroke patients.

Methods : Fifteen patients (11 men and 4 women) with chronic stroke participated in this study. The 10-meter walk test (10MWT) and GAITRite system were used to determine the intervention-related changes in gait speed and symmetrical walking values such as non-paretic step length (NSL), non-paretic step time (NST), paretic single-support time (PSST), step length asymmetry (SLA), and step time asymmetry (STA) after USTT. All participants completed USTT and underwent measurements at 3 different times: at pretest, posttest, and the follow-up test. Repeated-measures analysis of variance was used to compare walking speed and asymmetrical walking values. The statistical significance level was set at $p < .05$.

Results : Walking speed by 10MWT ($p < .05$) showed significant improvements after USTT as follows: at pretest and posttest ($p < .05$), posttest and follow-up test ($p < .05$), and pretest and follow-up test ($p < .05$). Recovery of symmetrical walking patterns such as NSL ($p < .05$), NST ($p < .05$), and SLA ($p < .05$) were observed after USTT. However, no significant improvements were found in PSST ($p > .05$) and STA ($p > .05$) in symmetrical gait.

Conclusion : This study suggests that USTT may have a positive effect on walking speed and symmetrical walking patterns in chronic stroke patients. Thus, this study contributes to the existing knowledge about the usefulness of USTT for the effective management of patients with chronic stroke. Further studies are needed to generalize these findings.

Key Words : asymmetric walking, gait, stroke, unilateral step treadmill training, walking speed

*교신저자 : 천승철, keyjune@konyang.ac.kr

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2020R111A3A04037574)

제출일 : 2022년 10월 4일 | 수정일 : 2022년 11월 3일 | 게재승인일 : 2022년 11월 11일

I. 서론

뇌졸중은 뇌혈관 손상으로 뇌 기능이 소실되어 손상 영역과 정도에 따라 운동, 감각, 기능 및 일상생활 동작 등과 같은 다양한 운동장애를 일으키는 신경계 질환이다. 이러한 문제점들은 비대칭적 자세와 체중 이동 및 지지 능력의 저하, 비정상적인 균형 등에 의한 보행 장애의 원인이 된다(Balaban & Tok, 2014). 비대칭적인 신체 정렬은 독립적인 일상생활 활동과 보행 기능에 부정적 영향을 주며, 안정성 결여와 제한으로 인한 낙상 등의 이차적 손상을 야기할 수 있다(Neumann, 2017). 따라서 뇌졸중 환자의 보행 및 운동기능 향상을 위한 물리치료는 대칭적 자세 유지를 위한 마비측 다리의 체중이동 및 지지 능력이 강조되어 왔다(De Oliveira 등, 2008).

뇌졸중 환자들은 느린 보행 주기와 보행 속도, 비마비측과 마비측 간의 비대칭적 한 발짝 길이 차이 등 비정상적인 보행 형태들이 나타나게 된다(Lee 등, 2012). 특히 마비측 다리로 무게 중심을 이동 및 지지하는 능력의 저하로 인해 비대칭적인 보행 주기가 나타난다(Patterson 등, 2010). 보행 중 마비측 흔들기(swing phase) 시간 증가와 디딤기(stance phase) 시간 감소로 인한 한발짝 길이(step length)의 감소가 나타나고, 그로 인한 보행 속도의 감소는 보행 시 에너지 소모가 큰 비효율적인 보행 형태를 야기하게 된다(Kizony 등, 2010).

선행연구에 의하면 마비측으로 체중 이동 및 지지 능력 향상이 디딤기 시간 증가와 양의 상관관계가 있다고 하였으며, 이는 보행 속도 증가에도 긍정적 영향을 준다고 하였다(Park 등, 2012). 디딤기 시간의 증가를 통한 대칭성 회복은 보행 속도 증가와 비대칭적 보행 형태의 개선을 의미하며, 이는 뇌졸중 환자의 이상적인 보행 형태라고 하였다(Patterson 등, 2008).

건강한 성인의 평균 보행 속도는 1.4 %와 비교하여 뇌졸중 환자의 평균 보행속도는 .18~1.03 %이며, 느린 보행 속도로 인하여 일상생활 동작을 수행하는데 있어 여러 제한점들을 야기할 수 있다. 지역사회에서 요구되는 보행 속도는 1~1.5 %로 뇌졸중 후 퇴원하는 환자의 7 %만이 이 보행 기준을 만족시킨다(Fulk 등, 2017). 보행 시 보상(compensation) 움직임을 통해 보행 속도를 증가시킬

수 있지만, 이는 비효율적인 에너지 소모와 보행 주기의 변화 없이 속도가 증가한 것으로 대칭성은 상관성이 없다고 하였다(Patterson 등, 2008). 따라서 보행의 대칭성 향상을 통하여 뇌졸중 환자의 보행과 같은 기능적 운동 능력과 삶의 질을 향상시킬 수 있는 구체적 물리치료 방법들이 소개되어 왔다(Combs-Miller 등, 2014).

뇌졸중 후 비대칭성 보행을 줄이고 보행능력을 향상시키기 위한 트레드밀 훈련은 다양하게 소개되었다(Kim & Lee, 2020). 그러나 트레드밀 보행 훈련의 효과는 보편적인 지상 보행 능력으로 이월되지 않았고, 단기적 효과와 대칭성이 향상되었다는 발표는 제한적이다(Patterson 등, 2008). 이러한 제한점을 보강하고자 Smith 등(2021)은 마비측 다리를 고정시켜 체중 지지를 유도하고, 비마비측 다리는 움직이는 트레드밀 벨트 위에서 시간 경과에 따라 보행속도에 변화를 주면서 즉각적인 반응과 협응 보행 능력을 유도하는 편측성 걸음걸이 훈련(unilateral step treadmill training; USTT)을 소개하였다.

USTT는 분할 벨트 트레드밀(split belt treadmill) 훈련법의 제한점을 보완하고 임상에서 용이하게 적용하기 위하여 개발된 방법이다(Kahn & Hornby, 2009). 보행 중 시간 경과에 따라 적응현상이 일어나면 곧바로 보행속도에 변화를 주어 보행 운동능력을 효율적으로 향상시킬 수 있다고 하였다(Reisman 등, 2007). USTT는 비마비측 다리의 한발짝 간격이 짧은 뇌졸중 환자를 대상으로 적용하였을 때, 비대칭적인 한발짝 간격 길이가 증가되어 대칭성이 향상되었다고 하였고, 단기 중재에도 불구하고 효과는 2주 이상 유지되었다고 하였다(Kahn & Hornby, 2009).

뇌졸중 환자의 보행능력 향상을 위한 분할 벨트 트레드밀 훈련 방법은 비교적 다양하게 소개되었으나(Betschart 등, 2018; Miéville 등, 2018), 임상에서 용이하게 적용 가능한 USTT에 대한 연구는 매우 제한적이다. 본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 USTT를 적용하여 보행 속도와 대칭성 회복의 미치는 효과를 알아 보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

연구 대상자는 뇌졸중 진단을 받은 후 6개월 이상 경과한 자로 D광역시 소재 B병원에 입원 또는 외래로 내원하는 성인 뇌졸중 환자 15명을 대상으로 진행하였다. 모든 대상자는 본 연구의 내용을 이해하고 실험 참여에 자발적으로 동의하였으며, 건양대학교 기관생명윤리위원회의 연구 승인(KYU 2021-12-020-002)을 받아 진행되었다. 본 연구에 참가한 만성 뇌졸중 환자들의 일반적인 특징은 Table 1과 같다.

대상자 선정기준은 다음과 같다. 1) Fugl-Meyer 다리 점수 34점 미만의 운동장애가 있는 자 2) 한 발짝 길이와 시간이 6 % 이상의 비대칭성을 보이는 자 3) 20분 이상 트레드밀 훈련이 가능한 자 4) 독립 보행이 가능한 자로 지팡이와 발목보조기(ankle foot orthosis)는 허용하였다.

제외 기준은 다음과 같다. 1) 소뇌질환의 뇌졸중 환자 2) 트레드밀 훈련을 시행할 수 없는 자 3) 보행기(walker)를 사용하여 보행하는 자 4) 신경학적 소견이 있는 자는 연구 대상자에서 제외하였다(Smith 등, 2021).

Table 1. General characteristics of subjects

(n= 15)

Stroke group (n=15)	
Sex (male/female)	11/4
Age (years)	64.73±9.93
Weight (kg)	68.13±5.54
Height (cm)	168.33±5.17
Paretic side (right/left)	6/9
Fugl-Meyer L/E (score)	28.33±2.79
Disease duration (month)	30.83±13.49

2. 중재방법

모든 대상자들은 보편적 물리치료(운동치료) 20분을 동일하게 적용하고 USTT를 추가로 30분 적용하였다. 또한 USTT는 표준 전동식 트레드밀을 사용하였다. 대상자들은 균형 유지 및 안전을 위해 가볍게 수평 레일을 붙잡고 시행하였으며, 마비측 다리는 벨트 옆 고정된 공간에 올려두고 움직이지 않도록하고 비마비측 다리는 트레드밀 벨트 위에 올려두고 지시에 따라 보행을 시행하도록 하였다(Fig 1). 대상자들은 워밍업을 위해 3분간 트레드밀을 이용하였고, 기본 속도는 사전 평가에서 측정된 10 MWT 결과를 근거로 설정하였다. USTT 중재는 매 5분마다 속도를 25 %씩 증가시켰다. 또한 마비측으로의 적합한 체중 이동을 위해 구두(verbal) 및 체성감각(somatosensory) 되먹임을 제공하였다(Smith 등, 2021). USTT 중재는 적용 전에 사전 교육을 3회씩 실시하였고, 중재 전, 중재 후 및 24시간이 지난 시점 총 3회 측정하였다.

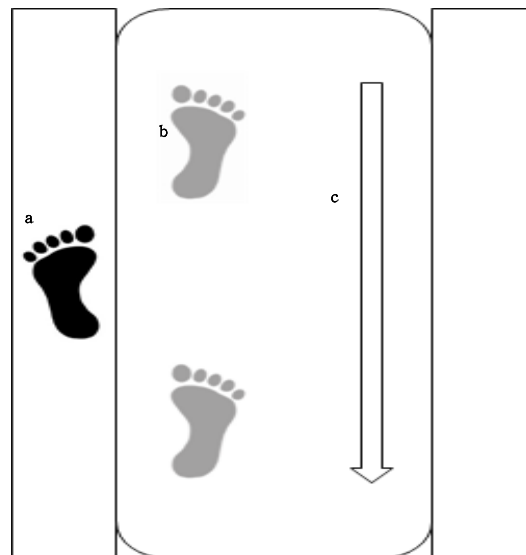


Fig 1. Unilateral step treadmill training. a; paretic side, b; non-paretic side, c; treadmill training direction

3. 측정 방법

1) 보행속도

보행 속도 평가를 위해 10 MWT를 시행하였다. 14 m의 직선 보행 주행로를 걷는 동안 처음 2 m와 마지막 2 m를 제외한 가운데 10 m 거리를 이동하는데 소요된 시간을 3회 측정하여 평균값을 사용하였다(Busk 등, 2022). 또한 7 m 중앙 지점에 보행분석기(GAITRite, SMS Technologies Inc., UK)를 설치하여 10 MWT를 실시하는 동안 보행 대칭성 관련 변수들을 함께 측정하였다.

2) 보행 대칭성

보행 대칭성을 측정하기 위하여 보행 분석기를 사용하였다. 총 길이는 6 m로써 직경 1 cm의 약 13000개 센서가 부착되어 있다. 편평한 바닥에 보행 분석기를 깔고 대상자가 보행하는 동안 발의 압력을 통하여 보행의 시간 및 공간적 정보를 저장할 수 있다. 연구에 사용된 보행 분석기의 검사-재검사 신뢰도는 $r=.72\sim.94$ 이다(Kuys 등, 2011). 측정 변수는 다음과 같다.

- 1) 비마비측 한 발짝 길이(non-paretic step length; NSL); 마비측 발의 뒷꿈치 접촉에서 비마비측 뒷꿈치 접촉까지의 거리(cm)이다.
- 2) 비마비측 한 발짝 시간(non-paretic step time; NST); 마비측 발의 첫 접촉부터 비마비측 발의 첫 접촉까지의 시간(second)이다.
- 3) 마비측 한 다리 지지기 시간(paretic single support time; PSST); 마비측 다리만 지면에 접촉하고 있는 시간을 전체 발짝 시간의 백분율로 환산한다.
- 4) 보행 비대칭 값(gait asymmetry); 한발짝 길이와 시간의 비대칭 값을 측정하며, 백분율로 환산한다(Fig 2).

(1) 한 발짝 길이 비대칭 값(step length asymmetry; SLA); 비마비측 한발짝 길이를 전체 발짝 길이 길이의 백분율로 환산한다(Fig 2).

(2) 한 발짝 시간 비대칭 값(step time asymmetry; STA); 비마비측 발이 지면에 접촉하고 있는 시간을 전체 발짝 시간의 백분율로 환산한다(Fig 2).

0은 비대칭성이 없음을 나타내며, 양의 값은 비마비측

다리보다 마비측 다리의 더 긴 한 발짝 길이 또는 시간을 나타내고, 음의 값은 비마비측 다리보다 마비측 다리의 더 짧은 한 발짝 길이 또는 시간을 나타낸다(Patterson 등, 2008).

$$\left(100 - \frac{\text{비마비측 한 발짝 길이 또는 시간}}{\text{마비측 한 발짝 길이 또는 시간}} \right) \times 100$$

Fig 2. Gait asymmetry

4. 자료처리 및 분석

본 연구의 모든 자료 처리는 SPSS window version 18.0 프로그램을 이용하였다. 모든 측정 데이터는 항목별 평균과 표준편차를 산출하여 제시하였다. 보행 속도 및 대칭성 보행 값들은 중재 전, 중재 후 및 사후검사 총 3회 측정하였으며, 각 변수들은 종속변수 정규성 검정(shapiro-wilk)을 시행하였다. 보행 속도와 대칭성 보행 변수들은 반복 측정 분산분석(repeated measures ANOVA)을 시행하여 비교하였고, 사후분석은 본페로니(Bonferroni)검정을 사용하였다. 모든 통계학적 유의수준은 .05로 설정하였다.

III. 결과

1. 보행 속도

USTT 중재 적용 후 10 MWT에 의한 보행 속도는 유의하게 향상되었다($p<.05$). 중재 전과 중재 후($p<.05$), 중재 후와 사후검사($p<.05$), 및 중재 전과 사후검사($p<.05$)에서도 모두 유의하게 향상되었다(Table 2).

2. 보행 대칭성

USTT 중재 적용 후 보행 분석기에 의한 보행 대칭성은 NSL, NST 및 SLA에서 각각 유의하게 향상되었다($p<.05$). NSL은 중재 후와 사후검사($p<.05$) 그리고 중재 전과 사후검사($p<.05$)에서 유의하게 향상되었다. NST는

중재 전과 사후검사($p<.05$) 그리고 중재 전과 사후검사 ($p<.05$) 유의하게 향상되었다. SLA는 중재 전과 중재 후

($p<.05$) 그리고 중재 후와 사후검사($p<.05$)에서 유의하게 향상되었다(Table 2).

Table 2. Walking speed and recovery of gait symmetry

(n= 15)

		Pretest	Posttest	Follow-up test	F
Gait speed	10 MWT	19.32±2.11*	17.13±2.18*	15.61±1.97**	24.58*
	NSL (cm)	43.97±1.22	45.53±3.72*	49.25±3.65**	11.83*
	NST (s)	.76±.04*	.72±.04	.69±.04**	6.39*
Gait symmetry	PSST (%CG)	29.46±1.50	29.87±1.68	29.91±2.20	.12
	SLA (%)	16.10±2.76*	10.53±2.39*	11.81±2.19	6.67*
	STA (%)	19.55±2.67	19.29±3.66	23.62±4.88	1.54

NSL; non paretic step length, NST; non paretic step time, PSST; paretic single support time, SLA; step length asymmetry, STA; step time asymmetry, * $p<.05$, †pretest & posttest $p<.05$, **posttest & follow-up test $p<.05$, ***pretest & follow-up test $p<.05$

IV. 고 찰

뇌졸중 재활 및 물리치료의 목표 중 보행능력은 가장 중요한 운동능력으로써 임상 현장에서 많은 관심과 노력을 기울이고 있다. 뇌졸중 환자의 비정상적인 보행 운동 능력은 감소된 보행속도와 비마비측 다리로 무게 중심을 지지함으로써 나타나는 비대칭적 보행 특징을 보이게 된다(Patterson 등, 2010). 특히 마비측으로 체중을 지지하게 되는 비대칭성은 연쇄되는 보상적 운동작용으로 인하여 시공간적 보행 변수들에 부정적 영향을 미치게 된다(Wonsetler & Bowdén, 2017). 본 연구에서는 이러한 비대칭성을 회복하기 위한 방법으로 USTT를 적용하여 보행 속도와 보행의 대칭적 변수들에 미치는 효과를 알아보고, USTT가 보행 속도와 NSL, NST 및 SLA와 같은 보행의 대칭성에 긍정적인 효과가 있음을 알게 되었다.

USTT 적용 후 보행 속도 중재 전 19초에서 중재 후 17초, 사후검사는 15초로 보행 속도가 지속하여 향상되었다. USTT 적용에 의한 보행의 대칭성 향상은 시공간적 보행 속도를 향상시켰으며 이는 보행 대칭성과 보행 속도의 양의 상관성에도 일치하였다(Nam 등, 2010). 보행 속도는 다양한 보행 변수와 상관성을 보이고 있으며, 보행능력의 대표적 변수로 간주되고 있다(Smith 등, 2021). 또한 마비측 다리의 체중 지지 훈련을 통한 디딤기 지지 시간의 증가로 USTT 중재 방법(Patterson 등, 2008)이 보

행 속도를 증가시키고 대칭성을 개선시킨 것으로 사료된다.

NSL, NST 및 SLA와 같은 보행 대칭성의 유의한 결과를 보면 USTT 방법이 마비측 다리의 체중 지지 유도를 통한 비마비측 한 발짝 길이와 시간이 향상되었음을 반증하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 특히 0에 가까울수록 대칭성을 의미하는 SLA에서 중재전 16 %가 중재후 10 % 및 사후검사 11 %까지 향상됨으로써 마비측 체중 지지가 가능해짐으로써 더 길게 지면에 닿아 있을 수 있었다. 트레드밀 훈련을 통하여 양측 다리의 한 발짝 길이를 대칭적으로 수정할 수 있도록 시각적 피드백을 제공하였을 때 보행의 대칭성이 증가되었다고 하였다(Padmanabhan 등, 2020). 또한 만성 뇌졸중 환자 10명을 대상으로 3주간 대칭성 향상을 위한 체중 이동 훈련을 실시한 결과 마비측 다리의 체중 지지 능력이 향상되었다고 하였고, 이러한 체중지지 훈련은 균형 및 보행 능력을 향상시키는 것으로 보고되고 있다(Andersson & Franzén, 2015; Tsaklis 등, 2012).

그러나 PSST와 STA와 같은 마비측 한다리로 지지하는 시간이나 비율은 통계적으로 유의하지 않게 나왔다. 이러한 동작에서 중요한 엉덩관절 벌림근은 보행 시 반대측 흔들기 동안에 골반의 안정성을 제공하며, 한 다리로 지지하는 동안 크게 활성화된다(Neumann, 2017). 뇌졸중 환자는 마비와 근력 약화로 인하여 골반의 가쪽 변위

가 나타난다고 하였으며(Kong 등, 2015), 이로 인한 비정상적 보행 패턴이 나타난다고 하였다(Kong 등, 2015; Neumann, 2017). 그러나 본 연구에서 적용한 USTT는 기능학적 수행능력에 초점을 맞추면서 골반 정렬과 엉덩관절 벌림근에 대한 통제가 없었다. 따라서 엉덩관절 벌림근의 활성없이 골반에서의 일부 보상작용을 통한 USTT가 적용된 것으로 사료된다.

USTT 증재와 유사한 선행연구들을 고려하면, Andersson과 Franzén(2015)은 뇌졸중 환자를 대상으로 3주간의 체중 이동 훈련이 보행속도에 효과적이었고, 3개월 후 사후검사에서는 유의한 영향이 없다고 하였다. Reisman 등(2013)은 뇌졸중 환자 13명에게 4주간의 분할 벨트 트레드밀 훈련을 시행하여 3개월 후에 한 발짝 길이의 대칭성이 증가되었다고 하였다. Kahn과 Hornby(2009)은 한 발짝 길이의 비대칭성 뇌졸중 환자 18명을 대상으로 USTT 적용 후 증재 직후 및 증재 후 24시간 시점에서 보행 속도와 보행 대칭성이 모두 유의하게 증가되었다고 하였다.

그러나 본 연구는 몇 가지 제한점을 보인다. 첫째, 대상자 수가 적고 단일그룹에 대한 반복측정 연구로써 일반화에 문제점이 있다. 둘째, 단기 효과를 연구함으로써 증재 후 검사와 사후검사 간의 시간이 짧았다. 셋째, USTT 적용을 기능적 수행능력에만 초점을 두어 골반과 몸통의 움직임 통제를 하지 못했다. 따라서 향후 연구에서는 더 많은 뇌졸중 환자를 대상으로 대조군과 함께 골반과 몸통의 움직임까지 고려하여 장기간의 효과를 알아보아야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 만성 뇌졸중 환자들에게 USTT의 효과를 알아보고자 하였고, 그 결과 보행 속도와 NSL, NST 및 SLA와 같은 보행의 대칭성에 긍정적인 효과가 있음을 알게 되었다. 또한 그 효과는 24시간이 지난 시점까지 유지되었다. 이러한 USTT 방법은 접근성, 용이성 및 효율성 측면에서 임상 현장에서 뇌졸중 환자의 보행능력 개선을 위한 하나의 방법으로 고려될 수 있을 것으로 제언

한다.

참고문헌

Andersson P, Franzén E(2015). Effects of weight-shift training on walking ability, ambulation, and weight distribution in individuals with chronic stroke: a pilot study. *Top Stroke Rehabil*, 22(6), 437-443. <https://doi.org/10.1179/1074935715Z.00000000052>.

Balaban B, Tok F(2014). Gait disturbances in patients with stroke. *PM R*, 6(7), 635-642. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2013.12.017>.

Betschart M, McFadyen BJ, Nadeau S(2018). Repeated split-belt treadmill walking improved gait ability in individuals with chronic stroke: a pilot study. *Physiother Theory Pract*, 34(2), 81-90. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1375055>.

Busk H, Holm P, Skou ST, et al(2022). Inter-rater reliability and agreement of 6 minute walk test and 10 meter walk test at comfortable walk speed in patients with acute stroke. *Physiother Theory Pract*, 3, Printed Online. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2030830>.

Combs-Miller SA, Parameswaran AK, Colburn D, et al(2014). Body weight-supported treadmill training vs. overground walking training for persons with chronic stroke: a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 28(9), 873-884. <https://doi.org/10.1177/0269215514520773>.

De Oliveira CB, De Medeiros IR, Frota NA, et al(2008). Balance control in hemiparetic stroke patients: main tools for evaluation. *J Rehabil Res Dev*, 45(8), 1215-1226. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2007.09.0150>.

Fulk GD, He Y, Boyne P, et al(2017). Predicting home and community walking activity poststroke. *Stroke*, 48(2), 406-411. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.116.015309>.

Kim JJ, Lee JW(2020). A systematic review of effects and methods of treadmill training applied to stroke patients. *J Korean Phys Ther Sci*, 27(2), 63-79. <https://doi.org/>

- 10.26862/jkpts.2020.09.27.2.63.
- Kahn JH, Hornby TG(2009). Rapid and long-term adaptations in gait symmetry following unilateral step training in people with hemiparesis. *Phys Ther*, 89(5), 474-483. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080237>.
- Kizony R, Levin MF, Hughey L, et al(2010). Cognitive load and dual-task performance during locomotion poststroke: a feasibility study using a functional virtual environment. *Phys Ther*, 90(2), 252-260. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090061>.
- Kong SW, Jeong YW, Kim JY(2015). Correlation between balance and gait according to pelvic displacement in stroke patients. *J Phys Ther Sci*, 27(7), 2171-2174. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2171>.
- Kuys SS, Brauer SG, Ada L(2011). Test-retest reliability of the GAITRite system in people with stroke undergoing rehabilitation. *Disabil Rehabil*, 33(19-20), 1848-1853. <https://doi.org/10.3109/09638288.2010.549895>.
- Lee YW, Shin DC, Lee KJ, et al(2012). The relation between asymmetric weight-supporting and gait symmetry in patients with stroke. *J Korean Soc Phys Med*, 7(2), 205-212. <https://doi.org/10.13066/kspm.2012.7.2.205>.
- Miéville C, Lauzière S, Betschart M, et al(2018). More symmetrical gait after split-belt treadmill walking does not modify dynamic and postural balance in individuals post-stroke. *J Electromyogr Kinesiol*, 41, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.04.008>.
- Nam HC, Kim SY, An SH(2010). The relationships among gait asymmetry, the gait velocity and motor function of lower extremity in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*, 5(3), 385-394.
- Neumann DA(2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation*. 3rd ed, Missouri, The Elsevier Group, pp.649-689.
- Padmanabhan P, Rao KS, Gulhar S, et al(2020). Persons post-stroke improve step length symmetry by walking asymmetrically. *J Neuroeng Rehabil*, 17(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00732-z>.
- Park SH, Shin JH, Park JB, et al(2012). A study on the comparison and relationship between gait speed and symmetry index of gait parameters in hemiplegic stroke patients. *J Coach Develop*, 14(3), 161-167.
- Patterson KK, Gage WH, Brooks D, et al(2010). Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture*, 31(2), 241-246. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.10.014>.
- Patterson SL, Rodgers MM, Macko RF, et al(2008). Effect of treadmill exercise training on spatial and temporal gait parameters in subjects with chronic stroke: a preliminary report. *J Rehabil Res Dev*, 45(2), 221-228. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2007.02.0024>.
- Reisman DS, McLean H, Keller J, et al(2013). Repeated split-belt treadmill training improves poststroke step length asymmetry. *Neurorehabil Neural Repair*, 27(5), 460-468. <https://doi.org/10.1177/1545968312474118>.
- Reisman DS, Wityk R, Silver K, et al(2007). Locomotor adaptation on a split-belt treadmill can improve walking symmetry post-stroke. *Brain*, 130(7), 1861-1872. <https://doi.org/10.1093/brain/awm035>.
- Smith MC, Stinear J, Stinear CM(2021). The effects of unilateral step training and conventional treadmill training on gait asymmetry in patients with chronic stroke. *Gait Posture*, 87, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.04.035>.
- Tsaklis PV, Grooten WJ, Franzén E(2012). Effects of weight-shift training on balance control and weight distribution in chronic stroke: a pilot study. *Top Stroke Rehabil*, 19(1), 23-31. <https://doi.org/10.1310/tsr1901-23>.
- Wonsetler EC, Bowden MG(2017). A systematic review of mechanisms of gait speed change post-stroke. part 1: spatiotemporal parameters and asymmetry ratios. *Top Stroke Rehabil*, 24(6), 435-446. <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1285746>.