

Original Article

Open Access

## 경사도 각도에 따른 트레드밀 보행훈련 시 뇌졸중 환자의 뇌파에 미치는 영향

김선민<sup>1</sup> · 김동훈<sup>1</sup> · 장상훈<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>김천대학교 물리치료학과, <sup>2</sup>한국교통대학교 물리치료학과

### Effect of Change in Degrees of Inclination during Treadmill Gait Training on EEG of Stroke Patients

Sun-Min Kim, P.T., Ph.D.<sup>1</sup> · Dong-Hoon Kim, P.T., Ph.D.<sup>1</sup> · Sang-Hun Jang, P.T., Ph.D.<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Gimcheon University

<sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Korea National University of Transportation

Received: April 1, 2024 / Revised: April 4, 2024 / Accepted: April 11, 2024

© 2024 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:** This study aimed to investigate the effects of gradually increasing treadmill inclination on the electroencephalogram (EEG) of stroke patients during gait training.

**Methods:** Three stroke patients who were diagnosed with stroke within six months and capable of walking on a treadmill were selected as subjects. EEG electrodes were attached at Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, and P4 positions of the cerebral hemispheres using the International 10-20 system. The intervention involved walking for 2 minutes each at 0 degrees, 15 degrees, and 30 degrees inclination on the treadmill while focusing on a target point located in front during the treadmill gait training. The EEG (Smartingmobi, Serbia) generated when the treadmill gradient gradually increased was measured. In addition, relative alpha and relative beta waves were visualized through the Brain mapping program in the TeleScan program to assess the changes in each brain region for the activity of the EEG.

**Results:** The relative alpha wave value decreased as treadmill inclination increased, while the relative beta wave value increased.

**Conclusion:** Gradually increasing the inclination during treadmill gait training appears to be a crucial parameter for increasing the brain activity levels of stroke patients.

**Key Words:** Electroencephalogram, Stroke, Treadmill

†Corresponding Author : Sang-Hun Jang (upsh22@ut.ac.kr)

## I. 서론

뇌졸중(stroke)이란 국소적 또는 전반적인 뇌의 중대한 뇌혈관 질환으로(Warutkar et al., 2022), 뇌의 혈액 공급이 중단되거나 뇌 조직으로 출혈이 발생하여 뇌의 일시적 또는 영구적 기능의 소실을 야기하며 이로 인해 운동신경과 감각신경을 지배하는 뇌의 기능이 상실되는 것을 의미한다(Akuthota & Nadler, 2004). 뇌졸중 손상 이후 나타나는 문제점은 비대칭적 자세와 체중 이동 및 지지 능력의 저하, 비정상적인 균형 등에 의한 보행 장애의 원인이 된다(Balaban & Tok, 2014).

뇌졸중 환자에게 발생하는 보행 장애는 매우 흔한 증상이며 이는 병변과 관련된 고위중추의 통합기능과 운동감각통로의 손상으로 인해 발생하며 직접적인 신경학적인 손상, 이차적으로 나타나는 신체적인 비활동이나 비사용 등에 의해서 나타나며 근육의 약화, 감각소실, 마비, 서투른 운동조절, 그리고 연부조직의 구축 등도 보행을 어렵게 만드는 요인들이 된다(Kelly et al., 2003)

따라서 뇌졸중 환자의 보행, 균형 및 운동기능을 증진시키기 위한 물리치료는 매우 중요하며 뇌졸중 환자를 대상으로 임상에서는 대칭적 자세를 유지하고 체중이동을 통한 균형훈련과 보행능력을 향상시키기 위한 보행훈련 중심의 물리치료가 적용되고 있다(Oliveira et al., 2008).

뇌졸중 환자의 보행은 보행주기와 보행속도가 느리며, 비대칭적인 한 발짝 길이 차이 등 비정상적인 보행 형태들이 나타나게 된다(Lee et al., 2012). 이는 마비측 하지로 무게 중심을 이동하거나 지지하는 능력이 부족하여 보상작용이 나타나며 비대칭적인 보행 주기를 발생시키는 원인이 된다(Patterson et al., 2010).

현재 뇌졸중 환자의 보행향상을 위해 임상에서는 트레드밀 보행이 많이 시행되고 있다(Ada et al., 2003). 트레드밀에 보행 훈련은 반복적으로 실시할 수 있는 보행훈련 방법으로 Ada 등(2003)은 실제 평지에서의 환경을 제공함으로써 보행훈련을 제공하였다고 하였으며 Dobkin (2004)과 Hesse 등(2001)은 트레드밀 보행

훈련은 실제 평지를 걷는 것보다 더욱 더 효과적이고 뇌졸중 환자의 보행 능력에 도움이 된다고 보고 하였다. 또한 경사도가 있는 트레드밀 보행 훈련은 계단을 오르고 내릴 수 없는 장애인이나 노인, 임산부 등이 실내의 이동을 위한 필수적인 훈련이라고 강조하였다(Kim et al., 2009).

선행연구에서 Kim 등(2007)은 트레드밀 경사각도와 보행속도를 증가한 결과 체간 근육의 근활성화로 인하여 균형능력 및 보행능력 향상을 보고하였다. 또한 Kawamura 등(1991)은 경사도 보행훈련을 통해서 보행 시 걸음 수가 유의하게 향상되었다고 보고하였다. 이처럼 트레드밀 보행훈련은 급성기 또는 만성기 뇌졸중 환자의 재활에 지속적으로 사용되었고, 뇌졸중 환자의 보행 및 균형 능력을 개선하는데 긍정적인 효과가 보고되었다(Choi et al., 2015; Gama et al., 2015; Jeong & Koo, 2016; Kwon et al., 2015).

최근 뇌 과학이 발달하면서 신체활동 및 운동이 실제 뇌에 어떠한 영향을 미치는지 분석한 연구는 많다. 운동 또는 신체활동은 뇌가 새로운 정보를 받아들일 태세를 갖추게 할 뿐만 아니라, 기억을 위한 학습을 촉진해주고 정신적인 환경을 최적화해서 뇌의 각성도와 집중력을 높여주고 의욕도 고취할 수 있으며 이러한 두뇌의 기능을 나타내는 두뇌 활성 상태는 일반적으로 뇌파측정에 의해 이루어진다(Kim et al., 2015). 뇌파는 객관적이고 비침습적이며 연속적으로 간단하게 두뇌 기능 상태를 실시간으로 평가 할 수 있는 매우 우수한 검사법으로 복잡한 과제를 수행하는 동안 뇌에서 진행되고 있는 활동을 평가하고(Lee et al., 2010), 일정 기간 훈련을 통해 특정 범위 뇌파 조절을 학습하고 장기간 기억한다는 점에서 뇌 기능의 평가와 뇌 질환의 진단 및 치료에 자주 이용되고 있다(Wing, 2001). 또한 이러한 뇌파 장치는 특별한 기술 없이도 측정 전극을 두피에 부착하기 쉽고 피험자의 움직임 을 제한하지 않는다(Han et al., 2008). 뇌의 변화를 평가하는 방법 중 뇌파검사가 있는데, 이를 이용하여 뇌졸중 환자의 신경학적 변화와 활성 상태를 관찰하는 뇌지도화(brain mapping)를 확인할 수 있다(Floerence et

al., 2004; Kuk & Kim, 2015). 뇌졸중 환자의 기능의 변화는 뇌세포의 변화에 의해 발생되며 이러한 변화는 뇌지도화를 통해 비침습적으로 측정이 가능하다. 즉 뇌지도화는 재활치료나 회복 시 뇌기능의 측정이 가능한 평가 방법으로 매우 유용하다.

또한 뇌파 검사는 통증 유발이 없어 아동에서 성인까지 연령에 상관없이 지각(perception), 기억(memory), 집중력(attention), 언어(language), 그리고 감정(emotion) 같은 인지 영역과 운동 계획(motor planning) 평가에서 널리 사용할 수 있다(Teplan, 2002).

최근 체계적인 문헌고찰을 통해서 트레드밀 보행훈련의 방법들을 수정 보완하여 과제지향 접근법을 적용하거나 경사도 적용과 같은 일반적인 트레드밀 방법과 달리 수정된 트레드밀 훈련은 뇌졸중 환자의 보행능력 향상과 병원 재원 기간을 단축시켜주는 결과를 보고하였다(Han & Kim, 2024).

이와 같이 현재까지 뇌졸중 환자에 대한 트레드밀 보행훈련의 효과에 대한 연구는 이루어져 왔으나 경사도 트레드밀 보행훈련 시 뇌파의 변화를 알아본 연구는 부족한 실정이다. 뇌파의 변화를 통해 트레드밀 보행훈련이 기억, 집중력, 주의력 등과 관련된 뇌지도화의 연관성을 확인할 수 있다. 또한 선행연구에서의 일반적인 트레드밀 보행 훈련은 일정한 속도와 경사도 변화 없이 안정된 환경에서 적용되므로 환자의 주의력이 요구되는 보행훈련이 아닌 미리 예측 가능한 환경에서의 보행훈련이라고 사료가 되어 본 연구에서는 경사도 각도에 따른 트레드밀 보행훈련 시 뇌졸중 환자의 뇌파에 미치는 효과를 알아보고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

연구대상자는 C시에 위치한 S병원에서 뇌졸중으로 진단을 받고 입원해 재활치료를 받고 있는 발병

6개월 이내인 성인 10명을 대상으로 선정하였으며, 본 연구의 참여한 대상자들은 연구의 내용과 목적, 실험 절차, 연구의 안정성 및 주의사항에 대해 충분한 설명을 들은 뒤 서면으로 동의를 얻어 자발적인 참여를 유도하였다. 본 연구 대상자의 구체적인 선정기준은 K-MMSE 점수가 24점 이상인 의사소통이 가능한 자(Folstein & Mchugh, 1975), BBS 점수가 21점 이상인 자, 보조도구 없이 독립적인 보행이 가능한 자, 마비측 하지의 Modified Ashworth Scale 경직 정도가 2단계 이하인 자, 실험에 영향을 미칠 수 있는 심·호흡계 이상이 없는 자, 환자 및 보호자의 동의를 얻고 본 연구에 자발적으로 참여한 자로 선정하였으며 의사소통이 불가능한 자, 시야 결손이나 전정기관에 이상이 있는 자, 정신질환이 있거나 항정신성 약물을 복용하는 자는 본 연구에서 제외하였다.

### 2. 측정방법 및 도구

#### 1) 뇌활성도 측정도구

##### (1) 뇌파(Electroencephalographic, EEG)

본 연구에서 뇌졸중 환자의 뇌파 측정은 뇌파측정장비(Smartingmobi, mBrainTrain, Serbia)를 이용하여 상대알파파와 상대베타파에 대한 뇌파를 분석하였다. 본 장비는 24채널의 모바일 뇌파 증폭장치(Amplifier)로 두 개의 샘플링 주파수(Sampling frequencies)를 이용하고(250Hz 또는 500Hz), 24비트(Bits)의 해상도와 대역 폭(Bandwidth)은 250Hz까지 설정 가능한 뇌파측정장비이다(Fig. 1). 본 연구에서는 샘플링 주파수(Sampling frequencies)를 500Hz로 설정하고 전극의 임피던스는 50k $\Omega$ 이하로 설정하여 자료를 수집하였다. 전극의 부착부위는 국제 10-20전극배치법을 이용하여 대뇌반구의 Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4 위치에 부착하였다(Fig. 1).



Fig. 1. EEG measurement setup.

### 3. 실험 절차

본 연구는 경사도 각도에 따른 트레드밀 보행훈련 시 뇌졸중 환자의 뇌파를 측정하였다. 트레드밀 보행 훈련은 0°, 15°, 30° 경사도에서 보행훈련을 실시하였으며, 경사도 변화 없이 준비운동과 마무리 운동을 5분간 적용하였으며 쉬는 시간 2분을 포함하여 총 10분간 실시하였다. 또한 뇌졸중 환자의 능력에 맞게 보행속도를 조절하여 적용을 하였다. 뇌파 측정은 0°에서 보행훈련을 1분동안 실시하여 뇌파를 측정하고 1분 후에 15°로 경사도를 높이고 다시 1분 후에 30°로 경사도를 높여 각각의 경사도에서 보행훈련 시 뇌파를 측정하였다. 트레드밀 보행훈련 중 환자의 안전을 위해 치료사가 옆에서 보조하였으며, 뇌파 측정 시 잡파(Artifacts)의 혼입을 줄이기 위해 트레드밀 앞에

점을 표기하여 보행 거리를 명확히 인지시키고, 고개를 움직이거나 말을 하지 않도록 하는 등의 측정 시 주의 사항을 대상자들에게 충분히 설명하였다. 또한, 트레드밀 보행 시 시작과 종료 시에 주의력이 순간적으로 분산됨으로 발생할 수 있는 잡파를 제거하기 위해 자료의 처음과 마지막 10초를 각각 제거한 자료 총 40초에 자료를 분석에 사용하였다(Fig. 2).

### 4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 뇌파 수집 자료로 뇌파 원자료(Raw-data)는 뇌파 분석 시스템인 TeleScan 프로그램(Version 3.03, Laxtha Inc., Korea)을 이용하여 정량적 분석을 실시하였다. 수집된 뇌파 원자료는 대상자들의 머리뼈 두께 차이, 머리표면의 전기적 상태,



Fig. 2. Treadmill training according to the incline (A: 0°, B: 15°, C: 30°).

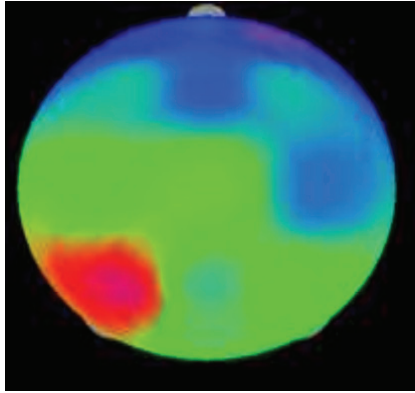


Fig. 3. Brain mapping.

긴장도와 같은 변인을 줄일 수 있고, 인지기능과 뇌파의 연관성을 확인하는 연구에서 많이 이용하고 있는 상대파워분석(Relative band power)을 이용하여 상대알파파(8~13 Hz/4~50Hz), 상대베타파(13~20Hz/4~50Hz)를 분석하였다. 또한 뇌파의 뇌 부위별 변화를 시각적으로 확인할 수 있는 TeleScan 프로그램 (Version 3.03, Laxtha Inc., Korea) 중 하나인 뇌지도화(brain mapping) 프로그램을 이용하여 각 부위별 뇌파의 상대알파파와 상대베타파를 시각화 하였다(Fig. 3).

### III. 연구 결과

#### 1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참가한 참가자들은 C 시에 위치한 S 종합 병원에 입원중인 뇌졸중 진단을 받은 환자 10명으로 성별은 남자 5명(50%), 여자 5명(50%)이었으며, 진단명은 뇌경색 7명(70%), 뇌출혈 3명(30%)이었으며, 마비 부위는 왼쪽 마비 6명(60%), 오른쪽 마비 4명(40%)이었으며, K-MMSE 점수는 28.9±0.99점이었으며, MAS 등급은 1.60±0.51등급이었으며, 유병 기간은 3.50±1.08개월이었으며, 연령은 61.8± 7.77세 이었으며, 신장은 163.7±5.03cm이었으며, 체중은 70.4±7.54kg으로 나타났다(Table 1).

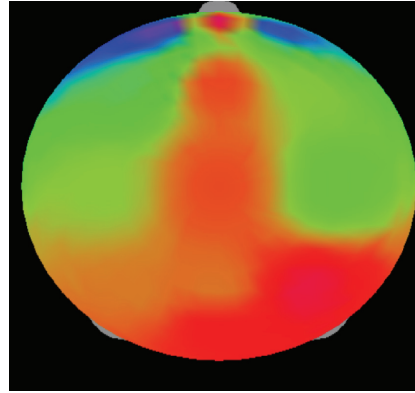


Table 1. General characteristics of subjects (n=10)

Characteristics	Mean±SD
Sex	
Male	5(50%)
Female	5(50%)
Diagnosis	
Infarction	7(70%)
Hemorrhage	3(30%)
Affected side	
Left	6(60%)
Right	4(40%)
K-MMSE* (score)	28.9±0.99
MAS (grade)	1.60±0.51
Onset Time (month)	3.50±1.08
Age (years)	61.8± 7.77
Height (cm)	163.7±5.03
Weight (kg)	70.4±7.54

\*Korea-Mini Mental State Examination

#### 2. 경사도 각도에 따른 트레드밀 보행훈련 시 상대 알파파의 변화

트레드밀 경사도 각도에 따른 뇌파의 변화에서 상대 알파파의 변화는 Fp1은 0도에서 0.20  $\mu$ V, 15도에서 0.15  $\mu$ V, 30도에서 0.06  $\mu$ V으로 경사도가 높아짐에 따라 크게 감소하였으며 Fp2는 0도에서 0.14  $\mu$ V, 15도

Table 2. Change of relative alpha wave according to intervention

	$\alpha$ -wave (n=10)								unit : $\mu$ V
	Fp1	Fp2	F3	F4	C3	C4	P3	P4	
<b>0°</b>	0.20	0.14	0.18	0.15	0.34	0.21	0.28	0.13	
<b>15°</b>	0.15	0.18	0.08	0.13	0.30	0.18	0.22	0.24	
<b>30°</b>	0.06	0.05	0.07	0.11	0.17	0.14	0.11	0.13	

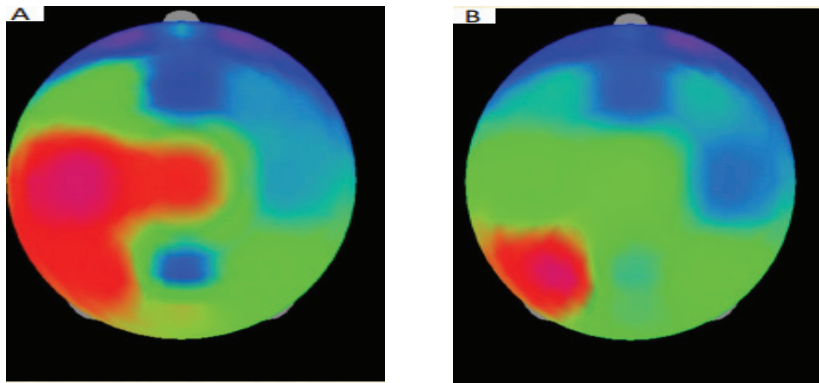


Fig. 4. A: relative alpha wave value (0°), B: relative alpha wave value (30°).

에서 0.13  $\mu$ V, 30도에서 0.05  $\mu$ V로 감소하였다. 또한 F3에서는 0도에서 0.18  $\mu$ V, 15도에서 0.08  $\mu$ V, 30도에서 0.07  $\mu$ V로 감소하였으며 F4에서는 0도에서 0.15  $\mu$ V, 15도에서 0.13  $\mu$ V, 30도에서 0.11  $\mu$ V로 감소하였다. C3에서는 0도에서 0.34  $\mu$ V, 15도에서 0.30  $\mu$ V, 30도에서 0.17  $\mu$ V 감소하였다. C4에서는 0도에서 0.21  $\mu$ V, 15도에서 0.18  $\mu$ V, 30도에서 0.14  $\mu$ V로 감소하였다. P3에서는 0도에서 0.28  $\mu$ V, 15도에서 0.22  $\mu$ V, 30도에서 0.11  $\mu$ V로 감소하였으며 P4에서는 0도에서 0.13  $\mu$ V, 15도에서 0.24  $\mu$ V로 증가하였으며, 30도에서 0.13  $\mu$ V로 다시 감소하였다(Table 2)(Fig. 4).

### 3. 경사도 각도에 따른 트레드밀 보행훈련 시 상대 베타파의 변화

트레드밀 경사도 각도에 따른 뇌파의 변화에서 상대 베타파의 변화는 Fp1은 0도에서 0.12  $\mu$ V, 15도에서 0.14  $\mu$ V, 30도에서 0.21  $\mu$ V으로 경사도가 높아짐에 따라 크게 증가하였으며 Fp2는 0도에서 0.09  $\mu$ V, 15도

에서 0.13  $\mu$ V, 30도에서 0.23  $\mu$ V로 증가하였다. 또한 F3에서는 0도에서 0.17  $\mu$ V, 15도에서 0.21  $\mu$ V, 30도에서 0.27  $\mu$ V로 증가하였으며 F4에서는 0도에서 0.07  $\mu$ V, 15도에서 0.13  $\mu$ V, 30도에서 0.25  $\mu$ V로 증가하였다. C3에서는 0도에서 0.20  $\mu$ V, 15도에서 0.21  $\mu$ V, 30도에서 0.29  $\mu$ V 증가하였다. C4에서는 0도에서 0.11  $\mu$ V, 15도에서 0.14  $\mu$ V, 30도에서 0.23  $\mu$ V로 증가하였다. P3에서는 0도에서 0.19  $\mu$ V, 15도에서 0.21  $\mu$ V, 30도에서 0.24  $\mu$ V로 증가하였으며 P4에서는 0도에서 0.15  $\mu$ V, 15도에서 0.16  $\mu$ V, 30도에서 0.25  $\mu$ V로 증가하였다(Table 3)(Fig. 5).

## IV. 고 찰

뇌졸중 환자의 재활의 가장 궁극적인 목표는 독립적이고 기능적인 보행이라고 할 수 있다. 보행을 향상시키기 위한 방법 중 트레드밀 보행훈련은 뇌졸중 환자에게 보행 중 체중지지량을 조절하면서 다리의 협

Table 3. Change of relative beta wave according to intervention

	$\beta$ -wave (n=10)							unit : $\mu$ V
	Fp1	Fp2	F3	F4	C3	C4	P3	
0°	0.12	0.09	0.17	0.07	0.20	0.11	0.19	0.15
15°	0.14	0.13	0.21	0.13	0.21	0.14	0.21	0.16
30°	0.21	0.23	0.27	0.25	0.29	0.23	0.24	0.25

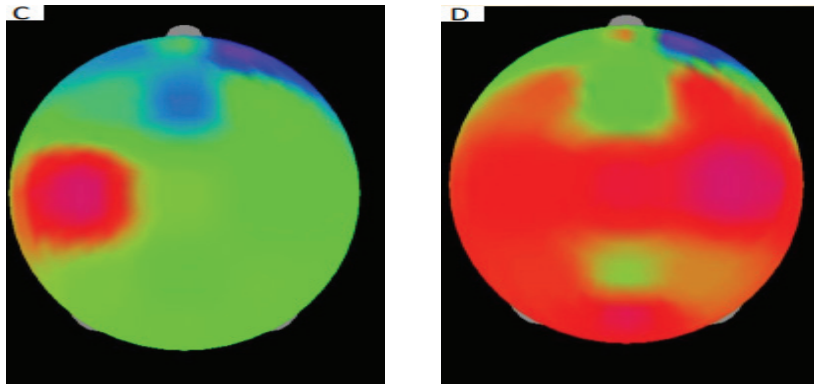


Fig. 5. C: relative beta wave value (0°), D: relative beta wave value (30°).

응 운동을 촉진시킬 수 있고 이를 통해 보행능력을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다(Hesse et al., 1999). 또한 다리 근력 강화와 보행 시 보행속도, 보행거리를 향상시키기 위한 중재방법으로 뇌졸중 환자들에게 매우 효과적이다(Salbach et al., 2004).

하지만 현재 임상에서 적용하고 있는 트레드밀 보행훈련은 다소 단조로운 단점이 있으며 이러한 한계점을 극복하고자 최근에는 속도 및 경사도를 조절하여 뇌졸중 환자에게 트레드밀 보행훈련이 적용되어지고 있다(Kim et al., 2012).

뇌졸중 환자의 트레드밀 보행훈련의 선행연구에서는 보행능력과 하지 근활성도의 효과에 대한 연구는 많은 실정이나 현재 뇌졸중 환자의 경우 트레드밀 보행훈련 시 집중 및 각성도에 따른 뇌활성도의 변화에 대한 연구는 미비한 실정이며 뇌파 연구는 뇌졸중 환자의 훈련 중 강도 조절과 효율적인 중재방법을 선택하는데 있어서 매우 중요한 요소이다(Sokhadze et al., 2008).

따라서 본 연구에서는 경사도 각도에 따른 트레드

밀 보행훈련 시 뇌졸중 환자의 뇌파에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 본 연구에서는 트레드밀 경사도 각도에 따라서 0도, 15도 30도에서의 보행훈련 시 각각의 뇌파를 측정하였으며 상대알파파와 상대베타파를 측정하여 데이터를 분석하였다.

뇌파는 뇌의 활동상태와 활성상태를 보여주고 신경원의 활성에 의해 각각에서 발생된 전위를 기록하여 대뇌겉질 신경원의 활성도를 측정하는 장비이다(Schaechter, 2004). 이러한 뇌파는 뇌의 신경세포에 전기 생리학적 활동을 반영하여 생리학적 정보를 측정할 수 있으며 여기에서 나타나는 뇌의 파형들을 측정 및 분석하여 치료적 중재에 대한 효과를 확인할 수도 있다(Zhang et al., 2017). 또한 임상에서 뇌파 검사를 통하여 대뇌겉질의 수많은 신경망의 활동을 확인하여 신경계 질환, 의식장애 및 뇌혈관 질환 등을 검사하기 위해 사용이 된다(Sokhadze et al., 2008). 뇌파는 자발뇌파(spontaneous potential)와 유발뇌파(evoked potential)로 크게 구분되며, 자발뇌파는 빠른 파형(fast wave)인 베타파(13~30Hz), 감마파(36~42Hz)와 느린 파형

(slow wave)인 델타파(0~3Hz), 세타파(4~7Hz), 알파파(8~12Hz)로 구분된다(Schwilden, 2006). 알파파는 일종의 휴식상태의 뇌파로 긴장 이완 시에 나타나며 과중한 스트레스 진후에도 종종 발생하며, 빠른파와 느린파의 가운데 위치하여 잠재의식과 의식을 연결하는 다리와 같은 역할을 한다. 베타파는 뇌졸중이나 대뇌 결절에서 생산되며, 긴장하거나 집중되는 정신활동 시 뇌 전체에 광범위하게 출현한다(Thompson & Thompson, 2015).

본 연구 결과 경사도 0도와 15도 30도를 비교해 보았을 때 상대알파파에서 Fp1영역, Fp2영역, F3영역, F4영역, C3영역, C4영역, P3영역, P4영역에서 모두 트레드밀 경사도 각도가 증가할수록 상대알파파 값은 감소되었다. 또한 상대베타파에서 Fp1영역, Fp2영역, F3영역, F4영역, C3영역, C4영역, P3영역, P4영역에서 모두 트레드밀 경사도 각도가 증가할수록 상대베타파 값은 증가하였다.

뇌졸중 환자들은 정상인에 비해 베타파가 감소하며 이는 인지수행력 장애와 밀접한 관계를 가지고 있다(Chariter & Charier, 2003). 또한 안정상태가 아닌 주의력과 집중력을 요구하는 훈련을 수행하는 동안에는 알파파는 감소하고 베타파는 증가한다(Fairclough et al., 2005).

본 연구에서 경사도가 증가됨에 따라 베타파가 증가된 이유는 보완운동영역을 포함한 넓은 대뇌 영역의 뇌의 활성화를 발생시켜 보행훈련을 수행하는 움직임 과정에서 나타나는 가시적 결과이며 뇌의 깊은 부위의 운동계획 과정에서 나타나는 결과라고 할 수 있다 (Jueptner et al., 1997). 또한 Fp2 영역과 F4영역이 경사도가 증가됨에 따라 베타파가 상승된 이유는 전두엽에 해당하는 영역이므로 인지처리 과정과 관련이 있으며 선택적 주의 집중으로 인한 전두엽이 향상되었던 연구(Karatekin et al., 2000)와 같이 본 연구에서도 트레드밀 경사도가 증가됨에 따라 주의 집중 및 작업 기억을 향상시켜 전두엽이 활성화 되었을 것이라고 생각된다. 이러한 결과는 단순히 시각적인 외부 자극을 받아들이는 것이 아닌 외부자극의 정보에 대한 이

해와 지각반응을 위한 운동계획과 정보처리 과정까지 관여함을 의미한다(Jueptner et al., 1997). 본 연구에서 체성 감각영역인 C3, C4 영역은 상대알파파는 감소되고 상대베타파는 활성화 되었다. 이는 경사도가 변함에 따라 보행패턴을 수정하거나 동기부여를 유도함으로써 높은 집중력을 동반하여 신경네트워크를 자극하여 뇌 가소성을 촉진하여 C3, C4의 베타파가 증가된 것이다. 또한 외부로부터 주어지는 예상치 못한 환경 변화에 뇌 활성화에 어떠한 영향을 미치는지 알아본 선행연구에서는 예상치 못한 상황에서의 움직임과 환경은 베타파 값에서 중재 후 증가됨을 보고하였다(Lee et al., 2013).

임상에서는 뇌졸중 환자에게 트레드밀 보행훈련 시 경사도를 증진시키거나 속도를 증진시킴으로써 강도를 다양하게 조절하거나 집중적이고 반복적으로 훈련을 시킨다. 이는 손상측 대뇌결절에 운동유발전위 잠복기가 감소하여 손상된 대뇌반구의 신경가소성을 향상시킬 수 있다는 연구를 지지한다(Schaechter, 2004). 또한 Hall 등(2001)의 연구에서는 전두엽 퇴화에 의한 인지기능이 있는 뇌졸중 환자에게 트레드밀 훈련과 같은 유산소운동을 적용하였더니 뇌의 혈류량 향상이 나타났고 보행뿐만 아니라 인지기능 향상에 효과가 있었다고 하였고, Roth(2005)의 연구결과, 운동이 뇌 파생 신경호르몬(brain derived neurotrophin factor)의 증가를 유발하여 정상 뇌세포 파괴를 보호하고 새로운 뇌 세포 생성에 도움을 준다고 하였다.

본 연구결과를 종합해보면 알파파는 감소하고 베타파 증가된 이유는 트레드밀 보행훈련 시 경사도 각도를 증가시킴으로써 뇌졸중 환자들이 경사도가 각도를 일정하게 유지했을 때보다 경사도 각도를 증가시키는 것이 트레드밀 보행훈련에 더욱 더 주의 집중한 결과라고 볼 수 있다. Outermans 등(2010)의 연구에서는 초기에 뇌졸중 환자에게 보행훈련은 매우 중요한 부분으로 강조되고 있으며 단순한 트레드밀 보행훈련이 아닌 경사도와 같은 보행훈련의 환경을 변화시킴으로써 뇌졸중 환자가 보다 집중적인 보행훈련을 경험할 수 있게 하여 뇌파의 향상에 크게 기여하였다고



사료된다.

이와 같이 주의 집중은 뇌졸중 환자의 운동학습에 있어서 중요한 요소이며 운동학습 능력을 높이기 위해 주의 집중력을 향상시키는 것은 뇌파의 변화에도 많은 영향을 미친다.

본 연구의 결과에서처럼 주의 집중력 향상을 위하여 뇌졸중 환자의 트레드밀 보행훈련 시 일정한 각도로 적용하는 것보다 경사도 각도를 점진적으로 증진시키게 되면 보행훈련을 수행하는데 있어서 주의력과 집중력을 향상시킬 수 있으며 이는 뇌졸중 환자의 운동기술 발달에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 독립적인 보행이 가능한 뇌졸중 환자를 대상으로 하였으며 소수의 환자를 대상으로 하였기에 결과를 일반화 시키는데 제한점이 있으며 뇌파 분석에 집중하기 위하여 정밀한 보행분석을 할 수 없었다. 향후 연구에서는 많은 대상자수를 포함시켜 경사도 트레드밀 훈련의 장기 효과를 추적하는 연구와 함께 뇌파 분석뿐만 아니라 정밀한 보행분석도 함께 이루어져야 할 것이다.

## V. 결론

본 연구에서는 경사도 각도에 따른 트레드밀 보행훈련 시 뇌졸중 환자의 뇌활성도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 본 연구 결과 상대알파파 값은 경사도가 증가할수록 감소하였고, 상대베타파 값은 경사도가 증가할수록 증가하였다.

본 연구결과를 토대로 뇌졸중 환자의 트레드밀 보행훈련 시 경사도 각도를 점진적으로 증가시키는 방법은 뇌졸중 환자의 뇌파를 활성화시킬 수 있는 중재방법으로 입증되었으며 이는 뇌졸중 환자의 보행훈련을 위한 기초자료를 제공될 수 있을 것이라고 사료된다.

또한 트레드밀 보행훈련 시 경사도 조절은 뇌졸중 환자들에게 효율적인 보행훈련 방법으로 추천된다.

## References

- Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2004;85:86-92.
- Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke. *Pm & r*. 2014;6(7): 635-642.
- Choi W, Lee G, Lee S. Effect of the cognitive-motor dual-task using auditory cue on balance of survivors with chronic stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*. 2015;29(8):763-770.
- Dobkin BH. Strategies for stroke rehabilitation. *The Lancet Neurology*. 2004;3(9):528-536
- Fairclough SH, Venables L, Tattersall A. The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. *International Journal of Psychophysiology*. 2005;56(2):171-184.
- Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*. 1975;12(3):189-198.
- Florence G, Guerit, JM, Gueguen B. Electroencephalography (EEG) and Somatosensory evoked potentials (SEP) to prevent cerebral ischemia in the operating room. *Neurophysiology Clinic*. 2004;34(1):17-32.
- Gama GL, Trigueiro LC, Simão CR, et al. Effects of treadmill inclination on hemiparetic gait: controlled and randomized clinical trial. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*. 2015;94(9):718-27.
- Halla CD, Smith AL, Keelec SW. The impact of aerobic activity on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology*. 2001;13(1): 279-300.
- Han YG, Kim MK. The Effect of Task-Oriented Treadmill Training on Gait Function in Patients with Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Korean*

- Society of Physical Medicine*. 2024;19(1):131-142.
- Han, YS, Chae MS, Park PW, et al. Patterns Analysis of Prefrontal Brain Waves of Cancer Patients using Brain-Computer-Interface. *Journal of KIISE: Software and Applications*. 2008;35(3):169-178.
- Hesse S, Konrad M, Uhlenbrock D. Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999;80(4):421-427.
- Hesse S, Werner C, Paul T, et al. Influence of walking speed on lower limb muscle activity and energy consumption during treadmill walking of hemiparetic patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2001;82(11):1547-1550.
- Jeong YG, Koo JW. The effects of treadmill walking combined with obstacle-crossing on walking ability in ambulatory patients after stroke: a pilot randomized controlled trial. *Top. Stroke Rehabilitation*. 2016; 23(6):406-12.
- Jueptner M, Stephan KM, Frith CD, et al. Anatomy of motor learning. I. Frontal cortex and attention to action. *Journal of Neurophysiology*. 1997;77(3):1313-1324.
- Kawamura K, Tokuhiko A, Takechi H. Gait analysis of slope walking: a study on step length, stride width, time factors and deviation in the center of pressure. *Acta Medica Okayama*. 1991;45(3):179-184.
- Kelly JO, Kilbreath SL, Davis GM, et al. Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute stroke patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003;84(12):1780-1785.
- Kim BG, Gong WT, Jung YW. The myoelectrical activities of trunk muscle and quadriceps femoris according to treadmill gait different inclination and speeds. *Korean Journal of Orthopedic Manual Therapy*. 2007;13(1):44-57
- Kim EJ, Hwang BK, Kwon HC. The effects of gait component and foot plantar pressure on gait training way in stroke patients. *Journal of Rehabilitation Science*. 2009;27(2):41-54.
- Kim JJ, Jung KI, Woo MJ. The effect of aerobic exercise on brain activation during an attention task in elementary school children. Korea National Chung Buk University of Education. Dissertation of Doctorate Degree. 2015
- Kuk, EJ, Kim JM. An EEG-based brain mapping to determine mirror neuron system in patients with chronic stroke during action observation. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2015;27(3):135-139.
- Kwon OH, Woo Y, Lee JS, et al. Effects of task-oriented treadmill-walking training on walking ability of stroke patients. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2015;22(6): 444-452.
- Lee GY, Woo MJ, Kim WJ, et al. The Influence of Visual and Auditory Interference on Cortical Activity and Performance during Visuo-motor Task. *SECONDARY EDUCATION RESEARCH*. 2013;61(3):633-648.
- Lee YW, Shin DC, Lee KJ, et al. The relation between asymmetric weight-supporting and gait symmetry in patients with stroke. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2012;7(2):205-212.
- Lee JW, Ahn SN, Kim YS. Effect of Cognitive Task on EEG in Patients with Damaged Basal Ganglia. *Journal of Korean Society of Neurocognitive Rehabilitation*. 2010;2(0):1-14.
- Oliveira CB, Medeiros ÍRT, Ferreira NA, et al. Balance control in hemiparetic stroke patients: main tools for evaluation. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2008;45(8):1215-1226.
- Outermans JC, van Peppen RP, Wittink H, et al. Effects of a high-intensity task-oriented training on gait performance early after stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*. 2010;24(11):979-987.
- 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):241-246.
- Roth CL. How to protect the aging work force. *Occupational Hazards*. 2005;67:52-4.
- Salbach NM, Mayo NE, Wood S et al. A task-oriented intervention enhances walking distance and speed in the first year post stroke : A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2004;18(5):509-519.
- Schaechter JD. Motor rehabilitation and brain plasticity after hemiparetic stroke. *Progress in Neurobiology*. 2004;73(1):61-72.
- Sokhadze TM, Cannon RL, Trudeau DL. EEG biofeedback as a treatment for substance use disorders: review, rating of efficacy, and recommendations for further research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2008;33:1-28.
- Teplan M. Fundamentals of EEG measurement. *Measurement Science Review*. 2002;2:1-11.
- Thompson M, Thompson L. The Neurofeedback Book, 2<sup>nd</sup> edition: Association for Applied Psychophysiology & Biofeedback. *Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2015;25(11): 2105-2112.
- Warutkar V, Dadgal R, Mangulkar UR. Use of robotics in gait rehabilitation following stroke: a review. *Cureus*. 2022;14(11).
- Wing K. Effect of neurofeedback on motor recovery of a patient with brain injury: A case study and its implications for stroke rehabilitation. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2001;8(3):45-53.
- Zhang X, Wei Z, Ren X et al. Complex neuromuscular changes post-stroke revealed by clustering index analysis of surface electromyogram. *IEEE*. 2017.