

Research Article

Open Access

진동 피드백을 결합한 리듬 청각 자극이 뇌졸중 환자의 보행에 미치는 즉각적 영향: 예비 연구

김수진 · 김선민¹ · 송현수² · 김창걸³ · 장상훈^{4†}

국립한국교통대학교 일반대학원 보건의료학과, ¹김천대학교 물리치료학과, ²국립한국교통대학교 일반대학원 물리치료학과, ³㈜지오에스, ⁴국립한국교통대학교 보건생명대학 물리치료학과

The Immediate Effect of Rhythmic Auditory Stimulation Gait Training Combined with Vibrotactile Feedback on Gait in Stroke Patients: A Pilot Study

Su-Jin Kim, PT · Sun-Min Kim, PT, PhD¹ · Hyeon-Su Song, PT² ·
Chang-Geol Kim, PhD³ · Sang-Hun Jang, PT, PhD^{4†}

Department of Health and Medical Sciences, Graduate School, Korea National University of Transportation,
¹Department of Physical Therapy, Gimcheon University, ²Department of Physical Therapy, Graduate School, Korea
National University of Transportation, ³GOS Co., Ltd., ⁴Department of Physical Therapy,
College of Health and Life Science, Korea National University of Transportation

Received: October 27 2024 / Revised: November 7 2024 / Accepted: November 28 2024

© 2025 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study is to investigate the immediate effects of rhythmic auditory stimulation gait training combined with vibrotactile feedback and rhythmic auditory stimulation gait training on the gait in stroke patients, and to compare the effects of the two training methods.

METHODS: Eight stroke patients who met the selection criteria participated in two types of training methods: rhythmic auditory stimulation gait training combined with vibrotactile feedback(RAS-V) and rhythmic auditory

stimulation gait training(RAS). In the RAS-V, subjects performed gait training with rhythmic auditory stimulation from a hand device while perceiving real-time vibrotactile feedback, maintaining a consistent walking pattern. In the RAS, subjects performed gait training in with rhythmic auditory stimulation. The subjects participated in a total of 30 minutes of gait training, and gait parameters were evaluated using the GAITRite® system.

RESULTS: In between-training methods comparison, the RAS-V showed statistically significant differences compared to the RAS of gait velocity, gait cadence, step time, cycle time, swing time, stance time, single support time, double support time, and double support phase on the affected and unaffected sides($p < .05$).

CONCLUSION: This study suggests that rhythmic auditory stimulation gait training combined with vibrotactile

†Corresponding Author : Sang-Hun Jang
upsh22@ut.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0003-3051-2982>

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.

feedback can improve the gait function compared to rhythmic auditory stimulation gait training and that the inclusion of vibrotactile feedback results significant improvements in the changes in gait parameters.

Key Words: Gait, Rhythmic auditory stimulation, Stroke, Vibrotactile feedback

I. 서론

뇌졸중(cerebrovascular accident; CVA)은 뇌의 허혈성 또는 출혈성 손상으로 인해 해당 영역에 갑작스러운 신경학적 결손을 일으키거나 손상된 뇌의 반대 측의 신체의 운동, 감각, 지각, 언어 기능장애 등을 유발하는 질환이다[1]. 또한 뇌졸중 환자는 손상 범위 및 상태에 따라 운동 장애, 감각 결핍 및 인지 기능 장애를 포함한 다양한 장애를 겪게 되며, 이는 일상생활에 상당한 영향을 미치고 자세 조절 능력을 약화시켜 균형과 보행 장애를 초래할 수 있다[2-4].

뇌졸중 환자가 직면한 기능적 수행 문제를 해결하기 위해 수많은 연구가 수행되었다. 기능 회복을 향상시키는 효과적인 물리 치료 방법에는 Proprioceptive Neuromuscular Facilitation(PNF), Bobath 치료, Rood 치료, Constraint-Induced Movement Therapy(CIMT), 과제 지향 훈련, 가상 현실 훈련 등이 적용되었다[5-8]. 이러한 치료법은 개인의 비정상적인 움직임 패턴에서 기능적인 움직임 패턴으로 조정할 수 있게 하며, 기능적 수행을 향상시키는 데 효과적이라는 것이 수많은 연구에서 입증되었다[9].

보행은 뇌졸중 환자의 중요한 기능 중 하나로, 환경 내에서 한 위치에서 다른 위치로 이동하는 데 중요한 역할을 한다[10]. 뇌졸중으로 인해 보행 장애를 경험하는 환자 중 22%는 보행 기능을 회복하지 못한다[11]. 뇌졸중과 관련된 보행 특성에는 보행 속도 감소, 마비 측의 휘돌림 보행, 과도한 무릎 펴기 등이 포함되며 보행의 비대칭성으로 인해 환자들은 균형을 잃었을 때 낙상 방지를 위한 대응 행동에 어려움을 겪을 수 있다[12-15]

최근 연구에 따르면 뇌졸중 환자의 보행 개선을 위하여 바이오피드백 기술을 이용하여 중재한 연구에서 긍정적인 결과들을 보고하였다[16-18]. 바이오피드백은 도구를 사용하여 인체의 신경생리학적 신호를 시·청각적으로 확인하여 운동수행능력을 증가시키는 훈련 방법 중 하나이다[19]. 외적 피드백을 제공함으로써 개인이 달성하려고 하는 움직임 목표에 대한 내부 감각을 형성하는 데에 도움이 되고, 외적 피드백이 있을 때 운동 과제를 학습하는 것은 피드백 없이 수행한 것과 비교하여 학습 유지력이 향상된다고 한다[20, 21]. 보행 훈련 중 외재적 피드백 제공은 움직임을 스스로 수정해 가며 운동 학습을 촉진시켜 보행능력을 개선할 수 있다[22]. 그중에서도 청각적 피드백으로 많이 활용되는 리듬 청각 자극(Rhythmic auditory stimulation, RAS)은 뇌의 운동 영역에 규칙적인 자극을 제공함으로써 운동능력을 향상시키는 훈련 방법인데, 운동 및 감각 영역을 동기화하여 뇌의 여러 부분을 활성화한다[23]. 선행 연구에서는 청각 자극의 긍정적인 역할을 지지하는데, 첫 번째는 뇌의 청각 영역-운동 영역 간 풍부한 신경해부학적 상호 연결성이 보고되었고, 두 번째는 인간의 청각 시스템은 시각이나 촉각에 비해 자극을 20~50ms 더 빨리 인식할 수 있다는 이유에서 비롯된다[24-27].

1990년대 이후 신경 손상 환자의 리듬 청각 자극, 진동 촉각 피드백과 같은 바이오피드백 훈련에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 길기수 등(2021)[28]은 실시간으로 압력 정보를 제공하는 진동 촉각 피드백 훈련이 정적 균형능력과 체중 지지율 대칭성이 유의미한 개선을 보였다고 하였고, Thaut 등(1997)[29]은 뇌졸중 환자를 대상으로 메트로놈을 사용한 보행 훈련을 진행한 결과 리듬 청각 자극 그룹에서 보폭 및 보행 속도가 증가했다고 하였다. Samira Gonzalez-Hoelling 등(2024)[30]의 체계적 고찰에 따르면, 리듬 청각 자극이 뇌졸중 환자의 보행 속도, 보폭, 보행 대칭성 등 보행 기능 회복에 있어 효과적이라고 하였다. 이와 같은 바이오피드백 훈련은 치료사의 감독 아래 환자가 스스로 연습하여 동작 성취에 대한 만족감을 줄 수 있어 독립적인 수행력 향상에 도움을 준다[31].

현재까지 뇌졸중 환자의 보행에 있어서 리듬 청각

자극 피드백에 대한 관련 선행연구의 결과는 일관된 결과를 보이지 못하였으며, 리듬 청각 자극을 활용한 보행훈련과[32-34], 트레드밀에서의 보행훈련[35, 36], 진동 촉각 피드백[28, 37, 38] 중재는 이미 선행연구에서 그 효과가 증명됐지만 리듬 청각 자극과 진동 피드백을 동반한 보행훈련 중재 프로그램에 대한 설계가 미흡하고 즉각적 효과에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 뇌졸중 환자를 대상으로 진동 피드백을 결합한 리듬 청각 자극 보행훈련이 보행 능력에 미치는 즉각적 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 D 시에 소재한 D 병원의 입원 치료를 받고 있는 뇌졸중 환자 중 연구의 목적에 충족하는 조건을 갖추고 연구에 동의한 자를 연구 대상으로 선정하였다. 대상자 선정 기준은 뇌졸중으로 인해 편마비 진단을 받은 자, 한국형 간이 정신검사(K-MMSE)에서 점수가 24점 이상으로 의사소통이 가능한 자, 보행 보조기 유무에 상관없이 14m 이상 독립 보행이 가능한 자, 기능적 보행 지수(Functional Ambulation Category, FAC)가 3점 이상으로 지시 또는 관찰 하에 신체적 접촉 없이 보행할 수 있는 자, 본 연구의 목적을 이해하고 충분한 설명을 들은 뒤 연구에 서면으로 동의한 자로 설정하였다. 대상자 제외 기준은 편측 무시나 시공간적 장애가 있는 자, 정신질환자, 뇌졸중 이외의 다른 신경학적 질환이 있는 자, 심한 류마티스 관절염, 골관절염, 정형외과적 수술 경력이 있는 등 정형외학적 장애가 있는 자, 청각 및 시각 장애가 있는 자, 협심증·만성 폐쇄성 폐 질환 등 심호흡계에 영향을 미칠 수 있는 의학적 문제를 가진 자, 치료 지침을 이해할 수 없는 인지 장애가 있는 자로 설정하였다.

2. 연구 절차

본 연구는 진동 피드백을 결합한 리듬 청각 자극 보행훈련(Rhythmic Auditory Stimulation Gait Training

Combined with Vibrotactile Feedback, RAS-V)과 리듬 청각 자극 보행훈련(Rhythmic Auditory Stimulation Gait Training, RAS)을 적용했을 때의 효과를 비교하기 위해 수행한 예비 연구이다. 본 연구에서는 대상자 선정 기준에 적합한 8명을 선발하고 진동 피드백 유무에 따른 2가지 보행 훈련 방법을 동일한 대상자에게 제공하여 각각 훈련 진행 후 평가를 진행하였으며 대상자에게 중재 방법과 측정도구에 대해 충분히 설명하고 그에 대한 서면 동의를 얻었다. 훈련이 끝난 후 중재를 진행한 본 연구의 저자가 측정도구로 사후 평가를 진행하였다. 또한 대상자들의 안전을 위해 1명의 측정 보조자가 대기하면서 도움을 요청할 경우 보조하고 감독하였다.

실험에 사용된 장비는 대상자에게 보행 리듬 청각 자극을 제공하는 핸드 디바이스(AUDITORY STIMULUS FEEDBACK MODULE, GOS, KOREA), 보행 시 각 발의 디딤기 및 흔들기 시작 시점을 측정할 수 있는 패드형 족압 센서(GAIT MEASUREMENT MODULE, GOS, KOREA), 송신기, 종아리 아래로 구성되어 있다 (Fig. 1.). 핸드 디바이스는 800ms에서 50ms 간격으로 리듬 청각 자극 속도를 조절할 수 있는 설정부, 청각

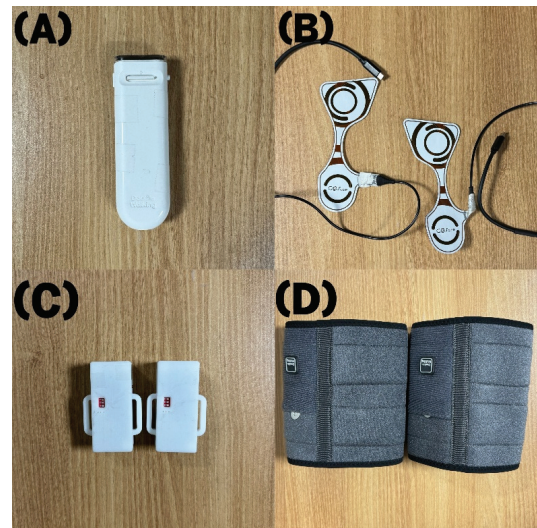


Fig. 1. Intervention tools; (A) Handheld device(AUDITORY STIMULUS FEEDBACK MODULE, GOS, KOREA), (B) pad-type foot pressure sensor (GAIT MEASUREMENT MODULE, GOS, KOREA), (C) transmitter and (D) calf brace.

Table 1. Gait training program of RAS-V and RAS

Intervention	RAS-V		RAS	Time (minute)
	Feedback		Feedback	
Gait training	Rhythmic Auditory Stimulation	Vibration Feedback	Rhythmic Auditory Stimulation	Warm up : 3 Gait training : 25 Cool down : 2

자극을 제공하는 청각 자극 제공부, 진동 피드백을 제공하는 진동부, 족압 센서와 통신하는 통신부로 구성되어 있다. 총 두 가지 스위치로 구성되어 있고 각각 진동 피드백 제공 유무, 리듬 청각 자극 속도를 제어할 수 있다. 대상자에게 보행 리듬 청각 자극을 제공하고 족압 센서로부터 디딤기 시작 시점에 데이터를 전송받아 리듬 청각 자극의 시작 시점의 차이가 250ms를 넘는 경우 진동으로 피드백을 알려준다. 족압 센서는 3포인트 압력 센서로 나뉘며 센서 입력부와 입력된 데이터로 디딤기와 흔들기 시작 시점을 판단하는 제어부 핸드 디바이스와 통신하는 통신부로 구성되어 있다.

중재 전 대상자는 종아리 아대를 착용하고 양측 신발 안창 위에 패드형 족압 센서를 배치하여 신발을 신게 하였다. 센서는 송신기와 유선으로 연결하고 송신기는 종아리 아대에 부착하였다. 대상자는 핸드 디바이스에서 송출되는 일정 주기의 리듬 청각 자극에 맞춰 보행훈련을 진행하고, 훈련 중 양측 족압 센서를 통해 측정된 데이터가 핸드 디바이스로 전송되어 그에 상응하는 진동 피드백을 실시간으로 제공받도록 하였다. 일정한 청각 자극에 맞춰 발을 딛지 않으면 즉시 진동이 울리며, 대상자는 진동 피드백을 통해 일정한 보행 패턴을 유지하게끔 하였다. 중재는 대상자들의 안전을 위해 치료사가 1:1로 감독하며 진행하였고, 필요시 도움을 요청할 수 있도록 하였다. 대상자들은 준비 운동 3분, 마무리 운동 2분, 본 운동 25분으로 총 30분 동안 보행훈련을 진행하였고, 대상자의 컨디션에 따라 중간에 휴식 시간을 제공하였으며 평상에 앉아 긴장감을 낮추고 안정을 취할 수 있도록 심호흡을 유도하였다. 훈련 중 대상자에게 몸의 이상 징후가 나타나거나 컨디션 난조를 보일 즉시 휴식 시간을 제공하여 근피로와 근육 통증을 예방하고자 조치하였다. 보행훈련은 선행 연구의

중재 방법을 참고하여 진행하였으며, 중재 프로그램은 표 (Table 1)과 같다[39].

1) 진동 피드백을 결합한 리듬 청각 자극 보행훈련 (RAS-V)

대상자는 패드형 센서를 장착한 후 리듬 청각 자극과 진동 피드백을 제공하는 핸드 디바이스를 건측 손으로 잡고 보행훈련을 진행하였다. 핸드 디바이스에서 일정한 리듬 청각 자극을 스피커로 제공하면 대상자는 메트로놈 박자에 맞춰 보행하고, 이후 족압 센서를 통해 전달받은 데이터가 핸드 디바이스로 전송되어 실시간으로 진동 피드백으로 송출될 때 대상자가 리듬 청각 자극 및 진동 피드백에 맞춰 보행하도록 지시하였다.

2) 리듬 청각 자극 보행훈련(RAS)

대상자는 패드형 센서를 장착한 후 리듬 청각 자극을 제공하는 핸드 디바이스를 건측 손으로 잡고 보행 훈련을 진행하였다. 핸드 디바이스에서 일정한 리듬 청각 자극을 스피커로 제공하면 대상자는 메트로놈 박자에 맞춰 보행하도록 지시하였다.

3. 연구 도구

1) GAITRite® 보행 시스템

본 연구에서는 보행의 시공간적 평가를 위해 보행 분석 시스템(GAITRite®, CIR SYSTEMS, USA)을 사용하였다. GAITRite® 보행 시스템은 총 길이 488cm, 센서 감지 길이 366cm와 폭 61cm의 전자식 보행 매트로, 매트 내부에 6개의 센서 패드가 내장되어 있고 각 패드당 2,304개의 센서가 격장 모양으로 1.27cm 간격으로 위치한다. 대상자가 감지 센서가 있는 보행 매트 위를

걸으면 부하는 초당 80Hz의 표본율로 수집되어 정보를 직렬 인터페이스 케이블을 통해 컴퓨터로 전송한다 [40]. 주로 시공간적 보행 변수와 보행 주기 비율을 나타내는 변수를 통해 확인이 가능하며, 본 연구에서는 보행속도(Gait velocity), 보행 분속수(Gait cadence), 한 발짝 시간(Step time), 보행 주기 시간(Cycle time), 흔들기 시간(Swing time), 디딤기 시간(Stance time), 단하지 지지 시간(Single support time), 양하지 지지 시간(Double support time), 흔들기(Swing phase), 디딤기(Stance phase), 단하지 지지기(Single support phase), 양하지 지지기(Double support phase), 한 발짝 길이(Step length), 한 걸음 길이(Stride length)를 종속 변수로 사용하였다.

4. 자료 처리

본 연구의 모든 자료 처리는 SPSS ver. 24.0을 이용하였다. Shapiro-Wilk 검사를 통해 정규성 검정을 시행하고 대상자의 일반적 특성 및 종속변수는 기술 통계를 통해 평균과 표준편차를 산출하였다. RAS-V와 RAS의 훈련 방법 차이에 따른 보행의 효과 크기 비교를 보기 위해 비모수 검정인 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed-ranks test)을 실시하였다. 자료의 모든 통계학적 유의수준은 $p < .05$ 로 하였다.

III. 연구 결과

1. 대상자의 일반적 특성

본 연구에 참가한 대상자는 총 8명이며, RAS-V와 RAS로 구성된 2가지 훈련 방법을 수행하였다. 대상자의 일반적 특성은 표 (Table 2)와 같다.

2. 보행의 변화

본 연구의 보행능력 비교는 다음과 같다(Table 3). RAS-V는 RAS와 비교하여 중재 후의 보행속도, 보행 분속수, 한 발짝 시간, 보행 주기 시간, 흔들기 시간, 디딤기 시간, 단하지 지지기 시간, 양하지 지지기 시간, 양하지 지지기 비율에서 마비측과 비마비측 모두 유의한 차이를 보였다($p < .05$).

Table 2. General characteristics of all the subjects (N=8)

Variables	Mean $\pm$ SD
Sex (male/female)	5/3
Age(years)	64.63 $\pm$ 18.20
Weight(kg)	65.25 $\pm$ 4.52
Height(cm)	165.13 $\pm$ 10.90
Diagnosis (Inf/Hrr)	7/1
Affected side (Right/Left)	5/3
MMSE-K(score)	25.88 $\pm$ 1.82

Inf : Infarction

Hrr: Hemorrhage

MMSE-K: Korean version of Mini-Mental Status Examination

Table 3. The comparison of gait parameters between RAS-V and RAS

Gait parameter		RAS-V (n=8)	RAS (n=8)	Z	p	
		Mean±SD				
Gait	Gait velocity (m/sec)	28.70±15.61	33.99±16.03	2.380	.017*	
	Gait cadence (steps/min)	59.26±23.65	73.16±18.34	2.521	.012*	
	Step time (sec)	A	1.18±.49	.96±.35	2.524	.012*
		N	1.18±.55	.80±.19	2.383	.017*
	Cycle time (sec)	A	2.36±.98	1.76±.54	2.521	.012*
		N	2.37±.99	1.77±.55	2.521	.012*

Gait parameter		RAS-V (n=8)	RAS (n=8)	Z	p
		Mean±SD			
Swing time (sec)	A	.59±.23	.52±.14	2.521	.012*
	N	.49±.14	.38±.06	2.366	.018*
Stance time (sec)	A	1.77±.90	1.24±.44	2.521	.012*
	N	1.88±.87	1.39±.53	2.521	.012*
Single support time (sec)	A	.49±.14	.38±.06	2.366	.018*
	N	.59±.23	.52±.14	2.521	.012*
Double support time (sec)	A	1.32±.83	.84±.42	2.521	.012*
	N	1.32±.83	.86±.43	2.521	.012*
Swing phase (%)	A	27.44±8.89	30.41±6.16	1.690	.091
	N	22.40±6.31	22.73±6.67	1.262	.207
Stance phase (%)	A	72.58±8.88	69.61±6.17	1.690	.091
	N	77.59±6.30	77.29±6.66	1.262	.207
Single support phase (%)	A	22.41±6.23	22.83±6.80	1.122	.262
	N	27.36±8.88	30.31±6.19	1.820	.069
Double support phase (%)	A	51.43±14.37	45.53±10.11	2.100	.036*
	N	51.06±14.21	46.66±11.73	2.313	.021*
Step length (cm)	A	27.04±7.79	27.73±6.41	.420	.674
	N	28.85±5.81	26.51±10.07	.420	.674
Stride length (cm)	A	56.05±12.75	54.97±15.51	.560	.575
	N	56.01±12.95	55.00±15.16	.000	1.000

*p < .05

RAS-V : Rhythmic auditory stimulation gait training combined with Vibrotactile feedback

RAS : Rhythmic auditory stimulation gait training

A : Affected side

N : Non-affected side

IV. 고 찰

본 연구는 뇌졸중 환자가 진동 피드백 유무에 따라 리듬 청각 자극 보행훈련을 수행했을 때 보행에 미치는 영향의 차이를 비교하기 위한 목적으로 진행한 예비 연구이다. 동일한 대상자가 RAS-V, RAS를 각각 30분 간 수행하고 GAITRite® 보행 시스템을 이용하여 훈련 후 보행의 변화를 비교하였다. 보행의 변화에서는 보행 속도, 보행 분속수, 마비측과 비마비측의 한 발짝 시간, 보행 주기 시간, 흔들기 시간, 디딤기 시간, 단하지 지지 시간, 양하지 지지 시간, 양하지 지지기에서 RAS-V가 RAS와 훈련 후 평균 측정값을 비교했을 때 통계적으로

유의한 차이가 나타났다.

본 연구에서는 RAS-V가 RAS와 비교하여 훈련 후 마비측과 비마비측의 한 발짝 시간, 보행 주기 시간, 흔들기 시간, 디딤기 시간, 단하지 지지 시간, 양하지 지지 시간의 평균값이 증가하였다. 뇌졸중 환자들은 보행에서 마비측이 비마비측에 비해 느리게 움직이며, 보폭 길이도 비마비측보다 짧게 나타날 수 있다[41]. 이러한 뇌졸중 환자의 보행 특성을 고려했을 때 뇌졸중 재활 방법 중 하나인 바이오피드백은 시각, 청각, 촉각 등의 도구를 사용하여 운동수행능력을 증가시킬 수 있다는 점에서 많이 활용되어 왔다[19]. Lee 등(2011)[42]은 뇌졸중 환자가 기준 속도에 맞춘 리듬 청각 자극

보행훈련, 기준 속도보다 30% 빠른 리듬 청각 자극 보행훈련을 마비측 발걸음에 맞춰 적용한 후 보행 대칭성, 보행 속도, 보행 리듬이 개선되었다고 하였다. Afzal 등(2015)[37]은 지면 접촉을 감지하는 센서를 통해 진동 피드백을 실시간으로 제공해 주는 장치를 이용해 건강한 성인과 뇌졸중 대상자에게 임상 실험을 진행한 결과 보행 대칭성이 개선되었다고 하였다. Ma 등(2018)[38]은 뇌졸중 환자를 대상으로 마비측의 내측 발바닥 압력이 특정 값 이하로 떨어질 때 진동 피드백을 제공하는 장치를 이용하여 보행훈련을 진행한 결과 마비측의 중간 디딤기 시 접촉 면적과 내측 발바닥 압력이 증가하고 마비측 발 안쪽 번짐이 유의하게 감소했다고 하였다. Lee & Shin(2022)[39]은 뇌졸중 환자와 건강한 대조군이 자극 없는 보행, 리듬 청각 자극 보행(RAS), 리듬 체성 감각 자극 보행(RSS), 리듬 복합 자극 보행(RAS+RSS) 조건에서 자극 없는 보행 조건보다 RAS, RSS, RAS+RSS 조건에서 보행 변동성이 유의미하게 감소되었다고 하였다. 이는 본 연구의 결과를 뒷받침하며, 리듬 청각 자극과 진동 피드백이 보행 대칭성 및 보행 기능을 개선시킬 수 있는 것으로 사료된다.

뇌졸중 환자는 정상인에 비해 양하지 지지 시간 증가, 보행 빈도 감소, 짧아진 보폭, 지지 시간 감소, 짧아진 하지 관절 운동 범위 등의 보행 특성을 가지고 있다 [43]. RAS-V가 RAS보다 한 발짝 시간, 보행 주기 시간, 양하지 지지기 시간이 늘어나고 양하지 지지기 비율이 높아졌으나 마비측과 비마비측의 평균값을 비교했을 때 시간 격차가 적고, 진동 피드백과 리듬 청각 자극 속도에 발 딛기를 맞추는 과정에서 지면에 딛는 마비측 발의 전반적인 체중 지지 시간이 증가하여 평균 시간이 증가된 것으로 사료된다. 또한 RAS-V가 RAS보다 디딤기 시간, 단하지 지지 시간이 증가하였고 이는 진동 피드백으로 제공된 외적 피드백이 뇌졸중 환자가 스스로 진동 피드백과 청각 자극에 맞게 체중 부하를 증가시키면서 신체 균형을 조절하여 지지 시간이 증가한 것으로 사료된다.

본 연구에서 RAS-V는 RAS와 비교하여 보폭과 흔들기 비율, 디딤기 비율, 단하지 지지기 비율, 한 발짝 길이, 한 걸음 길이는 통계적으로 유의한 차이는 없었

다. 그러나 흔들기 · 디딤기 · 단하지 지지기 시간이 RAS보다 유의하게 증가하였으며 이는 진동과 청각적 피드백이 뇌졸중 환자의 보행 안정성과 대칭성을 향상시킬 수 있다고 사료된다. 지금까지 리듬 청각 자극 보행훈련에 대한 효과는 선행연구에서 증명이 되었고 연구가 진행되면서 현재까지도 다양한 환경에서 리듬 청각 자극 보행훈련 연구가 진행되고 있다[44-46]. De Angelis 등(2021)[47]은 체계적 고찰에서 진동 촉각 피드백이 균형 유지 능력을 유의미하게 개선한 것으로 나타났다. 보행 속도, 보폭 길이, 보행 안정성을 강화하고 일상생활활동 수행능력에 긍정적인 영향을 미쳤다고 하였다. 이를 토대로 본 연구 결과는 진동 피드백을 결합한 리듬 청각 자극 보행훈련 적용이 마비측 하지 지지 시간, 보행 안정성 및 대칭성을 향상시키고 보행 능력 개선에 도움을 줄 수 있는 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 중재 프로그램의 즉각적인 단기 훈련 효과를 보기 위해 적은 수의 대상자를 선정하여 연구를 진행한 점에서 중재 효과를 일반화하기 어려운 것, 사전 데이터가 없어 전 · 후 비교를 할 수 없었던 것, 장기적으로 중재를 적용할 때의 훈련 효과를 보기 어려웠던 점이 있다. 본 연구는 진동 피드백 리듬 청각 자극 보행훈련의 즉각적 훈련 효과를 보기 위한 예비 연구로, 추후 연구에서 더 많은 뇌졸중 환자를 대상으로 특정 기간 중재 적용 후 보행능력의 전 · 후 변화량을 비교하는 무작위 대조 연구의 필요성을 뒷받침한다.

V. 결론

본 연구는 뇌졸중 환자 8명을 대상으로 RAS-V와 RAS를 통해 보행에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. RAS-V가 RAS보다 보행 속도, 보행 분속수, 마비측과 비마비측의 한 발짝 시간, 보행 주기 시간, 흔들기 시간, 디딤기 시간, 단하지 지지 시간, 양하지 지지 시간, 양하지 지지기에서 중재 후 평균 측정값을 비교했을 때 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 본 연구의 결과에 따라 RAS-V가 RAS보다 보행 기능 개선에 유의한 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있으며, 진동 피드백의 유무

에 따라 보행 매개변수 변화량의 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 리듬 청각 자극 보행훈련 프로그램을 구성하는 데 있어 청각 자극 외에도 진동 피드백과 같은 내적 피드백을 요구하는 자극이 포함된 보행훈련이 단일 리듬 청각 자극 보행훈련보다 보행 기능 개선에 더 효과적인 중재임을 제안한다.

Acknowledgements

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.

References

- [1] O'Sullivan MJ, Li X, Galligan D, et al. Cognitive recovery after stroke: memory. *Stroke*. 2023;54(1):44-54.
- [2] González-Santos J, Rodríguez-Fernández P, Pardo-Hernández R, et al. A cross-sectional study: Determining factors of functional independence and quality of life of patients one month after having suffered a stroke. *Int J Environ Health Res*. 2023;20(2):995.
- [3] Freytes IM, Sullivan M, Schmitzberger M, et al. Types of stroke-related deficits and their impact on family caregiver's depressive symptoms, burden, and quality of life. *Disabil Health J*. 2021;14(2):101019.
- [4] Kwak HD, Chung E, Lee BH. The effect of balance training using touch controller-based fully immersive virtual reality devices on balance and walking ability in patients with stroke: A pilot randomized controlled trial. *Medicine*. 2024;103(27):e38578.
- [5] Arshad AH, Awan FN, Ayesha Abdul W, et al. Post Stroke Patients Balance Improvement by Comparing VR Assisted Treadmill Training vs. Traditional Treadmill Training. *Avicenna Journal of Health Sciences*. 2024;1(1):21-4.
- [6] Luke C, Dodd KJ, Brock K. Outcomes of the Bobath concept on upper limb recovery following stroke. *Clin Rehabil*. 2004;18(8):888-98.
- [7] Rensink M, Schuurmans M, Lindeman E, et al. Task-oriented training in rehabilitation after stroke: systematic review. *J Adv Nurs*. 2009;65(4):737-54.
- [8] Ribeiro TS, Silva WHS, de Alencar Caldas VV, et al. Effects of a training program based on the proprioceptive neuromuscular facilitation method on post-stroke motor recovery: a preliminary study. *J Bodyw Mov Ther*. 2014;18(4):526-32.
- [9] Dobkin BH. Rehabilitation after stroke. *N Engl J Med*. 2005;352(16):1677-84.
- [10] Mirelman A, Shema S, Maidan I, et al. Gait. *Handbook of clinical neurology*. In: Gait. USA. 2018;159:119-34.
- [11] Moucheboeuf G, Griffier R, Gasq D, et al. Effects of robotic gait training after stroke: A meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2020;63(6):518-34.
- [12] Fulk GD, He Y, Boyne P, et al. Predicting home and community walking activity poststroke. *Stroke*. 2017;48(2):406-11.
- [13] Ohta M, Tanabe S, Tamari M, et al. Patterns of change in propulsion force and late braking force in patients with stroke walking at fast speeds. 2024.
- [14] Okada K, Haruyama K, Okuyama K, et al. Categorizing knee hyperextension patterns in hemiparetic gait and examining associated impairments in patients with chronic stroke. *Gait Posture*. 2024;113:18-25.
- [15] Pelton TA, Johannsen L, Chen H, et al. Hemiparetic stepping to the beat: asymmetric response to metronome phase shift during treadmill gait. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010;24(5):428-34.
- [16] Ha GH, Lee MM, Song CH. The Effects of Treadmill Walking and Bilateral Rhythmic Auditory Stimulation on Gait in Patients With Stroke. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*. 2013;52(1):295-315.
- [17] Yoon SK, Kang SH. Effects of inclined treadmill walking training with rhythmic auditory stimulation on balance

- and gait in stroke patients: a pilot study. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*. 2015;3(4):69-78.
- [18] Kim JD, Cha YJ, Youn HJ. Effects of emphasized initial contact auditory feedback gait training on balance and gait in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*. 2015;10(4):49-57.
- [19] Huang H, Wolf SL, He J. Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2006;3:1-12.
- [20] Hebert E, Landin D, Menickelli J. Videotape feedback: What learners see and how they use it. *Phys Educ Sport Pedagogy*. 1998;4:12-28.
- [21] Van Vliet PM, Wulf G. Extrinsic feedback for motor learning after stroke: what is the evidence? *Disabil Rehabil*. 2006;28(13-14):831-40.
- [22] Genthe K, Schenck C, Eicholtz S, et al. Effects of real-time gait biofeedback on paretic propulsion and gait biomechanics in individuals post-stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2018;25(3):186-93.
- [23] Thaut MH, Stephan KM, Wunderlich G, et al. Distinct cortico-cerebellar activations in rhythmic auditory motor synchronization. *Cortex*. 2009;45(1):44-53.
- [24] Thaut MH, Kenyon GP, Schauer ML, et al. The connection between rhythmicity and brain function. *IEEE Eng Med Biol Mag*. 1999;18(2):101-8.
- [25] Ermolaeva VY, Borgest AN. Intercortical connections of the auditory areas with the motor area. *Neurosci Behav Physiol*. 1980;10:210-5.
- [26] Nombela C, Hughes LE, Owen AM, et al. Into the groove: can rhythm influence Parkinson's disease? *Neurosci Biobehav Rev*. 2013;37(10):2564-70.
- [27] Thaut MH, McIntosh GC, Hoemberg V. Neurobiological foundations of neurologic music therapy: rhythmic entrainment and the motor system. *Front Psychol*. 2015;5:1185.
- [28] Kil KS, Kim H, Shin WS. Effects of vibrotactile bio-feedback providing pressure information in real time on static balance and weight bearing rate in chronic stroke patients-pilot study. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*. 2021;9(1):41-8.
- [29] Thaut MH, McIntosh GC, Rice RR. Rhythmic facilitation of gait training in hemiparetic stroke rehabilitation. *J Neurol Sci*. 1997;151(2):207-12.
- [30] Gonzalez-Hoelling S, Reig-García G, Bertran-Noguer C, et al. The effects of rhythmic auditory stimulation on functional ambulation after stroke: a systematic review. *BMC Complement Med Ther*. 2024;24(1):45.
- [31] Carr JH, Shepherd RB. *Neurological rehabilitation: optimizing motor performance*. Elsevier Health Sciences. 2010.
- [32] Song GB, Ryu HJ. Effects of gait training with rhythmic auditory stimulation on gait ability in stroke patients. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(5):1403-6.
- [33] Lee S, Lee K, Song C. Gait training with bilateral rhythmic auditory stimulation in stroke patients: A randomized controlled trial. *Brain Sci*. 2018;8(9):164.
- [34] Gonzalez-Hoelling S, Bertran-Noguer C, Reig-Garcia G, et al. Effects of a music-based rhythmic auditory stimulation on gait and balance in subacute stroke. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):2032.
- [35] Mainka S, Wissel J, Völler H, et al. The use of rhythmic auditory stimulation to optimize treadmill training for stroke patients: a randomized controlled trial. *Front Neurol*. 2018;9:755.
- [36] Ahmed GM, Fahmy EM, Ibrahim MF, et al. Efficacy of rhythmic auditory stimulation on gait parameters in hemiplegic stroke patients: a randomized controlled trial. *Egypt J Neurol Psychiatr Neurosurg*. 2023;59(1):8.
- [37] Afzal MR, Oh MK, Lee CH, et al. A portable gait asymmetry rehabilitation system for individuals with stroke using a vibrotactile feedback. *Biomed Res Int*. 2015;2015(1):375638.
- [38] Ma CZH, Zheng YP, Lee WCC. Changes in gait and plantar foot loading upon using vibrotactile wearable biofeedback system in patients with stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2018;25(1):20-7.

- [39] Lee YG, Shin SH. Improvement of gait in patients with stroke using rhythmic sensory stimulation: A case-control study. *J Clin Med.* 2022;11(2):425.
- [40] Park CS, An SH. The effects of electromechanical gait trainer on gait, mobility and dynamic balance ability in patients with stroke. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science.* 2012;51(4):111-31.
- [41] 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.
- [42] Lee SH, Lee KJ, Song CH. Effects of rhythmic auditory stimulation (RAS) on gait ability and symmetry after stroke. *J Phys Ther Sci.* 2012;24(4):311-4.
- [43] Wall JC, Ashburn A. Assessment of gait disability in hemiplegics. Hemiplegic gait. *Scand J Rehabil Med.* 1979;11(3):95-103.
- [44] Lee SH, Lee KJ, Ha GH, et al. The effects of rhythmic auditory stimulation on the gait symmetry in the chronic stroke patients. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society.* 2011;12(5):2187-96.
- [45] Hyun DS, Choi JD. The effects of backward walking with rhythmic auditory stimulation on gait and balance in patients with stroke. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society.* 2013;14(12): 6237-45.
- [46] Suh JH, Han SJ, Jeon SY, et al. Effect of rhythmic auditory stimulation on gait and balance in hemiplegic stroke patients. *NeuroRehabilitation.* 2014;34(1):193-9.
- [47] De Angelis S, Princi AA, Dal Farra F, et al. Vibrotactile-based rehabilitation on balance and gait in patients with neurological diseases: A systematic review and metanalysis. *Brain Sci.* 2021;11(4):518.