



일어서기 동작에 대한 동작관찰과 동기화된 전기적 감각자극의 통합적 제공이 뇌졸중 환자의 기능에 미치는 효과

문 영¹, 최종덕²

¹더이룸아동발달센터 운동발달실, ²대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과

The Effects of Integrated Provision Action Observation and Synchronized Electrical Sensory Stimulation for Sit-to-stand in Stroke Patients Function

Young Moon¹, PT, MSc, Jong-duk Choi², PT, PhD

¹Department of Movement Development, The ERUM Child Development Center, Iksan, ²Department of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University, Daejeon, Korea

Article Info

Received May 15, 2020

Revised June 25, 2020

Accepted July 29, 2020

Corresponding Author

Jong-duk Choi

E-mail: choideuw@dju.kr

<https://orcid.org/0000-0002-9663-4790>

Key Words

Action observation training

Electrical stimulation

Stroke

Background: Stroke patients experience multiple dysfunctions that include motor and sensory impairments. Therefore, new intervention methods require a gradational approach depending on functional levels of a stroke patient's activity and should include cognition treatment to allow for a patient's active participation in rehabilitation.

Objects: This study investigates the effect of integrated revision of electrical sensory stimulation, which stimulates somatosensory and action observation training, which is synchronized cognition intervention method on stroke patients' functions.

Methods: Twenty-one stroke patients were randomized into two groups. The two groups underwent twenty minutes of intervention five times a week for three weeks. This study used an electromyogram to evaluate symmetric muscle activation of lower extremities and muscle onset time when performing sit to stand before and after intervention. A weight-bearing ratio was used to evaluate the weight-bearing of the affected side in a sit to standing. To evaluate sit to stand performance ability, this study performed five timed sit to stand tests.

Results: The two groups both showed statistically significant improvement in muscle onset time of lower extremity, static balance ability in a standing position, and sit to stand performance after the intervention ($p < 0.05$). In addition, the action observation and synchronized electrical sensory stimulation group showed significant improvement in symmetric muscle activation of lower extremities and weight-bearing ratio of the affected side ($p < 0.05$).

Conclusion: action observation and synchronized electrical sensory stimulation (AOT with ESS) can have positive effects on a stroke patient's sit to stand performance, and the intervention method that provides integrated AOT with ESS can be used as new nervous system intervention program.

INTRODUCTION

뇌졸중 환자를 위해 사용되는 최근의 중재 방법들은 마비된 사지의 반복적, 능동적 훈련을 통하여 운동 조절을 촉진시켜 대뇌 피질의 기능적인 재조직화를 전제로 사용되고 있다[1,2]. 신경계 재활을 위한 중재 방법들은 뇌졸중 환자의 적극적이고 의지적인 참여를 요구하지만 운동기능이 저하된 초기 급성기 환자나 만성적인 경직으로 인해 기능적

움직임의 수행이 어려운 환자들에게 능동적 중재 방법을 적용하기에는 제한이 있다. 중재 참여의 어려움과 피로 등은 뇌졸중 환자들의 중재 참여에 대한 의지와 동기를 감소시키는 원인으로 작용할 수 있을 것이다. 또한, 움직임만을 강조한 훈련이 반복적으로 제공되는 환경에서 신체 감각 입력을 통한 기능의 지각-인지적인 측면은 무시되는 경향을 보인다[3]. 따라서 효과적인 뇌졸중 환자의 중재방향은 뇌의 직간접적 자극을 통한 재조직화를 이끌어낼 뿐만 아니라 뇌졸중 환자의 재활로의



참여를 유도할 수 있는 포괄적인 인지치료를 포함한 적절한 중재가 요구될 것이다.

이러한 제한점을 보완하고 환자의 기능적 향상을 도울 수 있는 적절한 방법으로 감각자극 훈련을 들 수 있다. 촉각을 통한 감각자극은 손상 초기에 제공되는 경우 대상자의 기능 회복에 도움이 되며 일관성 있고 반복적으로 제공될 때 기능 회복의 정도도 크다[4,5]. 뇌 손상 환자에게 다양한 감각자극은 대뇌피질을 활성화시키며, 손상 이전에 기능하지 않았던 부위를 훈련할 수 있다[6]. 전기적 감각자극은 대상자의 적극적인 참여가 요구되지 않는 상황에서도 적용될 수 있다는 장점을 갖고 있다. 뇌졸중 발병 이후의 전기적 감각자극의 적용은 일차체성감각 영역의 재조직화를 이끌어 낼 수 있다[7,8]. 또한, 기능적 전기 자극(functional electrical stimulation, FES)으로 인한 마비측의 반복적인 근수축의 제공은 구심성 자극을 통한 감각피질 및 운동피질 사이의 연결 회로망의 강화에 도움을 주며 피질 재구성에 영향을 미쳐 운동 기능 회복에 효과를 줄 수 있다고 하였으며[9,10], FES에 의한 감각자극은 신경학적인 내적되먹임을 반복적으로 제공하여 관절과 근육활동을 인지하도록 할 수 있고 이를 통해 치료사에 의한 지속적인 도수접촉의 필요성을 줄일 수 있다[11,12]. 하지만 전기적 감각자극만으로는 뇌졸중 환자에 대한 중추신경계의 직접적 변화를 나타낸 연구는 부족한 실정이며, 최근 뇌졸중 환자의 신경계적 중재방법에서 중요시 되고 있는 뇌의 가소성을 활성화하는 방법으로는 제한적 요소를 가지고 있다. 또한 뇌졸중 환자의 인지기능 개선이 일상생활 수행능력을 향상시키며 사회복귀에 중요한 요소가 될 수 있음을 보고하였지만[13], 이러한 전기적 감각자극의 중재만으로는 효과적인 신경재활 중재방법이 되기엔 부족하다.

최근 뇌 영역의 가소성을 활성화시키는 방법으로 운동 및 감각 신경과 감각자극을 활용한 인지적 재활 훈련들이 다양하게 연구되고 있다[14]. 그 중 시각적 감각자극을 기반으로 대뇌 결질의 거울 신경세포 시스템을 자극해서 기능적 움직임을 향상 시키는 동작관찰 훈련이 있다. 동작관찰 훈련은 제한된 공간에서도 외부 환경들을 다양하게 시각적 자극을 통해 경험할 수 있고, 동작을 관찰하며 뇌의 감각영역과 운동영역들을 함께 활성화할 수 있기 때문에 뇌졸중으로 인한 운동 기능의 장애를 가진 환자에게 손상된 뇌의 가소성을 변화시키고, 운동기능을 회복시킬 수 있다[15]. 하지만, Garrison 등[16]은 동작관찰을 이용하는 데 있어 동작관찰훈련에 참여하는 환자들이 관찰한 동작을 모방하려는 의도를 가지고 관찰하도록 하는 것이 중요하다고 하였다. 즉, 대상자 제시된 동작에 대해 어느 정도 집중해서 관찰하였는지가 중요하다는 것이다. 하지만 대상자의 주관적인 참여도와 집중력을 유지하며 효과를 극대화할 수 있는 동작관찰 모델은 아직 부족한 실정이다.

뇌는 다양한 종류의 지각과정과 운동행동을 실행하기 위하여 다양한 감각정보를 하나로 통합함으로써 외부의 사건들을 올바르게 지각하게 된다[17,18]. 신체는 기능적인 움직임을 위해 시각과 체감각의 통합을 효율적으로 몸을 움직일 수 있도록 조절하는 데 사용한다. 시각 및 체감각의 통합은 공간에서의 운동 협응에 기여하는 신체 도식의 기초가

되고 움직임 지각과 실행에 있어서 필수적이며, 운동 행동의 주요한 요소이다[19]. 특히, 시각과 체감각 통합은 운동학습 및 운동조절에 중요한 요소임에도 아직까지 두 감각의 통합적 적용 및 중재방법에 따른 효과에 관한 연구는 부족한 편이다. 또한, 뇌졸중 환자의 재활을 위해 움직임 수행 중심의 중재 이전에 준비적 개념으로 대상자의 적극적인 참여 없이 적용 가능한 중재적 방법이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 뇌졸중 환자에게 동작관찰을 통한 시각적 자극과 관찰하는 동작의 수행에 필요한 근육에 전기적 감각자극을 통한 촉각자극을 동기화하여 동시에 적용하였을 때 뇌졸중 환자의 기능적 활동 증진에 미치는 효과를 알아봄으로써 뇌졸중 환자를 위한 새로운 재활 프로토콜을 제시하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 연구대상자

본 연구는 대전시에 위치한 A병원에서 치료를 받고 있는 뇌졸중 환자 중 편마비 환자를 대상으로 하였다. 연구에 관한 충분한 설명을 듣고 자발적으로 연구에 참여한 27명 중에서 선별과정을 통해 총 3명이 제외되었다. 선정된 24명의 대상자들은 무작위 방법으로 동작관찰과 동기화된 전기적 감각자극 훈련을 실시한 실험군 12명, 전기적 감각자극 훈련을 실시한 대조군 12명으로 배정하였다. 중재가 시작된 이후에 퇴원 및 중도 포기 등의 이유로 실험군 2명, 대조군 1명 총 3명이 대상자에서 탈락하여 최종 21명이 연구에 참여하였다. 본 연구는 대전대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 얻어 수행하였다(IRB no. 1040647-201406-HR-023-03). 대상자의 선정기준으로는 첫째, 독립적으로 앉기가 가능하고 보조도구 없이 앉은 자세에서 일어서기의 수행이 가능한 자; 둘째, 간이정신상태 검사(Mini-mental status examination, MMSE) 점수가 24점 이상으로 인지에 장애가 없는 자[20]; 셋째, 5회 앉았다 일어서기 검사(Five timed sit to stand test, FTSTS test)의 수행시간이 17초 이상인 자[21]; 넷째, 연구에 영향을 미칠 수 있는 뇌졸중 이외의 다른 신경학적 문제나 정형외과적, 심호흡계적 질환이 없는 자; 다섯째, 본 연구의 목적과 방법에 대한 설명 후 참여에 동의한 자로 하였다.

2. 연구설계 및 절차

연구의 시작 전 대상자들에게 연구의 주제와 목적, 방법에 대해 설명하고 동의를 받았다. 제비뽑기를 통해 무작위 배정된 두 군 중 동작관찰과 동기화된 전기적 감각자극훈련군(실험군)의 대상자들은 일어서기 동작에 대한 동작관찰훈련을 실시하며 추가적으로 선정된 근육에 전기적 감각자극을 동기화하여 시행하였으며, 전기적 감각자극 훈련군(대조군)은 일어서기 동작에 필요한 선정된 근육에 일정한 주기로 전기적 감각자극만을 시행하였다. 본 연구의 중재는 1일 20분씩, 주 5회, 3주 동안 시행하였으며 일반적인 물리치료는 1일 60분씩, 주 5회, 3주 동안 시행하였다. 중재 전후에 평가 장비와 도구를 사용하여 대상자의 기능

평가를 실시하였다.

대조군은 편안하게 앉은 상태에서 마비측 하지에 전기적 감각자극을 적용하였다. 전기적 감각자극을 위해 전기적 자극 치료기(FES-AOT; BioBrain, Daejeon, Korea)을 사용하였다. 전경골근의 전극은 하지의 비골두 3 cm 아래의 총비골신경부위에 활성전극(-)을, 발목 외측상과 상방 5 cm 지점의 전경골근에 비활성전극(+)을 배치하였다. 대퇴사두근의 전극은 하나는 대퇴직근의 슬개골 위 정지점에, 다른 하나는 대퇴직근 운동점에 배치하였다. 이극배치법으로 전극을 부착하여 20 분 동안 비대칭 이상파를 적용하였다[22,23]. 주파수는 40 Hz, 펄스폭 250 μ s, 자극 상승시간과 하강시간은 1.5초, 통전시간은 3.0초로 하였고 휴지시간은 통전시간보다 길게 설정하였다. 전류 강도는 환자가 불쾌감을 느끼지 않고 근 수축은 일어나지만 관절의 움직임이 나타나지 않는 범위에서 연구자의 관찰을 통해 조절하였다. 피부에 전극의 위치를 표시하여 실험기간 동안 같은 부위에 부착하였으며, 중재 도중에 대상자가 피로에 대한 자각적 증상을 보일 경우 전기 자극을 일시 정지하였으며 휴식시간은 3분 이상을 넘지 않았다.

실험군은 일어서기 동작에 대한 동작관찰 훈련을 실시하기 위해서 전기적 자극 치료기에 연동된 디스플레이로 제공하였다. 동작관찰은 정상인을 대상으로 앉은 자세에서 일어서기 동작을 수행하는 영상을 제공하였다. 촬영된 영상은 총 20분으로 구성되어있으며, 젊은 성인 남녀를 정면, 좌측면, 우측면에서 촬영된 영상을 반복적으로 제공하여 대상자가 모방할 수 있도록 하였다. 또한, 영상은 기능적 전기 자극이 해당근육에 필요한 순간의 동작과 동기화되도록 제작하였다. 동영상의 속도는 전기적 감각자극을 동기화하여 제공하기 위하여 일반적인 속도로 일어서기 동작을 수행하는 영상을 0.25배 속도로 편집하여 제공하였다. 제공된 전기 자극은 이전의 정상인을 대상으로 한 선행연구에서 얻어진 근전도 결과를 분석하여 입력하여 전기적 자극 치료기에 영상과 함께 동기화되어 프로그래밍 된 모드를 사용하여 제공하였다.

3. 평가방법

1) 일어서기 동작 시 하지 근육의 대칭적 근 활성화도

일어서기 동작 시 신경근 조절능력을 평가하기 위해 8채널 근전도 시스템(MyoSystem 1400A; Noraxon, Scottsdale, AZ, USA)을 사용하여 측정하였다. 수집된 자료는 MyoResearch Master 1.07 XP 소프트웨어(Noraxon)를 사용하여 분석하였다. 대상자는 팔걸이가 없는 의자에서 대퇴부의 1/2지점을 의자의 끝에 위치하도록 앉아 무릎은 90도 굴곡, 발끝과 무릎은 전방을 향하여 평행하게 높은 상태로 유지하였다. 발 사이의 거리는 대상자의 골반 너비로 유지하였으며, 팔을 이용한 보상움직임을 피하기 위해 복부 앞에서 비마비측 손을 이용하여 마비측 손을 잡아 고정하였다. 측정을 위해 피부저항을 최소화하기 위해 전극을 부착하기 전에 부착 부위의 털을 제거하고 의료용 알코올로 깨끗이 닦아낸 후 표면 전극을 부착하였다. 전극은 일회용 표면전극(Electrode T246H; Seedtect, Bucheon, Korea)을 사용하였으며, 전극간 거리는 2 cm 내에 위치하도록 하였다. 마비측과 비마비측의 양측

하지에 근수축을 유도하여 두드러진 근육을 육안으로 확인하여 전극 부착 부위에 따라 대퇴사두근은 위앞엉덩이뼈가시와 무릎뼈의 위쪽 가시 사이의 중간 부위에[24], 전경골근은 경골선상의 외측 2 cm 부위에 근 섬유와 같은 방향으로 부착하였다[25], 접지전극은 비마비측 무릎뼈에 부착하였다. 측정은 연구자의 “시작”이라는 구령과 함께 앉은 자세에서 일어서기를 실시하였다. 대상자는 완전히 일어난 자세에서 2초간 선 자세를 유지한 후 다시 앉기 동작을 실시하였다. 이를 5회 반복 실시하여 측정하였으며 일어서기 속도는 대상자가 자연스럽게 실시할 수 있는 속도로 하였다. 이때 측정된 근전도 값을 각각의 근육에 따라 마비측과 비마비측의 근전도 값의 합을 마비측 근전도 값으로 나누어 근활성도를 비율로 나타내었다[26].

2) 양측 하지의 체중지지 비율 평가

앉은 자세에서 일어서기의 동작의 수행동안 마비측과 비마비측 주어지는 체중지지를 평가하기 위해 Gaitview system (AFA-50; Alfoots, Seoul, Korea)를 이용하고 Gaitview S 프로그램을 사용하여 자료를 수집하였다. 측정은 연구자의 “시작”이라는 구령과 일어서기를 수행하여 흔들림 없이 독립적으로 완전한 정적 기립자세를 유지할 수 있을 때까지 5초간 수행하였다. 이때 양측 하지에 가해지는 체중지지 비율을 측정하였다.

3) 일어서기 동작의 수행 평가

5회 앉았다 일어서기 검사는 하지의 근력과 균형을 평가함과 동시에 실제 앉은 자세에서 일어서기 동작의 수행을 평가하는 평가도구이다. 본 연구에서는 Whitney 등[27]의 연구에서 사용한 방법을 사용하여 수행시간을 초 단위로 측정하였다. 등받이가 있고 팔걸이가 없는 의자에 앉아 양팔을 가슴에 교차한 후 상지의 도움 없이 일어서고 앉는 동작을 5회 실시하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 측정의 시작은 대상자가 등받이에서 등이 앞으로 이동하는 순간이며, 종료는 등받이에 등이 접촉되는 시점을 기록하였다[21].

4. 분석방법

모든 통계적 분석은 윈도우용 SPSS version 18.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 연구대상자의 일반적인 특성은 카이제곱검정과 독립표본 t-검정을 이용하여 평균과 표준편차를 표시하였고 정규성 검정을 위하여 Shapiro-Wilk검정 방법을 실시하였다. 각 군에서 중재 전·후의 차이를 비교하기 위해 대응표본 t-검정을 실시하였다. 두 군의 중재방법에 따른 비교를 위해 중재 전, 중재 후, 전·후 변화량을 독립표본 t-검정 방법으로 검정하였다. 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

RESULTS

1. 연구 대상자의 특성

연구 대상자 21명의 성별, 나이, 키, 체중의 일반적 특성에서는 통계학적으로 유의한 차이가 없었고 마비측(좌,우), 뇌졸중 유형(경색, 출혈), 발병 기간에 따른 의학적인 특성에서도 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 1).

2. 일어서기 동작 시 하지 근육의 대칭적 근 활성화도 비교

실험군의 대퇴사두근이 중재 후 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), 중재 전·후 두 구간 대퇴사두근 대칭적 근 활성화도의 변화량은 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$) (Table 2). 실험군의 전경골근이 중재 후 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), 중재 후 두 구간 전경골근 대칭적 근 활성화도의 변화량은 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$) (Table 2).

3. 일어서기 동작 시 체중지지 비율의 비교

실험군의 마비측 체중지지 비율은 중재 후에 유의하게 증가하였으나($p < 0.05$), 전기적 감각자극 훈련군에서는 중재전과 비교하여 중재 후에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 중재 전·후 마비측 체중지지 비율

의 변화량은 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$) (Table 3).

4. 일어서기 동작의 수행 능력 비교

실험군과 대조군의 일어서기 동작의 수행 능력은 중재 후에 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 중재 전·후 일어서기 동작의 수행 능력의 변화량 비교에서는 두 구간 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$) (Table 4).

DISCUSSION

다양한 감각자극이 동시에 주어지면 뇌는 각기 다른 감각채널로부터 전달받은 정보들을 통합, 조직화함으로써 외부 환경의 사물과 사건들을 빠르게 감지하고, 올바르게 인식하여 적절히 반응할 수 있는 가능성을 증진시킨다고 하였다[28]. 여러 연구결과에 따르면 단일 감각자극보다 다중감각자극이 주어졌을 때 신체의 반응시간이 더 빠르게 나타났다고 하였다[29-31]. 이는 두 개 이상의 다감각을 제공할 시 감각자극이 들어오는 대뇌반구의 주의력이 상승함으로써 감각 입력을 더욱 효율적으로 받을 수 있게 한 결과라 할 수 있다. 또한, 제시되는 감각자극이 시간적으로 근접하고[30], 공간적으로 일치할 때[32] 반응시간이 더 빠르다는 결과를 밝혔다. 즉, 단일감각자극보다 다중감각자극이 주어지면 뇌는 다양한 정보들로부터 이득을 얻어 물체를 감지하는 지각능력은 물론 반응시간도 빨라져 운동행동의 증진을 보인다고 하였다. 본 연구에서 적용한 동작관찰과 동시에 통합적으로 제공된 전기적 감각자극이 뇌졸중 환자의 기능향상에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 생각한다.

Sawaki 등[33]은 말초 신경계와 중추 신경계를 통한 다양한 자극이 뇌가소성 및 대상자의 운동 기능 향상에 도움이 되며 더욱 다양한 자극

Table 1. Demographic characteristics of the participants (N = 21)

Variable	Experimental group (n = 10)	Control group (n = 11)	χ^2/t
Sex (male/female)	5/5	4/7	0.398
Age (y)	55.50 ± 14.88	67.82 ± 9.37	2.294
Height (cm)	162.50 ± 6.96	160.82 ± 8.07	-0.509
Weight (kg)	62.80 ± 9.07	59.27 ± 9.95	-0.846
Affected side (Rt/Lt)	4/6	7/4	1.173
Type of stroke (ischemia/hemorrhage)	5/5	4/7	0.398
Onset (mo)	12.10 ± 4.95	11.40 ± 3.10	-0.379

Values are presented as number only or mean ± standard deviation.

Table 2. Comparison of muscle activation ratio of lower extremities in experimental and control group

	Experimental group (n = 10)	Control group (n = 11)	t
Quadriceps muscle			
Pre-test	34.38 ± 12.18	43.26 ± 10.00	1.843
Post-test	50.57 ± 14.73	43.76 ± 7.49	-1.317
t	-4.191*	-0.336	
Change	16.20 ± 12.21	0.50 ± 4.92	-3.793*
Tibialis anterior muscle			
Pre-test	24.89 ± 12.84	19.16 ± 8.10	-1.235
Post-test	41.44 ± 16.26	24.15 ± 9.88	-2.977*
t	-4.419*	-2.108	
Change	16.55 ± 11.83	4.99 ± 7.85	-2.660*

Values are presented as mean ± standard deviation (%). * $p < 0.05$.

Table 3. Comparison of weight-bearing ratio of affected side in experimental and control group

	Experimental group (n = 10)	Control group (n = 11)	t
Pre-test	43.10 ± 9.70	42.62 ± 9.54	-0.115
Post-test	47.29 ± 7.83	43.90 ± 10.53	-0.830
t	-4.556*	-1.985	
Change	4.18 ± 2.90	1.28 ± 2.23	-2.639*

Values are presented as mean ± standard deviation (%). * $p < 0.05$.

Table 4. Comparison of sit to stand performance ability in experimental and control group

	Experimental group (n = 10)	Control group (n = 11)	t
Pre-test	40.75 ± 15.10	37.50 ± 7.87	-0.627
Post-test	34.53 ± 15.16	34.97 ± 8.31	0.083
t	4.554*	2.402*	
Change	6.21 ± 4.31	2.53 ± 3.49	-2.161*

Values are presented as mean ± standard deviation (s). * $p < 0.05$.

을 통한 접근이 필요하다고 하였다. 마비측의 반복적이고 능동적인 과제 연습을 하게 되면 뇌의 신경가역성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 이때 나타나는 기능적인 향상은 움직임에 관여된 신경 네트워크의 변화로 인한 것으로 생각된다[34]. 하지만 뇌졸중 환자는 마비측의 사용에 제한으로 인해 마비측에 대한 직접적이고 능동적인 훈련은 환자로 하여금 수행하기에 어려움을 느끼게 할 뿐만 아니라 대부분의 훈련 방법들이 기능에 대한 지각 인지적인 부분을 고려하지 않고 기능적 운동 요소만을 강조하고 있는 실정이다[3]. 따라서 뇌졸중 환자의 기능회복을 촉진하기 위해서는 대상자의 재활의지를 증진시키기 위한 적절하고 다양한 인지적 접근의 치료 중재법이 필요하다.

뇌졸중 환자의 보행 및 기능 향상을 위한 신경계적 중재방법은 다양하게 연구되고 있지만, 대부분 치료사의 도수적 접근을 통한 근력강화와 마비측의 체중부하 및 이동을 유도하여 정상적인 운동패턴을 촉진하고, 감각자극을 이용해서 비정상적인 반응을 억제하는 방법이 대다수이다. 이는 많은 인력 소모와 시간장애를 초래한다[35]. 실제 임상에서 뇌졸중 환자들은 치료사의 도움 없이는 정확한 운동과제를 올바르게 수행하는 데 어려움이 있고, 치료하는 동안에만 피드백을 제공하는 경우가 많다. Calautti와 Baron [36], Conforto 등[37]은 감각의 입력이 뇌졸중 후 운동기능 회복에 주는 효과성에 대한 연구에서 감각의 입력이 높은 과제수행 능력과 효과적인 운동 학습에 도움을 준다고 설명하였다. 따라서 임상에서는 다양한 감각자극은 뇌졸중 대상자의 기능을 개선시킬 목적으로 널리 사용될 수 있을 것이다. 기존의 선행연구들은 뇌졸중 환자에 대한 전기 자극 치료들은 운동섬유를 자극하여 근육을 수축시키는 전기 자극에 대한 연구가 많이 이루어졌지만, 좀 더 정상적인 운동조절 체계라고 할 수 있는 구성성 감각자극을 통한 능동적 운동조절에 대한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 기존의 수동적이고 반복적으로 제공되는 전기 자극법보다 환자의 인지적인 중재가 포함되는 동작관찰훈련을 동기화하여 시행하였을 때 환자에게 더 큰 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

뇌졸중 후 운동기술의 빠른 회복을 위해서는 정확한 체성 감각의 입력이 필요하다[38]. 감각 입력을 위한 훈련은 새로운 과제에 대한 선택적이고 역동적인 효과를 줄 수 있으며, 시각적 정보가 운동 수행 중 체성감각 영역에서의 감각운동과 관련된 뉴런 활동에 영향을 미친다고 하였다[39]. 최근 재활치료와 기계적 인터페이스의 접목은 현재 치료사 중심으로 진행되고 있는 임상에서 보완할 수 없었던 대상자의 기능적 회복경과에 따른 장애의 정확한 척도를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 기능적 행동 장애를 가진 대상자들에게 정량적인 기준에 근거한 모니터링과 치료적인 처방을 가능하도록 하였다[40]. 따라서 운동조절 및 협응과 깊은 관계가 있는 시각과 체감각자극의 적용은 재활이 필요한 환자에게 적절한 치료로 제공될 수 있으며, 신체의 기능적 활동을 증진하는데 큰 도움이 될 것이다. 신체에 고난도의 기술이 요구되는 움직임일수록 지속적인 운동조절에 따른 실행을 통해 더욱 효과적이고 지속적인 체성감각 정보를 제공받을 수 있다[41]. 또한, 다양한 감각적 자극은 뇌의 활성화를 향상시키며 동일한 신경구조를 자동적으로 활성화할

수 있는 인지적 중재 방법이 된다[42]. 동작 관찰 훈련은 다중 감각계를 자극하고 정확한 운동표상을 형성하기 때문에 대상자의 대뇌피질을 활성화하는데 다른 기존 치료보다 빠르고 시간이 적게 소요된다[43,33]. 또한, 관찰을 통해 환자의 집중력과 움직임을 만들어 내려는 수의적 노력을 이끌어 낼 수 있다. 그러므로 기능적 움직임 회복을 위한 체성감각을 제공할 뿐만 아니라 운동능력의 문제로 인해 치료과정에서 반복적 능동적인 훈련에 대한 적극적 참여에 제한을 극복하기 위한 방법으로 사용될 수 있을 것이다.

Hong 등[45]은 동작관찰과 유사한 인지적 재활 훈련인 상상훈련과 근전도 유발 전기 자극의 결합된 치료(mental imagery training combined with electromyography-triggered neuromuscular electric stimulation, MIT EMG-NMES)의 효과를 보고하였으며 그 결과 MIT EMG-NMES 치료가 일반적 NMES 치료에 비해 마비측 상지 기능 향상과 대뇌피질의 운동영역 활성화 및 재조직화에 효과적이라고 보고하였다. 하지만 본 연구와는 달리 선행연구에서 사용한 상상훈련은 대상자들의 운동장면 상상검사를 통해 상상이 가능한 환자에게만 적용할 수 있는 제한점이 있었다. Bae와 Kim [46]의 연구에서는 뇌졸중 환자에게 시각적 피먹임 조건하에 근전도 유발 기능적 전기 자극기를 사용하여 수의적 움직임 조절훈련을 실시하여 뇌 활성화와 척수 수준의 변화 그리고 기능적 회복에 긍정적인 영향을 보고하였다. 하지만 이 연구 또한 발목의 발등 굽힘을 시각적으로 관찰하였지만 동작 관찰 훈련에 적절한 기능적 움직임으로 수행되지 못했다. 본 연구에서는 인지적 중재 방법으로 사용하는 동작관찰훈련을 선택하여 적용하였으며, 다양한 기능적 움직임 중 앉은 자세에서 일어서기 동작을 동작관찰을 위한 움직임으로 선정하였다.

Vuillerme 등[47]은 하지로부터 전달되는 체성 감각자극에 대한 정보 변화는 자세 반응에 영향을 미친다고 보고하였다. 또한, Zhang과 Li [48]는 피부로부터의 감각입력은 균형 조절에 중요한 역할을 한다고 하였다. 본 연구에서 전기적 감각훈련과 전기적 감각 훈련과 동기화된 동작관찰훈련을 적용한 두 군에서 마비측 하지의 체성 감각자극이 감각정보를 재교육하는 데 도움을 주어 균형능력을 향상시키는데 도움이 되었을 것으로 사료된다. 또한, Malouin 등[49]은 편마비 환자를 대상으로 인지적 중재 중 하나인 상상훈련을 실시하여 훈련 즉시 일어나고 앉은 동작에서 마비측 하지에 체중 부하가 증가되는 즉시효과와 이러한 효과가 24시간 이후에도 남아 있음을 보고하였다. 이러한 훈련 방법은 특별한 신체활동 없이 환자의 기능을 증진시킬 수 있는 안전하고 효과적인 방법으로 치료의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 본 연구에서도 인지적 중재방법 중 하나인 동작관찰훈련을 실시한 대상자에서 대퇴사두근과 전경골근의 대칭적 근활성도를 증가와 마비측의 체중부하를 증가시키는 결과를 얻었다.

본 연구는 동작관찰과 동기화된 전기적 감각자극 훈련을 통해 뇌졸중 환자의 일어서기 동작 시 신경근 조절능력과 체중지지비율, 일어서기 동작의 수행 능력에 미치는 영향을 알아보았다. 또한, 본 연구는 새로운 중재방법으로의 접근을 위한 예비연구로써 대상자가 적어 연구의

결과를 일반화시키는 데 어려움이 있다. 그러므로 향후 연구에서는 이러한 전기적 감각자극과 동기화된 동작관찰훈련을 장기간의 중재로 실시하여 효과를 알아보아야 할 뿐만 아니라 후속 평가에 대한 연구들도 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자들을 대상으로 동작관찰과 동기화된 전기적 감각자극 훈련을 적용하여 대상자들의 일어서기 동작 시 신경근 조절능력, 마비측의 체중지지 비율, 일어서기 수행 능력의 향상 결과를 얻었다. 또한, 동작관찰을 통한 시각적 자극과 관찰 동작의 수행에 필요한 근육에 전기적 촉각 감각자극을 동기화하여 통합적으로 제공하는 본 연구의 중재 방법이 새로운 중재 프로그램으로써 사용될 수 있다고 사료된다. 따라서 기존의 신경계 물리치료의 중재방법 뿐만 아니라 다양한 중재 방법 중 다감각자극의 제공을 통하여 뇌졸중 환자의 기능을 회복하는 데 필요한 효과적 중재방법이 될 수 있을 것이다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: JC. Data curation: YM. Formal analysis: YM. Investigation: YM. Methodology: JC. Project administration: JC. Supervision: JC. Validation: JC. Visualization: YM. Writing - original draft: YM. Writing - review & editing: JC.

ORCID

Young Moon, <https://orcid.org/0000-0001-6945-2433>

REFERENCES

1. Carr JH, Shepherd RB. Neurological rehabilitation: optimizing motor performance. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2010.
2. Shepherd RB. Exercise and training to optimize functional motor performance in stroke: driving neural reorganization? *Neural Plast* 2001;8(1-2):121-9.
3. Mulder T. A process-oriented model of human motor behavior: toward a theory-based rehabilitation approach. *Phys Ther* 1991;71(2):157-64.
4. Craik RL. Clinical correlates of neural plasticity. *Phys Ther* 1982;62(10):1452-62.
5. Stephenson R. A review of neuroplasticity: some implications for physiotherapy in the treatment of lesions of the brain. *Physiotherapy* 1993;79(10):699-704.
6. Goble DJ, Brown SH. The biological and behavioral basis of upper limb asymmetries in sensorimotor performance. *Neurosci Biobehav Rev* 2008;32(3):598-610.
7. Gallien P, Aghulon C, Durufle A, Petrilli S, de Crouy AC, Carsin M, et al. Magnetoencephalography in stroke: a 1-year follow-up study. *Eur J Neurol* 2003;10(4):373-82.
8. Rossini PM, Tecchio F, Pizzella V, Lupoi D, Cassetta E, Pasqualetti P. Interhemispheric differences of sensory hand areas after monohemispheric stroke: MEG/MRI integrative study. *Neuroimage* 2001;14(2):474-85.
9. Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol* 1998;79(2):1117-23.
10. Kottink AI, Hermens HJ, Nene AV, Tenniglo MJ, van der Aa HE, Buschman HP, et al. A randomized controlled trial of an implantable 2-channel peroneal nerve stimulator on walking speed and activity in poststroke hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88(8):971-8.
11. Ng MF, Tong RK, Li LS. 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):154-60.
12. Tong RK, Ng MF, Li LS, So EF. Gait training of patients after stroke using an electromechanical gait trainer combined with simultaneous functional electrical stimulation. *Phys Ther* 2006;86:1282-94.
13. Cicerone KD, Dahlberg C, Malec JF, Langenbahn DM, Felicetti T, Kneipp S, et al. Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 1998 through 2002. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(8):1681-92.
14. Cicinelli P, Marconi B, Zaccagnini M, Pasqualetti P, Filippi MM, Rossini PM. Imagery-induced cortical excitability changes in stroke: a transcranial magnetic stimulation study. *Cereb Cortex* 2006;16(2):247-53.
15. Hamilton AF, Grafton ST. Action outcomes are represented in human inferior frontoparietal cortex. *Cereb Cortex* 2008;18(5):1160-8.

16. Garrison KA, Winstein CJ, Aziz-Zadeh L. The mirror neuron system: a neural substrate for methods in stroke rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair* 2010;24(5):404-12.
17. Dalton P, Doolittle N, Nagata H, Breslin PA. The merging of the senses: integration of subthreshold taste and smell. *Nat Neurosci* 2000;3(5):431-2.
18. Stein BE, Perrault TJ Jr, Stanford TR, Rowland BA. Postnatal experiences influence how the brain integrates information from different senses. *Front Integr Neurosci* 2009;3:21.
19. Bundy AC, Lane SJ, Murray EA. Sensory integration: theory and practice. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis; 2002.
20. Kwon YC, Park JH. Korean version of Mini-Mental State Examination (MMSE-K) part I : development of the test for the elderly. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 1989;28(1):125-35.
21. Mong Y, Teo TW, Ng SS. 5-Repetition sit-to-stand test in subjects with chronic stroke: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91(3):407-13.
22. Kesar TM, Perumal R, Reisman DS, Jancosko A, Rudolph KS, Higginson JS, et al. Functional electrical stimulation of ankle plantarflexor and dorsiflexor muscles: effects on poststroke gait. *Stroke* 2009;40(12):3821-7.
23. Potisk KP, Gregoric M, Vodovnik L. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spasticity in patients with hemiplegia. *Scand J Rehabil Med* 1995;27(3):169-74.
24. Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to surface electromyography. Gaithersburg: Aspen pub.; 1998;361.
25. Pease WS, Lew HL, Johnson EW. Johnson's practical electromyography. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
26. Hébert LJ, Gravel D, Arseneault B. Comparisons of mechanical and electromyographical muscular utilization ratios. *Scand J Rehabil Med* 1995;27(2):83-8.
27. Whitney SL, Wrisley DM, Marchetti GF, Gee MA, Redfern MS, Furman JM. Clinical measurement of sit-to-stand performance in people with balance disorders: validity of data for the Five-Times-Sit-to-Stand Test. *Phys Ther* 2005;85(10):1034-45.
28. Calvert GA, Spence C, Stein BE. The handbook of multisensory processes. Cambridge: MIT Press; 2004.
29. Corneil BD, Munoz DP. The influence of auditory and visual distractors on human orienting gaze shifts. *J Neurosci* 1996;16(24):8193-207.
30. Colonius H, Arndt P. A two-stage model for visual-auditory interaction in saccadic latencies. *Percept Psychophys* 2001; 63(1):126-47.
31. Steenken R, Colonius H, Diederich A, Rach S. Visual-auditory interaction in saccadic reaction time: effects of auditory masker level. *Brain Res* 2008;1220:150-6.
32. Colonius H, Diederich A. Multisensory interaction in saccadic reaction time: a time-window-of-integration model. *J Cogn Neurosci* 2004;16(6):1000-9.
33. Sawaki L, Wu CW, Kaelin-Lang A, Cohen LG. Effects of somatosensory stimulation on use-dependent plasticity in chronic stroke. *Stroke* 2006;37(1):246-7.
34. Levy CE, Nichols DS, Schmalbrock PM, Keller P, Chakeres DW. Functional MRI evidence of cortical reorganization in upper-limb stroke hemiplegia treated with constraint-induced movement therapy. *Am J Phys Med Rehabil* 2001;80(1):4-12.
35. Hesse S. Treadmill training with partial body weight support after stroke: a review. *NeuroRehabilitation* 2008;23(1):55-65.
36. Calautti C, Baron JC. Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: a review. *Stroke* 2003; 34(6):1553-66.
37. Conforto AB, Cohen LG, dos Santos RL, Scaff M, Marie SK. Effects of somatosensory stimulation on motor function in chronic cortico-subcortical strokes. *J Neurol* 2007;254(3): 333-9.
38. Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci* 1990;13:25-42.
39. Wasaka T, Kakigi R. The effect of unpredicted visual feedback on activation in the secondary somatosensory cortex during movement execution. *BMC Neurosci* 2012;13:138.
40. Miyoshi T, Takahashi Y, Lee H, Suzuki T, Komeda T. Upper limb neurorehabilitation in patients with stroke using haptic device system: reciprocal bi-articular muscle activities reflect as a result of improved circle-drawing smoothness. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2010;5(5):370-5.
41. Nathan DE, Prost RW, Guastello SJ, Jeutter And DC, Reynolds NC. Investigating the neural correlates of goal-oriented upper extremity movements. *NeuroRehabilitation* 2012;31(4):421-8.
42. Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat Rev Neurosci* 2001;2(9):661-70.
43. Beer S. [Rehabilitation after stroke]. *Schweiz Ärztetg* 2000; 81(22):1188-92. German.
44. Kwakkel G, Wagenaar RC, Twisk JW, Lankhorst GJ, Koetsier JC. Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet* 1999;354(9174):

- 191-6.
45. **Hong IK, Choi JB, Lee JH.** Cortical changes after mental imagery training combined with electromyography-triggered electrical stimulation in patients with chronic stroke. *Stroke* 2012;43(9):2506-9.
46. **Bae S, Kim KY.** Dual-afferent sensory input training for voluntary movement after stroke: a pilot randomized controlled study. *NeuroRehabilitation* 2017;40(3):293-300.
47. **Vuillerme N, Chenu O, Pinsault N, Fleury A, Demongeot J, Payan Y.** Can a plantar pressure-based tongue-placed electro-tactile biofeedback improve postural control under altered vestibular and neck proprioceptive conditions? *Neuroscience* 2008;155(1):291-6.
48. **Zhang S, Li L.** The differential effects of foot sole sensory on plantar pressure distribution between balance and gait. *Gait Posture* 2013;37(4):532-5.
49. **Malouin F, Richards CL, Doyon J, Desrosiers J, Belleville S.** Training mobility tasks after stroke with combined mental and physical practice: a feasibility study. *Neurorehabil Neural Repair* 2004;18(2):66-75.