

Comparison of Upper Extremity Muscle Activity between Stroke Patients and Healthy Participants while Performing Bimanual Tasks

Namwoo Kim^a, Sungbae Jo^a, Kyeong Bae^a, and Changho Song^{b*}

^aDepartment of Physical Therapy, Graduate School of Sahmyook University, Seoul, Republic of Korea

^bDepartment of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Sahmyook University, Seoul, Republic of Korea

Objective: The purpose of this study was to compare muscle activities of stroke patients and healthy participants during bimanual tasks.

Design: A cross sectional study.

Methods: A total of 25 participants (13 hemiparetic stroke patients and 12 healthy participants) were recruited. The muscle activities using electromyogram (EMG) during bimanual tasks were collected from the following muscles: extensor carpi radialis longus (ECRL), biceps brachii (BB), and triceps brachii (TB). The bimanual tasks included eight tasks consisted of (1) raising the wrists up and down, (2) supinating and pronating the palms, (3) touching the shoulder with fingertips, (4) drawing vertical dot, (5) reaching for a cup and bring it in to drink, (6) drawing a circle outward and (7) inward, and (8) grasping the fingers. The EMG data collected from the muscles of paretic and non-paretic sides of stroke patients and the average from both sides of healthy subjects were normalized and compared after calculating the percentage of maximal isometric voluntary contraction.

Results: The ECRL, BB and TB of the paretic side of the stroke patients showed relatively greater muscle activity compared to the non-paretic side as well as average of the healthy subject during all tasks ($p < 0.05$). In addition, the ECRL showed the highest muscle activity during most of the tasks. All of the non-paretic side muscles from stroke patients showed higher muscle activity compared to those of healthy subjects.

Conclusions: The current study showed that muscle activities of upper extremity varied between paretic and non-paretic sides of stroke patients during bimanual tasks. Interestingly, the non-paretic side muscle activities were also different from those of normal participants.

Key Words: Stroke, Muscle activity, Hemiplegia, Upper extremity

서론

뇌졸중은 인구의 약 30%가 경험하는 질병 가운데 하나이고, 장애를 유발하는 주된 원인이다[1]. 뇌졸중 환자의 80% 이상은 마비된 상지로 인해 기능적 제한을 겪고, 그중의 절반은 만성으로 이어지며, 발병 후 6개월 뒤 기능적 회복을 하는 사례는 일부에 불과하다[2-4]. 상지 움직임 장애의 주된 요인 중 하나는 운동기능 손상이다. 기능적 움직임을 회복을 위해 운동기능 손상의 재

활은 필수적인 과정이다[5]. 뇌졸중 환자의 대표적인 운동기능 손상은 편마비이다[6]. 편마비 환자는 편측의 마비 또는 감각이상 증세를 경험하게 되는데 주로 뇌 병변의 반대측 사지에 나타난다. 편측의 기능 저하는 일상생활의 동작을 어렵게 한다. 비정상적 보행, 실어증, 개인위생 관리의 어려움 등 일상 활동에 부담을 준다. 특히 상지 움직임의 제한으로 유발되는 일상생활활동의 어려움은 사회 활동 참여를 제한하는 요소가 된다[7].

일상생활활동은 상지를 이용한 동작이 대부분이며 가

Received: Nov 21, 2022 Revised: Dec 22, 2022 Accepted: Dec 22, 2022

Corresponding author: Changho Song (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5709-3100>)

Department of Physical Therapy College of Health and Welfare, Sahmyook University

815, Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, Republic of Korea [01795]

Tel: +82-01-8890-1087 Fax: +82-3399-1639 E-mail: chsong@syu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2022 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

장 중요한 요소이다[8]. 특히, 옷을 입거나 음식을 자르고 용변을 처리하기 위해 양손의 참여는 필수적이다. 효과적인 과제 수행을 위해 한 손은 운동성, 다른 한 손은 안정성의 역할을 한다[9]. 하지만 뇌졸중 환자의 대부분은 비마비측만으로 모든 과제를 시도하여 더욱 어려움을 겪는다. 이에 편마비를 가진 뇌졸중 환자의 상지 움직임 기능 회복을 위한 다양한 재활 중재 방안들이 제안되었다[3]. 대표적으로 임상에서 사용되는 중재 방안에는 비마비측의 상지 사용을 제한하여 마비측의 사용을 반복적으로 유도하는 강제 유도 운동치료, 거울 신경원(mirror neuron)을 기반으로 타인의 행동이나 동작을 따라서 훈련하는 동작 관찰 훈련법(action observation training with activity), 거울에 비치는 비마비측의 움직임으로 마비측의 참여를 유도하는 거울치료, 머릿속으로 상상하며 반복적으로 과제의 수행 기술을 연습시키는 상상치료, 신경가소성을 기반으로 하는 중추신경계 발달치료, 가상현실기반 중재법 등이 널리 사용된다[10-12]. 특히, 양손 과제 수행은 편마비 환자의 상지 재활 훈련에 긍정적인 효과가 보고되고 있지만[13-15], 대부분 마비측의 움직임만 유도하는 편측 운동이 상지 재활 프로그램들로 구성되었다. 양손 과제 수행은 비마비측의 움직임과 함께 마비측의 수의적 근수축과 일차 운동영역 및 보조운동영역을 활성화시켜 상지의 회복을 돕는다[16]. 양손 과제 수행은 비대칭적인 근긴장도를 감소시키고 신체의 대칭성을 증가 시킨다[17]. 또한 일상생활 속에서 마비측 상지의 사용을 증가시키며, 일상생활 능력을 촉진 시킨다[18]. 로봇상지 기구의 양손 과제 수행을 편마비를 가진 뇌졸중 환자에게 적용했을 때, 환자의 통증과 강직이 감소되고 상지 기능을 증가시켰다[19]. 또한, 마비측 움직임의 질적인 면과 움직임의 속도에도 유의한 효과가 있었다[20]. 이처럼 양손 과제 수행의 긍정적인 효과는 다양한 뇌졸중 상지 재활 프로그램에 적용되었다[21].

뇌졸중 상지 재활 프로그램의 긍정적인 효과를 측정하기 위해 치료사에 의해 수행되는 임상적 평가 뿐 아니라 전산화된 객관적 평가도구로 근전도가 활용된다[22]. 표재성 근전도는 근활성도를 확인하고 운동기능의 손상을 유추할 수 있게 하는 장비이다. 운동기능의 손상은 기능적 움직임과 긴밀하게 연결되어 있다[23]. 기능적 움직임의 문제는 운동 단위의 기능 소실과 운동 단위의 활성화 비율의 변화를 이유로 들 수 있다[24, 25]. 운동 단위의 생역학적 변화는 근활성도의 변화로 확인될 수 있다. 주동근의 근활성도 감소, 근활성도의 지연, 길항근의 동시 수축 등과 같은 결과들이 대표적인 변화이다[26, 27].

따라서 운동기능의 차이가 존재하는 뇌졸중 편마비 환자의 마비측과 비마비측 상지에서 근전도를 통한 근활성도의 차이로 손상 정도를 파악하고 중재에 활용할 수 있다. 하지만, 뇌졸중 환자의 마비측에 한 손 과제를 적용하고 근활성도를 분석한 연구가 대부분이고, 양손 과제 수행 중에 뇌졸중 환자의 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 근활성도 차이를 비교한 연구는 부족하다. 이러한 연구의 부족은 양손 과제 수행을 기반으로 하는 뇌졸중 상지 중재 프로그램의 효과를 객관화하는데 한계가 있다. 또한 과제 수행 시 양손의 근활성도를 활용하는 재활 중재 장비의 사용과 개발에 어려움을 유발한다. 이에 본 연구는 뇌졸중 환자와 정상인의 여러 가지 양손 과제 수행 시 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 상지 근전도를 바탕으로 근활성도를 비교하고자 한다.

연구방법

연구 대상자

본 연구의 대상자는 서울 송파구의 D 재활병원에 입원 치료 중인 환자들 가운데 일주일간 병원 게시판에 연구의 목적 및 과정을 공지하고, 지원자를 모집하였다. 연구 대상자의 선정기준으로는 발병 6개월이 지난 뇌졸중 편마비가 있는 자, 한국판 간이 정신상태 판별검사(modified mental state examination-Korean, MMSE-K)에서 결과가 24점 이상인 자, 상지 관절의 경직척도검사(modified Ashworth's scale, MAS)가 1점 이하인 자, 마비측 상지의 근력이 3-점(fair-)이상인 자를 실험에 포함했다. 실험에 영향을 미칠 만한 신경학적 질환이 있거나 정형외과적 질환이 없는 환자들을 대상으로 하였고, 심혈관 또는 호흡계 질환으로 인해 능동적 양손 과제 수행에 제한 없는 환자들을 모집하였다. 제외 기준으로는 이전에 뇌졸중을 경험했던 자, 뇌내압이 높은 자, 의자에 앉은 상태로 한 시간 이상 자세를 유지하지 못하는 자, 정신과적 병력이 있는 자, 치매 진단을 받은 자로 하였다. 선정기준에 부합하지 않는 5명의 대상자를 제외하고 최종 13명이 연구 대상자로 선정되었다. 정상인은 실험에 영향을 미칠 만한 신경학적 질환이나 정형외과적 질환이 없고, 심혈관 또는 호흡계 질환이 없는 건강한 성인 남녀 12명이 모집되었고, 총 25명이 연구에 참여하였다. 본 연구의 목적과 과정을 참가자들에게 충분히 설명하였고, 연구 참여 동의서를 제공하였다. 그 후 실험의 목적을 다시 이해시킨 뒤 연구 참여 동의서에 서명하였다. 본 연구는 삼육대학교 생명윤리위원회의 승인(승인번호: SYU2021-10-001-003)을 받았다

실험 절차

본 연구는 단면적 조사연구(cross-sectional study design)로 선정기준에 적합한 편마비 환자 13명, 정상인 12명이 참여하였다. 대상자의 기능 평가는 5년 차 이상의 치료사 2명이 각 2회씩 반복 측정하였다. 대상자의 상지의 근활성도를 측정하기 위해 표면근전도(myosystem 1400A, Noraxon Inc, USA)를 사용하였다. 근전도 전극은 양측 상지의장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근에 부착되어 총 6곳에서 신호를 관찰하였다. 환자의 낙상 위험을 고려하여 팔걸이가 있는 의자에 앉아서 실시하였으며, 최대 수의적 등척성 수축을 낼 수 있는 관절의 중간범위에서 측정하였다. 검사하고자 하는 근육에 표면 근전도 패드를 부착한 상태로 각 근육의 최대 수의적 등척성 수축을 3회씩 측정하였고, 휴식 시간을 5분간 가진 후 본 실험을 시작하였다. 본 실험에서는 검사자의 지시에 따라 무작위로 선정된 양손 과제를 각 5회씩 연속적으로 실시하며 측정하였다

측정 및 평가방법

본 실험에서는 양손 과제로 8가지 과제를 실시하도록 지시하였다. 8가지 양손과제는 손목 들고 내리기(raising the wrists up and down), 손바닥 뒤집기(supinating and pronating the palms), 손끝 어깨 닿기(touching the shoulder with the fingertip), 수직 점찍기(drawing vertical dots), 손 뺀어 컵으로 물먹기(reaching for a cup and bring it in to drink), 바깥으로 원 그리기(drawing a circle outward), 안쪽으로 원 그리기(drawing a circle inward), 손가락 쥐기(grasping the fingers)로 구성되었다. 대상자마다 8가지 과제를 무작위 순서로 실시하였다. 모든 동작은 연속적으로 5회 실시하였고, 1초당 1회 실시하도록 지시하였다. 손목 들기는 전완을 책상 위에 올려놓고, 5회 손목을 신전하도록 지시하였다. 손바닥 뒤집기는 전완을 책상 위에서 회내와 회외를 5회 반복하도록 지시하였고, 손끝 어깨 닿기는 동작은 팔꿈치를 책상 위에 올려둔 채 손바닥이 천장을 보게 한 뒤 팔꿈치를 5회 굽혔다 펴면서 어깨에 손이 닿도록 지시하였다. 수직 점찍기는 책상에 표시된 앞뒤 10 cm 간격의 두 점을 5회 번갈아 가며 위에서 아래로 점을 찍도록 지시하였다. 손 뺀어 컵으로 물먹기는 책상에 놓인 컵을 쥐고 입으로 가져가도록 지시하고 손마다 5회 반복하였다. 바깥으로 원 그리기는 책상에 표시된 점을 중심으로 지름 약 15 cm의 원을 안쪽에서 시작하여 바깥쪽으로 그리듯이 5회 반복하도록 지시하였다. 안쪽으로 원 그리기는 바깥으로 원 그리기와 반대로 5회 반복하도록 지시하였다. 손가락 쥐기는 전완을 책상 위

에 둔 채 고정하고 5회 동안 반복적으로 모든 손가락을 굴곡 후 신전하도록 지시하였다. 앞의 모든 과제는 양손이 동시에 움직이도록 지시하였고, 손 뺀어 컵으로 물먹기 과제는 한 손씩 5회 연속으로 움직이도록 지시하였다

데이터 처리 및 분석

근활성도 측정 및 분석

근활성도를 측정하기 위해 표면근전도(myosystem 1400A, Noraxon Inc, USA)를 사용하였다. 근전도 측정은 최대 수의적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)과 양손 과제를 수행하는 동안 진행되었다. 측정 시 오류를 최소화하기 위해 근전도의 부착 전 깨끗이 알코올로 닦고, 약 2 cm 간격을 유지하면서 각 근육 힘살에 부착하였다. 총 6개의 무선 송신 가능한 근전도를 측정 근육에 부착하였고, 각 근육의 수축할 때 나타나는 전류를 증폭하여 근육의 신호를 수집하였다. 수집된 데이터는 근전도 소프트웨어(myo-research xp master 1.06, Noraxon Inc, USA)로 저장되어 분석되었다. 장요측수근신근과상완이두근의 MVIC를 측정하기 위해서 전완은 중립으로 위치하였고 중력의 효과를 제거하기 위해 상완은 팔걸이 위에 올려놓았다. 어깨와 팔꿈치는 90도로 고정하였고 저항을 전완의몸쪽 방향으로 가하도록 근전도 전극을 부착하였다. 상완삼두근의 MVIC를 측정하기 위해서는 어깨와 팔꿈치는 90도로 고정하여 부착하였다. 저항은 전완의 반대 방향으로 가하였다. 모든 대상자는 동일한 치료사가 MVIC의 평균값을 얻기 위해 대상 근육에 3초간 최대 저항을 주어 총 3회 측정하였다. 각 3회 동작의 근전도 신호에서 전후 0.5초를 제외하고 중간 2초 동안의 평균값을 MVIC로 사용하였고, 뇌졸중 환자와 정상인에게 동일한 방법을 사용하여 측정하였다. 측정된 데이터의 표본 추출률은 2,000 Hz로 설정하였고 20~400 Hz로 대역폭이 설정되었다. 이때 측정되는 근전도 신호를 정류(rectification)후, 평균제곱근(root mean square, RMS)으로 처리하여 얻었다. 뇌졸중 환자의 근활성도는 미리 구해진 MVIC값으로 나누어 백분율로 얻었다. 정상인의 근활성도는 뇌졸중 환자와 같은 방법으로 얻었고 우세 손과 비우세손의 평균값으로 계산하고 사용하였다.

통계 방법

본 연구의 모든 자료는 SPSS 프로그램(version 27.0, spssinc, USA)을 이용하여 산출하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였다. 뇌졸중 환자의 마비

측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 근활성도 비교를 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하고, 사후검정을 실시하였다. 사후검정은 본페로니 방법으로 하였다. 모든 자료는 $p < .05$ 로 통계학적 유의수준을 설정하였다.

연구결과

연구에 참여한 대상자는 편마비 뇌졸중 환자 총 13명으로 남자 10명, 여자 3명이다. 편마비 뇌졸중 환자의 평균 연령은 62.38 ± 14.37 세로 나타났으며, 마비측은 좌측이 6명, 우측이 7명이었다. 한국형 간이정신상태 판별검사의 결과는 26.31 ± 1.44 점이며, 수정바델지수(modified Barthel index, MBI)는 59.46 ± 20.79 점이었다. 푸글마이 어 평가척도(Fugl-Meyer assessment upper limb, FMA)은 50.62 ± 20.08 점으로 나타났다(Table 1).

손목 들기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과

제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 2). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$).

손바닥 뒤집기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 3). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$).

손끈 어깨 당기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 4). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$).

Table 1. General characteristics of the subjects

| Characteristics | Hemiparesis (n=13) | Normal (n=12) |
|------------------------|--------------------|-------------------|
| Gender (male/female) | 10/3 | 8/4 |
| Age (years) | 62.38 ± 14.37 | 41.83 ± 17.23 |
| Affect side (Lt. /Rt.) | 6/7 | 0/12 |
| MMSE-K | 26.31 ± 1.44 | |
| MBI | 59.46 ± 20.79 | |
| FMA (Upper limb) | 50.62 ± 20.08 | |

MMSE-K = mini-mental state examination, MBI = modified Barthel index, FMA = Fugl-Meyer assessment

Table 2. Result of muscle activity of upper extremity during raising the wrist

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------|---------|
| WE (%MVIC) | 61.04 ± 29.18 | 75.64 ± 38.55 | 42.94 ± 17.27 | 5.273 | 0.008* |
| BB (%MVIC) | 6.78 ± 6.01 | 14.11 ± 13.57 | 6.48 ± 4.13 | 4.523 | 0.015* |
| TB (%MVIC) | 5.99 ± 3.65 | 12.33 ± 6.29 | 7.21 ± 4.16 | 10.134 | 0.000** |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

** $p < .001$, * $p < .05$

Table 3. Result of muscle activity of upper extremity during with turning the palm

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------|--------|
| WE (%MVIC) | 37.75 ± 16.97 | 45.98 ± 15.96 | 25.41 ± 13.92 | 7.815 | 0.001* |
| BB (%MVIC) | 18.22 ± 9.32 | 29.40 ± 14.10 | 16.18 ± 11.03 | 7.497 | 0.001* |
| TB (%MVIC) | 9.23 ± 3.61 | 20.63 ± 12.32 | 11.65 ± 8.00 | 10.036 | 0.000* |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

** $p < .001$, * $p < .05$

Table 4. Result of muscle activity of upper extremity during elbow touching the shoulder with the fingertip

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-----------------|---------------|--------------------------|--------|---------|
| WE (%MVIC) | 42.89±23.51 | 42.61±10.84 | 21.98±8.81 | 9.468 | 0.000** |
| BB (%MVIC) | 39.30±16.46 | 53.89±26.45 | 29.57±13.47 | 7.084 | 0.002* |
| TB (%MVIC) | 16.11±7.15 | 29.15±17.68 | 11.40±5.14 | 11.888 | 0.000** |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

**p < .001, *p < .05

수직 점찍기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 5). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다(p < .05).

손 뻗어 컵으로 물먹기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 6). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상

완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다(p < .05).

바깥으로 원 그리기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 7). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다(p < .05).

안쪽으로 원 그리기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 8).

Table 5. Result of muscle activity of upper extremity during making vertical dots

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-----------------|---------------|--------------------------|--------|---------|
| WE (%MVIC) | 33.15±12.17 | 42.71±23.19 | 21.93±11.89 | 6.911 | 0.002* |
| BB (%MVIC) | 25.47±13.80 | 32.69±17.06 | 18.37±7.99 | 4.943 | 0.010* |
| TB (%MVIC) | 19.54±10.89 | 33.77±15.83 | 9.60±5.06 | 19.763 | 0.000** |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

**p < .001, *p < .05

Table 6. Result of muscle activity of upper extremity during reaching out and drinking water from the cup

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-----------------|---------------|--------------------------|-------|---------|
| WE (%MVIC) | 26.96±10.28 | 38.25±16.62 | 20.50±6.16 | 10.35 | 0.000** |
| BB (%MVIC) | 26.75±11.55 | 30.99±11.61 | 19.50±5.91 | 5.687 | 0.006* |
| TB (%MVIC) | 13.72±4.25 | 24.26±16.54 | 18.90±5.00 | 5.359 | 0.007* |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

**p < .001, *p < .05

Table 7. Result of muscle activity of upper extremity during drawing a circle outwards

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-----------------|---------------|--------------------------|--------|---------|
| WE (%MVIC) | 36.83±26.13 | 43.31±24.15 | 18.67±7.15 | 6.084 | 0.004* |
| BB (%MVIC) | 18.64±10.59 | 21.81±8.46 | 13.54±5.13 | 4.253 | 0.019* |
| TB (%MVIC) | 18.50±12.11 | 28.18±12.21 | 8.48±4.30 | 15.944 | 0.000** |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

**p < .001, *p < .05

Table 8. Result of muscle activity of upper extremity during drawing a circle inwards

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-----------------|---------------|--------------------------|-------|--------|
| WE (%MVIC) | 37.52±25.37 | 37.87±24.44 | 21.04±8.86 | 3.400 | 0.040* |
| BB (%MVIC) | 21.72±11.55 | 26.67±9.48 | 17.47±8.96 | 3.871 | 0.027* |
| TB (%MVIC) | 17.44±13.84 | 23.67±11.44 | 9.77±4.20 | 7.249 | 0.002* |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

*p < .05

Table 9. Result of muscle activity of upper extremity during holding the finger

| | Unaffected side | Affected side | Normal both side average | F | p |
|------------|-----------------|---------------|--------------------------|--------|---------|
| WE (%MVIC) | 59.69±21.32 | 76.60±30.89 | 41.40±19.37 | 9.338 | 0.000** |
| BB (%MVIC) | 18.89±8.98 | 29.89±11.42 | 8.04±6.11 | 25.521 | 0.000** |
| TB (%MVIC) | 10.83±4.56 | 16.23±10.63 | 6.41±3.60 | 8.681 | 0.001* |

WE = wrist extensors, BB = biceps brachii, TB = triceps brachii

**p < .001, *p < .05

양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다(p < .05).

손가락 쥐기로 편마비 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 발생한 근활성도를 최대 수의적 등척성 수축에 비례하여 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 평균을 비교한 값은 다음과 같다(Table 9). 양손 과제 수행 시 장요측수근신근, 상완이두근, 상완삼두근의 근활성도는 유의한 차이를 나타냈다(p < .05).

논의

본 연구에서는 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 나타나는 상지 근전도를 관찰하고, 최대 수의적 등척성 수축을 바탕으로 뇌졸중 환자의 마비측과 비마비측 그리고 정상인 양측 상지의 근활성도 차이를 확인하고자 하였다. 그 결과 양손으로 과제를 수행하는 동안 모든 과제에서 장요측수근신근과상완이두근 그리고 상완삼두근은 뇌졸중 환자의 마비측 근활성도가 비마비측과 정상인의 양측 평균에 비해 높은 것을 확인하였다. 또한 대부분의 양손 과제에서 뇌졸중 환자의 손상 받지 않은 비마비측도 정상인의 양측 평균보다 높은 근활성도가 나타나는 것을 확인하였다. 근전도는 뇌졸중 환자의 근육과 운동신경을 제어하는 신경세포의 손상을 알아 볼 수 있는 방법 중 하나이다[28]. 패드를 통해 근육이 수축하거나 이완할 때 운동신경이 보내는 신호를 수집하는 비침습적이며, 비교적 쉬운 측정 기술로 널리 사용된다[22]. 본 연구는 뇌졸중 환자와 정상인에게 양손 과제 훈련을 제시하여 양측 상지의 움직임은 동일하게

수행하도록 지시하였고, 근전도를 통해 양측 상지의 장요측수근신근과상완이두근, 상완삼두근 각 지점에서 발생하는 근활성도를 관찰하였다. 근전도에서 온 신호를 정류하고, Lim 등[22]의 연구방법에 따라 평균 제곱근법(root mean square)을 이용하여 데이터를 수집하고 근활성도를 비교한 결과, 뇌졸중 환자의 마비측 장요측수근신근과상완이두근, 상완삼두근은 연구에서 제시한 8 가지 과제 수행 모두에서 비마비측과 정상인의 양측에 비해 상대적으로 더 큰 %MVIC를 보이는 것으로 나타났다. Moritani와 Muro[29]의 연구에서 표면 근전도의 신호를 분석했을 때 근육의 수축이 증가함에 따라 근활성도가 증가한다고 보고하였다. Lee 등 [30]은 뇌졸중 환자에게 마비측 손을 뺀어 컵으로 마시는 동작을 지시하고 근전도를 데이터를 수집한 연구에서 마비측과비마비측의 %MVIC 모두에서 유의한 차이를 보고하여 본 연구의 결과와 같았다. 특히 장요측수근신근이 손목 들기와 손바닥 뒤집기, 수직 점 찍기, 손 뺀어 컵으로 물 먹기, 바깥으로 원 그리기, 안쪽으로 원그리기, 손가락 쥐기 과제에서 가장 높은 근활성도가 나타났다. 이는 뇌졸중 이후 편마비 환자의 마비측에서 전형적으로 나타나는 비정상적인 주동근의 활동에 따라 나타나는 것으로 이해할 수 있다. McCrea 등 [31]은 과제 훈련에 관련된 근육이 충분한 힘을 발생시키지 못하면 과제를 완료하기 위해 추가적인 근활성화를 요구하는 보상적인 근육의 전략이 나타난다고 보고한 바 있다. 따라서 선행 연구를 통해 본 연구의 결과를 살펴보면 뇌졸중 편마비 환자는 양손 과제 수행에서 마비측의 참여를 높이기 위한 과도한 근수축 노력이 비마비측 상지보다 더 큰 %MVIC를 유발한 것으로 생각된다. 하지만 Lim 등

[22]의 연구에서 전자파를 통해 뇌졸중 환자 상지의 근전도를 확인한 결과 근활성도가 증가하는 것에 따라 재활이 성공적으로 이어지는 것을 확인할 수 있었다. Wagner 등 [32]의 연구에서는 뇌졸중 환자의 상지 회복과정에서 근활성도를 추적하였는데, 초기의 근활성도 증가는 중요하며, 상지 기능이 개선되면서 %MVIC의 감소는 상대적으로 노력의 감소로 이어지고, 이는 움직임의 효율성의 증가와 관련된다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 뇌졸중 환자의 마비측에서 관찰되는 근활성도가 상대적으로 크게 나오는 결과는 재활의 긍정적인 과정으로 이해할 수 있다. 따라서 재활 중재에서 양손 과제를 통해 근활성화를 이끌어내고, 이후 효율성의 증가를 나타내는 %MVIC의 감소가 이루어질 수 있도록 적절하고 지속적인 재활 중재가 요구되어 진다. 본 연구의 결과 뇌졸중 환자의 마비측 상지뿐만 아니라 비마비측도 대부분의 과제에서 정상인보다 높은 %MVIC를 보이는 것으로 나타났다는데, 이는 반대측 효과(contralateral effects)로 이해할 수 있다. 반대측 효과는 한쪽의 운동이 운동하지 않은 다른 부위에도 영향을 준다는 개념이다[33]. Shima 등 [34]의 연구에서도 근전도를 통해 한쪽에 저항이 있는 훈련을 적용하면 반대쪽에서도 근력이 변화한다고 보고하였다. Bemben 등 [35]도 훈련받지 않은 사지의 근력 증가가 반대쪽 훈련의 결과와 관련된다고 보고하였고, Song 등 [36]의 연구에서도 신경계가 반대측 효과에 관여하고 있음을 보고하였다. 신경학적으로 움직임의 조절을 위해 뇌는 운동 계획(motor plans)과 전략(strategies)을 만들고 뇌간(brainstem)에서 시작하는 하행 운동 전도로(descending motor pathways)를 통해 정보를 전달하는데 이때 교차하지 않는 일부 경로의 정보가 전달되는 것으로 알려져있다[37]. 본 연구에서 뇌졸중 환자의 비마비측이 정상인보다 %MVIC가 높게 나오는 이유는 조절이 어려운 마비측의 움직임을 위해 넘치는 정보가 전달되고 반대측인 비마비측에도 영향 주었을 것으로 예상된다. 양손 과제를 통한 재활 중재는 뇌졸중 환자의 마비측 기능 개선에 중요하다. Renner 등 [38]은 양손의 과제를 통한 움직임이 대뇌반구에서 운동 유발 전위(motor evoked potential)가 높아지고 활성도가 증가한다고 보고하였다. Mudie와 Matyas [39]은 비마비측과 함께 양손을 움직일 때 마비측의 대뇌반구 활성도가 증가하고, 상지의 운동이 증가하는 것을 확인하였다. Luft 등 [40]도 양손을 이용한 중재그룹에서 손 기능 뿐 아니라 감각운동영역과 소뇌가 활성화 된다고 보고하였다. 그리고 Park과 Lee [41]의 연구에서 양손을 이용한 움직임에서 대뇌반구의 활성이 커지고 재활에 긍정적인 효과를 가지고 올 것이라고 보고한 바 있다. 또한 뇌졸중 환자에서 양손의 움직임이 속도와 형태가

일치하게 반복적으로 작용할 때 효과적이며, 양손의 움직임이 대칭적일 때 대뇌의 양측반구의 신경망들이 활성화되고 근활성도가 증가한다고 알려져 있다[42, 43]. Stinear와 Byblow [44]의 연구에서도 한 손 과제 훈련은 동측 대뇌반구의 활성화를 억제하지만, 양손 과제 수행 시 양측반구의 활성화뿐 아니라 반구 사이의 억제가 감소되어 회복되는 것으로 확인되었다. 따라서 뇌졸중 환자의 상지 기능 개선에 양손 과제는 중요하며, 임상에서 중재를 계획하는 데 있어 신경학적 이해와 근활성도가 중요한 의미를 가진다고 사료된다. 다만, 본 연구는 다음과 같은 제한점을 가진다. 첫째, 모집된 연구 대상자는 특정 지역의 병원에 입원중인 13명을 대상으로 하여 연구의 결과를 객관화하는 데 한계를 가진다. 이후 충분한 연구 대상자를 확보하고 보다 객관화된 연구가 필요하다. 둘째, 중재를 통한 양손 과제의 효과를 비교하지 않고 양손의 과제 수행 중 뇌졸중 환자의 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 양측 근활성도의 차이를 비교하였기 때문에 중재 효과를 통해 나타나는 결과값에 대한 추적이 필요하다. 셋째, 대상자의 상지 근력이 Fair 이상인 자로 구성되어 모든 뇌졸중 편마비 환자의 상지 근활성도를 일반화하기에는 제한이 있다. 넷째, 일상에서 이루어지는 다양한 과제에 대한 동작별 근활성도 측정이 이루어지지 못하였고, 연구에서 사용된 표면 근전도 장비의 특성상 관절의 큰 동작을 일으키는 근육에 대해서만 근활성도를 측정하여 상지 근육의 전체를 이해하기에는 한계가 있다. 본 연구는 뇌졸중 환자의 양손 과제 수행 시 나타나는 뇌졸중 환자의 마비측과 비마비측 그리고 정상인의 근활성도(%MVIC)를 비교하였고, 뇌졸중 환자의 마비측에 더욱 큰 근활성도가 나타나는 것을 확인하였다. 또한 근활성도를 통해 마비측 근육의 효율성과 반대측 효과를 이해할 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과를 통해 나타난 8가지 과제에서의 근활성도를 바탕으로 마비측의 움직임을 이해하고, 기능을 회복하려는 중재적 시도가 필요할 것으로 사료된다. 또한 근활성도를 활용하는 재활 중재 장비의 개발이나 보다 객관화된 임상적 평가에 대한 기초 자료로 활용되길 기대한다.

결론

본 연구의 목적은 뇌졸중 환자와 정상인의 양손 과제 수행 시 나타나는 상지의 근활성도를 알아보는 것이다. 뇌졸중 환자의 마비측 장요측수근신근과상완이두근, 상완삼두근은 연구에서 제시한 8가지 과제 수행 모두에서 비마비측과 정상인의 양측에 비해 상대적으로 더 큰 근활성도를 보이는 것으로 나타났다($p < .05$). 또한 장요측

수근신근은 대부분의 과제에서 가장 높은 근활성도가 나타났다. 그리고 비마비측도 정상인보다 높은 근활성도가 나타났다. 본 연구의 결과를 통해 나타난 양손 과제 수행 시 근활성도를 이해하고, 임상에서 다양하고 적절한 중재적 시도가 이루어지길 기대하며, 근활성도를 활용하는 재활 중재 장비 개발이나 보다 객관화된 평가에 대한 기초 자료로 활용되길 기대한다.

참고문헌

- Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, Arnett DK, Blaha MJ, Cushman M, et al. Heart disease and stroke statistics—2015 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 2015;131(4):e29-e322.
- Santesteban L, Térémetz M, Bleton JP, Baron JC, Maier MA, Lindberg PG. Upper limb outcome measures used in stroke rehabilitation studies: a systematic literature review. *PloS one*, 2016;11(5): e0154792.
- Pollock A, Farmer SE, Brady MC, Langhorne P, Mead GE, Mehrholz J, van Wijck F. Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014.
- Buma F, Kwakkel G, & Ramsey N. Understanding upper limb recovery after stroke. *Restor Neurol Neurosci.*, 2013;31:707-722.
- Hatem, S. M., Saussez, G., Della Faille, M., Prist, V., Zhang, X., Dispa, D., & Bleyenheuft, Y. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Front Hum Neurosci.* 2016;10:442.
- Schwarz A, Kanzler CM, Lamercy O, Luft AR, Veerbeek JM. Systematic review on kinematic assessments of upper limb movements after stroke. *Stroke*, 2019;50:718-727.
- Thrift AG, Cadilhac DA, Thayabaranathan T, Howard G, Howard VJ, Rothwell PM, Donnan GA. Global Stroke Statistics. *Int J Stroke*, 2014;9:6-18.
- Habibi E, Kazemi M, Dehghan H, Mahaki B, Hassanzadeh A. Hand pinch and pinch strength: Effects of workload, hand dominance, age, and body mass index. *Pak J Med Sci*, 2013;29:363-367.
- Schaefer SY, Mutha PK, Haaland KY, Sainburg RL. Hemispheric specialization for movement control produces dissociable differences in online corrections after stroke. *Cereb Cortex*, 2012;22:1407-1419.
- Zentgraf K, Stark R, Reiser M, Kqnzells, Schienl A, Kirsch P. et al. Differential activation of pre-SMA and SMA proper during action observation: Effects of instructions. *Neuroimage*, 2005;26:662-672.
- Braun SM, Beurskens AJ, Borm PJ, Schack T, Wade DT. The effects of mental practice in stroke rehabilitation: A systematic review. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006;87:842-852.
- Perez-Marcos D, Chevalley O, Schmidlin T, Garipelli G, Serino A, Vuadens P, Millán JDR. Increasing upper limb training intensity in chronic stroke using embodied virtual reality: a pilot study. *J NeuroengRehabil*, 2017;14:1-14.
- Rose DK, Winstein CJ. Bimanual training after stroke: are two hands better than one?. *Top Stroke Rehabil*, 2004;11:20-30.
- Brunner IC, Skouen JS, Strand LI. Is modified constraint-induced movement therapy more effective than bimanual training in improving arm motor function in the subacute phase post stroke? A randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 2012;26: 1078-1086.
- Meng G, Meng X, Tan Y, Yu J, Jin A, Zhao Y. et al. Short-term efficacy of hand-arm bimanual intensive training on upper arm function in acute stroke patients: a randomized controlled trial. *Front Neurol*, 2018;8: 726.
- Sainburg RL, Good D, Przybyla A. Bilateral synergy: a framework for post-stroke rehabilitation. *J Neurol TranslNeurosci*, 2013;1:1025
- McCombe Waller S, Whittall J, Jenkins T, Magder LS, Hanley DF, Goldberg, A. et al. Sequencing bilateral and unilateral task-oriented training versus task oriented training alone to improve arm function in individuals with chronic stroke. *bmc neurol*, 2014;14(1):1-9.
- Kantak S, Jax S, Wittenberg G. Bimanual coordination: A missing piece of arm rehabilitation after stroke. *Restor Neurol Neurosci*, 2017;35:347-364.
- Hsieh YW, Wu CY, Wang WE, Lin KC, Chang KC, Chen CC, Liu CT. Bilateral robotic priming before task-oriented approach in subacute stroke rehabilitation: a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 2017;31:225-233.
- Kim S, Park H, Han CE, Winstein CJ, Chweighofer

- N. Measuring habitual arm use post-stroke with a bilateral time-constrained reaching task. *Front Neurol*, 2018;9:883.
21. Van Delden ALE, Peper CLE, Nienhuys KN, Zijp N. I, Beek PJ, Kwakkel G. Unilateral versus bilateral upper limb training after stroke: the Upper Limb Training After Stroke clinical trial. *Stroke*, 2013;44:2613-2616.
 22. Lim CC, Sim KS, Tan SC, Yeoh ZS. Determination of Muscle Power Using RMS of Electromyography for Stroke Survivors. *Information Science and Applications*. Springer; 2021.
 23. Canning CG, Ada L, O'Dwyer NJ. Abnormal muscle activation characteristics associated with loss of dexterity after stroke. *J Neurol Sci*, 2000;176:45-56.
 24. McComas A, Sica R, Upton A, Aguilera N. Functional changes in motoneurons of hemiparetic patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry Res*, 1973;36:183-193.
 25. Frontera WR, Grimby L, Larsson, L. Firing rate of the lower motoneuron and contractile properties of its muscle fibers after upper motoneuron lesion in man. *Muscle Nerve*, 1997;20:938-947.
 26. Kamper DG, Rymer WZ. Impairment of voluntary control of finger motion following stroke: role of inappropriate muscle coactivation. *Muscle Nerve*, 2001;24:673-681.
 27. Chae J, Yang G, Park BK, Labatia I. Delay in initiation and termination of muscle contraction, motor impairment, and physical disability in upper limb hemiparesis. *MuscleNerve*, 2002;25:568-575.
 28. Young L. In: *The study of electromyography (EMG)*. Mill Valley: Science University; 2001.
 29. Moritani T, Muro M. Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl PhysiolOccupPhysiol*, 1987;56:260-265.
 30. Lee JA, Hwang PW, Kim EJ. Upper extremity muscle activation during drinking from a glass in subjects with chronic stroke. *J Phys Ther Sci*, 2015;27:701-703.
 31. McCrea PH, Eng JJ, Hodgson AJ. Saturated muscle activation contributes to compensatory reaching strategies after stroke. *J Neurophysiol*, 2005;94: 2999-3008.
 32. Wagner JM, Dromerick AW, Sahrman SA, Lang CE. Upper extremity muscle activation during recovery of reaching in subjects with post-stroke hemiparesis. *Clin Neurophysiol*, 2007;118:164-176.
 33. Munn J, Herbert RD, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *J Appl Physiol*, 2004;96: 1861-1866.
 34. Shima N, Ishida K, Katayama K, Morotome Y, Sato Y, Miyamura M. Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol*, 2002;86:287-294.
 35. Bemben MG, Murphy RE. Age related neural adaptation following short term resistance training in women. *J Sports Med Phys Fitness*, 2001;41:291.
 36. Song Y, Forsgren S, Yu J, Lorentzon R, Stål PS. Effects on contralateral muscles after unilateral electrical muscle stimulation and exercise. *PLoS One*, 2012;7:e52230.
 37. Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
 38. Renner CI, Woldag H, Atanasova R, Hummelsheim H. Change of facilitation during voluntary bilateral hand activation after stroke. *J Neurol Sci*, 2005;239:25-30.
 39. Mudie MH, Matyas TA. Can simultaneous bilateral movement involve the undamaged hemisphere in reconstruction of neural networks damaged by stroke? *DisabilRehabil*, 2000;22:23-27.
 40. Luft AR, McCombe-Waller S, Whittall J, Forrester LW, Macko R, Sorkin JD. et al. Repetitive bilateral arm training and motor cortex activation in chronic stroke: a randomized controlled trial. *JAMA*, 2004; 292:1853-1861.
 41. Park JH, Lee SG. Effect of bilateral arm movement on brain and muscle activity in chronic stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*, 2018;13:1-9.
 42. Kelso JAS, Southard DL, Goodman D. On the nature of human interlimb coordination. *Science*, 1979;203:1029-1031.
 43. Swinnen SP, Wenderoth N. Two hands, one brain: Cognitive neuroscience of bimanual skill. *Trends Cogn Sci*, 2004;8:18-25.
 44. Stinear JW, Byblow WD. Rhythmic bilateral movement training modulates corticomotor excitability and enhances upper limb motricity poststroke: a pilot study. *J Clin Neurophysiol*, 2004;21:124-131.