

# Effects of Contralateral Seventh Cervical Nerve Transfer on Upper Extremity Motor Function in the Patients with Spastic Hemiplegia after Stroke: a Retrospective Cohort Study

Wonjae Choi<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Department of Physical Therapy, Joongbu University, Republic of Korea

**Objective:** Contralateral seventh cervical nerve transfer (contralateral C7 transfer) is a newly attempted method to restore upper extremity motor function in the patients with spastic arm paralysis. The aim of this study was to investigate the effects of contralateral C7 transfer on upper extremity motor function in the patients with spastic hemiplegia after stroke.

**Design:** A retrospective cohort study.

**Methods:** Thirty-four patients with spastic hemiplegia after stroke was investigated. All patients registered between January 2020 and February 2021. The subjects were assessed on upper extremity motor function, cognition, and spasticity before and after contralateral C7 transfer. The upper extremity motor function was measured using the Fugl-Meyer upper extremity scale and box & block test. The cognition and spasticity were assessed by Korean version mini mental state examination (K-MMSE) and modified Ashworth scale from baseline to 8 weeks after the surgery.

**Results:** The Fugl-Meyer upper extremity scale and modified Ashworth scale were significantly improved after contralateral C7 transfer ( $p < 0.05$ ). However, box & block test and K-MMSE were no significant changes after the surgery ( $p > 0.05$ ).

**Conclusions:** This study suggested that the contralateral C7 transfer was a feasible and practical approach to improve upper extremity motor function in the patients with spastic hemiplegia after stroke, but further study is required to identify the long-term effects after the contralateral C7 transfer.

**Key Words:** Stroke, Nerve regeneration, Upper extremity, Motor function, Spasticity

## 서론

뇌졸중은 성인에게 발생 가능한 신경학적 손상 중 가장 일반적인 질환으로 세계적으로 높은 발병률을 보이고 운동기능 손상, 감각 장애, 균형 및 보행 능력의 저하가 나타난다[1, 2]. 뇌졸중 환자들이 일상생활로 회복하기 위해서는 하지의 기능 개선을 위한 재활뿐만 아니라 상지 재활도 필요하다[3]. 초기 재활에서 환자의 욕구가 하지 기능 개선에 있고 일상생활 중 기립, 보행, 계단 보행과 같이 마비측 하지의 사용이 마비측 상지보다 많기 때문에 상지의 기능 회복이 늦춰지게 된다[4].

뇌졸중 환자들 중 50~60%는 일반적인 재활 이후에

도 운동 기능의 소실을 보이고 50%는 일상생활의 어려움이 발생한다[5]. 따라서, 뇌졸중 환자의 기능 개선을 위해 새로운 중재 기법들이 개발되어 왔다. 특히, 뇌졸중 환자의 상지 기능의 개선을 위해 가상 현실 훈련[6], 강제 유도 운동치료(Constraint-induced movement therapy, CIMT)[7], 거울 치료[8], 로봇 보조 재활[9]과 같은 방법들이 적용되어 왔고 최근에는 제7번 목뼈신경 전위술(contralateral C7 transfer)를 이용하여 뇌졸중 환자의 상지 기능을 개선시키기 위한 시도가 있다[10, 11].

제7번 목뼈신경 전위술은 1986년에 Gu 등[12]에 의해서 위팔신경얼기 재건을 위해 처음 시도된 방법으로

Received: Dec 13, 2022 Revised: Dec 22, 2022 Accepted: Dec 22, 2022

Corresponding author: Wonjae Choi (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2232-6744>)

Department of Physical Therapy, Joongbu University

201, Daehak-ro, Chubu-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Tel: +82-41-750-6715 Fax: +82-41-750-6166 E-mail: wjchoi@joongbu.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

정상측 제7번 목뼈신경 뿌리를 손상측으로 연결하여 정중신경의 회복을 목적으로 시행되었다[13]. 이 후 Zheng 등[11]에 의해 처음으로 경직성 마비를 가진 환자에게 제7번 목뼈신경 전위술을 적용하여 비마비측 제7번 목뼈신경 뿌리를 공여 신경으로 마비측 제7번 목뼈신경 뿌리로 연결하였다. 그 결과 마비측 상지의 경직이 감소하고 관절가동범위가 증가하였다. Yu 등[14]의 연구에서는 경직성 편마비 환자에게 제7번 목뼈신경 전위술을 적용한 결과 장딴지근의 깃각(pennation angle)이 증가하고 마비측 발바닥의 체중 분포가 앞발에서 뒤쪽 발로 이동하였다고 보고하였다. 이처럼 제7번 목뼈신경 전위술은 상지뿐만 아니라 하지에도 영향을 줄 수 있다.

제7번 목뼈 신경 전위술과 관련된 선행 연구들이 경직성 편마비 환자의 기능 개선에 효과가 있다는 연구가 보고되고 있지만, 경직성 편마비 환자로 선정된 대상으로 뇌졸중, 뇌성마비, 외상성 뇌손상 환자들을 모두 포함하여 연구를 진행하였다. 따라서, 본 연구에서는 뇌졸중으로 경직성 편마비가 된 환자에게 제7번 목뼈신경 전위술을 적용한 결과 상지 운동 기능에 미치는 효과를 후향적 코호트 조사를 통해 알아보려고 한다.

## 연구 방법

### 연구대상자 및 연구절차

본 연구는 후향적 코호트 조사 설계로 2020년 1월부터 2021년 2월까지 서울 소재의 K병원에 내원한 뇌졸중 환자를 대상으로 조사되었다. 제7번 목뼈신경 전위술을 받은 뇌졸중 환자 중 아래 선정기준을 만족하는 대상자가 선정되었다. 선정기준은 뇌졸중 발병 후 3년 이상 경직성 편마비를 가지고 있는 자, 한국간이정신상태 검사 시 24점 이상의 인지기능을 가진 자, 마비측 상지의 손목 경직도(modified Ashworth scale, MAS)가 1 이상인 자, 수술 후 합병증이 없는 자로 하였다. 제외기준은 마비측 상지에 다른 외과적 수술을 받은 자, 상지의 심한 구축과 같은 근골격계의 변형이 있는 자, 추적 관찰이 이루어지지 못한 자로 하였다. 선정기준과 제외기준 모두 Zheng 등[11]의 연구와 Yu 등[14]의 연구에서 제시한 기준을 본 연구에 맞게 수정하여 설정하였다.

### 연구절차

코호트 조사 기간 동안 K병원에 제7번 목뼈신경 전위술을 받기 위해 내원한 뇌졸중 환자는 83명이었다. 제7번 목뼈신경 전위술을 받을 수 있는 대상자인지 확인하기 위해 물리치료사에 의해 상지 운동기능 검사, 인지

기능검사, 상지 경직도 검사를 진행하였다. 상지 운동기능 검사로 푸글-마이어 검사(Fugl-Meyer assessment)와 상자와 나무토막 검사(box and block test)를 실시하였고, 인지기능검사로 한국판 간이정신상태 검사도구(Korean version mini mental state examination, K-MMSE)가 사용되었으며 경직도는 수정된 애쉬워스 척도(MAS)를 사용하여 측정하였다. 검사 결과 한국판 간이정신상태 검사 24점 미만 13명, 뇌졸중 이후 3년 이내 환자 11명, 상지의 높은 경직도로 인해 이완 주사를 맞은 4명, 상지의 이완성 마비 환자 6명, 추적 관찰되지 않은 자 15명은 제외되어 총 34명의 대상자가 선정되었다. 대상자들은 제7번 목뼈신경 전위술을 받고 8주 후 사전 검사와 동일하게 사후검사를 진행하였다.

## 증재방법

### 제7번 목뼈신경 전위술

제7번 목뼈신경 전위술은 목 뒤쪽에 약 15 cm 가로 절개하여 양쪽의 위팔신경얼기(brachial plexus)의 신경들이 노출되도록 한다. 마비측 제7번 목뼈신경은 척추 사이구멍 근처에 있는 몸쪽부위를 자르고, 비마비측 제7번 목뼈신경은 먼쪽부위를 잘라 마비측 제7번 목뼈신경과 연결한다[11]. 이와 같이 제7번 목뼈신경 전위술은 신경 끝과 끝을 연결하는 신경봉합술로 미세신경 수술이다. 환자들은 수술 이후 4주동안 마비측 상지를 고정하기 위해 머리-팔 보조기를 착용한다. 4주 이후부터는 마비측 상지의 재활을 위해 물리치료, 작업치료, 기능적 훈련, 마사지와 같은 재활을 시작한다[14]. 본 연구의 대상자들은 4주 이후 인근 D 재활병원에서 물리치료사에 의해 재활치료를 받았다.

## 측정도구

### 푸글-마이어 검사(Fugl-Meyer assessment)

본 연구에서 상지 운동 기능을 평가하기 위해 푸글-마이어 상지 운동 기능 검사를 사용하였다. 푸글-마이어 검사는 뇌졸중 이후 운동 기능을 평가하기 위해 널리 사용되고 있으며 하위 평가 항목으로 운동 기능, 협응과 속도, 감각, 관절 가동범위, 통증이 있다. 각 측정 항목 별로 3점 척도로 되어 있으며 상지 운동 기능 평가 하위항목은 33개로 66점, 하지 운동 기능 평가 항목은 17개로 34점 총 100점 만점이다[15]. 푸글-마이어 상지 운동 기능 검사는 운동 기능 66점 이외에도 감각 12점, 관절 가동 범위 24점, 통증 24점으로 평가되며 평가자간 신뢰도는 0.97 ~ 0.99로 높은 신뢰도를 가지고 있다 [16].

### 상자와 나무토막 검사(box and block test)

상자와 나무토막 검사는 손의 대동작 조작 능력을 검사하는 도구로 상자 안에 가로, 세로 2.5 cm 크기의 나무토막을 엄지와 검지를 사용하여 60초 동안 옮긴 개수를 측정한다[6]. 상자는 칸막이에 의해 이등분되어 있으며 한쪽에서 다른 한쪽으로 옮기게 된다. 나무토막은 한 번에 1개씩만 옮기도록 지시하였으며 2개 이상 옮겨 지더라도 1개로 계산되었다. 상자와 나무토막 검사의 평가자간 신뢰도는 0.99로 높은 신뢰도를 가지고 있다[16].

### 한국판 간이정신상태 검사(K-MMSE)

간이정신상태 검사도구는 인지 기능을 평가하기 위한 도구로 치매 유무를 판별하거나 뇌졸중 환자의 인지 기능 손상 정도를 확인하기 위해 널리 사용되고 있다[17]. 하위 평가 항목으로 지남력, 기억 등록, 주의집중 및 계산, 기억 회상, 언어 및 시공간 구성이 있으며 총 30점이다. 한국판 간이정신상태 검사도구의 신뢰도는 0.84로 높은 신뢰도를 가지고 있다[18].

### 수정된 애쉬워스 척도(MAS)

뇌졸중 환자의 경직(spasticity)을 평가하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 평가 도구가 수정된 애쉬워스 척도이다. 대상자는 검사 전 바로 누운 자세에서 10분 간 휴식을 취한 후 검사자가 각 관절을 1초 이내의 짧은 시간 수동적으로 신장시켜 근육의 경직도를 평가한다[19]. 본 연구에서는 팔꿈관절, 손목관절, 2~5번째 손가락, 엄지손가락의 굽힘 근육에 대한 경직도를 평가하였다. 수정된 애쉬워스 척도는 6점 척도로 0은 저항없음, 1은 끝범위에서 약간의 저항 증가, 1+는 중간 범위부터 약간의 저항 증가, 2는 전 범위에서 저항 증가, 3은 수동적인 신장이 어려울 정도의 저항 증가, 4는 굽힘과 펴

에 대한 강직(rigidity)으로 평가된다. 수정된 애쉬워스 척도의 평가자간 신뢰도는 팔꿈관절 0.81 ~ 0.89, 손목관절 0.84 ~ 0.89로 높게 나타났다[20].

### 자료분석

본 연구의 통계 분석은 SPSS ver. 21.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 사용하여 수행되었다. Shapiro-Wilk 검정을 이용하여 정규성을 분석한 결과 모든 자료가 정규 분포하여 연구 결과 대표값으로 평균과 표준편차를 사용하였다. 제7번 목뼈신경 전위술에 따른 상지 운동기능, 인지 기능, 근 긴장도의 변화를 비교하기 위해 대응 t검정이 사용되었다. 모든 통계학적 유의수준은 0.05로 설정하였다.

### 연구결과

#### 일반적 특성

본 연구에서 분석된 대상자는 총 34명으로 남자 23명, 여자 11명이었다. 평균 나이는 50.18세, 편마비는 오른쪽 편마비 20명과 왼쪽 편마비 14명, 뇌 손상 유형으로 뇌경색 26명과 뇌출혈 8명, 유병기간은 4.65년, 한글판 간이정신상태 검사는 27.85점이었다(Table 1).

#### 상지 운동 기능

제7번 목뼈신경 전위술을 받기 전과 후의 상지 운동 기능을 평가한 결과, 푸글-마이어 상지 운동 기능은 운동 기능과 감각에서 유의한 향상이 있었다( $p < 0.05$ ). 특히, 운동 기능의 하위 항목 중 상지와 손의 기능에서 유의한 향상이 있었다( $p < 0.05$ ). 하지만 관절가동범위, 관절 통증, 상자와 나무토막 검사에서는 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ )(Table 2).

**Table 1.** The general characteristics of participants.

Variables	Participants (n = 34)
Sex (male / female)	23 / 11
Age (years)	50.18 ± 5.58
Hemiplegic side (Right / Left)	20 / 14
Stroke type (Infarction / Hemorrhage)	26 / 8
Duration (years)	4.65 ± 1.18
K-MMSE (points)	27.85 ± 2.56

Values are presented as mean ± SD.

K-MMSE; Korean version mini mental state examination.

**Table 2.** Change of upper extremity function in the subjects before and after contralateral seventh cervical nerve transfer.

Variables	Pre-operative (n=34)	Post-operative (n=34)	t(p)
<b>Fugl-Meyer score</b>			
Motor function	26.09 ± 12.51	29.06 ± 13.51	-5.237 (<0.001)
Upper extremity	18.15 ± 6.84	20.29 ± 7.30	-4.659 (<0.001)
Wrist	1.00 ± 2.65	1.38 ± 3.07	-1.888 (0.068)
Hand	3.03 ± 4.28	3.47 ± 4.41	-2.450 (0.020)
Coordination / speed	3.91 ± 0.71	3.85 ± 0.82	0.812 (0.422)
Sensation	7.29 ± 3.30	8.06 ± 2.71	-2.862 (0.007)
Passive joint motion	21.91 ± 1.88	21.94 ± 1.41	-0.100 (0.921)
Joint pain	22.74 ± 1.79	22.18 ± 1.50	1.603 (0.118)
<b>Box &amp; block test</b>	2.67 ± 6.52	3.36 ± 6.68	-1.465 (0.153)

Values are presented as mean ± SD.

**Table 3.** Change of cognitive function and spasticity in the subjects before and after contralateral seventh cervical nerve transfer.

Variables	Pre-operative (n=34)	Post-operative (n=34)	t(p)
<b>K-MMSE (point)</b>	27.85 ± 2.56	28.15 ± 2.23	-1.094 (0.282)
<b>MAS (grade)</b>			
Elbow	0 (0), 1 (4), 1+ (28), 2 (1), 3(1), 4(0)	0 (3), 1 (12), 1+ (19), 2 (0), 3(0), 4(0)	3.908 (<0.001)
Wrist	0 (0), 1 (13), 1+ (18), 2 (2), 3(0), 4(1)	0 (14), 1 (15), 1+ (5), 2 (0), 3(0), 4(0)	6.569 (<0.001)
Fingers 2-5	0 (0), 1 (6), 1+ (9), 2 (9), 3(9), 4(1)	0 (11), 1 (13), 1+ (6), 2 (4), 3(0), 4(0)	7.025 (<0.001)
Thumb	0 (0), 1 (16), 1+ (11), 2 (6), 3(1), 4(0)	0 (14), 1 (15), 1+ (2), 2 (3), 3(0), 4(0)	5.398 (<0.001)

Values are presented as mean ± SD.

K-MMSE; Korean version mini mental state examination, MAS; modified Ashworth scale.

## 인지와 경직

한국판 간이정신상태 검사는 제7번 목뼈신경 전위술을 받기 전과 후로 유의한 차이는 없었지만( $p > 0.05$ ), 수정된 애쉬워스 척도로 경직을 평가한 결과 모든 관절에서 유의한 감소가 나타났다( $p < 0.05$ )(Table 3).

## 고찰

본 연구에서는 경직성 편마비를 가진 뇌졸중 환자에게 제7번 목뼈신경 전위술이 상지 운동 기능에 미치는 효과를 조사한 결과 뇌졸중 환자의 상지 운동 기능과 경직을 유의하게 향상시킬 수 있었다. 뇌졸중 환자의 상지 운동 기능에 영향을 미치는 요인으로 근육의 약화 또는 마비, 손상된 협응기능이나 고유수용성감각, 통증, 경직이 있다[21, 22]. 특히, 경직은 뇌졸중 환자의 수의적인 움직임을 방해하고 구축이나 관절의 기형을

유발하여 일상생활에서 어려움을 초래한다[23]. 제7번 목뼈신경 전위술은 간단하고 효과적이며 안전한 외과적 기술로 경직성 편마비 환자의 경직을 감소시킴으로 상지 기능을 개선시키는데 유의한 효과를 가지고 있다[10, 24].

사람의 대뇌반구는 걸질척수로를 통해 주로 반대쪽 신체부위의 운동 기능을 조절하고 같은 쪽 신체부위의 신경지배는 적다[25]. 중추신경계의 재생은 현대 의학으로는 불가능하기 때문에 뇌졸중으로 인한 운동 기능의 완전한 회복은 기대하기 어렵다[26]. 제7번 목뼈신경 전위술은 비마비측의 목뼈신경을 마비측으로 연결하는 수술 기법으로 손의 내재근육의 기능회복을 통해 뇌졸중 환자의 상지 기능 회복에 효과적인 대안으로 제시될 수 있다[13]. Feng 등[10]의 연구에서는 경직성 편마비를 보이는 336명의 뇌 손상 환자를 대상으로 제7번 목뼈신경 전위술과 보존적인 재활에 따른 5년간의 추적 연구 결과 제7번 목뼈신경 전위술을 시행한 집단에서 2년 후

상지 운동 기능의 향상이 두드러지게 나타나는 것으로 보고되었다.

본 연구에서도 제7번 목뼈신경 전위술을 받은 뇌졸중 환자들이 수술 이전에 비해 유의하게 상지 운동 기능과 경직의 개선을 보였다( $p < 0.05$ ). Lee 등[27]의 연구에서 제7번 목뼈신경 전위술 이후 확산텐서영상(diffusion tensor imaging)을 통해 대뇌다리(cerebral peduncle)로 주행하는 길질척수로의 변화를 평가해본 결과, 병변 반대쪽에서 내려오는 길질척수로의 신경생리학적 변화가 뇌졸중 환자의 경직을 감소시키고 상지 운동 기능의 개선에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 또한 제7번 목뼈신경 전위술은 근방추를 신경지배하는 감마운동신경을 재연결함으로써 뇌졸중 환자의 경직 감소에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다[11]. 경직의 감소는 수의적인 움직임 촉진시켜 상지 운동 기능의 향상에 직접적으로 영향을 미쳤을 것이다[28]. 본 연구에서도 팔꿈관절, 손목관절, 손가락 모두 경직이 유의하게 감소하였으며( $p < 0.05$ ), 이는 푸글-마이어 상지 운동 기능 평가 중 경직으로 인한 협동운동 패턴을 감소시키고 손의 수의적인 움직임에 영향을 미쳐 상지 운동 기능의 향상을 유도할 수 있었던 것으로 사료된다.

제7번 목뼈신경 전위술이 뇌졸중과 같은 경직성 편마비 환자의 운동 기능과 경직을 감소시킬 수 있으나 수술 후 재활을 통한 지속적인 관리도 중요하다. Li 등[29]의 연구에서는 제7번 목뼈신경 전위술을 받은 환자들의 재활프로그램 참여 여부에 따라 상지 기능의 변화를 1년간 추적 관찰한 결과, 재활 프로그램에 참여하지 않은 대상자에 비해 손목 펴근과 팔꿈관절 펴근의 근력, 상지 운동 기능, 경직의 유의한 향상을 보였다( $p < 0.05$ ). 본 연구에서도 대상자들은 4주간의 보조기 착용 이후 재활병원에 입원하여 재활을 받도록 하였다.

본 연구의 제한점은 연구의 설계가 후향적 코호트 조사이기 때문에 대상자의 일반적 특성 조사에 한계가 있었고 재활병원에서 실시한 물리치료 중재 방법을 모든 대상자에게 동일하게 통제하지 못했다. 그리고 수술 후 8주뒤에 사후 평가에 대한 자료만 있었기 때문에 시간의 경과에 따른 추적 조사를 할 수 없었고 제7번 목뼈신경 전위술의 단점으로 지적되는 감각이상 발생 여부가 평가되지 않았다. 따라서, 추후 연구에서는 뇌졸중 환자에게 제7번 목뼈신경 전위술 후 시간의 경과에 따른 운동 기능의 회복에 대한 장기 추적 조사와 하지 운동 기능 및 감각 변화와 같은 다른 신체 기능에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

## 결론

본 연구에서는 경직성 편마비를 갖고 있는 뇌졸중 환자에게 제7번 목뼈신경 전위술이 상지 운동 기능에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 그 결과, 제7번 목뼈신경 전위술이 경직성 편마비를 가진 뇌졸중 환자의 상지 운동 기능과 경직을 개선하기 위한 효과적인 치료기법으로 제안될 수 있을 것이다. 하지만, 장기간의 추적 관찰이 이루어지지 못했기 때문에 수술 이후 발생할 수 있는 감각이상과 같은 부작용의 유무와 그 지속 기간에 대한 연구가 추가로 필요할 것이다.

## References

- Murray CJ, Vos T, Lozano R, Naghavi M, Flaxman AD, Michaud C, et al. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380:2197-223.
- Zhuang JY, Ding L, Shu BB, Chen D, Jia J. Associated Mirror Therapy Enhances Motor Recovery of the Upper Extremity and Daily Function after Stroke: A Randomized Control Study. *Neural Plast*. 2021;2021:7266263.
- Schneider EJ, Lannin NA, Ada L, Schmidt J. Increasing the amount of usual rehabilitation improves activity after stroke: a systematic review. *J Physiother*. 2016;62:182-7.
- Desrosiers J, Malouin F, Richards C, Bourbonnais D, Rochette A, Bravo G. Comparison of changes in upper and lower extremity impairments and disabilities after stroke. *Int J Rehabil Res*. 2003;26:109-16.
- Schaechter JD. Motor rehabilitation and brain plasticity after hemiparetic stroke. *Prog Neurobiol*. 2004;73:61-72.
- Ikbali Afsar S, Mirzayev I, Umit Yemisci O, Cosar Saracgil SN. Virtual Reality in Upper Extremity Rehabilitation of Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018;27:3473-8.
- Etoom M, Hawamdeh M, Hawamdeh Z, Alwardat M, Giordani L, Bacciu S, et al. Constraint-induced movement therapy as a rehabilitation intervention

- for upper extremity in stroke patients: systematic review and meta-analysis. *Int J Rehabil Res.* 2016;39:197-210.
8. Zeng W, Guo Y, Wu G, Liu X, Fang Q. Mirror therapy for motor function of the upper extremity in patients with stroke: A meta-analysis. *J Rehabil Med.* 2018;50:8-15.
  9. Bertani R, Melegari C, De Cola MC, Bramanti A, Bramanti P, Calabrò RS. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. *Neurol Sci.* 2017;38:1561-9.
  10. Feng J, Li T, Lv M, Kim S, Shin JH, Zhao N, et al. Reconstruction of paralyzed arm function in patients with hemiplegia through contralateral seventh cervical nerve cross transfer: a multicenter study and real-world practice guidance. *EClinicalMedicine.* 2022;43:101258.
  11. Zheng MX, Hua XY, Feng JT, Li T, Lu YC, Shen YD, et al. Trial of Contralateral Seventh Cervical Nerve Transfer for Spastic Arm Paralysis. *N Engl J Med.* 2018;378:22-34.
  12. Gu YD, Chen DS, Zhang GM, Cheng XM, Xu JG, Zhang LY, et al. Long-term functional results of contralateral C7 transfer. *J Reconstr Microsurg.* 1998;14:57-9.
  13. Yang X, Liu Y, Zhao X, Lao J. Electrophysiologic recovery of the abductor pollicis brevis after contralateral C7 nerve transfer in 95 patients with global brachial plexus avulsion. *J Electromyogr Kinesiol.* 2018;43:158-61.
  14. Yu BF, Chen LW, Qiu YQ, Xu J, Yin HW, Li QY, et al. Contralateral seventh cervical nerve transfer can affect the pennation angle of the lower limb in spastic hemiplegia patients: An observational case series study. *Brain Behav.* 2019;9:e01460.
  15. Rocha LSO, Gama GCB, Rocha RSB, Rocha LB, Dias CP, Santos LLS, et al. Constraint Induced Movement Therapy Increases Functionality and Quality of Life after Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2021;30:105774.
  16. Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, Kim IH, di Bella P, Johnson G. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl-Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: a multicentre study. *Clin Rehabil.* 2005;19:404-11.
  17. Lees R, Selvarajah J, Fenton C, Pendlebury ST, Langhorne P, Stott DJ, et al. Test accuracy of cognitive screening tests for diagnosis of dementia and multidomain cognitive impairment in stroke. *Stroke.* 2014;45:3008-18.
  18. Jeong SK, Cho KH, Kim JM. The usefulness of the Korean version of modified Mini-Mental State Examination (K-mMMSE) for dementia screening in community dwelling elderly people. *BMC Public Health.* 2004;4:31.
  19. Li F, Wu Y, Li X. Test-retest reliability and inter-rater reliability of the Modified Tardieu Scale and the Modified Ashworth Scale in hemiplegic patients with stroke. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2014;50:9-15.
  20. Aloraini SM, Gäverth J, Yeung E, MacKay-Lyons M. Assessment of spasticity after stroke using clinical measures: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2015;37:2313-23.
  21. Pedretti LW, Pendleton HM, Schultz-Krohn W. *Pedretti's occupational therapy.* St. Louis, Mo.: Elsevier/Mosby; 2013.
  22. Huang YC, Chen PC, Tso HH, Yang YC, Ho TL, Leong CP. Effects of kinesio taping on hemiplegic hand in patients with upper limb post-stroke spasticity: a randomized controlled pilot study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2019;55:551-7.
  23. Li S, Francisco G. Current concepts in assessment and management of spasticity. *Stroke Rehabilitation Elsevier.* 2019:133-54.
  24. Li P, Shen Y, Xu J, Liang C, Jiang S, Qiu Y, et al. Contralateral cervical seventh nerve transfer for spastic arm paralysis via a modified prespinal route: a cadaveric study. *Acta Neurochir (Wien).* 2020;162:141-6.
  25. Ziemann U, Ishii K, Borgheresi A, Yaseen Z, Battaglia F, Hallett M, et al. Dissociation of the pathways mediating ipsilateral and contralateral motor-evoked potentials in human hand and arm muscles. *J Physiol.* 1999;518 ( Pt 3):895-906.
  26. Liew SL, Santarnecchi E, Buch ER, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation in neuro-rehabilitation: local and distant effects for motor recovery. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:378.
  27. Lee HJ, Cha HS, Hahm MH, Lee H, Kim SS,

- Chang Y. Improved white matter integrity after contralateral seventh cervical nerve transfer measured by tractographic representation. *Clin Neurol Neurosurg.* 2021;206:106715.
28. Foley N, Pereira S, Salter K, Fernandez MM, Speechley M, Sequeira K, et al. Treatment with botulinum toxin improves upper-extremity function post stroke: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94:977-89.
29. Li J, Ying Y, Su F, Chen L, Yang J, Jia J, et al. The Hua-Shan rehabilitation program after contralateral seventh cervical nerve transfer for spastic arm paralysis. *Disabil Rehabil.* 2022;44:404-11.