

Stroke Patients: Effects of Combining Sitting Table Tennis Exercise with Neurological Physical Therapy on Brain Waves

Seoung Won Seo¹, Yong Seong Kim²

¹Department of Physical Therapy, Graduate School, Nambu University, Gwangju, Republic of Korea; ²Department of Physical Therapy, Nambu University, Gwangju, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study is to analyze the brain waves and develop various exercise programs to improve the physical and mental aspects of stroke patients when neurological physical therapy and sitting table tennis exercise are applied to stroke patients.

Methods: In this study, an experiment was conducted on 15 patients diagnosed with stroke, and training was performed after changing the ping-pong table to a sitting position to apply ping-pong exercise to stroke patients. After training was conducted for 40 minutes twice a week for 4 weeks, brain waves were measured before and after. EEG was measured using Laxtha's DSI-24 equipment as a measurement tool, and data values were extracted through the Telescan program.

Results: Most of the relative beta waves showed a significant difference before and after the intervention. As for the characteristics of beta waves, this result can be seen as being highly activated during exercise or other activities.

Conclusion: Ping-pong exercise in a sitting position is a good intervention method for stroke patients, and it can help to use it as basic data in clinical practice by showing brain activity.

Keywords: Stroke, Sitting position, Ping-pong exercise, Brain wave

서론

뇌졸중은 암과 심장병에 이어 3대 사망원인이며 유병률이 증가하는 질환으로, 뇌의 혈액 공급이 중단되거나 뇌 조직으로 출혈이 발생해 주로 운동신경과 감각신경을 지배하는 뇌의 기능이 상실됨을 의미한다.^{1,2} 뇌졸중 환자의 약 80%는 운동장애가 나타나며, 그중 반신마비 환자의 경우 69% 이상은 상지 운동장애를 경험한다.^{3,4} 뇌졸중 발생 6개월이 지난 후에도 환자의 약 50%가 만성적인 상지 기능 저하를 보이며, 일상생활에서의 환자의 활동을 제한한다. 따라서 사회적인 문제나 경제적 부담으로 이어지기에 뇌졸중 환자 치료에 상지 재활이 필요하다.⁵

대부분의 일상생활 동작 수행이 손에 의해서 이루어진다고 볼 때, 상지 기능과 손의 기민성은 매우 중요하다고 볼 수 있다.⁶ 상지 운동 기능의 장애는 뇌졸중 환자들의 일상생활의 수행 능력을 저하해 사회적인 참여에 제한하게 된다.⁷ 그러므로 상지 운동 기능 재활이 중요한데, 상지 운동 기능 재활에는 운동 훈련 로봇 재활, 양측성 상지 훈련 활동, 강제 유도 운동치료, 거울 치료, 편측 상지 운동 등 여러 중재

방법이 있다.⁸ 그중 편측 상지 운동인 탁구는 손과 팔을 사용하여 공을 치는 스포츠이므로, 손과 팔을 이용하여 상지 운동 기능을 향상하는 데에 도움이 될 수 있다.⁹

또한 탁구는 시지각 정보와 동작 수행 간의 끊임없는 상호작용이 활발하게 이루어지는 활동으로,¹⁰ 정확하면서 간결하고 빠른 동작 수행을 위해서 효율적인 시각 탐색전략이 필요하다.¹¹ 시지각 능력, 주의력, 그리고 기억력의 발달에 관여하는 뇌의 영역은 이마엽으로 이 영역에는 안구 운동 조절 기능이 존재한다.¹² 다양한 안구운동 중 급속 안구 운동은 이동하는 물체를 추적하는 안구 운동 중에서 가장 빠른 안구 운동이며 감각적이고 반사적 시각 자극을 제공한다.¹³ 뒤통 수업에는 대뇌 피질의 뒤쪽 끝에 위치하고, 시각을 통해 정보를 받아들이는 곳으로 시각적 정보를 해석하는 역할을 수행한다.¹⁴ 또한 안구운동은 뇌와 눈을 포함하는 시각계에 대한 물리치료라 할 수 있으며, 정상적으로 보는 기술을 회복하거나 발달시키는 안구의 점진적 운동 기술이다.¹⁵ 종합적으로 탁구는 다른 운동보다 공의 움직임이 빠르고 선명해 안구운동에 적합하다고 생각한다.

뇌파는 뇌에서 발생하는 전기적 활동을 측정하는 기술로, 뇌의 활

Received January 9, 2023 Revised February 24, 2023

Accepted February 27, 2023

Corresponding author Yong Seong Kim

E-mail kimys2492@nambu.ac.kr

Copyright ©2023 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://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.

동 패턴을 분석하여 뇌의 건강 상태와 관련된 정보를 제공한다. 뇌졸중은 뇌의 순환 장애로 인해 발생하는 뇌 손상으로, 뇌파의 변화는 뇌졸중 진단과 치료에 중요한 역할을 한다. 따라서 뇌파 검사는 뇌졸중의 초기 진단과 예방, 치료, 재활 등에서 매우 유용한 도구로 사용될 수 있다.¹⁶ 이에 뇌졸중 환자에게 뇌파를 적용한 연구를 살펴보았다. 예를 들어 몰입형 가상현실을 적용한 연구, 동작관찰훈련을 적용한 연구, 과제 지향적 훈련을 적용한 연구, 시각 및 청각리듬자극을 이용한 연구 등 많은 뇌졸중 환자에게 증재를 통해 뇌파를 확인하였다.¹⁷⁻²⁰ 그러나 뇌졸중 환자에게 편측 상지 운동을 실시하였을 때 뇌파를 확인한 연구는 부족한 실정이다.

뇌졸중 환자들이 병원 생활로 인해 근력 감소와 운동 불안감을 경험할 가능성이 있다는 결과가 나왔으며, 기존의 연구들은 신경계 환자들을 대상으로 한 탁구를 하는 연구는 부족하였다. 또한 탁구를 통해 뇌의 변화를 보는 연구는 부족한 실정이다.²¹ 따라서, 본 연구의 목적은 앉은 자세에서 탁구를 실시하여 뇌파에 어떠한 변화가 나타나는지 알아보는 것이다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 2021년 8월부터 10월까지 광주광역시에 위치한 W 재활병원에서 뇌졸중으로 진단받고, 입원 치료 중인 15명을 대상으로 하였다. 모든 대상자는 연구에 대해 충분히 설명을 들은 후 동의서를 작성하고 서명 후에 시험을 진행하였다. 연구대상자 선정 기준은 뇌졸중 발병이 6개월 이상 경과한 자, 현재 마비를 앓고 있는 자, 40분 이상 앉은 자세 유지가 가능한 자, 시각 및 청각에 문제가 없는 자, 자발적으로 연구동의서에 서명한 자이며 연구대상자 제외 기준으로는 앉은 자세가 불가능한 자, 시각 및 청각에 문제가 있는 자, 뇌파 측정에 거부감을 표하는 자로 설정하였다.

2. 측정방법 및 도구

본 연구에서 뇌파 측정은 DSI-24 장비(Wearable sensing Laxtha, USA)를 활용하였다. 이 장비는 10-20 국제 시스템에 해당하는 위치에 21개의 센서를 신속하게 적용하도록 설계된 연구용 무선 건조 전극 EEG 헤드셋이다. 센서의 위치로는 10-20개 위치에 21개의 센서가 있다(Figure 1). 뇌파 측정 시에 외부적인 요소들로 방해받을 수 있기에 측정을 위한 환경을 만들어준 후 진행하였다. 정확한 측정을 하기 위해서 2-3번의 반복 측정을 시행하였으며, 움직임 최소화한 후 눈을 뜬 상태로 1분간 측정하였다. 자료 추출은 TELESCAN 프로그램(Laxtha, USA)을 통해 데이터값을 추출하였다.

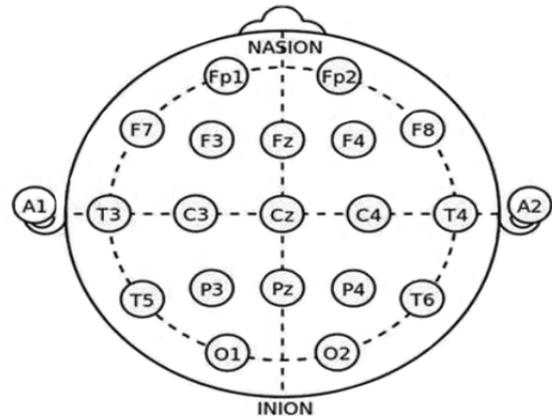


Figure 1. Internal 10-20 electrode system.

3. 실험절차

본 연구대상자는 신경계 병원에서 시행하는 기본 입원치료 후에 편측 상지 운동을 실시하였다. 기본 입원치료에는 신경계 운동치료, 매트 보행 훈련 그리고 통증 물리치료를 시행하고 있으며, 편측 상지 운동을 시행하기 위해 연구 선정에 부합하는 대상자들 중 자발적으로 연구에 참여하기로 동의한 대상자들을 선발하였고 이후 편측 상지 운동 중 하나인 탁구를 실시하였다. 먼저 탁구를 하기전에 연구대상자에게 탁구에 대한 기본지식들을 사전에 설명과 교육을 실시하였다. 뇌졸중 환자의 낙상을 예방하기 위해 탁구대를 좌식으로 변형시켜 앉은 자세로 시행하였다. 연구대상자는 앉은 자세에서 비마비 측손으로 탁구채를 잡고 실험진행자와 탁구 공의 주고받기를 실시하였다. 연구대상자 옆에는 낙상을 예방하기 위해서 보조연구원 1인이 위치하였다. 연구대상자의 탁구는 동일하게 1회 40분, 주 2회, 총 4주간 측정하였다.

4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 Windows 용 SPSS 22.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) 버전을 사용하여 분석하였다. 연구 대상자들의 일반적인 특성을 알아보기 위해 기술통계 분석을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성을 만족한 전극에는 모수 검정인 Paired t-test를 사용하였고, 정규성을 만족하지 않은 전극에는 비모수 검정인 Wilcoxon signed-rank test를 사용하여 통계 처리하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구는 남자 11명, 여자 4명 총 15명의 뇌졸중 환자를 대상으로 실험을 진행하였으며 평균 연령은 48.53 ± 5.5 세이며, 평균 신장은 $169.80 \pm$

5.4cm, 평균 체중은 65.27±10.0kg이었다. BMI 지수로는 22.51±2.4km/m², 마비측은 오른쪽 13명, 왼쪽 2명이었으며, 발병원인은 뇌출혈 12명, 뇌경색 3명이었다(Table 1).

2. 뇌파

본 연구에서 상대 베타파의 전극 간 변화를 비교했을 때 앞이마, 이마엽 영역인 Fp1, Fp2, F3, F7전극에서 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Table 2). 관자엽 영역인 T3, T4, T5, T6 전극에서 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Table 2). 마루엽, 뒤통수엽 영역인 Pz, O1, O2 전극에서 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Table 2).

고 찰

본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 4주간 앉은 자세에서 탁구운동

Table 1. General charateristic of the subject

General charateristic	
Gender (M/F)	11/4
Type of stroke (Infarction/Hemorrhage)	12/3
Paretic side (Rt/Lt)	13/2
Age (yr)	48.5±5.5
Height (cm)	169.8±5.5
Weight (kg)	48.5±5.3
Body mass index (km/m ²)	22.5±2.4

Mean±standard deviation.

Table 2. Electrode-specific changes in relative beta waves

location	pre	post	post-pre difference	t/z	p
Fp1	0.233±0.023	0.264±0.044	-0.031±0.059	-2.201	0.028*
Fp2	0.196±0.024	0.238±0.043	-0.042±0.054	-3.012	0.009**
Fz	0.270±0.037	0.306±0.059	-0.036±0.068	-2.031	0.062
F3	0.231±0.026	0.276±0.034	-0.045±0.053	-2.338	0.019*
F4	0.251±0.025	0.251±0.025	-0.018±0.052	-1.377	0.190
F7	0.220±0.031	0.254±0.037	-0.034±0.059	-2.389	0.017*
F8	0.188±0.048	0.213±0.049	-0.024±0.073	-1.304	0.213
Cz	0.306±0.045	0.341±0.054	-0.035±0.071	-1.917	0.076
C3	0.248±0.029	0.263±0.049	-0.014±0.056	-1.007	0.331
C4	0.321±0.059	0.309±0.054	0.012±0.067	0.689	0.502
T3	0.366±0.022	0.275±0.048	0.090±0.054	6.419	0.001**
T4	0.356±0.029	0.270±0.056	0.086±0.062	5.349	0.001**
T5	0.416±0.026	0.296±0.048	0.120±0.061	7.546	0.001**
T6	0.434±0.012	0.279±0.043	0.154±0.043	13.801	0.001**
Pz	0.439±0.096	0.350±0.056	0.088±0.119	-2.701	0.007*
P3	0.624±0.132	0.362±0.078	0.042±0.125	-1.793	0.073
P4	0.386±0.027	0.362±0.077	0.024±0.086	1.074	0.301
O1	0.450±0.029	0.295±0.038	0.154±0.056	10.688	0.001**
O2	0.480±0.020	0.328±0.056	0.152±0.060	9.656	0.001**

*Wilcoxon signed rank test, **Paired t-test.

후 뇌파에 어떠한 변화가 생기는지 알아보려고 하였다. 본 연구결과, 앞이마과 이마엽 영역인 Fp1, Fp2, F3, F7 전극에서 상대 베타파가 유의하게 증가하였다. 반면에 감각 영역인 관자엽 영역 T3, T4, T5, T6 전극과 마루엽, 뒤통수엽 영역인 Pz, O1, O2 전극에서 상대 베타파가 유의하게 감소하였다. 운동 영역인 C3, C4전극은 유의한 차이가 나타나지 않았는데 C3, C4전극이 차이가 없는 것은 운동 관련 활동이 다른 뇌 영역에서 발생하고, 운동 관련 활동의 강도와 지속 시간, 그리고 개인 간의 차이 등에 따라 다양한 요인들이 작용한다.²²

뇌졸중 후 EEG 측정은 반구 간 균형의 변화, 손상된 영역과 연결된 영역의 활동 변화, 그리고 신체 표현 지도의 재구성을 밝혀 임상 회복을 지원하는 뇌 영역의 재구성을 확인할 수 있다.²³⁻²⁵ 본 연구에서는 편측 상지 운동인 탁구를 앉은 상태에서 진행하였지만, 상지에 신체적 활동이 큰 운동으로 앞이마엽과 이마엽 영역이 증가한 것으로 생각된다. 2014년에 발표된 한 연구에서는 탁구 선수들의 뇌파 활성화를 조사한 결과, 탁구를 하는 동안 앞이마엽과 이마엽 활성화가 증가하는 것을 발견했다.²⁶ 이러한 결과는 탁구가 상지를 많이 사용하고, 빠른 판단과 반응이 필요한 운동이기 때문에 뇌의 앞이마엽과 이마엽 영역을 활성화에 도움이 된다는 것을 시사한다.²⁷

앞이마엽 및 이마엽은 운동 계획, 실행 및 조절과 같은 뇌의 실행 기능과 관련이 있으며 다양한 연구들에서, 앞이마엽의 활동이 운동과 관련된 인지기능과 감각 처리, 운동계획, 실행, 조절, 피드백과 같은 운동과 관련된 과제와 연관성이 있음을 보여주고 있다.²⁸ 이는 뇌졸중 환자의 운동 회복이 이마엽의 상대 베타파와 양의 상관관계가 있

다고 보고한 선행연구와 일치한다.²⁹ 뇌졸중 환자가 탁구채로 공을 맞히는 목표 지향적 움직임의 생성 및 억제에는 신경망의 중첩된 뇌 영역에서 발생한다.^{30,31} 동작 계획부터 실행까지 전 과정에서 상호작용 억제가 일어나며, 억제 제어 덕분에 인간의 뇌는 움직임을 조절하기 위한 적응적이고 유연한 행동 전략을 개발할 수 있다.³² 그러므로, 손상 받은 뇌의 회로 재구성 및 신경 가소성이 발생한다.^{25,26}

뇌졸중 환자는 흔히 감각 결핍을 경험한다.³³ 체감각 또는 시야 손실은 편마비 환자의 기능적 결과에 부정적인 영향을 나타낸다.³⁴ 운동 회복이 감각 자극에 의해 향상될 수 있다는 것은 놀라운 일이 아니다. 심각한 운동 장애를 앓고 있는 환자의 경우 일차 감각 영역에서 연관 다 감각 영역에 이르기까지 감각 운동 통합의 모든 단계에서 뇌졸중 후 효과적인 연결성의 변화가 나타날 수 있으며, 뇌파를 억제하거나 강화하기 위해서 사용되는 다양한 뉴로 피드백 프로토콜 중에서 감각 운동 훈련 프로토콜이 운동 수행을 향상하는 효과적인 방법으로 제시되었다.^{35,36} 골프 퍼팅 수행력으로 뇌파의 변화를 본 연구에서는 대뇌 피질의 특정 영역에서 다양한 뇌파 활동을 증가 또는 감소시켜 올바른 패턴 또는 활동에 대한 신경계를 개발한다고 하였다.³⁷

본 연구에서 관자엽, 마루엽, 그리고 뒤통수엽에서는 뇌파 활성도가 감소하였다. 이 영역들은 감각영역으로 탁구 진행 시 탁구채와 공에서 오는 촉각, 탁구에서 규칙적으로 발생하는 소리로 인한 청각, 그리고 공을 지속적으로 보는 시각적인 부분 때문에 뇌파 활성도가 낮아졌다고 생각한다. 그러나 뇌졸중 환자의 뇌파 활동 변화에 대한 메커니즘은 불확실한 실정이다.^{38,39} 그러므로, 뇌졸중 환자의 감각 결핍과 뇌파 변화에 대한 메커니즘에 대한 연구는 추가 연구가 필요하다. 본 연구자가 조사한 내용으로는 뇌졸중 환자들은 병원에서 일반적인 신경계 치료를 받고 있지만 오랜 병원 생활을 통해 힘들어하신 분들이 많았고 이에 연구자는 운동 참여도를 늘리기 위해 흥미유발 차원에 의뢰로 연구를 진행하였다. 연구를 참여하신 분들의 인터뷰에서 과거 학교에서 스포츠 활동을 대부분 경험하셨으며 과거를 회상함으로써 운동에 동기부여가 되는 것 같다고 하였다.

본 연구의 제한점으로는 본 연구에서는 단일집단에 뇌졸중 환자를 대상으로 물리치료와 탁구 운동을 함께 적용하여 뇌파의 결과를 확인하였다. 이러한 연구에서는 뇌파의 변화가 탁구 운동만의 효과로 볼 수 있는 근거가 제시되지는 않았지만, 탁구 운동이 뇌졸중 환자의 뇌 기능 회복에 도움이 된다는 것은 이전 연구들에서 밝혀졌으며, 이번 연구에서는 물리치료와 함께 적용하여 확인한 것이다. 이번 연구에서 확인된 뇌파의 변화는 뇌졸중 환자의 뇌 기능 회복을 나타내는 것으로 해석될 수 있다. 결과적으로, 이번 연구에서는 뇌졸중 환자에게 물리치료와 탁구 운동을 함께 적용하여 뇌 기능 회복에 도움이 된다는 것을 확인하였으며, 이는 이전 연구들과 일치하는 결과이다.

단일집단의 전후 비교 연구의 장점으로는 단일집단 내에서 시간적

으로 전후로 구분하여 조사하는 방법으로 전후로 구분된 단일군의 차이점을 파악하여 원인과 결과 간의 인과 관계를 파악할 수 있다. 이는 인과 관계를 파악하는 데 있어서 가장 강력한 방법 중 하나이며 또한 대조군이 없을 때 대안적인 방법이다.⁴⁰ 따라서, 이러한 이유들로 인해 단일집단의 전후 비교 연구 설계는 필요하다. 그러나 연구의 결과에 변화가 있었지만 비교집단이 없기 때문에 시간 경과에 따른 자연적인 변화인지 탁구를 통해 변화하였는지는 단정지을 수 없다. 이에 향후 연구에서는 대조군이 포함하여 진행되어야 한다. 결론적으로 앉은 자세에서의 탁구가 뇌졸중 환자에게 뇌파의 변화를 확인했다. 향후 연구에서는 더 다양한 방식의 연구가 시행되어야 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2021년도 남부대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

REFERENCES

1. Chang JS, Lee SY, Lee MH et al. The correlations between gait speed and muscle activation or foot pressure in stroke patients. *J Kor Phys Ther.* 2009;21(3):47-52.
2. Sharp SA, Brouwer BJ. Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: effects on function and spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997; 78(11):1231-6.
3. Langhorne P, Coupar F, Pollock et al. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol.* 2009;8(8):741-54.
4. Luke C, Dodd KJ, Brock K. Outcomes of the Bobath concept on upper limb recovery following stroke. *Clin Rehabil.* 2004;18(8):888-98.
5. Hatem SM, Saussez G, della Faille M et al. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Front Hum Neurosci.* 2016;10:442.
6. Pendleton, HM, Schultz-krohn. *Pedretti's occupational therapy.* 6th ed. San Jose, Mosby, 2006.
7. Gracies JM, Marosszeky JE, Renton R et al. Short-term effects of dynamic lycra splints on upper limb in hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(12):1547-55.
8. Choi SW. Analysis of upper limb and ball kinematics during impact according to golf putting distance. Korea University. Dissertation of Master's Degree. 2008.
9. Naderi A, Degens H. A retrospective comparison of physical health in regular recreational table tennis participants and sedentary elderly men. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2018;18(2):200-7.
10. Park SH. A study on differences in prediction accuracy and visual search strategies according to table tennis proficiency and visual-audible information presentation level. Seoul National University. Dissertation of Master's Degree. 2012.
11. Williams AM, Vickers J, Rodrigues S. The effects of anxiety on visual search, movement kinematics, and performance in table tennis: a test of

- Eysenck and Calvo's processing efficiency theory. *J Sport Exerc Psychol.* 2002;24(4):438-55.
12. MacAskill MR, Anderson TJ. Eye movements in neurodegenerative diseases. *Curr Opin Neurol.* 2016;29(1):61-8.
 13. Lim AJ. Effects of eye exercise programs on postural control and visual perception in children with spastic cerebral palsy. Inje University. Dissertation of Master's Degree. 2011.
 14. Niedermeyer E, da Silva FL. *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields.* Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
 15. Koo BO, Bae SS, Kim HS et al. The effect of eye movement on balance improvement by plegia side of adult hemiplegic patient. *J Kor Phys Ther.* 2002;14(4):1-19.
 16. Finnigan S, van Putten MJ. EEG in ischaemic stroke: quantitative EEG can uniquely inform (sub-) acute prognoses and clinical management. *Clin Neurophysiol.* 2013;124(1):10-9.
 17. Choi HW. Effects of immersive virtual reality training on posture control and EEG in stroke patients. Nambu University. Dissertation of Master's Degree. 2020.
 18. Lee HJ. The effect of a home exercise program using motion observation on exercise ability in patients with chronic stroke. Yongin University. Dissertation of Master's Degree. 2016.
 19. Shin NR. Effects of task-oriented proprioception training on balance and gait in acute stroke patients. Hallym University. Dissertation of Master's Degree. 2020.
 20. Hong CW. The effects of a digital pegboard training occupational therapy program using visual and auditory feedback on hand function and visual perception in stroke patients. Woosong University. Dissertation of Master's Degree. 2021.
 21. Kwakkel G, van Peppen R, Wagenaar RC et al. Effects of augmented exercise therapy on outcome of gait and gait-related activities in the first 6 months after stroke: a meta-analysis. *Stroke.* 2004;35(11):2701-7.
 22. Pfurtscheller G, Lopes da Silva FH. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol.* 1999; 110(11):1842-57.
 23. Dimyan MA, Cohen LG. Neuroplasticity in the context of motor rehabilitation after stroke. *Nat Rev Neurol.* 2011;7(2):76-85.
 24. Hara Y. Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients. *J Nippon Med Sch.* 2015;82(1):4-13.
 25. Crema A, Bassolino M, Guanziroli E et al. Neuromuscular electrical stimulation restores upper limb sensory-motor functions and body representations in chronic stroke survivors. *Med.* 2022;3(1):58-74.
 26. Wang Y, Guan H, Zhang Y et al. Differences in EEG oscillatory patterns between elite and sub-elite table tennis players. *J Sports Sci Med.* 2014; 13(3):616.
 27. Tsai YH, Wu SK, Yu SS et al. Analyzing brain waves of table tennis players with machine learning for stress classification. *Appl Sci.* 2022;12(16): 8052.
 28. Halsband U, Matsuzaka Y, Tanji J. Neuronal activity in the primate supplementary, pre-supplementary and premotor cortex during externally and internally instructed sequential movements. *Neurosci res.* 1994;20(2): 149-55.
 29. Foong R, Ang KK, Quek C et al. Assessment of the efficacy of EEG-based MI-BCI with visual feedback and EEG correlates of mental fatigue for upper-limb stroke rehabilitation. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2020;67(3): 786-95.
 30. Mirabella G. Should I stay or should I go? Conceptual underpinnings of goal-directed actions. *Front Syst Neurosci.* 2014;8:206.
 31. Hampshire A, Sharp DJ. Contrasting network and modular perspectives on inhibitory control. *Trends Cogn Sci.* 2015;19(8):445-52.
 32. Carey LM, Matyas TA, Baum C. Effects of somatosensory impairment on participation after stroke. *Am J Occup Ther.* 2018;72(3): 7203205100p1-10.
 33. Tolonen U, Sulg IA. Comparison of quantitative EEG parameters from four different analysis techniques in evaluation of relationships between EEG and CBF in brain infarction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1981;51(2):177-85.
 34. Han L, Law-Gibson D, Reding M. Key neurological impairments influence function-related group outcomes after stroke. *Stroke.* 2002;33(7): 1920-4.
 35. Grefkes C, Fink GR. Reorganization of cerebral networks after stroke: New insights from neuroimaging with connectivity approaches. *Brain.* 2011;134(5):1264-76.
 36. Cheng CJ, Huang MY, Koester YK et al. Sensorimotor rhythm neurofeedback enhances golf putting performance. *J Sport Exerc. Psychol.* 2015;37(6):626-36.
 37. Pourbehbahani Z, Saemi E, Cheng MY et al. Both sensorimotor rhythm neurofeedback and self-controlled practice enhance motor learning and performance in novice golfers. *Behav Sci.* 2023;13(1):65.
 38. Jordan KG. Emergency EEG and continuous EEG monitoring in acute ischemic stroke. *J Clin Neurophysiol.* 2004;21(5):341-52.
 39. Finnigan S, van Putten MJ. EEG in ischaemic stroke: quantitative EEG can uniquely inform (sub-)acute prognoses and clinical management. *Clin Neurophysiol.* 2013;124(1):10-9.
 40. Blume BD, Ford JK, Baldwin TT et al. Transfer of training: a meta-analytic review. *J Manag.* 2010;36(4):1065-105.