

뇌졸중 환자의 팔 기능 회복을 위한 뉴로피드백 훈련 : 체계적 고찰

김 선 호*

*세명대학교 작업치료학과 교수

Neurofeedback Training for Upper Extremity Functional Recovery in Stroke Patients : A systematic review

Sun-Ho Kim, OT, Ph.D*

**Department of Occupational Therapy, Semyung University, Professor*

Abstract

Purpose : To identify trends in studies on the intersection of neurofeedback (NF) training and rehabilitation interventions for patients with stroke, as conducted over the past decade.

Methods : This review included studies published from 2012 to 2022. A comprehensive database search was conducted using keywords such as “stroke”, “electroencephalogram (EEG)”, “brain wave”, “nerve feedback”, and “upper extremity function”.

Results : A total of 703 studies were initially retrieved. Of these, literature predating 2012, duplicate literature, non-experimental studies, and studies that did not target patients with stroke were excluded. After this screening, we retrieved the full texts of 15 articles and re-checked whether each study met the inclusion criteria of this study. The advisory members who participated in this study consisted of people with doctoral degrees and more than 5 years of clinical experience related to the rehabilitation of patients with stroke. Disagreements were resolved through discussions. Ultimately, 8 papers met the inclusion criteria and were included in the final analysis. Despite differences in the type and duration of NF training, the combination of NF training and rehabilitation intervention was found to be effective in promoting the functional recovery of the upper extremities, eliciting positive EEG changes, and inducing neurological changes in the brain.

Conclusion : A meta-analysis involving a wider search range is needed in future studies. In addition, efforts are required to generalize the clinical application of these interventions. This can be achieved by supplementing the research methodologies through extensive review studies that encompass a diverse array of study designs.

Key Words : neurofeedback, systematic review, stroke, upper extremity function

*교신저자 : 김선호, sunho175@naver.com

※ This paper was supported by the research grant of the Semyung University in 2022.

제출일 : 2023년 10월 11일 | 수정일 : 2023년 11월 2일 | 게재승인일 : 2023년 11월 17일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

뇌졸중은 뇌혈관의 갑작스런 허혈이나 출혈로 인해 뇌 기능의 부분적 소실을 발생시켜 갑작스런 의식 혼탁 마비 등과 같은 다양한 신경학적 증상을 나타나게 하며, 정도가 심할 경우 사망에 이르게 되는 질환이다(Yoo, 2021).

최근 의학 기술 발전에 따른 뇌졸중 환자의 생존율은 증가하고 있는 추세이나, 뇌졸중 발병 환자의 60 % 이상이 지속적인 운동 장애를 앓고 있으며, 이 중 많은 수가 근 쇠약, 비정상적인 근 긴장도, 비정상적인 안구 운동 및 협응력 결핍을 동반한 영구적인 팔의 기능적 운동 장애를 경험하게 된다(Wen 등, 2022).

이러한 뇌졸중 환자의 팔 운동 장애는 목적 있는 움직임에 대한 수행을 어렵게 한다. 팔의 목적 있는 움직임을 위해서는 팔과 손의 조절이 요구되지만, 뇌졸중 환자의 경우, 뻘기와 집기 등의 큰·작은 동작 조절 능력이 현저하게 떨어져 유지 및 해제와 같은 작업 수행에 어려움을 발생시키게 되며, 식사하기, 옷 입기, 세수하기 등 기본적인 삶의 질 유지를 위한 일상생활활동 수행에 중요한 영향을 미치게 된다(Kim 등, 2016a). 따라서 뇌졸중 환자의 팔 기능 회복을 위한 재활은 일상생활활동의 수행 유지 및 향상, 지역 사회 내에서의 적절한 역할 복귀에 있어 중요한 역할을 하기 때문에 필수 재활 영역으로써 강조되어 오고 있다(Kim 등, 2016b).

뇌졸중 환자들의 마비된 팔의 신경학적 기능을 회복시키기 위한 가장 효과적인 재활을 찾기 위해 많은 연구가 진행되어지고 있는데(Mihara 등, 2021), 최근 IT 분야에서는 뇌 신경의 지속적 자극을 통한 구조 재조직화 현상을 일컫는 뇌 가소성에 대한 이해가 증가함에 따라 건강 증진을 위한 운동 뿐만 아니라, 재활을 목적으로 하는 기술 및 서비스가 진행되고 있다(Yoo, 2021). 이 중 신경 되먹임(neurofeedback; NF) 훈련은 IT산업과 재활 분야의 관련된 특화 콘텐츠의 하나로, 집중에 대한 효율성의 극대화과 신경학적 증상 개선을 목적으로 재활을 포함한 다양한 분야에서 시도되고 있다(Huster 등, 2014).

NF 훈련은 뇌파를 사용한 신경 되먹임 훈련으로, 인

지 행동 이론에서 말하는 조작적 조건형성 기전에 기반하여 환자가 의식적으로 조작할 수 없는 신경 생리학적 기능을 스스로 조절하는 방법을 배우는 행동치료로 정의할 수 있다(Lofthouse 등, 2012).

환자는 본인의 운동 상태와 관련된 뇌파의 신경학적 활동을 시각 또는 청각 자극을 통해 실시간 피드백을 제공 받아 특정 주파수에 대한 강화 또는 억제로의 수의적 변화를 스스로 조절하게 되며, 이를 통해, 뇌의 신경학적 구조의 재구성과 정상 범위로의 대뇌 활동 변화를 유도하게 되는 원리를 가진다(Alkoby 등, 2018). NF 훈련을 통해, 학습된 효과는 지속적인 반복 훈련을 통해 시각·청각적 되먹임 되어지고, 환자가 이전에 확인한 비정상적인 뇌 활동의 형태를 반복하지 않기 위해 노력하게 되며, 장기간 훈련 이 후에는 무의식적으로 정상 범위를 유지할 수 있게 되는 것이다(Acevedo 등, 2022).

NF 훈련은 뇌 활동에 따른 다양한 증상에 적용되어 활용되고 있다(Nelson, 2007). 주의력 결핍, 기억력 저하, 감정 장애, 불안 장애, 불면증 등의 원인으로 인하여 뇌 활동이 감소된 이들에게 집중과 몰입의 향상을 통한 행동 조절 능력의 향상을 목적으로 사용되며(Sterman, 2010), 정신장애, 인지장애, 삼킴장애, 신체운동 능력 조절 장애 등 뇌 손상으로 인한 환자들을 대상으로 신경학적 손상에 대한 개선을 목적으로 사용되는 등 다양한 분야에서 활용되어 NF훈련의 긍정적인 효과가 꾸준히 보고되고 있다(Yoo, 2021).

이중, 뇌졸중 환자의 재활영역에서 운동 기능의 회복은 반복적인 훈련을 통한 뇌 신경 손상에 의한 운동 뉴런의 재구성이라는 신경학적 회복 기전을 가지고 있으며, 다양한 연구를 통해 이러한 회복 기전의 반복된 사용, 융합 적용 등으로 인하여 발생하는 긍정적인 효과는 훨씬 증대 될 수 있다고 보고하고 있다(Kim, 2020; Yoo, 2021). 특히, NF훈련은 기존의 뇌졸중 대상의 근거 기반 중재들과는 다르게 환자의 능동적인 움직임 조절 능력이 필수 요소가 아니기 때문에 경증 환자에서부터 움직임 조절이 어려운 중증의 뇌졸중 환자에게도 적용 가능하며, 2가지 이상의 융합 중재를 활용하기 용이하고 적용 대상자 군의 범위를 넓힐 수 있는 새로운 중재 방식으로 사용 될 수 있다(Yoo, 2021).

서두에 언급한 바와 같이 뇌졸중 환자의 팔 기능 장애

로 인해 기본적으로 수행해야 할 일상생활 동작에 제한을 갖는 것은 일상생활뿐만 아니라 신체적, 심리적 고통을 수반하며, 이는 환자와 가족 모두에게 심리적 고통과 함께 삶의 질에 막대한 영향을 끼치게 된다(Kim 등, 2016a). NF훈련을 통하여 삶의 질 개선의 기반이 될 수 있는 다양한 질환에 따른 임상 증상에 대한 기능적 회복에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지만, 단순한 NF훈련의 효과에 초점 되어져 있거나, 뇌졸중 관련 체계적 고찰 연구가 아닌 정상인과 다양한 질환군의 환자들을 포함한 연구가 대부분으로 뇌졸중 환자의 팔 기능 회복에 초점이 맞춰진 NF관련 융합 중재 연구는 굉장히 제한적이며, 대조군 비교 연구도 매우 부족한 실정이다.

2. 연구의 목적

이에 본 연구의 목적은 최근 10년간 국내외에서 진행된 뇌졸중 환자를 대상으로 NF훈련과 재활 중재의 융합 적용 연구에 대한 동향 파악과 더불어 세부 내용을 확인하여, 뇌졸중 환자의 팔 재활을 위한 NF 훈련의 이해와 추후 임상에서의 적극적인 치료적 활용 및 연구를 위한 기초정보와 근거를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 설계

본 연구는 뇌졸중 환자의 팔 기능 회복을 위해 사용된 뇌파를 활용한 NF훈련의 특징과 효과를 알아보기 위한 체계적 문헌 고찰이다. 선정된 각 논문은 연구의 일반적 특성과 연구 참여 대상자, 사용된 중재와 적용방법, 중재 결과, 선정된 연구들의 질적 평가로 구분하여 결과 분석하였다.

2. 논문 선정 및 배제 기준

본 연구는 PICO-SD(participants, intervention, comparison, outcome measurement, settings, study design)를 적용하여 수행되었다. 연구 대상은 뇌졸중 환자, 중재는 뇌파를 활용한 NF훈련 또는 NF훈련과의 융합 중재, 대조군은 실

험군과 비교되는 집단, 중재 결과는 팔 기능 회복을 평가하는 모든 종속 변수, 연구 설계는 RCT(randomized controlled trial)와 대조군을 포함한 모든 실험 연구로 설정하였다. 2012년 1월부터 2022년 12월까지 온라인 등록되어 출판된 국내의 논문을 대상으로 선정하였으며, 영어 및 한국어로 작성되지 아니한 논문, 단일실험설계, 설문, 실험 연구가 아닌 문헌 및 질적 연구를 포함한 모든 종설 논문, 학위논문은 배제하였다.

3. 논문 수집 및 선정 과정

뇌졸중 환자의 팔 기능 회복을 위해 사용된 NF훈련에 대한 문헌 분석을 위해 사용된 검색도구는 국외 문헌 검색을 위한 Pubmed, Embase, Medline, Google scholar, 국내 문헌 검색을 위해 구글 학술검색, 한국학술정보(Korean studies information service system; KISS), 한국교육학술정보원(research information sharing service; RISS)를 사용하였다.

검색에 사용된 용어는 ‘stroke OR cerebrovascular accident(CVA)’, ‘뇌졸중’, ‘upper limb OR upper extremity’, ‘upper limb function OR upper extremity function’, ‘팔 OR 팔 기능’, ‘neurofeedback OR electroencephalography OR brain biofeedback’, ‘신경 되먹임 OR 뇌파 OR 뇌 신경 되먹임’을 사용하였다. 데이터 검색 결과, Pubmed=204편, Embase=105편, Medline=94편, Google scholar=178편, 구글 학술검색=48편, KISS=35편, RISS=39편으로, 연구자와 자문위원 2인을 포함한 3인이 총 703편의 연구 중 1차 판별을 하여 중복된 문헌과 2012년 이전의 문헌 424편을 제외한 이후, 초록과 제목을 확인하여 NF훈련과 관련이 없는 연구 65편, 실험 연구가 아닌 문헌 77편, 뇌졸중 환자를 대상으로 하지 아니한 연구 121편을 추가적으로 배제하였다. 3차 최종판별을 위해 15편의 문헌에 대하여 전문을 확보하여, 연구자 외 2인은 각 연구가 본 연구의 선정 및 배제 기준에 부합하는지를 재확인하였다.

본 연구에 참여한 자문 의원은 뇌졸중 환자를 대상으로 한 재활 관련 임상 경력 5년 이상의 박사학위를 가진 자로 구성되었으며, 의견 불일치 시 충분한 논의를 통해 이견을 좁힐 수 있는 합의 과정을 거쳤다. 이에 최종적

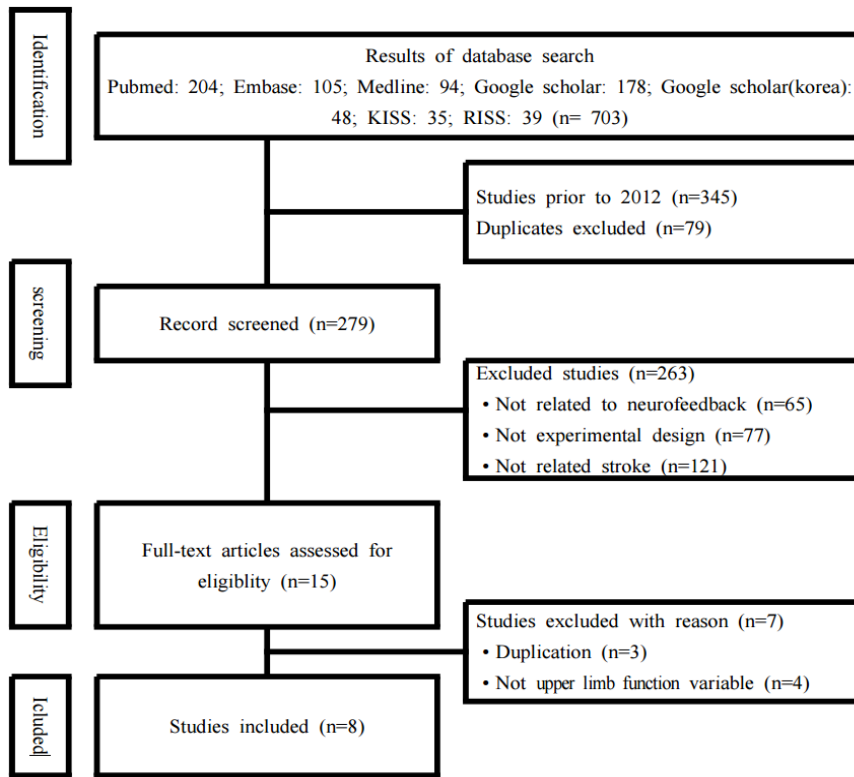


Fig. 1 Flow chart of literature search process

으로 8편의 논문이 선정되어 최종 분석에 사용되었다 (Fig 1).

III. 결 과

1. 연구의 일반적 특성

본 연구에 포함된 8편의 일반적 특성은 다음과 같다 (Table 1). 2012년•2014년•2015년 논문이 각 1편씩이었고, 2016년 논문이 4편, 2020년 논문 1편으로 나타났다. 6편의 논문이 RCT 연구였으며, 2편의 논문이 QE(quasi-experimental design; QE)연구였다. NF훈련의 적용 집단의 크기는 10~20명이 3편, 21~30명이 3편, 40명 이상을 대상으로 한 연구가 2편으로 나타났다.

2. 문헌의 질 평가

선정된 문헌들의 질 평가 평가는 다음과 같다(Table

2). 8편의 연구 모두 연구 질문에 대한 적절성과 목표가 분명하게 나타나 있는 것으로 확인되었으며, 연구 대상 자들에 대한 일반적 특성과 사전 검사의 동질성 확보를 기술한 것으로 나타났다. 또한, 8편의 모든 연구에서 NF 훈련과 관련된 중재 이외에 대조군과의 중재 차이는 나타나지 않았다. 8편의 연구 중 4편의 연구는 연구대상자들의 맹검 수행에 대한 언급을 기술하였으며, 나머지 4편의 연구는 맹검에 대한 언급은 기술되지 않았으나, 대상자들에게 적용된 NF훈련 관련 중재는 표준화된 수행 방법을 따라 수행된 것으로 나타났다.

모든 연구에서 표준화된 평가도구를 사용하여 연구 결과에 대한 신뢰도를 확보하였으며, 적절한 통계분석방법을 사용한 것으로 나타났다. 연구 대상자들의 참여 탈락을 항목에서는 총 5편의 연구에서 적절한 수치를 제시하고 있으며, 탈락에 대한 이유에 대하여 기술하고 있었다. 8편의 모든 연구는 단일 기관(병원)에서 뇌졸중 환자의 자발적 참여로 실시된 연구로 나타났다. 논문에 대한 전반적 평가 결과는 8편 모두, “++” 등급으로, 대부분의

기준을 충족하는 것으로 나타나, 최종적으로 “부적절하거나 충족되지 못한 기준에 의해 결론은 바뀌지 않을 것으로 예상됨”으로 분석하였다.

Table 1. General characteristics of study

Variables	Classification	n (%)
Publication year	2012~2014	2 (25.00 %)
	2015~2017	5 (62.50 %)
	2018~2021	1 (12.50 %)
Study design	randomized controlled trial	6 (75.00 %)
	quasi-experimental design	2 (25.00 %)
Group size	10~20	3 (37.50 %)
	21~30	3 (37.50 %)
	31~40	0 (0.00 %)
	Above 40	2 (25.00 %)

Table 2. Qualitative assessment by SIGN

Author	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	R
A1 Jung et al (2012)	Y	Y	Y	(Y)	Y	Y	0.00 %	Y	Y	++
A2 Rayegani et al (2014)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	16.00~37.00 %	Y	Y	++
A3 Ang et al (2015)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	3.80 %	Y	Y	++
A4 Cho et al (2016)	Y	Y	Y	(Y)	Y	Y	0.00 %	Y	Y	++
A5 Jang et al (2016)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	15.00 %	Y	Y	++
A6 Young et al (2016)	Y	Y	Y	(Y)	Y	Y	0.00 %	Y	Y	++
A7 Kim et al (2016b)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	13.30 %	Y	Y	++
A8 Cheng et al (2020)	Y	Y	Y	(Y)	Y	Y	10.00 %	Y	Y	++

1.1; clear question, 1.2; homogeneity of study subjects, 1.3; differences in intervention, 1.4; blinded, 1.5; reliable measurements, 1.6; Appropriate statistical analysis, 1.7; drop out (%), 1.8; intent processing analysis, 1.9; homogeneity of research institutions, Y; yes, N; no, ++; high level, +; adequate, R; result

3. 연구의 내용적 특성

1) 대상자 특성

각 연구의 대상자는 50세 이상의 뇌졸중 환자를 대상으로 진행되었다. 대상자의 선정기준은 8편 모두 적절한 의사소통이 가능한 자를 선정하고 있으며, 인지 영역에서 MMSE-K 23점 이하(A1), 18~23점(A4), 22~30점(A7)의

선정 기준을 가진 것으로 나타났다. 상지 기능에 대한 선정기준으로 Brunnstrom의 운동 회복 단계에 따른 4단계 또는 5단계에 해당하는 자(A2), FMA점수 0~45점(A3), 상지 운동장애가 있는자(A6), 엄지와 손가락의 자발적 사용이 가능한 자(A7), FMA점수 10~45점인 자(A8)의 기준을 적용하였으며, 이외에 시각 및 체감각 기능이 손상되지 않은 자(A5), 다른 신경학적, 정신적, 발달장애

가 없는 자(A6), 몸통 균형에 문제가 없어 똑바로 앉을 수 있는 능력을 보유한 자(A8)의 기준을 제시한 것으로 나타났다. 중재 환경은 8편의 연구 모두 병원 환자를 대상으로 실시되었다(Table 3).

2) 중재의 형식적 특성

중재 적용 회기는 30회 3편, 12회 2편, 18회•15회•10회가 각각 1편씩이었으며, 회기 당 진행 시간은 최소 30분에서 2시간까지 분포되어있는 것으로 나타났다. 실험군에 사용된 NF훈련의 적용은 8편 모두 2가지 이상이 결합된 중재를 사용하고 있으며, NF기반의 게임 수행(A1,

A2, A4), NF훈련과 로봇 중재(A3, A8), NF훈련과 FES(A5, A6, A7)를 사용한 것으로 나타났다(Table 3).

3) 중재의 내용적 특성

실험군에 적용된 NF 기반의 중재의 내용을 살펴보면 (Table 3), 2편의 연구가 FES를 결합하여 사용하였다. 1편의 연구는 환자 어깨의 움직임과 관련된 행동 관찰 과제를 제공하고 지속적인 집중 요구하는 훈련과 동시에 실시간 뇌전도 피드백을 받게 되는 훈련을 적용하였으며(A5), 다른 1편은 근전도 유발 FES(triggered FES)를 통해 손과 손목의 움직임 훈련을 유발함과 동시에 NF훈련

Table 3. Content characteristics analysis of the study

Study	Research Subjects				Intervention		Outcome (including evaluation)	
	Group	P	Age	Pla	SD	Intervention (EEG mode)		Duration
A1	NF	14	Stroke	63.11 ±6.87	H	RCT	NF+game performance (BST)	6 weeks
	CACR	14					RehaCom	5 times a week 30 minutes per session
	C	16					TR	
A2	OTNF	10	Stroke	52.66 ±8.43	H	QE	NF+game performance+AO (BST)	2 weeks
	OTBF	10					EMG-BF after OT	5 times a week
	OT	10					Bobath+PNF+ B stage	1 hour per session
A3	BCI - Manus	11	Stroke	51.05 ±11.50	H	RCT	NF (M1)+robotic exoskeletal exercises of elbow, forearm in video game.	4 weeks 3 times a week
	Manus	15					robotic exoskeletal exercises of elbow, forearm in video game	1.5 hour per session
A4	NF	14	Stroke	63.06 ±6.80	H	RCT	NF+game performance (BST)	6 weeks
	CACR	14					RehaCom	5 times a week 30 minutes per session
	C	16					TR	
A5	NF -FES +AOT	11	Stroke	61.40 ±12.93	H	RCT	NF-FES+AOT (Patient's shoulder movement concentration training)	6 weeks 5 times a week 30 minutes per session
	FES	12					FES+TR (ROM)	
A6	NF +FES	9	Stroke	62.68 ±12.69	H	QE (Cc)	NF+ FES(motion of hand and wrist)+AOT (18 action)	15 session 2-3 times a week
	C(no NF)	10					no NF	2 hours per session
A7	NF -FES +AOT	17	Stroke	59.50 ±8.93	H	RCT	NF+FES+TR	4 weeks 3 times a week 30 minutes per session
	C	17					TR	
A8	NF +SRG	5	Stroke	61.90 ±4.60	H	RCT	NF+SRG	6 weeks 3 times a week 90 minutes per session
	C	6					only SRG	

aFA; asymmetric fractional anisotropy, AOT; action observation task, BST; beta-SMR training mode B-stage; brunstrom neurophysiologic method, CACR; computer aided cognitive rehabilitation, Cc; crossover-control design, CP; control period, CST; corticospinal tract, DTI; diffusion tensor imaging, FA; fractional anisotropy, FES; functional electrical stimulation, FMA-UE; Fugl-Meyer assessment of the upper extremity, Fp1; lt. frontopolar, Fp2; rt. frontopolar, F3; lt. frontal, H; hospital, HD; horizontal distance pain, MAL; motor activity log, MAL-AOU; motor activity log-activity of use, MAL-QOM; motor activity log-quality of movement, MBI; modified barthel index, MFT; manual function test, MMSE-K; mini mental state examination-Korean, NF; neurofeedback, OTBF; occupational therapy and biofeedback, OTNF; occupational therapy and neurofeedback, P; participants, Pla; place, P3; lt. parietal, P4; rt. parietal, PNF; proprioceptive neuromuscular facilitation exercises, QE; quasi-experimental research, rBSI; revised brain symmetry index, RCT; randomized controlled trial, ROM; range of motion, SPD; special power density, SRG; soft robotic glove, TR; traditional rehabilitation, VAS; visual analogue scale, VD; vertical distance. +; p<.05. -; p>.05

을 받을 수 있는 자동 조절 신경피드백 과제 훈련(closed-loop neurofeedback task)을 적용 하였다(A6). Kim 등(2016)의 연구에서는 NF기반의 전통적인 FES 훈련과 수건 접기, 휴지 자르기, 가위 사용, 신발 끈 조이기, 병 뚜껑 열기 등의 18가지 일상생활과 연관된 과제에 대하여 해당 활동의 관찰 훈련을 추가적으로 사용하여 적용 하였다. 총 3편의 연구가 NF훈련 기반의 게임 수행을 기반으로 진행되었으며, 3편 모두 비슷한 중재의 적용이 이뤄졌다. 3편 모두, 베타파를 기반으로 한 SMR(sensorimotor rhythm) 모드를 적용하였다. 이중 2편의 연구에서는 시각 및 청각 자극의 2가지가 주어지며 훈련을 위한 활동이 환자의 흥미와 관심을 유발 시킬 수 있는 4가지 게임으로 구성 되어있는 중재를 사용하였다(A1, A4). 나머지 1편의 연구에서도 마찬가지로 Beta-SMR(sensorimotor rhythm) 모드를 사용하였으나, 보트경주 게임만 사용하여 실험군에 적용하였다(A2). 2편의 연구에서 NF훈련과 로봇의 적용이 이뤄졌다. Ang 등(2015)의 연구에서는 NF기반의 로봇을 통한 팔꿈치와 아래팔의 자발적인 움직임을 유도하여 감지하고 기록하는 훈련을 적용하였으며, 시계문자판 그리기, 대화형 비디오게임이 포함되었다(A3). 나머지 1편의 연구에서는 소프트 로봇 장갑을 사용한 EEG기반의 운동영상 기법(motor imagery; MI)을 적용한 것으로 나타났다(A8).

4) 중재의 결과

각 연구들에 사용된 중재의 적용 결과를 도출하기 위해 사용된 평가 도구는 인지 평가를 위한 한국어판 간이정신상태검사(mini mental state examination-Korean; MMSE-K), 운동기능검사(motor function test; MFT), 잼슨손기능검사(Jebsen-Taylor hand function test; JHFT), 뇌전도 데이터(beta waves, SPD(special power density)), 자기공명영상(magnetic resonance imaging; MRI(FA(fractional anisotropy))), 퍼글 마이어 검사(Fugle-Meyer assessment; FMA), 기능적 독립성 척도(functional independence measure; FIM), 뇌졸중 영향척도(stroke impact scale; SIS), 나인 홀 페그(9-Hole peg), 팔운동기능검사(action research arm test; ARAT), 운동활동척도(motor activity log; MAL), 수정된 바텔 지수(modified bathel index; MBI), 관절가동

범위(range of motion; ROM)가 사용되었다(Table 3). 인지 기능을 평가한 1편의 연구에서는 각 그룹 내 유의미한 변화를 보고하였지만, 그룹 간 유의미한 차이는 나타나지 않았다고 보고하고 있으며(A1), 8편에서 실시된 팔 기능에 대한 회복 평가는 1편(A6)을 제외한 7편의 연구에서 NF훈련과 결합된 실험군 중재 적용 그룹 내에서 모두 유의미한 변화를 보이는 것으로 나타났으며, 이 중 4편의 연구에서 대조군 보다 나은 향상을 보인 것으로 나타났다(A3, A4, A7, A8). 뇌파 측정에 대한 결과, 2편의 연구(A2, A3)에서 부분적으로 beta waves의 증가와 SPD의 증가를 보였으며, MRI측정을 사용한 1편(A6)에서는 상지 기능 평가에서 유의미한 변화를 보이지 않았지만, 반대측 곁질 척수로(contralateral corticospinal tract)와 팔 기능 평가 도구로 사용된 9 Hole peg test 및 ARAT와의 유의미한 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 일상생활동작의 수행능력 평가를 2편에서 실시되었으며, 2편(A4, A7) 모두 실험군에서 유의미한 차이를 보였으나, 그룹 간 비교에서는 1편(A7)만 유의미한 변화를 보였던 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

뇌졸중 발병 이후 뇌 신경의 손상으로 인한 운동 기능·인지·언어·심리 장애 등의 다양한 신경학적 증상들이 나타나게 되어 뇌졸중 환자의 독립적인 일상생활활동(activities of daily living; ADL)의 수행을 방해하게 된다(Kim, 2021). 대부분의 ADL 수행은 손의 사용을 포함하는 팔의 수행으로 이루어져 있기 때문에 특히, 뇌졸중 환자에게 영구적으로 남아있는 팔 기능 장애는 독립적 ADL 수행을 통한, 궁극적인 재활의 목표라 할 수 있는 “지역 사회 복귀”에 있어 가장 큰 장애 요인이라고 할 수 있다(Rayegani 등, 2014). 하지만, 팔 기능 장애의 회복은 다리와 비교하여 회복 속도가 늦거나 예후가 좋지 못하다고 알려져 있는데, 이는 병변 부위로 인한 것이거나, 환자의 걷기에 대한 큰 욕구 등으로 인하여 임상에서의 재활 훈련 자체가 다리와 비교하여 반복적인 운동기회 자체가 적기 때문에, 팔 기능에 대한 뇌 신경 변화의 기회

가 작았기 때문이라 할 수 있을 것이다(Kim 등, 2012). 뇌졸중과 같은 중추신경계 질환 발병 이후에는 신경학적 구조의 재구성을 목적으로 반복적이고 집중적인 훈련이 필수적이기 때문에, 기능 장애를 가진 이들의 삶의 질 개선을 위해서라도 독립적 ADL수행에 기본이라 할 수 있는 팔 기능 회복을 위해 다양한 중재 개발과 그에 대한 효과 검증을 지속적으로 해 나아가는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다(Kim, 2022).

이에 본 연구는 뇌졸중 진단을 받은 환자를 대상으로 뇌전도(뇌파) 기반의 신경되먹임 중재를 통한 팔 기능 장애에 대한 회복과 관련된 연구의 고찰을 통해, 각 연구의 참여 대상자, 중재 유형, 종속 변수(평가), 중재 적용 기간, 결과 등을 체계적으로 분석하여 뇌졸중 환자를 대상으로 효율성의 극대화와 신경학적 증상 개선을 목적으로 재활을 포함한 다양한 분야에서 시도되고 있는 NF훈련 적용 연구의 동향파악과 더불어 세부적인 내용을 살펴보고, 임상 환경에서 적용 가능한 기초자료로서 정보를 제공하고자 수행되었다.

문헌 고찰을 통한 각 연구의 일반적 특성에 대한 분석 결과, NF훈련에 대한 뇌졸중 환자들의 상지 기능 개선과 관련된 연구는 최근 10년간(2012년~2022년) 지속적으로 이루어져오고 있는 것으로 나타났으며, 본 연구에 포함된 8편의 연구는 모두 질적 평가 등급 “++”로써 부적절하거나 충족되지 못한 기준에 의해 결론은 바뀌지 않을 것이라는 결과를 보였다. 8편의 연구 중 6편의 연구는 RCT(randomized controlled trial)연구였으며, 나머지 2편은 맹검 처리를 바탕으로 한 QE(quasi-experimental design)로 진행되었다. 본 연구에 포함된 연구 이외에도, NF와 손과 손목 움직임에 대한 가상현실훈련 결합 중재 연구(Vourvopoulos 등, 2019), NMES를 통한 페그보드 수행에 대한 NF의 시청각 자극 훈련에 대한 연구(Nishimoto 등, 2018), 팔꿈치와 손가락 움직임에 대한 행동 관찰과 NF의 청각 되먹임을 이용한 중재 연구(Nakano 등, 2018) 등 다양한 연구들이 수행 되어져 오고 있었으나, 대부분 단일실험설계(single subject design; SSD)로 수행되어 본 연구의 고찰분석에는 포함되지 않았다.

이와 같이 지난 10년간 국내외적으로 뇌졸중 환자들의 팔 기능 회복을 위한 NF훈련이 꾸준히 연구 되고 있

으며, 회복에 대한 검증을 통해 기능 향상에 기여하는 것으로 나타나고 있지만, 전체적으로 RCT연구가 매우 부족한 것으로 나타났다. 임상 환경에서의 설득력을 가진 효율적인 중재 적용을 고려하였을 때 연구의 디자인은 매우 중요한 요소이다. SSD의 연구는 치료 세션마다 발생하는 행동의 동시적 변화가 나타날 확률이 높으며, 치료의 효과에 영향을 줄 수 있는 다양한 내·외적 변수들을 예상하고 조절하기가 어렵다는 단점을 갖고 있다(Sessler & Imrey, 2015). QE의 경우, 평가와 외적 변수의 조절이 어려워 결과에 대한 정밀성을 떨어뜨리게 되고, 이로 인하여 중재의 효과를 정확하게 파악하는 것이 어려울 수 있다는 단점을 가진다(Sessler & Imrey, 2015). 명백한 의료기술의 발달로 인한 뇌졸중 인구의 증가를 고려할 때, NF훈련과 관련된 양적, 질적으로 개선된 꾸준한 연구가 요구되며, 임상 환경에서 뇌졸중 환자들의 상지 기능 회복을 위한 NF훈련 적용에 대한 명확한 근거 확립의 노력이 필요하다. 이를 위해서 많은 연구 대상자의 모집, 이들의 이중 맹검을 통한 무작위화 및 명확한 독립변수의 조절, 다양한 내·외적 변수들의 통제, 장기간의 추적관찰 등이 이뤄진 RCT를 포함한 순수실험설계(pure experimental design; PE), 교차-대조군 설계(crossover-control design; CCD)등의 다양한 설계를 통한 연구가 필요할 것이라 사료된다.

연구 대상자들에 관한 결과를 분석한 결과, 평균 50세 이상의 중등도 수준의 기능수준을 가진 고 연령군의 뇌졸중 환자로 이뤄진 것으로 나타났다. 고도의 과학기술 발달은 현대 사회의 의학기술 진보를 이끌어냈으며, 이로 인한 평균 수명의 연장은 고령화 사회로의 촉진을 발생시켜 노인 인구가 증가하게 되면서 다차원적 요인에 기인한 뇌졸중과 같은 중추신경계 질환자가 증가하고 있다(Kim & Heo, 2019). 이는 본 연구 분석에 포함된 문헌들의 연구 대상자 선정 결과와 유사한 패턴이라 할 수 있다. 한편, 뇌졸중은 뇌 혈류 장애로 인한 중추 신경계 질환으로 신체 기능 및 인지 기능, 정신적 기능 장애를 발생시키게 되며, 이러한 장애는 손상 수준에 따라 장애의 수준이 다양하게 나타나게 된다(Kim 등, 2020). 본 연구에 포함된 문헌들은 의사소통이 가능, MMSE를 통한 인지 기능의 경미한 손상, 팔 기능에 대한 브론스트롬 운동회복 단계 4~5단계, 감각 손상이 없는 자 등의 대상

자 선정 기준을 나타내고 있다. 이는 뇌졸중 회복 단계 중등도 이상에 해당하는 선정기준을 적용하고 있다. 중증부터 경미한 단계까지 다양한 후유 장애를 보이는 뇌졸중 환자의 특성을 고려하여 뇌졸중 환자의 팔 기능 회복을 통한 ADL능력의 증진 및 전반적인 삶의 질 회복을 이끌어 내기 위해서는, 연구의 대상자를 노인층으로 국한하지 않는 다양성을 확보하고 환자의 증상 및 적절한 장애 수준 등 내외적인 환경적 요소를 고려한 NF훈련과 적용 될 수 있는 중재 개발을 통해 보다 넓은 범위의 뇌졸중 대상자가 참여할 수 있는 연구의 지속적 필요성이 요구된다 할 수 있다.

NF훈련에 대한 효과를 알아보기 위해 사용된 평가도구를 분석한 결과, 팔 기능, ADL수행 능력, 뇌파 변화, MRI와 같이 신체적 변화와 신경학적 변화를 측정하기 위한 객관적인 평가도구들이 사용되었다. 팔 기능 평가 도구로 사용된 도구는 MFT, JHFT, SIS, ROM, MAL을 사용하였으며, ADL 평가도구로 FIM, MBI가 사용되었다. 베타파의 변화와 SPD의 변화 확인을 위한 뇌파 측정이 이뤄졌으며, MRI를 통해 뇌 백질 부위의 분할 비등방도(FA)를 측정하였다. 본 고찰분석에 포함된 8편의 논문 중 뇌파와 MRI를 통한 신경학적 변화의 긍정적인 변화를 보고한 연구를 제외한 표준화된 팔 및 ADL수행 능력 평가 결과는 실험군이 우세한 변화를 보였음에도 그룹간 차이를 보고한 연구는 3편(A5, A7, A8)이었다. 이들 연구에서 사용된 평가도구는 모두 높은 신뢰도를 가지고 있는 도구로써, 임상 및 연구환경에서 많이 사용되는 도구이지만, NF훈련을 통한 팔 기능 및 ADL의 수행 능력 회복에 대한 변화를 관찰하기에는 4-6주의 중재 기간이 짧아 대상자 간의 미세한 차이에 대한 변화를 감지하지 못했던 것으로 사료된다. 따라서 표준화된 평가도구 뿐만 아니라, 3차원동작분석 등을 사용하여 보다 민감한 변화를 발견하기 위한 노력이 필요 할 것이다.

각 연구에 적용된 중재 적용 기간에 대한 분석 결과, 12회~30회로 분포되어있었으며, NF훈련에 대한 적용시간은 30분 4편, 1시간 1편, 1.5시간 2편, 2시간 1편으로 다양하게 적용된 것으로 나타났다. Egner와 Gruzelier(2004)는 NF훈련을 적용했을 때, 효과성이 나타나기 위해서는 20회 이상, 회기당 30분 이상의 중재 적용을 보고하였다. 임상 환경에서의 효율적 적용과 표준

화된 프로토콜의 확립을 위해 뇌졸중 및 기타 질환 등 연구 대상자 및 목적에 따라 다양한 연구 활동이 이뤄져야 할 것으로 생각된다.

본 연구에 포함된 연구들의 NF훈련과 관련된 독립 변수 및 효과에 대한 분석 결과, 8편의 연구 모두 NF훈련과의 결합 중재를 사용하였으며, 이 중 5편의 연구는 FES(functional electrical stimulation; FES)(A5, A6, A7), 로봇을 활용한 외골격 움직임 훈련(A3), 소프트 로봇 장갑(soft robotic glove; SRG)(A8)을 활용한 외부 장치와의 결합 중재를 시행하였으며, 다른 3편은 베타-감각운동 리듬 모드(beta-sensorimotor rhythm training mode)와 시청각 자극에 대한 피드백의 조합을 사용하였다. 실험군은 8편 모두, 팔 기능 회복에 효과를 보이는 것으로 나타났다.

FES와 로봇 등과 같은 중재는 말초신경계의 반복적 전기 또는 움직임 자극을 통해 중추신경계의 변화를 이끌어내는 목적으로 사용되는 장치로 뇌졸중 재활에 유용하게 사용 될 수 있는 근거기반의 치료법으로 다수 연구 되어져오고 있다. NF훈련 역시 뇌파 자체가 훈련을 통해 변화시킬 수 있는 요소라는 가정 하에 시각·청각적으로 피드백을 받아 실시간 검토했고 동시에 스스로 조절 가능하도록 실시하는 훈련으로, 뇌 가소성의 원리를 기반으로 대뇌의 신경학적 기능요소에 변화를 유도하는 중재이다(Yoo, 2021). 이와 같이 뇌가소성에 근거한 신경학적 회복 기전은 중복되거나 반복적인 사용을 통해 효과가 증대 될 수 있다(Kim, 2020). Hebbian principle에 의하면, 지속적이고 반복적인 자극을 통한 피질의 신경세포에 대한 자극은 운동영역의 신경 연결성 증가 및 수상돌기의 성장을 유도하여, 시냅스의 기능 증진을 통해 뉴런 사이의 상호 점화 효율성을 증가시킨다고 하였다(Botelho & Jamison, 2002). 본 연구에 포함된 외부장치를 사용한 5편의 연구는 NF훈련과 수의적 움직임을 유발하는 중재들로 훈련으로 적용하여 팔 기능의 회복 효과를 나타냈으며, 2가지 중재를 통한 2편의 신경세포 사이의 시냅스의 연결성 강화가 2회에 걸쳐 반복적으로 발생되면서 뇌의 신경학적 변화를 유도했기 때문인 것으로 판단 할 수 있으며, 이는 Hebbian principle에 근거한 유사한 결과라 할 수 있을 것이다.

본 연구의 고찰 문헌 중 총 3편의 연구에서는 베타-감각운동 리듬 모드(beta-sensorimotor rhythm(SMR) training

mode)와 시청각 자극에 대한 피드백의 조합을 사용하였다. 뇌의 영역마다 나타나는 뇌파에 차이가 있고, 수행하는 활동에 따라 뇌파가 다르기 때문에, 뇌파는 손상 질환에 따라 차이가 발생한다(Krause 등, 2000).

뇌파는 심장박동이나 소화기계 조절과 관련된 “델타 파”, 수면 및 우울과 같은 감정 영역과 관련된 “세타 파”, 외상 후 스트레스 및 공포증 치료에 사용되는 “알파 파”, 인지처리 작업과 관련된 “감마 파”가 있다(Young 등, 2016). 특히, 본 연구의 각 연구에서 사용된 뇌파는 베타 파를 사용한 SMR훈련 모드로서, “베타 파”는 대뇌 겉질의 운동 담당 영역과의 연결성을 가지고 있으며, 뇌졸중과 같이 뇌 손상 이후 발생하는 후유장애로 발생하는 증가된 근 긴장도를 감소시켜 주는 운동 장애의 회복 및 환자의 수의적 움직임 조절과도 연관되어있는 것으로 보고되어 있다(Schabus 등, 2008). 이는 본 연구에 포함된 연구들에서 사용된 뇌졸중 환자를 대상으로 한 Beta-SMR훈련 모드의 적절성에 대한 근거가 될 수 있을 것이며, 추후 연구를 통해, 뇌졸중 환자의 운동장애를 유발하는 수많은 신경학적 장애를 조절하기 위해 다양한 뇌파리듬 모드를 사용하여 운동 장애의 회복에 영향을 줄 수 있는 요인들을 세부적으로 접근하는 방식의 중재법이 필요 할 것이라 생각된다.

본 연구는 뇌졸중 환자들의 팔 기능 장애의 회복과 관련된 NF훈련에 관한 연구의 체계적 고찰을 통해, 뇌졸중 환자의 재활에 참여하고 있는 임상가 및 관련 연구자들에게 뇌졸중 환자들의 팔 기능 회복을 위한 NF훈련, 평가도구, 연구 설계 등의 다양한 방법론을 제시함으로써 임상에서의 적극적인 치료적 활용에 대한 방향성 제시 및 추후 관련 연구를 위한 정보 및 근거를 제시하여 해당 연구의 질적·양적 향상의 필요성을 제시한 측면에서 의의가 있을 것이다.

본 연구의 제한점으로는 8편의 연구는 모두 2그룹 이상의 대조군 비교 설계로 수행되었지만 연구 결과에 대한 효과 크기가 제시되지 않았다. 또한, 최근 10년간의 대조군 설계된 연구만 선택한 본 연구의 문헌 선정 범위 기준의 설정 한계로 인하여 10년 이전의 문헌들을 소개하는데 제한을 가지고 있었다. 추후 연구를 통해 검색 범위를 넓인 메타분석 연구가 필요하다고 생각되며, 다양한 설계의 연구를 다수 포함하여 광범위한 고찰 연구

를 통한 연구의 방법론적 보완으로 임상 환경에서의 중재 적용의 일반화를 위한 노력이 요구된다고 할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 뇌졸중 환자들의 팔 기능 회복을 위한 NF 훈련과 재활 중재의 결합 중재의 적용에 대한 연구에 대하여 체계적 문헌 고찰하여 분석하는 것을 목적으로 한다. 최근 10년간(2012년~2022년)의 연구를 검토한 결과, 총 8편의 논문이 최종 선정되어 PICO-SD로 분석하였다. 고찰 분석 결과, NF훈련의 종류 및 적용 기간 등에는 차이가 있었지만, 전반적으로 NF훈련과 재활 중재의 결합 중재는 팔 기능회복과 긍정적인 뇌파 변화 및 뇌의 신경학적 변화에 효과적인 것으로 나타났다. 추후 연구를 통해 연구의 방법론적 보완을 기반으로 연구의 질적·양적 증가가 필요하다 생각된다. 또한, 다양한 뇌파를 활용한 NF훈련의 개발 및 적용, 여러가지 변수를 고려한 적절하고 민감한 평가의 선택 등을 고려한 복합적인 치료 방법을 통해 여러 질환들에 대한 치료의 질적 향상뿐만 아니라 질병예방 및 건강증진을 도모하여 환자들의 삶의 질을 높이고자 하는 노력이 요구된다고 할 수 있다.

참고문헌

Acevedo BP, Dattatri N, Le J, et al(2022). Cognitive training with neurofeedback using fNIRS improves cognitive function in older adults. *Int J Environ Res Public Health*, 19(9), Printed Online. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095531>.

Ang KK, Chua KSG, Phua KS, et al(2015). A randomized controlled trial of EEG-based motor imagery brain-computer interface robotic rehabilitation for stroke. *Clin EEG Neurosci*, 46(4), 310-320. <https://doi.org/10.1177/1550059414522229>.

Alkoby O, Abu-Rmileh A, Shriki O, et al(2018). Can we

- predict who will respond to neurofeedback? a review of the inefficacy problem and existing predictors for successful EEG neurofeedback learning. *Neuroscience*, 378, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.050>.
- Botelho F, Jamison JE(2002). A learning rule with generalized Hebbian synapses. *J Math Anal Appl*, 273(2), 529-547. [http://doi.org/10.1016/S0022-247X\(02\)00263-9](http://doi.org/10.1016/S0022-247X(02)00263-9).
- Cheng N, Phua KS, Lai HS, et al(2020). Brain-computer interface-based soft robotic glove rehabilitation for stroke. *IEEE Trans Biomed Eng*, 67(12), 3339-3351. <https://doi.org/10.1109/TBME.2020.2984003>.
- Cho HY, Kim KT, Jung JH(2016). Effects of neurofeedback and computer-assisted cognitive rehabilitation on relative brain wave ratios and activities of daily living of stroke patients: a randomized control trial. *J Phys Ther Sci*, 28(7), 2154-2158. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2154>.
- Egner T, Gruzelier JH(2004). EEG biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clin Neurophysiol*, 115(1), 131-139. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00353-5](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00353-5).
- Huster RJ, Mokom ZN, Enriquez-Geppert S, et al(2014). Brain-computer interfaces for EEG neurofeedback: peculiarities and solutions. *Int J Psychophysiol*, 91(1), 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.08.011>.
- Jang YY, Kim TH, Lee BH(2016). Effects of brain-computer interface-controlled functional electrical stimulation training on shoulder subluxation for patients with stroke: a randomized controlled trial. *Occup Ther Int*, 23(2), 175-185. <https://doi.org/10.1002/oti.1422>.
- Jung MW, Shim SH(2012). Effects of neurofeedback training and computer-assisted cognitive rehabilitation on cognition and upper extremity function in poststroke. *Therapeutic Science for Rehabilitation*, 1(1), 57-70. <https://doi.org/10.22683/tsnr.2012.1.1.057>.
- Kim GD, Heo M(2019). Effects of self care training program on motor function of upper limb and self-efficacy in chronic stroke patients. *J Korea Entertain Industr Assoc*, 13(7), 497-503. <http://doi.org/10.21184/jkeia.2019.10.13.7.497>.
- Kim HH, Kim KM, Chang MY(2012). Interventions to promote upper limb recovery in stroke patients: a systematic review. *Korean J Occup Ther*, 20(1), 129-145.
- Kim SH(2020). Effects of occupation-based bilateral upper extremity training and transcranial direct current stimulation upper limb function in stroke patients. *J Korea Contents Assoc*, 20(9), 520-530. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2020.20.09.520>.
- Kim SH(2021). Effects of dual transcranial direct current stimulation and modified constraint-induced movement therapy to improve upper-limb function after stroke: a double-blinded, pilot randomized controlled trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 30(9), Printed Online. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105928>.
- Kim SH(2022). A systematic review on the improvement of daily living activity performance of computer-based cognitive therapy education for patients with cognitive impairment : focusing on the domestic literature. *J Edutain*, 4(3), 35-48. <https://doi.org/10.36237/koedus.4.3.35>.
- Kim SH, Park JH, Jung MY, et al(2016a). Effects of task-oriented training as an added treatment to electromyogram-triggered neuromuscular stimulation on upper extremity function in chronic stroke patients. *Occup Ther Int*, 23(2), 165-174. <https://doi.org/10.1002/oti.1421>.
- Kim SH, Kim JR, Park HY, et al(2020). Development of a occupation-based bilateral upper extremity training protocol in a medical setting for stroke patients. *Therapeutic Sci Rehabil*, 9(1), 24-44. <http://doi.org/10.22683/tsnr.2020.9.1.024>.
- Kim TH, Kim SS, Lee BH(2016b). Effects of action observational training plus brain-computer interface-based functional electrical stimulation on

- paretic arm motor recovery in patient with stroke: a randomized controlled trial. *Occup Ther Int*, 23(1), 39-47. <https://doi.org/10.1002/oti.1403>.
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, et al(2000). The effects of memory load on event-related EEG desynchronization and synchronization. *Clin Neurophysiol*, 111(11), 2071-2078. [http://doi.org/10.1016/s1388-2457\(00\)00429-6](http://doi.org/10.1016/s1388-2457(00)00429-6).
- Lofthouse N, Arnold LE, Hersch S, et al(2012). A review of neurofeedback treatment for pediatric ADHD. *J Atten Disord*, 16(5), 351-372. <https://doi.org/10.1177/1087054711427530>.
- Mihara M, Fujimoto H, Hattori N, et al(2021). Effect of neurofeedback facilitation on poststroke gait and balance recovery: a randomized controlled trial. *Neurology*, 96(21), e2587-e2598. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000011989>.
- Nakano H, Kodama T, Murata S, et al(2018). Effect of auditory neurofeedback training on upper extremity function and motor imagery ability in a stroke patient: a single case study. *Intern J Clin Res Trials*, 3(2), Printed Online. <https://doi.org/10.15344/2456-8007/2018/126>.
- Nelson LA(2007). The role of biofeedback in stroke rehabilitation: past and future directions. *Top Stroke Rehabil*, 14(4), 59-66. <https://doi.org/10.1310/tsr1404-59>.
- Nishimoto A, Kawakami M, Fujiwara T, et al(2018). Feasibility of task-specific brain-machine interface training for upper-extremity paralysis in patients with chronic hemiparetic stroke. *J Rehabil Med*, 50(1), 52-58. <https://doi.org/10.2340/16501977-2275>.
- Rayegani SM, Raeissadat SA, Sedighipour L, et al(2014). Effect of neurofeedback and electromyographic-biofeedback therapy on improving hand function in stroke patients. *Top Stroke Rehabil*, 21(2), 137-151. <https://doi.org/10.1310/tsr2102-137>.
- Schabus MI, Hoedlmoser K, Pecherstorfer T, et al(2008). Interindividual sleep spindle differences and their relation to learning-related enhancements. *Brain Res*, 1191, 127-135. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.10.106>.
- Sessler DI, Imrey PB(2015). Clinical research methodology 3: randomized controlled trials. *Anesth Analg*, 121(4), 1052-1064. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000862>.
- Sterman MB(2010). Biofeedback in the treatment of epilepsy. *Cleve Clin J Med*, 77(3), S60-S67. <https://doi.org/10.3949/ccjm.77.s3.11>.
- Vourvopoulos A, Pardo OM, Lefebvre S, et al(2019). Effects of a braincomputer interface with virtual reality (VR) neurofeedback: a pilot study in chronic stroke patients. *Front Hum Neurosci*, 13, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00210>.
- Wen X, Li L, Li X, et al(2022). Therapeutic role of additional mirror therapy on the recovery of upper extremity motor function after stroke: a single-blind, randomized controlled trial. *Neural Plast*, 2022, Printed Online. <https://doi.org/10.1155/2022/8966920>.
- Yoo IG(2021). Electroencephalogram-based neurofeedback training in persons with stroke: a scoping review in occupational therapy. *NeuroRehabilitation*, 48(1), 9-18. <https://doi.org/10.3233/NRE-201579>.
- Young BM, Stamm JM, Song J, et al(2016). Brain-computer interface training after stroke affects patterns of brain-behavior relationships in corticospinal motor fibers. *Front Hum Neurosci*, 10, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00457>.