ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪해설논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 36(5), 413-428 (2026) https://doi.org/10.4283/JKMS.2026.36.5.413

Clinical Application and Functional Outcomes of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Motor and Related Symptoms in Patients with Parkinson's Disease: A Scoping Review

Mi-Yeong Gang
Dept. of Occupational Therapy, Woosong University, Daejeon 34606, Korea

Jung-Woo Jeong*
Dept. of Occupational Therapy, Sangji University, Wonju 26339, Korea

(Received 17 October 2026, Received in final form 23 October 2026, Accepted 26 October 2026)

This scoping review aimed to identify the clinical applications and functional outcomes of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for motor and motor-related functions in patients with Parkinson's disease (PD). Five databases were searched for studies published between 2016 and 2025, and 23 studies met the inclusion criteria. The included studies varied in stimulation targets, frequencies, treatment sessions, and combined interventions. Functional outcomes addressed overall motor function, gait balance, upper-limb function, swallowing, and speech. Improvements in motor and motor-related functions were reported in some studies. The findings provide an overview of current rTMS applications and functional outcomes and may serve as a foundation for establishing optimal stimulation protocols and exploring the clinical potential of rTMS in PD rehabilitation.

Keywords : repetitive transcranial magnetic stimulation, Parkinson's disease, motor symptoms, rehabilitation, scoping review

파킨슨병 환자의 운동 및 관련 기능에 대한 반복경두개자기자극의 임상적 적용과 기능적 효과: 주제범위 고찰

강미영
우송대학교 작업치료학과, 대전광역시 동구 동대전로 171, 34606

정중우*
상지대학교 작업치료학과, 강원도 원주시 상지대길 83, 26339

(2026년 10월 17일 받음, 2026년 10월 23일 최종수정본 받음, 2026년 10월 26일 게재확정)

본 연구는 파킨슨병 환자의 운동 및 운동 관련 기능에 대한 반복경두개자기자극(rTMS)의 임상적 적용과 기능적 결과를 분석하기 위한 주제범위 문헌 고찰이다. 2016년부터 2025년까지 출판된 문헌을 5개 데이터베이스에서 검색하여 최종 23편을 선정하였다. 선정된 연구는 자극 부위, 빈도, 중재 회기 및 병행중재 방법에서 다양한 특성을 보였다. 주요 평가영역은 전반적 운동기능, 보행, 균형, 상지기능, 삼킴 및 말하기 기능이었으며, rTMS 중재 후 일부 연구에서 운동 및 운동 관련 기능의 개선이 보고되었다. 본 연구는 rTMS의 임상적 적용과 기능적 결과에 대한 전반적인 현황을 제시하였으며, 향후 최적의 자극 프로토콜 확립과 파킨슨병 재활에서의 임상적 활용 가능성을 구체화하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

주제어 : 반복경두개자기자극, 파킨슨병, 운동증상, 재활, 주제범위 고찰

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-33-730-0798, Fax: +82-33-730-0830, e-mail: j2wot@naver.com

I. 서 론

파킨슨병(Parkinson's disease, PD)은 흑질 치밀부(substantia nigra pars compacta)의 도파민성 신경세포 소실과 기저핵-시상피질 회로(basal ganglia-thalamocortical circuits)의 기능 이상을 특징으로 하는 진행성 신경퇴행성 질환이다[1]. PD의 주요 운동증상으로는 운동느림증(bradykinesia), 강직(rigidity), 안정시 떨림(resting tremor) 및 자세불안정(postural instability)이 나타나며, 질환이 진행됨에 따라 보행장애, 균형능력 저하 등 다양한 운동기능 장애가 나타난다[2,3]. 이러한 운동장애는 이동성과 상지의 조작능력을 제한하고 일상생활활동 수행의 어려움을 초래하여 환자의 독립성과 삶의 질에 부정적인 영향을 미친다[4]. 이와 함께 구강·인두·후두의 운동조절 기능 이상과 관련된 삼킴장애(dysphagia)와 마비말장애(dysarthria) 등 운동 관련 기능장애가 동반될 수 있으며[5], 이는 식사활동과 의사소통을 비롯한 일상생활의 주요 활동에 영향을 미칠 수 있다. 이처럼 파킨슨병의 운동장애는 전반적인 운동증상 뿐만 아니라 다양한 기능적 수행의 제한으로 이어지므로, 운동증상의 조절과 함께 운동 관련 기능을 유지하고 향상시키기 위한 치료적 접근이 중요하다.

파킨슨병의 운동증상 개선을 위해 레보도파(levodopa)를 비롯한 도파민성 약물치료가 널리 사용되고 있으며[6], 일부 환자에게는 뇌심부자극술(deep brain stimulation, DBS)과 같은 수술적 치료가 적용되고 있다[7]. 그러나 약물치료는 장기간 사용에 따른 운동 동요(motor fluctuations)와 운동이상증(dyskinesia)이 발생할 수 있으며, 보행동결(freezing of gait)과 자세불안정(postural instability) 등 일부 운동장애는 약물치료에 대한 반응이 제한적일 수 있다고 보고되고 있다[7,8]. 또한 약물치료를 통한 운동증상의 조절이 반드시 일상생활에서의 기능적 수행능력 향상으로 이어지는 것은 아니므로 운동기능의 회복과 유지를 위한 재활중재의 중요성이 강조되고 있다[9]. 이에 따라 운동기능 유지와 기능적 수행능력 향상을 위해 균형 및 보행훈련, 일상생활활동 중심의 작업치료 등 다양한 재활중재가 활용되고 있으며[10,11], 최근에는 기존 재활중재를 보완하고 운동증상 개선을 촉진하기 위한 접근으로 신경계의 흥분성과 신경가소성을 조절하는 비침습적 뇌자극(non-invasive brain stimulation)의 임상적 활용 가능성에 대해 보고되어지고 있다[12].

이러한 비침습적 뇌자극 중재 중 반복경두개자기자극(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)은 자기장을 이용하여 대뇌피질에 유도전류를 발생시키고 신경세포의 흥분성과 신경망 활동을 조절하는 중재방법이다[12]. 파킨슨병의 운동장애는 기저핵-시상피질 회로의 신경활동 이상과 관련되어 있어[1], rTMS가 대뇌피질의 흥분성과 관련 신경망의 활동을 조절할 수 있다는 점에서 운동증상 개선을 위한 비침습적 신경조절 중재로 연구되고 있다[13]. 파킨슨병 환자의 운동증상 개선을 위한 rTMS는 일차운동영역(primary motor cortex, M1)을 비롯하여 보조운동영역(supplementary motor area, SMA), 소뇌(cerebellum) 및 앞운동영역(premotor cortex) 등 다양한 운동 관련 영역에 적용되고 있으며, 자극 부위와 중재 프로토콜에 따라 다양한 방식으로 시행되고 있다[13]. 이러한 rTMS 적용의 다양성을 고려할 때, 자극 프로토콜 뿐만 아니라 중재의 목표가 되는 운동기능과 이를 평가하기 위해 활용된 평가영역 및 평가도구를 함께 살펴볼 필요가 있다.

파킨슨병 환자를 대상으로 한 rTMS의 임상적 중재는 균형 및 자세조절, 상지 및 손기능, 삼킴, 말하기 및 발성 등 다양한 운동기능 및 관련 기능 개선을 위해 적용되고 있다[14-17]. 이러한 임상적 효과를 검토한 체계적 문헌고찰과 메타분석도 보고되고 있으나, 기존의 고찰연구들은 주로 운동증상 또는 개별 기능 영역에 대한 중재 효과를 분석하는데 초점을 두고 있다[13,18,19]. 이에 비해 자극 부위와 빈도 등 rTMS의 임상적 적용 특성과 운동 및 관련 기능의 평가, 재활치료와의 연계성을 포함한 연구는 제한적이다. 이에 본 연구는 파킨슨병 환자의 운동 및 운동 관련 기능을 대상으로 수행한 rTMS 연구를 주제범위 고찰 방법으로 분석하여 임상적 적용 특성과 기능적 효과를 종합적으로 파악하고자 한다.

II. 연구 방법

본 연구는 파킨슨병 환자의 운동 및 관련 기능에 대한 반복경두개자기자극(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)의 임상적 적용 특성과 기능적 효과를 파악하기 위해 주제범위 고찰(scoping review)을 실시하였다. 주제범위 고찰이란 특정 연구영역에서 수행된 문헌의 특성과 연구범위를 체계적으로 파악하고, 주요 개념과 근거의 분포 및 연구 간극을 확인하는데 적합한 문헌고찰 방법이다[20]. 연구 절차는 Arksey와 O'Malley(2005)가 제시한 주제범위 문헌고찰 방법론에 따라 진행하였으며, 연구 질문 도출, 문헌 검색, 문헌 선정, 자료 기입 및 연구결과 보고의 5단계로 구성하였다.

1. 연구 질문 도출

본 연구는 파킨슨병 환자를 대상으로 시행된 rTMS의 임상적 적용 특성과 운동 및 관련 기능에 대한 평가영역과 평가도구, 기능적 효과를 종합적으로 파악하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같은 연구 질문을 설정하였다: 1) 파킨슨병 환자를 대상으로 한 rTMS 연구의 일반적 특성과 임상적 적용 특성은 무엇인가? 2) 파킨슨병 환자의 운동 및 관련 기능에 관하

여 어떠한 평가영역과 평가도구가 활용되고 있는가? 3) rTMS 적용에 따른 운동 및 관련 기능의 중재 효과는 어떠하며, 기능영역별 연구동향과 특성은 무엇인가?

2. 문헌 검색

본 연구는 2016년 1월 1일부터 2025년 12월 31일까지 최근 10년간 출판된 국내외 문헌을 대상으로 검색을 실시하였다. 문헌검색에 활용한 데이터베이스는 총 5곳으로 PubMed, Embase, Web of Science, Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature(CINAHL), 학술연구정보서비스(Research Information Sharing Service, RISS)를 이용하였다. 문헌 검색기간은 2026년 7월 10일부터 8월 5일까지였으며 검색어는 연구대상, 중재방법 및 재활 관련성을 고려하여 국문 검색어는 “파킨슨병”, “반복경두개자기자극”, “재활”을 사용하였고, 영문 검색어는 “Parkinson’s disease”, “rTMS”, “rehabilitation”을 사용하였다. 검색 시 Boolean operator (AND, OR)를 활용하여 검색식을 구성하였으며, 데이터 특성에 따라 검색어를 수정 및 조합하여 적용하였다.

3. 문헌 선정

문헌 검색을 통해 수집된 자료는 중복 문헌을 제거한 후 제목과 초록을 검토하여 연구 목적에 부합하는 문헌을 선별하였다. 이후 전문(full text)을 검토하여 최종 포함 여부를 결정하였다. 문헌의 포함 기준과 제외 기준은 다음과 같다.

1) 문헌 포함 기준
   (1) 파킨슨병 환자를 대상으로 한 연구
   (2) 반복경두개자기자극(rTMS)을 중재로 적용한 연구
   (3) 운동 및 관련 기능에 대한 평가 결과를 보고한 연구
   (4) 설정된 문헌 검색기간 내 국내외 학술지에 게재된 전문(full text) 확인이 가능한 연구
2) 문헌 제외 기준
   (1) 연구 프로토콜, 사례연구, 종설 및 메타분석 연구
   (2) 학술지에 게재되지 않은 학위논문, 학술대회 초록

상기 기준에 따라 총 336편의 문헌이 검색되었으며, PubMed

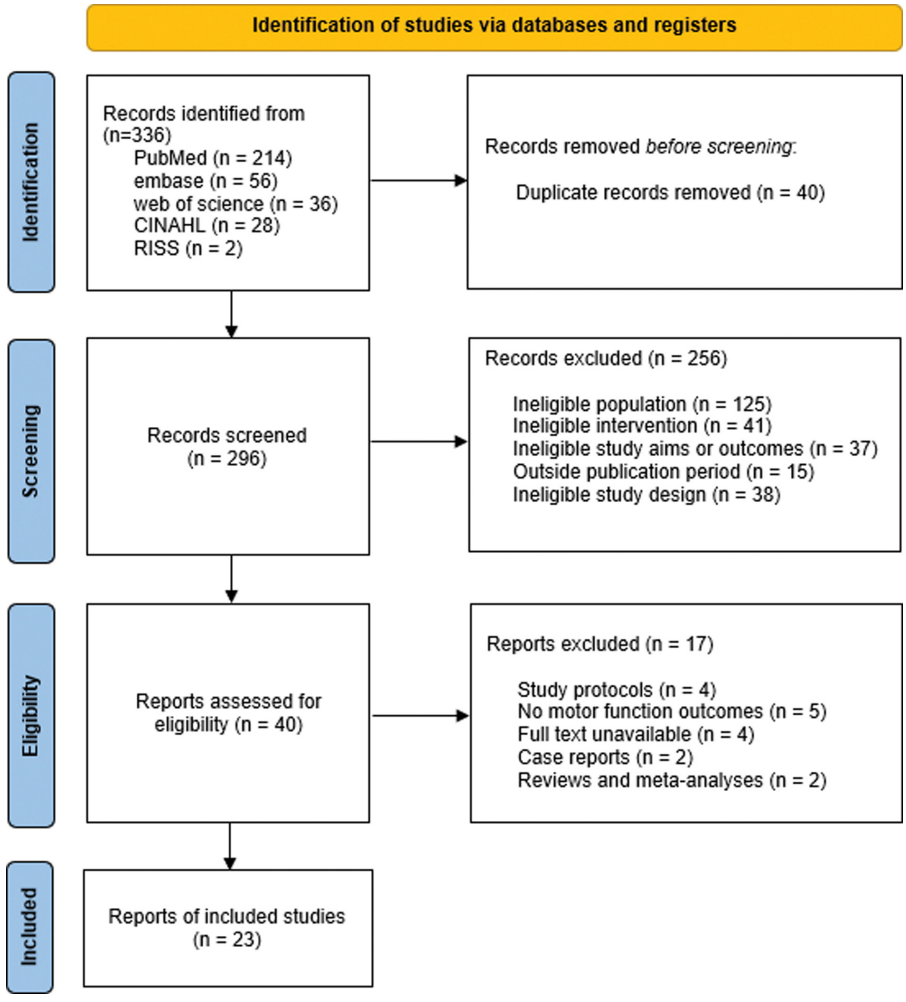


Fig. 1. (Color online) Flow diagram for study selection.

214편, Embase 56편, Web of Science 36편, CINAHL 28편, RISS 2편이었다. 이 중 중복문헌 40편을 제외한 296편을 대상으로 제목과 초록을 검토하였다. 검토 결과, 연구대상이 부적합한 문헌 125편, 중재방법이 부적합한 문헌 41편, 연구목적 또는 결과변수가 부적합한 문헌 37편, 출판기간에 해당하지 않는 문헌 15편, 연구설계가 부적합한 문헌 38편 등 총 256편을 제외하였다. 이후 40편의 전문을 검토하여 연구 프로토콜 4편, 운동기능 평가 결과가 포함되지 않은 연구 5편, 전문 확인이 불가능한 연구 4편, 사례연구 2편, 종설 및 메타분석 연구 2편 등 총 17편을 제외하였다. 최종적으로 23편의 문헌이 선정되었으며, 문헌 선정 과정은 Fig. 1에 제시하였다.

4. 자료 기입 및 연구결과 보고

최종 선정된 23편의 문헌은 연구목적 및 연구질문에 따라 자료 기입을 실시하였다. 자료 기입은 저자, 출판연도, 연구수행 국가, 연구설계, 대상자 수 및 Hoehn and Yahr(H&Y) 단계 등의 일반적 특성과 rTMS의 자극부위, 자극 유형, 자극 빈도, 자극 강도, 중재 회기 및 병행중재 여부 등의 임상적 적용 특성을 중심으로 수행하였다.

또한 rTMS의 기능적 결과를 분석하기 위해 평가영역을 전반적 운동기능, 보행 및 이동성, 균형 및 자세조절, 상지 및 손기능, 삼킴기능, 말하기 및 발성기능으로 분류하였다. 각 기능영역에서 사용된 평가도구와 결과지표를 확인하고, rTMS 적용에 따른 기능적 변화를 분석하였다. 아울러 선정된 문헌에서 운동기능과 함께 평가된 인지 및 정서기능, 일상생활활동, 삶의 질 등의 비운동기능과 신경생리학적 지표의 활용 현황을 추가로 확인하였다.

추출된 자료는 연구의 일반적 특성, rTMS의 임상적 적용 특성 및 기능별 평가영역에 따라 분류하고, 각 항목의 빈도와 백분율을 산출하여 제시하였다. 이를 통해 파킨슨병 환자의 운동 및 운동 관련 기능에 대한 rTMS의 임상적 적용 현황과 기능적 효과를 종합적으로 분석하고, 관련 연구의 특성과 경향을 파악하고자 하였다.

III. 결 과

1. 연구의 일반적 특성

최종 선정된 문헌은 총 23편으로, 2016년부터 2025년까지 발표된 연구가 포함되었다. 선정 연구의 일반적 특성은 Table I에 제시하였으며, 연구별 세부 내용은 Appendix 1에 정리하였다. 출판연도별로는 2016년, 2019년, 2023년에 각각 4편(17.4%)으로 가장 많은 연구가 발표되었으며, 2017년, 2022년, 2024년, 2025년에는 각각 2편(8.7%), 2018년과 2020년, 2021년에는 각각 1편(4.3%)이 발표되었다.

연구 수행 지역은 아시아가 8편(34.8%)으로 가장 많았으며, 유럽이 7편(30.4%), 북아메리카 5편(21.7%), 아프리카 3편(13.0%) 순이었다. 연구설계는 무작위 대조시험(randomized controlled trial, RCT)이 12편(52.2%)으로 가장 많았으며, 교차 또는 균형교차설계(crossover/counterbalanced design)가 6편(26.1%), 준실험 및 사전-사후 중재설계(quasi-experimental/pre-post intervention design)가 4편(17.4%), 반복측정 거짓자극 대조설계(repeated-measures sham-controlled design)가 1편(4.3%)이었다.

연구별 대상자 수는 10명에서 68명까지 분포하였다. H&Y stage가 보고된 연구에서는 주로 1~4단계의 파킨슨병 환자가 포함되었으며, 일부 연구에서는 H&Y stage가 보고되지 않았다.

2. 반복경두개자기자극의 임상 적용 특성

선정된 연구의 반복경두개자기자극(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS) 중재 특성은 Table II에 제시하였다. 자극 부위는 일차운동영역(primary motor cortex,

Table I. General characteristics of included studies (N = 23).

Characteristics	Category	N (%)
Publication year	2016~2018	7 (30.4)
	2019~2021	6 (26.1)
	2022~2023	6 (26.1)
	2024~2025	4 (17.4)
Region	Asia	8 (34.8)
	Europe	7 (30.4)
	North America	5 (21.7)
	Africa	3 (13.0)
Study design	Randomized controlled trial	12 (52.2)
	Crossover/counterbalanced design	6 (26.1)
	Quasi-experimental/pre-post intervention design	4 (17.4)
	Repeated-measures sham-controlled design	1 (4.3)

Table II. Characteristics of rTMS interventions in the included studies (N = 23).

Characteristics	Category	N (%)
Stimulation site	Primary motor cortex and related motor areas	10 (43.5)
	Supplementary motor area	3 (13.0)
	Cerebellum	3 (13.0)
	Dorsal premotor cortex	1 (4.3)
	Posterior parietal cortex	2 (8.7)
	Other cortical areas	2 (8.7)
	Multiple stimulation sites	2 (8.7)
Stimulation type	Conventional rTMS	16 (69.6)
	Theta burst stimulation (TBS)	4 (17.4)
	Other type	3 (13.0)
Stimulation frequency	Low frequency (≤1 Hz)	5 (21.7)
	High frequency (>1 Hz)	11 (47.8)
	Theta burst stimulation	4 (17.4)
	Mixed frequency (low + high)	3 (13.0)
Number of sessions	Single session	6 (26.1)
	2~5 sessions	4 (17.4)
	6~10 sessions	8 (34.8)
	>10 sessions	4 (17.4)
	Insufficiently reported	1 (4.3)
Combined intervention	rTMS alone	14 (60.9)
	rTMS combined with other interventions	9 (39.1)

Note. Each study was classified into one category for each intervention characteristic. rTMS: repetitive transcranial magnetic stimulation

M1) 및 관련 운동영역이 10편(43.5%)으로 가장 많았으며, 보조운동영역(supplementary motor area, SMA)과 소뇌가 각각 3편(13.0%)이었다. 뒤마루겉질영역(posterior parietal cortex, PPC)과 기타 겉질 영역은 각각 2편(8.7%)이었으며, 등쪽앞운동영역(dorsal premotor cortex, PMd)은 1편(4.3%)이었다. 두 개 이상의 자극 부위를 적용한 연구는 2편(8.7%)이었다.

자극 유형은 전통적인 rTMS가 16편(69.6%)으로 가장 많았으며, 세타버스트자극(theta burst stimulation, TBS)이 4편(17.4%), 기타 자극 유형이 3편(13.0%)이었다. 자극 빈도는 고빈도 자극(>1 Hz)이 11편(47.8%)으로 가장 많았고, 저빈도 자극(≤1 Hz)이 5편(21.7%), TBS가 4편(17.4%), 저빈도와 고빈도를 함께 적용한 혼합 주파수 자극이 3편(13.0%)이었다. 각 연구는 자극 특성별로 하나의 범주에 배정하였다.

중재 회기는 6~10회가 8편(34.8%)으로 가장 많았으며, 단일 회기 6편(26.1%), 2~5회와 10회 초과가 각각 4편(17.4%)이었다. 중재 회기가 충분히 보고되지 않은 연구는 1편(4.3%)이었다. rTMS를 단독으로 적용한 연구는 14편(60.9%)이었으며, 다른 중재와 병행한 연구는 9편(39.1%)이었다. 병행 중재에는 경두개직류자극(transcranial direct current stimulation, tDCS), 트레드밀 훈련(treadmill training), 인지 이중과제 보행훈련(cognitive dual-task gait training), Lee Silverman Voice Treatment(LSVT), 뇌파 유도 신경되먹임(electroencephalography-guided neurofeedback, EEG-guided NFB), 파킨슨병 다중복합치료(parkinson's disease multimodal complex treatment, PD-MCT), 반복척수자기자극(repetitive trans-spinal magnetic stimulation, rSMS), 동작관찰 및 모방훈련(action observation and imitation training, AOIT) 등이 포함되었다.

병행중재 연구에서는 실험군과 대조군에 공통으로 적용된 중재와 군 간 차이를 둔 중재가 연구마다 달랐다. 선행 연구에서 동일한 인지 이중과제 보행훈련에 실제 rTMS 또는 거짓 rTMS를 병행하여 rTMS의 추가 효과를 평가하였다[25]. 반면 다른 연구에서는 두 군 모두 rTMS를 적용한 상태에서 실제 tDCS와 거짓 tDCS를 비교하였으며[29], 동일한 rTMS에 실제 rSMS 또는 거짓 rSMS를 추가하여 비교하였다[41]. 따라서 후자의 두 연구는 rTMS의 추가 효과가 아니라 각각 tDCS와 rSMS의 추가 효과를 평가한 연구로 구분하였다.

3. 운동기능 평가도구의 특성 및 활용 현황

선정된 연구에서는 rTMS 중재에 따른 운동기능의 변화를 확인하기 위해 전반적 운동기능, 보행 및 이동성, 균형 및 자세조절, 상지 및 손 기능, 삼킴기능, 언어 등 다양한 영역의 평가도구가 사용되었다. 세부 현황은 아래 Table III에 제시하였다.

전반적 운동기능 평가에는 Unified Parkinson's Disease Rating Scale(UPDRS)와 Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale(MDS-UPDRS)가 주로 사

Table III. Characteristics and utilization of motor function outcome measures in the included studies (N = 23).

Characteristics	Outcome measures	N (%)
Overall motor function	UPDRS/MDS-UPDRS-related measures	19 (82.6)
Gait and mobility	TUG/DT-TUG	6 (26.1)
	FOG-Q/N-FOGQ	6 (26.1)
	Gait speed/walking tests	5 (21.7)
	Turning-related measures	3 (13.0)
	Other gait-related measures	4 (17.4)
Balance and postural control	BBS	1 (4.3)
	LOS	1 (4.3)
	Dynamic posturography	1 (4.3)
	Retropulsion Test	1 (4.3)
Upper extremity and hand function	Finger tapping	4 (17.4)
	9-HPT	2 (8.7)
	Coin Rotation Test/CR	1 (4.3)
	Pegboard Test	1 (4.3)
	Pinch strength	1 (4.3)
	Other upper-extremity motor tasks	3 (13.0)
Swallowing function	Dysphagia-related self-report measures	2 (8.7)
	VFSS	1 (4.3)
	Other swallowing measures	1 (4.3)
Speech and phonation	Dysarthria Score	1 (4.3)
	Fundamental frequency-related measures	1 (4.3)
	Phonation stability	1 (4.3)

Note. UPDRS: Unified Parkinson's Disease Rating Scale; MDS-UPDRS: Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale; TUG: Timed Up and Go; DT-TUG: Dual-Task Timed Up and Go; FOG-Q: Freezing of Gait Questionnaire; N-FOGQ: New Freezing of Gait Questionnaire; BBS: Berg Balance Scale; LOS: Limits of Stability; 9-HPT: Nine-Hole Peg Test; CR: Coin Rotation; VFSS: Videofluoroscopic Swallowing Study

용되었다. 특히 UPDRS Part III와 MDS-UPDRS Part III는 파킨슨병 환자의 떨림(tremor), 강직(rigidity), 운동느림증(bradykinesia) 등 전반적인 운동증상의 변화를 평가하는 데 활용되었다.

보행 및 이동성 평가에는 Timed Up and Go(TUG), Dual-Task Timed Up and Go, DT-TUG), 10-Meter Walk Test(10MWT), 보행속도, 보행률 및 회전시간 등이 사용되었다. 또한 보행동결을 평가하기 위해 Freezing of Gait Questionnaire(FOG-Q)가 활용되었다. 균형 및 자세조절 평가에는 Berg Balance Scale(BBS), Limits of Stability(LOS), Dynamic posturography, Retropulsion test 등이 사용되었다. 이러한 평가도구는 정적·동적 균형과 자세안정성 및 자세반응을 확인하는 데 활용되었다.

상지 및 손 기능 평가에는 Nine-Hole Peg Test(9-HPT), Coin Rotation Test(CRT), finger tapping, pinch strength 등이 사용되었다. 이들 평가도구는 손의 기민성, 미세운동 조절 및 반복적인 상지 움직임을 평가하는 데 활용되었다. 삼킴기능 평가에는 dysphagia-related self-report와 Videofluoroscopic swallowing study(VFSS) 등이 사용되었으며, 삼킴장애의 정도와 삼킴 수행능력을 평가하는 데 활용되었다. 언어평가에는 dysarthria score, fundamental frequency(f0)와 phonation stability 등의 지표가 사용되어 파킨슨병과 관련된 말하기 및 발성기능의 변화를 평가하였다.

4. 반복경두개자기자극의 운동기능에 대한 효과

최종 선정된 문헌에서 rTMS의 운동기능 관련 효과는 전반적 운동기능, 보행 및 이동성, 균형 및 자세조절, 상지 및 손 기능, 삼킴기능, 말하기 및 발성기능으로 구분하여 확인하였다. 일부 연구에서 운동기능의 유의한 개선이 보고되었으나, 기능 영역과 중재방법 및 대조군 구성에 따라 결과에 차이가 있었다.

전반적 운동기능에서는 고빈도 및 저빈도 rTMS 적용 후 운동증상 점수의 개선을 보고하였으며, 고빈도 자극에서 효과가 상대적으로 오래 유지되는 양상을 보였다[16]. 이전 연구에서는 보조운동영역에 대한 고빈도 rTMS 적용 후 전반적인 운동증상과 운동느림증의 개선을 보고하였으며[36], 다른 연구에서는 일부 대상자에서 운동증상 점수의 개선이 확인되었다[37]. 이와 다르게 이중 부위 연합자극 후 전반적인 운동증상과 떨림에서 유의한 개선을 확인하지 못하였다[32].

보행 및 이동성에서는 rTMS와 트레드밀 훈련을 병행한 후

보행속도와 기능적 이동성의 개선을 보고하였으며, 일부 지표에서 위약 자극군 대비 유의한 차이가 확인되었다[44]. 다른 연구를 살펴보면 뒤마루겉질영역에 대한 iTBS 후 보행동결 발생 횟수와 동결 지속 비율의 감소를 보고하였다[38]. 동작 관찰 및 모방훈련에 실제 TBS를 병행한 연구에서는 실제 실험군에서 위약 자극 병행군보다 이중과제 보행 기능 향상에 유의하게 개선되었다고 보고하였다[42]. 반면 소뇌 TBS 후 보행동결의 유의한 개선을 확인하지 못하였으며[30], 실제 자극군과 위약 자극군 모두에서 보행동결 증상이 개선되었으나 군 간 유의한 차이는 확인되지 않았다[25]. 다른 선행 연구에서는 두 군 모두 rTMS를 적용하고 tDCS의 실제 자극 여부를 달리하여 보행동결의 변화를 평가하였으며, 두 군에서 개선이 관찰되었으나 tDCS의 추가 효과는 명확하지 않았다[29]. 또한 두 군 모두 rTMS를 적용한 상태에서 실제 rSMS를 추가한 군이 거짓 rSMS군보다 일부 축성 운동증상 및 이동성 지표에서 더 큰 개선을 보였다고 보고하였다[41]. 이러한 결과는 각각 tDCS와 rSMS의 추가 효과에 대한 근거로 해석해야 하며, rTMS의 독립적인 효과를 직접 입증하는 결과와 구분된다.

균형 및 자세조절에서는 소뇌에 대한 rTMS와 다중복합치료를 병행하였으나 동적 자세조절 지표에서 유의한 개선을 확인하지 못하였다[39]. 다른 연구에서도 자극 및 신경되먹임 중재에 따른 일부 운동증상의 변화가 보고되었으나, 기능적 이동성과 자세 안정성 지표에서는 일관된 개선이 확인되지 않았다[40].

상지 및 손기능에서는 저빈도 rTMS 적용 후 과제 맥락 변화에 따른 손가락 순서 수행의 저하가 감소하였다고 보고하였으며[31], 뒤마루겉질영역에 대한 연구를 보면 자극 후 학습된 시각-운동 적응과제의 유지가 향상되었다고 보고하였다[34]. 반면 다른 선행 연구에서는 손 기민성에서 전반적으로 유의한 개선을 확인하지 못하였으며[28], 또한 손가락 두드리기 수행의 유의한 개선이 나타나지 않았다[32].

삼킴기능에서는 고빈도 rTMS 적용 후 삼킴 관련 증상과 비디오투시삼킴검사의 일부 지표에서 개선을 보고하였다[33]. 다른 연구에서도 고빈도 rTMS 적용 후 주관적 삼킴 증상의 개선이 보고되었으나, 위약 자극군과 비교한 효과는 확인할 수 없었다[35].

말하기 및 발성기능에서는 일부 대상자에서 발성 안정성의 개선을 보고하였으나 개인별 반응에는 차이가 있었다[17]. 다른 연구를 살펴보면 집중 음성치료 후 일부 억양 관련 지표의 개선을 보고하였으나, 실제 rTMS를 병행한 군에서 위약 자극 병행군 대비 명확한 추가 효과는 확인되지 않았다[45].

이러한 결과를 종합하면, rTMS를 적용한 연구에서 전반적 운동기능과 일부 보행 및 이동성, 상지 운동학습, 삼킴기능의 긍정적인 변화가 보고되었다. 그러나 기능적 개선의 의미는 연구별 비교구조에 따라 달랐다. 실제 rTMS와 거짓 rTMS를 비교한 연구에서는 rTMS의 추가 효과를 평가할 수 있었으나, 두 군 모두 rTMS를 적용하고 다른 중재의 실제 자극 여부를 비교한 연구에서는 해당 병행중재의 추가 효과를 평가한 것으로 해석해야 한다. 또한 단일군의 중재 전후 변화는 대조군 대비 효과와 구분할 필요가 있다. 따라서 선정 연구에서 보고된 기능적 개선을 모두 rTMS의 독립적인 치료 효과로 일반화하기는 어려우며, 특히 균형 및 자세조절과 말하기 및 발성기능에서는 결과가 일관되지 않았다.

5. 반복경두개자기자극의 비운동기능 및 신경생리학적 평가 활용 현황

선정된 연구에서는 운동기능 외에도 rTMS 중재에 따른 비운동기능 및 신경생리학적 변화를 확인하기 위한 평가가 이루어졌다. 비운동기능은 주로 인지기능, 우울 및 불안 등의 정서기능, 일상생활활동, 삶의 질 및 수면 관련 증상을 중심으로 평가되었으며, Mini-Mental State Examination(MMSE), Montreal Cognitive Assessment(MoCA), Parkinson's Disease Questionnaire-39(PDQ-39) 등의 평가도구가 사용되었다.

신경생리학적 및 뇌기능 평가는 운동유발전위(motor evoked potential, MEP), 휴식기운동문턱값(resting motor threshold, RMT) 등의 신경생리학적 지표와 뇌파검사(electroencephalography, EEG), 기능적 자기공명영상(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) 등을 이용하여 이루어졌다.

IV. 고 찰

본 연구는 파킨슨병 환자의 운동기능 회복을 위한 반복경두개자기자극(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)의 연구동향을 파악하고, 자극 방법과 운동기능 평가 및 적용 범위를 체계적으로 확인하기 위해 주제범위 문헌고찰을 실시하였다. 총 23편의 문헌을 분석한 결과, rTMS의 자극 부위는 일차운동영역(primary motor cortex, M1) 및 관련 운동영역이 가장 높은 비율을 차지하였으며, 자극 빈도는 고빈도 자극이 가장 많이 적용되었다. 중재 회기는 6~10회가 가장 많았으나 단일 회기부터 10회 이상의 반복 중재까지 다양한 프로토콜이 활용되고 있었다. 또한 운동기능 평가는 Unified Parkinson's Disease Rating Scale(UPDRS)와 Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale(MDS-UPDRS)를 중심으로 이루어졌으며, 보행 및 이동성, 균형 및 자세조절, 상지 및 손 기능, 삼킴, 언어 등 다양한 운동기능 영역이 함께 평가되고 있었다. 이러한 결

과는 파킨슨병 환자를 대상으로 한 rTMS 연구가 전반적인 운동증상뿐만 아니라 세부적인 운동기능 영역으로 적용 범위를 확대하고 있는 한편, 자극 부위, 빈도 및 중재 회기 등 적용 방법에서는 연구 간 다양한 특성을 보이고 있음을 나타낸다.

본 연구에서 rTMS의 자극 부위는 일차운동영역(primary motor cortex, M1) 및 관련 운동영역이 10편(43.5%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 보조운동영역(supplementary motor area, SMA), 소뇌, 등쪽앞운동영역(dorsal premotor cortex, PMd), 뒤마루겉질영역(posterior parietal cortex, PPC) 등 다양한 운동 관련 영역이 자극 표적으로 활용되고 있었다. M1은 파킨슨병의 운동증상을 조절하기 위한 rTMS의 주요 자극 표적으로 지속적으로 연구되어 왔으며, Chou 등의 체계적 문헌고찰 및 메타분석에서는 M1에 적용한 고빈도 rTMS가 파킨슨병의 운동증상 개선과 관련된 것으로 보고되었다[13]. 또한 Chung과 Mak은 rTMS가 파킨슨병 환자의 운동 징후와 신체기능에 미치는 영향을 분석하였으며[18], 자극 부위와 빈도에 따라 효과가 다르게 나타날 가능성을 제시하였다. 한편 M1 이외에도 운동계획과 운동조절에 관여하는 SMA를 대상으로 한 비침습적 뇌 자극 연구가 이루어지고 있으며, 최근 체계적 문헌고찰에서도 SMA 자극이 파킨슨병의 운동기능 및 보행동결과 관련하여 연구되고 있음이 보고되었다[19]. 따라서 본 연구에서 M1을 중심으로 SMA, 소뇌, PMd 및 PPC 등 다양한 영역이 자극 표적으로 확인된 것은 파킨슨병의 rTMS 연구가 단일 운동영역에 국한되지 않고 운동과 관련된 다양한 신경망을 대상으로 확대되어 왔음을 보여준다.

본 연구에서는 고빈도 자극(>1 Hz)을 적용한 연구가 11편(47.8%)으로 가장 많았으나, 저빈도 자극(≤1 Hz), TBS 및 기타 자극 방식도 함께 활용되었으며, 중재 회기 또한 단일 회기부터 10회 이상의 반복 중재까지 다양하게 구성되어 있었다. 특히 6~10회의 반복 중재를 적용한 연구가 8편(34.8%)으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 이러한 결과는 파킨슨병 환자를 대상으로 한 rTMS 연구에서 고빈도 및 반복 자극이 비교적 활발하게 적용되어 왔으나, 자극 프로토콜이 일관되게 표준화되어 있지는 않음을 보여준다. Yang 등은 23편, 646명의 대상자를 포함한 메타분석에서 고빈도 rTMS가 운동기능 개선과 관련된 반면 저빈도 rTMS에서는 유의한 효과가 확인되지 않았으며, 특히 M1에 대한 많은 횟수를 통한 고빈도 자극에서 유의한 효과가 나타났다고 보고하였다[21]. 반면 Chou 등은 자극 빈도만이 아니라 자극 부위와 빈도의 조합 및 총 자극 횟수가 rTMS의 효과에 영향을 미칠 수 있음을 제시하였으며, 고빈도 M1 자극뿐 아니라 M1 이외 전두엽 영역에 적용한 저빈도 자극에서도 유의한 효과를 보고하였다[13]. 또한 Li 등의 메타분석에서도 파킨슨병의 운동증상에 대한 rTMS의 효과가 자극 부위와 빈도에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보고하여[22], 운동증상의 특성에 따른 개별화된 자극 프로토콜의 필요성을 제시하였다. 따라서 본 연구에서 확인된 자극 빈도와 회기 수의 다양성은 파킨슨병에 대한 rTMS의 적용 방법이 지속적으로 탐색되고 있음을 보여주는 동시에, 연구 간 중재방법의 이질성이 여전히 존재함을 나타낸다. 향후 연구에서는 자극 부위와 빈도뿐만 아니라 자극 강도, 회기당 펄스 수, 총 중재 회기 및 추적기간 등을 구체적으로 제시하고, 이를 바탕으로 연구 간 비교가 가능한 중재 프로토콜을 축적할 필요가 있을 것으로 생각된다.

선정된 연구에서 rTMS의 기능적 효과는 자극 부위와 빈도, 중재 회기 및 병행중재 여부에 따라 서로 다른 양상을 보였다. 일차운동영역과 보조운동영역을 대상으로 한 반복 자극에서는 전반적인 운동증상과 운동느림증의 개선이 보고되었으며[16,36,37], 뒤마루겉질영역에 대한 자극에서는 운동학습의 유지와 보행동결의 감소가 확인되었다[34,38]. 반면 소뇌 자극은 연구에 따라 떨림의 감소가 보고되거나 보행동결 및 자세조절에서 유의한 개선이 확인되지 않는 등 결과가 일관되지 않았다[14,30,39]. 이러한 차이는 rTMS의 기능적 효과가 단순히 특정 자극 부위나 빈도에 의해 결정되기보다는 목표 기능과 자극 조건의 조합에 따라 달라질 가능성을 시사한다. 다만 연구 간 대상자 특성과 중재 프로토콜이 상이하므로 특정 자극 조건의 우월성을 단정하기는 어렵다.

본 연구에서는 rTMS의 운동기능 효과를 확인하기 위해 UPDRS 및 MDS-UPDRS 관련 평가가 19편(82.6%)에서 사용되어 가장 높은 비율을 차지하였으며, 이와 함께 TUG 및 DT-TUG, FOG-Q 및 N-FOGQ, 보행속도와 같은 보행 및 이동성 평가가 다양하게 활용되고 있었다. 또한 균형 및 자세조절, 상지 및 손 기능, 삼킴, 말하기 및 발성 등 세부적인 운동기능을 평가한 연구도 확인되었다. 이러한 결과는 파킨슨병에 대한 rTMS 연구에서 전반적인 운동증상의 변화를 평가하는 데 UPDRS 및 MDS-UPDRS가 중심적으로 활용되어 왔으며, 동시에 실제 과제 수행과 관련된 세부 운동기능으로 평가 범위가 확대되고 있음을 보여준다. 특히 보행 및 이동성은 본 연구에서 비교적 다양하게 평가된 영역으로, Xie 등의 체계적 문헌고찰 및 메타분석에서는 14편의 무작위 대조시험을 분석한 결과 rTMS가 단기적인 보행수행에는 긍정적인 영향을 보였으나, FOG-Q와 TUG에서는 중재군과 대조군 간 유의한 차이가 확인되지 않았다[23]. 반면 이후 Deng 등의 메타분석에서는 FOG-Q를 비롯한 일부 보행 관련 지표에서 유의한 개선이 보고되어[24], rTMS가 파킨슨병의 보행기능에 미치는 영향에 대해서는 연구에 따라 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 자극 부위와 빈도, 중재 회기, 대상

자의 임상적 특성 및 평가 시점 등 연구별 방법론적 차이와 함께 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서 전반적 운동기능뿐만 아니라 보행 및 이동성, 균형 및 자세조절, 상지 및 손 기능, 삼킴, 언어영역에 이르기까지 다양한 평가영역이 확인된 것은 rTMS의 운동기능 관련 연구 범위가 여러 기능적 영역으로 확장되어 있음을 보여준다. 그러나 균형, 상지 및 손 기능, 삼킴, 말하기 및 발성과 관련된 평가도구는 상대적으로 소수의 연구에서 사용되었으므로, 향후에는 이러한 세부 운동기능 영역에 대한 연구를 확대하여 rTMS 적용의 범위를 보다 구체적으로 확인할 필요가 있다.

본 연구에서는 rTMS를 단독으로 적용한 연구가 14편(60.9%)이었으며, 다른 중재와 병행한 연구도 9편(39.1%)으로 비교적 높은 비율을 차지하였다. 병행중재에는 경두개직류자극(transcranial direct current stimulation, tDCS), 트레드밀 훈련, 인지 이중과제 보행훈련(cognitive dual-task gait training), Lee Silverman Voice Treatment(LSVT), EEG 기반 신경되먹임(neurofeedback, NFB), 파킨슨병 다중복합치료(parkinson's disease multimodal complex treatment, PD-MCT), 반복척수자기자극(repetitive trans-spinal magnetic stimulation, rSMS), 동작관찰 및 모방훈련(action observation and imitation training) 등 다양한 재활중재가 포함되어 있었다. 그러나 병행중재 연구의 결과는 실험군과 대조군의 구성에 따라 구분하여 해석해야 한다. 선행연구를 살펴보면 동일한 인지 이중과제 보행훈련에 실제 또는 거짓 rTMS를 병행하여 rTMS의 추가 효과를 평가하였으나, 보행동결 개선에서 군 간 유의한 차이는 확인되지 않았다[25]. 반면 다른 연구에서는 두 군 모두 rTMS를 적용하고 실제 또는 거짓 tDCS를 비교하였으며[29], 또한 동일한 rTMS에 실제 또는 거짓 rSMS를 추가하여 비교하였다[41]. 따라서 후자의 두 연구에서 확인된 군 간 차이는 각각 tDCS 또는 rSMS의 추가 효과를 반영하며, rTMS 자체의 독립적인 효과를 직접 입증하는 결과로 해석하기 어렵다. 이러한 연구들은 rTMS와 다른 중재를 병행하는 임상적 접근이 다양하게 시도되고 있음을 보여준다. 다만 병행중재의 효과를 종합할 때에는 군 간 차이를 둔 중재와 공통으로 적용한 중재를 명확히 구분해야 한다. 향후에는 rTMS 단독중재, 재활중재 단독 및 병행중재를 직접 비교하고, 적용 순서와 시점 등을 구체적으로 제시하는 연구가 필요하다.

이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 파킨슨병 환자의 rTMS 임상 적용 시 자극 조건을 일률적으로 적용하기보다 목표 운동기능에 따라 자극 부위와 중재방법을 선택하는 기능 중심의 접근을 제안한다. 전반적인 운동증상 개선을 목표로 하는 경우에는 일차운동영역 또는 보조운동영역에 대한 자극을 고려할 수 있으며, 보행동결이나 운동학습과 같은 특정 기능을 목표로 하는 경우에는 해당 기능과 관련된 신경망을 고려한 자극 부위의 선택이 필요할 것으로 생각된다. 또한 rTMS와 보행훈련, 음성치료, 동작관찰 및 모방훈련 등의 병합중재가 적용되고 있다는 점에서, 신경조절 중재를 기능적 과제훈련과 연계하는 접근을 검토할 필요가 있다. 다만 이러한 제안은 선정 연구의 결과를 종합한 임상적 적용 방향으로, 특정 자극 프로토콜의 효과나 우월성이 확립되었음을 의미하지 않는다. 향후에는 목표 기능별 자극 조건과 병합중재의 적용 순서 및 효과를 비교하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 운동기능 외에도 인지 및 정서기능, 일상생활활동, 삶의 질 등의 비운동기능과 MEP, RMT, EEG, fMRI 등을 이용한 신경생리학적 및 뇌기능 평가가 함께 이루어지고 있었다. 이는 파킨슨병에 대한 rTMS 연구가 운동기능의 임상적 변화뿐만 아니라 비운동기능과 신경계의 변화를 함께 탐색하고 있음을 보여준다. 기존 연구에서도 rTMS의 비운동증상에 대한 효과가 검토되어 왔으나, 평가영역과 자극 프로토콜에 따라 결과가 일관되지 않은 것으로 보고되고 있다[26]. 따라서 비운동기능 및 신경생리학적 평가는 rTMS의 임상적 적용과 관련된 다양한 변화를 이해하기 위한 보조적인 평가영역으로 활용되고 있는 것으로 볼 수 있다.

본 연구는 파킨슨병 환자의 운동기능을 대상으로 한 rTMS 연구를 주제범위 문헌고찰을 통해 분석하여 자극 부위, 자극 유형과 빈도, 중재 회기 등의 임상적 적용 특성과 운동기능 평가영역을 종합적으로 파악하였다는 데 의의가 있다. 특히 전반적 운동기능뿐만 아니라 보행 및 이동성, 균형 및 자세조절, 상지 및 손 기능, 삼킴, 언어 등 다양한 운동기능 영역에서 rTMS가 연구되고 있음을 확인함으로써 현재까지의 연구 범위와 상대적으로 연구가 부족한 영역을 함께 제시하였다. 그러나 선정된 연구들은 자극 부위, 빈도, 강도 및 중재 회기 등의 프로토콜이 다양하였으며, 일부 연구에서는 rTMS와 다른 재활중재가 병행되어 rTMS의 독립적인 효과를 해석하는 데 제한이 있다. 또한 연구마다 사용된 운동기능 평가도구가 다양하고 일부 세부 운동기능 영역은 연구 수가 제한적이어서 연구 결과를 직접적으로 비교하거나 일반화하는 데 주의가 필요하다. 아울러 본 연구는 주제범위 문헌고찰의 특성상 개별 연구의 질 평가나 효과크기의 통계적 통합을 목적으로 하지 않았으므로, rTMS의 임상적 효과를 확정적으로 판단하는 데에는 한계가 있다. 향후에는 자극 프로토콜과 결과 보고의 표준화를 바탕으로 충분한 대상자 수를 확보한 무작위 대조연구와 장기 추적연구가 이루어질 필요가 있으며, 전반적인 운동증상과 함께 보행, 균형, 상지 및 손 기능 등 실제 기능적 수행을 반영하는 평가를 함께 적용함으로써 파킨슨병 환자의 운동기능에 대한 rTMS의 임상적 적용 가능성을 보다 구체적으로 탐색할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 2026년도 우송대학교 교내학술연구조성비 지원을 받아 작성되었습니다.

References

[1] A. Galvan, A. Devergnas, and T. Wichmann, Frontiers in Neuroanatomy **9**, 5 (2015).
[2] J. Jankovic, Journal of Neurology **79**, 368 (2008).
[3] S. Sveinbjornsdottir, J. Neurochem 139 Suppl **1**, 318 (2016).
[4] G. D. Kuhlman, J. L. Flanigan, S. A. Sperling, and M. J. J. P. Barrett, Parkinsonism & Related Disorders **65**, 86 (2019).
[5] K. Tjaden, Topics in Geriatric Rehabilitation **24**, 115 (2008).
[6] T. Foltynie, V. Bruno, S. Fox, A. A. Kühn, F. Lindop, and A. J. Lees, The Lancet **403**, 305 (2024).
[7] M. J. Armstrong and M. S. Okun, JAMA **323**, 548 (2020).
[8] B. R. Thanvi and T. C. N. Lo, Postgraduate Medical Journal **80**, 452 (2004).
[9] D. L. M. Radder, I. H. Sturkenboom, M. van Nimwegen, S. H. Keus, B. R. Bloem, and N. M. de Vries, International Journal of Neuroscience **127**, 930 (2017).
[10] G. Ebersbach, A. Ebersbach, D. Edler, O. Kaufhold, M. Kusch, A. Kupsch, and J. Wissel, Mov. Disord **25**, 1902 (2010).
[11] I. H. W. M. Sturkenboom, M. J. L. Graff, J. C. M. Hendriks, Y. Veenhuizen, M. Munneke, B. R. Bloem, and M. W. Nijhuis-van der Sanden, OTiP Study Group, The Lancet Neurology **13**, 557 (2014).
[12] G. Cosentino, M. Todisco, and F. Blandini, "Chapter 12 - Non-invasive neuromodulation in Parkinson's disease: Neuroplasticity implication and therapeutic perspectives," in *Handbook of Clinical Neurology*, vol. 184, A. Quartarone, M. F. Ghilardi, and F. Boller, Eds.: Elsevier, 2022, pp. 185-198.
[13] Y.-h. Chou, P. T. Hickey, M. Sundman, A. W. Song, and N.-k. Chen, JAMA Neurology **72**, 432 (2015).
[14] S. C. Lefaivre, M. J. N. Brown, and Q. J. Almeida, Cerebellum & Ataxias **3**, 13 (2016).
[15] J. Liao, B. Wu, Z. Yang, and C. Tang, Physiotherapy Practice and Research **45**, 67 (2024).
[16] E. M. Khedr, K. O. Mohamed, R. K. Soliman, A. M. M. Hassan, and J. C. Rothwell, Neurorehabilitation and Neural Repair **33**, 442 (2019).
[17] A. Gómez-Rodellar, J. Mekyska, P. Gómez-Vilda, L. Brabenec, P. Šimko, and I. Rektorová, Journal of Neural Systems **33**, 2350028 (2023).
[18] C. L. Chung and M. K. Y. Mak, Brain Stimulation **9**, 475 (2016).
[19] J. Chen, X. Feng, D. Zhao, B. Chen, C. Bai, Q. Wang, Y. Li, J. Chen, X. Guo, J. Wang, L. Zhang, and J. Yuan, BMC Neurology **25**, 168 (2025).
[20] H. Arksey and L. O'Malley, International Journal of Social Research Methodology **8**, 19 (2005).
[21] C. Yang, Z. Guo, H. Peng, G. Xing, H. Chen, M. A. McClure, B. He, L. He, F. Du, L. Xiong, and Q. Mu, Brain Behav **8**, e01132 (2018).
[22] R. Li, Y. He, W. Qin, Z. Zhang, J. Su, Q. Guan, Y. Chen, and L. Jin, Neurorehabil Neural Repair **36**, 395 (2022).
[23] Y. J. Xie, Q. Gao, C. Q. He, and R. Bian, Arch. Phys. Med. Rehabil. **101**, 130 (2020).
[24] S. Deng, Z. Dong, L. Pan, Y. Liu, Z. Ye, L. Qin, Q. Liu, and C. Qin, Brain Behav. **12**, e2697 (2022).
[25] D. H. Lench, W. DeVries, T. E. Kearney-Ramos, A. Chesnutt, E. D. Monsch, A. E. Embry, J. D. Doolittle, S. A. Kautz, C. A. Hanlon, and G. J. Revuelta, Parkinsonism & Related Disorders **88**, 28 (2021).
[26] L. Zhang, Y. Jiang, W. Fan, and H. Xue, PLoS One **20**, e0313420 (2025).
[27] K. Udupa, N. Bahl, Z. Ni, C. Gunraj, F. Mazzella, E. Moro, M. Hodaie, A. M. Lozano, A. E. Lang, and R. Chen, The Journal of Neuroscience **36**, 396 (2016).
[28] T. Vanbellingen *et al.*, Journal of Neural Transmission **123**, 1387 (2016).
[29] W. H. Chang, M. S. Kim, E. Park, J. W. Cho, J. Youn, Y. K. Kim, and Y.-H. Kim, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation **98**, 1283 (2017).
[30] A. M. Janssen, M. A. M. Munneke, J. Nonnekes, T. van der Kraan, A. Nieuwboer, I. Toni, A. H. Snijders, B. R. Bloem, and D. F. Stegeman, Journal of Neurology **264**, 963 (2017).
[31] Y. Y. Lee and B. E. Fisher, Eur. J. Phys. Rehabil. Med. **54**, 560 (2018).
[32] R. C. Nickl, M. M. Reich, N. G. Pozzi, P. Fricke, F. Lange, J. Roothans, J. Volkmann, and C. Matthies, Neurosurgery **85**, 314 (2019).
[33] E. M. Khedr, B. Al-Fawal, A. Abdel Wraith, M. Saber, A. M. Hasan, A. Bassiony, A. N. Eldein, and J. C. Rothwell, Journal of Parkinson's Disease **9**, 379 (2019).
[34] G. Marchesi, G. A. Albanese, D. Ferrazzoli, S. George, S. Ricci, E. Tatti, A. Di Rocco, A. Quartarone, G. Frazzitta, and M. F. Ghilardi, "Effects of rTMS and intensive rehabilitation in Parkinson's Disease on learning and retention," in *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2019, pp. 1260-1265.
[35] P.-L. Huang, S.-J. Wang, R.-F. Sun, Z.-M. Zhu, X.-L. Li, W.-S. Li, M.-Y. Wang, M. Lin, and W.-J. Gong, Neural Regeneration Research **17**, 1051 (2022).
[36] X. Wen, S. Chi, Y. Yu, G. Wang, X. Zhang, Z. Wang, M. Gesang, and B. Luo, Neuroscience **499**, 1 (2022).
[37] S. Chi, X. Wen, Y. Yu, G. Wang, J. Zhang, C. Xue, X. Zhang, Z. Wang, M. Gesang, J. Chen, S. Wu, M. Jin, J. Liu, and B. Luo, Parkinsonism & Related Disorders **106**, 105218 (2023).
[38] A. Potvin-Desrochers, A. Martinez-Moreno, J. Clouette, F. Parent-L'Ecuyer, H. Lajeunesse, and C. Paquette, Journal of the Neurological Sciences **452**, 120770 (2023).
[39] M. Grobe-Einsler, A. Lupa, J. Weller, and O. Kaut, Neurorehabilitation and Neural Repair **38**, 539 (2024).

[40] J. P. Romero, M. Moreno-Verdú, A. Arroyo-Ferrer, J. I. Serrano, J. Herreros-Rodríguez, J. García-Caldentey, E. Rocon de Lima, and M. D. del Castillo, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation **21**, 135 (2024).
[41] E. M. Khedr, N. A. Haridy, M. A. Korayem, A. M. Tawfik, and A. A. Hamed, Neurorehabilitation and Neural Repair **39**, 126 (2025).
[42] Y. Shi, J. Ma, X. Zhao, H. Zhao, D. Wang, X. Zhang, X. Zhu, L. Meng, and D. Ming, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation **22**, 247 (2025).
[43] O. S. Cohen, Y. Orlev, G. Yahalom, R. Amiaz, Z. Nitsan, L. Ephraty, A. Rigbi, C. Shabat, A. Zangen, and S. Hassin-Baer, Clinical Neurology and Neurosurgery **140**, 73 (2016).
[44] C. L. H. Chung, M. K. Y. Mak, and M. Hallett, Annals of Neurology **88**, 933 (2020).
[45] Q. Li, K. Millard, J. Tetnowski, S. Narayana, and M. Cannito, Journal of Voice **37**, 203 (2023).

Appendix 1. Summary of all the included studies.

No	Author	Publish year	Nation	Study design	Participation (n)	H&Y stage (n)	Outcome measures	Interventions	Main Findings
1	Cohen et al. [43]	2016	Israel	RCT	Total: 19 EG: 10 CG: 9	Range: 2~4	- Motor: T-UPDRS, M-UPDRS, TUG, Nine-Hole Peg Test, finger/foot tapping - Non-motor: BDI	rDTMS using H-coil; M1+PFC: M1 1 Hz + PFC 10 Hz; M1: 1 Hz; 12 sessions over 4 weeks	Improved motor symptom scores following combined M1 and PFC stimulation; no significant between-group difference.
2	Lefaivre et al. [14]	2016	Canada	RCT	Total: 50 EG1: 20 EG2: 20 CG: 10	NR	- Motor: Resting/postural tremor severity, finger tapping, hand pronation/supination, index finger-nose touch, fist opening/closing, Kinesia Homeview system	EG1: 1 Hz, 120% RMT, 900 pulses, single session, medial cerebellum EG2: lateral cerebellum CG: ON medication state	Significant reduction in resting tremor following cerebellar stimulation in patients with tremor-dominant PD.
3	Udupa et al. [27]	2016	Canada	Randomized within-subject crossover experimental study	Total: 10	NR	- Motor: UPDRS, hemi-UPDRS - Non-motor: MEP amplitude, MEP recruitment curve, RMT	STN-DBS + M1-TMS, 0.1 Hz × 30 min (180 pairs); ISI 3/23/167 ms (control)	Increased motor cortical excitability following paired STN-DBS and TMS; clinical motor improvement was not established.
4	Vanbellingen et al. [28]	2016	Switzerland	Repeated-measures sham-controlled study	Total: 15	Stage 1: 4 Stage 1.5: 3 Stage 2: 5 Stage 3: 3	- Motor: CRT, MDS-UPDRS III, Jamar pinch strength - Non-motor: Proprioception test	Neuro-navigated TBS over PMd; cTBS (801 pulses, 44 s) / iTBS (190 s), 80% rMT; sham over vertex; 3 weekly sessions	No significant overall improvement in manual dexterity; cTBS worsened dexterity in a subgroup.
5	Chang et al. [29]	2017	South Korea	RCT	Total: 32 EG: 16 CG: 16	Stage 1.5: 1 Stage 2: 11 Stage 2.5: 11 Stage 3: 8 Stage 4: 1	- Motor: UPDRS-III, FOG-Q, SS-180 (TS, TT), TUG - Non-motor: Digit Span, Trail Making B, K-MoCA, GDS-SF, RMT, MEP amplitude	-EG: 10 Hz rTMS over dominant M1-LL + anodal tDCS over left DLPFC, 1 mA, 20 min/day; 5 consecutive days -CG: rTMS + sham tDCS	Improved freezing of gait and mobility in both intervention groups, without significant between-group differences.
6	Janssen et al. [30]	2017	Netherlands	Within-subject, counterbalanced crossover study	Total 17	Range: 2~3	- Motor: FOG duration, gait execution time, FOUL, Pegboard test, N-FOGQ, MDS-UPDRS III - Non-motor: MEP amplitude, MMSE, FAB	Cerebellar iTBS (192 s) / cTBS (40 s), 70% RMT; 2 sessions ≥1 week apart; counterbalanced	No significant improvement in freezing of gait or upper-limb freezing following cerebellar TBS.

Appendix 1. Continued.

No	Author	Publish year	Nation	Study design	Participation (n)	H&Y stage (n)	Outcome measures	Interventions	Main Findings
7	Lee et al. [31]	2018	Taiwan	Quasi-experimental pre/post controlled study	Total: 27 EG1: 9 EG2: 9 CG: 9	PD: 2.2 ± 0.4 / 2.5 ± 0.7	- Motor: TTAC, RTAC, MTAC, forgetting score, switch cost	1 Hz rTMS over left DLPFC, 90% MT, 20 min, single session	Reduced deterioration in finger sequence performance following a change in task context.
8	Fricke et al. [32]	2019	Germany	Randomized, blinded, placebo-controlled crossover study	Total: 20	Stage 1: 2 Stage 2: 16 Stage 3: 2	- Motor: MDS-UPDRS-III, finger tapping, resting/postural tremor spectral power	Associative dual-site rTMS (ADS-rTMS): M1 + PMd, 1 Hz, 1,000 pairs, ISI 25 ms (M1→PMd), 95% APB-RMT; single session; sham 20% APB-RMT	No significant improvement in motor symptoms, tremor, or finger-tapping performance.
9	Khedr et al. [16]	2019	Egypt	RCT	Total: 52 EG: 26 CG: 26	NR	- Motor: UPDRS III, SA - Non-motor: IADL, RMT, AMT, MEP amplitude, TCI duration	-EG: 20 Hz rTMS: bilateral M1, 90% RMT, 2,000 pulses/session, 10 sessions -CG: 1 Hz rTMS: bilateral M1, 100% RMT, 2,000 pulses/session, 10 sessions	Improved motor symptoms following both low- and high-frequency rTMS, with longer-lasting effects after high-frequency stimulation.
10	Khedr et al. [33]	2019	Egypt	RCT	Total: 33 EG: 22 CG: 11	Range: 2~4	- Motor: UPDRS III, A-DHI, SDQ, VFSS - Non-motor: IADL, SA	-EG: 20 Hz rTMS bilateral M1 hand area, 90% RMT, 2,000 pulses/hemisphere/ session, 10 sessions + monthly booster × 3 months -CG: Sham rTMS	Improved swallowing-related symptoms and selected videofluoroscopic swallowing measures following high-frequency rTMS.
11	Marchesi et al. [34]	2019	Italy	Crossover sham-controlled study	Total: 48 PD: 29 HC: 19 rTMS: 19 MIRT: 10	Range: 2~3	- Motor: RT, MT, velocity, directional error, adaptation, after-effect - Non-motor: EEG	5 Hz rTMS: right PPC (P6), single session; sham-controlled crossover, ≥1 week apart	Improved retention of learned visuomotor adaptation following parietal rTMS.
12	Chung et al. [44]	2020	Hong Kong	RCT	Total: 51 EG1: 17 EG2: 17 CG: 17	Range: 2.2~2.3	- Motor: fastest walking speed, TUG, DT-TUG, MDS-UPDRS-III - Non-motor: RC slope, CSP, SICI	- EG1: 25 Hz rTMS bilateral M1-leg, 80% RMT, 1,200 pulses, 12 sessions/3 wk - EG2: 1 Hz rTMS bilateral M1-leg, 80% RMT, 1,200 pulses, 12 sessions+3 wk Treaemill Training 30 min immediately after rTMS - CG: Sham rTMS+treadmill training	Improved maximum walking speed and functional mobility following rTMS combined with treadmill training.

Appendix 1. Continued.

No	Author	Publish year	Nation	Study design	Participation (n)	H&Y stage (n)	Outcome measures	Interventions	Main Findings
13	Lench et al. [25]	2021	USA	RCT	Total: 20 EG: 12 CG: 8	EG: 2.32 ± 0.41 CG: 2.29 ± 0.27	- Motor: NFOG-Q, UPDRS-III, velocity, cadence, time to turn - Non-motor: fMRI/SMA	- EG: 1 Hz rTMS: SMA, 110% rMT, 1,200 pulses/session, 20 min/session × 10 sessions + 20-min cognitive dual-task gait training - CG: Sham rTMS+ 20-min cognitive dual-task gait training	Improved freezing-of-gait symptoms after gait training in both active and sham stimulation groups.
14	Huang et al. [35]	2022	China	Case-control study, pre-post intervention	Total: 68 PD: 38 HC: 30	Mean: 2.13 ± 0.52	- Motor: UPDRS III, H&Y, DHI, MTSCEEOS - Non-motor: fMRI	High-frequency rTMS: bilateral M1, 10 Hz, 90% motor threshold, 1,200 pulses/session, 10 min/session, once/day for 10 successive days; left/right M1 alternated	Improved self-reported swallowing function following high-frequency rTMS.
15	Wen et al. [36]	2022	China	Sham-controlled pre-post study	Total: 29 EG: 24 CG: 5	Range: 2–4	- Motor: UPDRS-III (rigidity, bradykinesia, axial symptoms, tremor), FOG-Q - Non-motor: NMSS, MMSE, MoCA, HAMD, HAMA, NPI, ADL, RBDQ-HK, fMRI, fALFF	EG: 10 Hz rTMS over bilateral SMA, 110% RMT, 1,000 pulses/session, 10 sessions/10 days CG: sham rTMS	Significant improvement in overall motor symptoms, particularly bradykinesia, following SMA stimulation.
16	Chi et al. [37]	2023	China	Sham-controlled pre-post study	Total: 32 EG: 25 CG: 7	Range: 2–4	- Motor: UPDRS-III, H&Y, FOG-Q - Non-motor: MMSE, MoCA, HAMA, HAMD, ADL, RBDQ-HK, fMRI, DC, FC	- EG: 10 Hz rTMS over SMA, 110% RMT, 1,000 pulses/session, 10 sessions/10 days - CG: sham rTMS	Motor symptom improvement was associated with changes in sensorimotor network connectivity.
17	Gómez-Rodellar et al. [17]	2023	Czech Republic	RCT	Total: 18 EG: 9 CG: 9	NR	- Motor: UPDRS-III, DS, phonation stability - Non-motor: EEG	- EG: 1 Hz rTMS over right STG, 100% RMT, 1,800 pulses/session, 10 sessions/2 weeks - CG: sham rTMS	Improved phonation stability in some participants, with variable individual responses.

Appendix 1. Continued.

No	Author	Publish year	Nation	Study design	Participation (n)	H&Y stage (n)	Outcome measures	Interventions	Main Findings
18	Li et al. [45]	2023	USA	RCT	Total: 20 EG1: 7 EG2: 7 CG: 6	NR	- Motor: f0 declination, f0 resetting, sentence stress, terminal fall, syntactic prejunctural fall	- EG1: 5 Hz rTMS over left M1larynx, 80 V/m, 3,000 pulses + LSVT - EG2: 5 Hz rTMS over right M1larynx, 80 V/m, 3,000 pulses + LSVT; - CG: sham rTMS + LSVT	Improved selected speech intonation measures following intensive voice treatment; no clear additional benefit of rTMS.
19	Potvin-Desrochers et al. [38]	2023	Canada	Randomized, double-blind, counterbalanced study	Total: 14	Range: 2–3	- Motor: FOG-provoking task, MDS-UPDRS III, PGIS - Non-motor: TMT A & B, TA MEP, PPC+TA ratio	- EC1: iTBS over right PPC, 80% AMT - EC2: cTBS over right PPC, 80% AMT - EC3: sham TBS	Significant reduction in freezing-of-gait episodes and freezing duration following excitatory parietal iTBS.
20	Grobe-Einsler et al. [39]	2024	Germany	RCT	Total: 36 EG: 20 CG: 16	Range: 1–3	- Motor: UPDRS-III, TUG, 8MW, 9-HPT, dynamic posturography	- EG: 48 Hz rTMS over cerebellum, 50% MSO, 4,320 pulses/session, 15 sessions/5 days + PD-MCT - CG: sham rTMS + PD-MCT	Improved overall motor symptoms following combined treatment; no significant improvement in walking speed or dynamic postural control.
21	Romero et al. [40]	2024	Spain/ Belgium	RCT	Total: 40 EG1: 10 EG2: 11 EG3: 10; CG: 9	Stage 1: 11 Stage 1.5: 1 Stage 2: 21 Stage 2.5: 3 Stage 3: 4	- Motor: UPDRS-III, TUG, LOS, FT - Non-motor: HDRS, PDQ-39, CSP	- EG1: 10 Hz rTMS over bilateral M1, 80% RMT, 2,000 pulses/session, 8 sessions/2 weeks - EG2: EEG-guided NFB, 8 sessions/2 weeks - EG3: rTMS + EEG-guided NFB - CG: no intervention	Improved overall motor symptoms following combined rTMS and neurofeedback; limited effects on functional mobility and postural stability.
22	Khedr et al. [41]	2025	Egypt	RCT	Total: 42 EG: 21 CG: 21	NR	- Motor: MDS-UPDRS II/ III, FOG-Q, TUG, 10MWT, Retropulsion Test - Non-motor: PDQ-39	- EG: 20 Hz rTMS over bilateral M1, 80% RMT, 2,000 pulses/session + 10 Hz rSMS, 1,500 pulses/ session, 10 sessions/2 weeks - CG: same rTMS + sham rSMS	Greater improvement in motor and selected gait outcomes following combined transcranial and trans-spinal magnetic stimulation.

Appendix 1. Continued.

No	Author	Publish year	Nation	Study design	Participation (n)	H&Y stage (n)	Outcome measures	Interventions	Main Findings
23	Shi et al. [42]	2025	China	Randomized, sham-controlled crossover study	Total: 15	Stage 1: 6 Stage 1.5: 3 Stage 2: 6	- Motor: MDS-UPDRS III, BBS, dual-task gait parameters, DTGNI - Non-motor: MoCA, HVLT-R, STT, Stroop Test, MEP, CSP, EEG PSD	- EC1: bilateral M1-leg iTBS, 65% rMT, 1,200 pulses/session + AOIT, 5 sessions/5 days - EC2: sham iTBS + AOIT, 5 sessions/5 days	Greater improvement in dual-task gait automaticity following iTBS combined with action observation and imitation training.

NOTE. Main findings summarize the principal motor and motor-related functional outcomes reported in each study. Improvements do not necessarily indicate superiority over control conditions. RCT: Randomized Controlled Trial; EG: Experimental Group; CG: Control Group; EC: Experimental Condition; PD: Parkinson's Disease; HC: Healthy Controls; NR: Not Reported; H&Y: Hoehn and Yahr Scale; T-UPDRS: Total Unified Parkinson's Disease Rating Scale; M-UPDRS: Motor Unified Parkinson's Disease Rating Scale; UPDRS: Unified Parkinson's Disease Rating Scale; UPDRS III: Unified Parkinson's Disease Rating Scale, Part III; MDS-UPDRS: Movement Disorder Society–Unified Parkinson's Disease Rating Scale; MDS-UPDRS III: Movement Disorder Society–Unified Parkinson's Disease Rating Scale, Part III;TUG: Timed Up and Go; DT-TUG: Dual-Task Timed Up-and-Go; 6MWT: 6-Minute Walk Test; 8MW: 8-Meter Walk Test; 10MWT: 10-Meter Walk Test; FOG: Freezing of Gait; FOG-Q: Freezing of Gait Questionnaire; N-FOGQ: New Freezing of Gait Questionnaire; GFQ: Gait and Falls Questionnaire; SS-180: Standing-Start 180° Turn Test; TS: Turning Steps; TT: Turning Time; BBS: Berg Balance Scale; DTGNI: Dual-Task Gait Normalcy Index; LOS: Limits of Stability; FT: Finger Tapping; CRT: Coin Rotation Test; CR: Coin Rotation; DextQ-24: Dexterity Questionnaire-24; 9-HPT: Nine-Hole Peg Test; IPA: Index for Postural Abnormalities; PA: Postural Abnormality; PIGD: Postural Instability and Gait Disorder; BDI: Beck Depression Inventory; GDS-SF: Geriatric Depression Scale–Short Form; HAMD: Hamilton Depression Scale; HAMA: Hamilton Anxiety Scale; HDRS: Hamilton Depression Rating Scale; MoCA: Montreal Cognitive Assessment; K-MoCA: Korean Version of the Montreal Cognitive Assessment; MMSE: Mini-Mental State Examination; MMS: Mini-Mental State; FAB: Frontal Assessment Battery; RBANS: Repeatable Battery for the Assessment of Neuropsychological Status; HVLT-R: Hopkins Verbal Learning Test–Revised; STT: Shape Trail Test; TMT: Trail Making Test; NMSS: Non-Motor Symptoms Scale; RBDQ-HK: Rapid Eye Movement Sleep Behavior Disorder Questionnaire–Hong Kong; ADL: Activities of Daily Living; IADL: Instrumental Activities of Daily Living; SA: Self-Assessment; QoL: Quality of Life; PDQ-39: Parkinson's Disease Questionnaire-39; PGIS: Patient Global Impression Scale; A-DHI: Arabic Dysphagia Handicap Index; SDQ: Swallowing Disturbance Questionnaire; VFSS: Videofluoroscopic Swallowing Study; PTT: Pharyngeal Transit Time; H1-H2: Time Required for Maximum Hyoid Elevation; DS: Dysarthria Score; f0: Fundamental Frequency; MEP: Motor Evoked Potential; RMT: Resting Motor Threshold; AMT: Active Motor Threshold; SICI: Short-Interval Intracortical Inhibition; ICF: Intracortical Facilitation; SP: Silent Period; CSP: Cortical Silent Period; TCI: Transcallosal Inhibition; RC: Recruitment Curve; EEG: Electroencephalography; ERD: Event-Related Desynchronization; ERS: Event-Related Synchronization; PSD: Power Spectral Density; fMRI: Functional Magnetic Resonance Imaging; rs-fMRI: Resting-State Functional Magnetic Resonance Imaging; SPECT: Single-Photon Emission Computed Tomography; DC: Degree Centrality; FC: Functional Connectivity; RSFC: Resting-State Functional Connectivity; BDNF: Brain-Derived Neurotrophic Factor; TMS: Transcranial Magnetic Stimulation; rTMS: Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation; rDTMS: Repetitive Deep Transcranial Magnetic Stimulation; TBS: Theta Burst Stimulation; iTBS: Intermittent Theta Burst Stimulation; cTBS: Continuous Theta Burst Stimulation; PAS: Paired Associative Stimulation; ADS-rTMS: Associative Dual-Site Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation; PNS: Peripheral Nerve Stimulation; tDCS: Transcranial Direct Current Stimulation; rSMS: Repetitive Trans-spinal Magnetic Stimulation; DBS: Deep Brain Stimulation; STN-DBS: Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation; M1: Primary Motor Cortex; M1-LL: Primary Motor Cortex of the Lower Limb; M1larynx: Primary Laryngeal Motor Cortex; PFC: Prefrontal Cortex; DLPFC: Dorsolateral Prefrontal Cortex; PMd: Dorsal Premotor Cortex; SMA: Supplementary Motor Area; PPC: Posterior Parietal Cortex; STG: Superior Temporal Gyrus; STN: Subthalamic Nucleus; APB: Abductor Pollicis Brevis; FDI: First Dorsal Interosseous; TA: Tibialis Anterior; SCAN: Somato-Cognitive Action Network; ISI: Inter-Stimulus Interval; TTAC: Total Time Accuracy Cost; RTAC: Response Time Accuracy Cost; MTAC: Movement Time Accuracy Cost; RT: Reaction Time; MT: Movement Time; EOP: End of Practice; rmANOVA: Repeated-Measures Analysis of Variance; LEDD: Levodopa Equivalent Daily Dose; MSO: Maximum Stimulator Output; MIRT: Multidisciplinary Intensive Rehabilitation Treatment; LSVT: Lee Silverman Voice Treatment; PD-MCT: Parkinson's Disease Multimodal Complex Treatment; NFB: Neurofeedback; AOIT: Action Observation and Imitation Training; PT: Physical Therapy; FOUL: Freezing of Upper Limb; DHI: Dysphagia Handicap Index; MTSCEEOS: Mr. Tengdao's Swallowing Curative Effect Evaluation of Swallowing; NPI: Neuropsychiatric Inventory; fALFF: Fractional Amplitude of Low-Frequency Fluctuation