

뇌졸중 환자의 다리 기능에 대한 경두개직류자극의 효과: 국내 연구의 메타분석

이정우^{1*} · 임지선²

^{1*}광주여자대학교 물리치료학과 교수, ²광주여자대학교 물리치료학과 학생

Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Lower Extremity Function of Stroke Patients : A meta-analysis of domestic research

Jeong-Woo Lee, PT, Ph.D^{1*} · Ji-Sun Lim, BSc²

^{1*}Dept. of Physical Therapy, Kwangju Women's University, Professor

²Dept. of Physical Therapy, Kwangju Women's University, Student

Abstract

Purpose : The purpose of this meta-analysis was to evaluate the effects of transcranial direct current stimulation on the lower extremity function of stroke patients.

Methods : Domestic data were gathered from studies that conducted clinical trials associated with transcranial direct current stimulation and its impact on lower extremity function of stroke patients. A total of 592 studies published between 2012 and 2020 were identified, with 7 studies satisfying the inclusion data. The studies consisted of patient, intervention, comparison, and outcome (PICO) data. The search outcomes were items associated with muscle activity, balance, muscle strength and walking ability. Cochrane risk of bias (ROB) was used to evaluate the quality of 3 randomized control trials. The quality of 4 non-randomized control trials was evaluated using risk of bias assessment tool for non-randomized studies (RoBANS). Effect sizes in this study were computed as the corrected standard mean difference (SMD). A random-effect model was used to analyze the effect size because of the high heterogeneity among the studies. Egger's regression and 'trim-and-fill' tests were carried out to analyze the publishing bias.

Results : The following factors had a large total effect size (Hedges's $g=2.10$, 95 %CI=1.54~2.66) involving transcranial direct current stimulation on stroke patients: muscle activity (Hedges's $g=2.38$, 95 %CI=1.08~3.68), balance (Hedges's $g=2.41$, 95 %CI=1.33~3.60), walking ability (Hedges's $g=1.54$, 95 %CI=0.49~2.59), and muscle strength (Hedges's $g=2.45$, 95 % CI: 0.85~4.05). Egger's regression test showed that the publishing bias had statistically significant differences but 'trim-and-fill' test showed that there was still statistical difference.

Conclusion : This study provides evidence for the effectiveness of transcranial direct current stimulation on the lower extremity in terms of muscle activity, balance, walking ability, and muscle strength in stroke patients. However, due to the low quality of studies and high heterogeneity factors, the results of our study should be interpreted cautiously.

Key Words : lower extremity function, meta-analysis, stroke, transcranial direct current stimulation

*교신저자: 이정우, jwlee@kwu.ac.kr

논문접수일 : 2021년 6월 28일 | 게재승인일 : 2021년 7월 23일

※ 이 논문은 2021학년도 광주여자대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음(KWUI21-025).

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

경두개직류자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)은 다양한 행동(behavior)에 대한 억제 혹은 촉진에 대한 효과로 뇌겉질 흥분성(cortical excitability)을 조절하기 위해 사용되는 대중적인 뇌자극(brain stimulation) 방법이다(Thair 등, 2017). 경두개직류자극은 비침습성 뇌자극으로 기본 배경은 피질 흥분성과 형성력(plasticity)을 조절할 수 있는 가능성이 있으며, 현재까지 신경과학 분야와 임상연구에서 반복 경두개자기자극(repetitive transcranial magnetic stimulation)과 함께 가장 널리 이용되는 방법이다(Kang, 2017). 또한, 임상환경에서 건강한 사람들의 인지 능력(cognitive ability)을 조절하는 것뿐만 아니라 뇌겉질의 생리적 장애회복(restituing impairments) 모두에서 잠재적 가능성(promising potential)을 보여주고 있다(Jamil 등, 2017).

경두개직류자극과 관련한 높은 수준의 최근 근거 연구 현황을 살펴보면 국외 메타분석 연구의 경우 29개의 연구를 대상으로 한 경두개직류자극이 뇌졸중 환자의 운동기능 회복에 효과적이며, 팔과 다리에서 뇌졸중 발병 단계에 따라서 서로 각각 다른 치료효과를 나타내는 것으로 보고되었다(Bai 등, 2019). 이 연구에서 팔 운동기능은 급성기, 아급성기, 만성기 중 만성기 뇌졸중 환자에서만 작은 효과크기(0.22)가 나타났으며, 다리 운동기능은 아급성기와 만성기 중 아급성기 뇌졸중 환자에서만 중간 효과크기(0.56)가 있는 것으로 나타났으며, 0.029 mA/cm²의 양극 또는 음극 경두개직류자극과 10회 이상의 치료에서 팔 운동기능 회복에 효과적이고 다리 운동기능은 아급성기 뇌졸중 환자에게 양쪽 극성(polarity)을 적용한 경두개직류자극(bilateral tDCS)이 효과적인 것으로 나타났다. 또한 체계적 문헌고찰 및 메타분석 연구에서(Hsu 등, 2015) 정상 노인과 알츠하이머 질환의 인지기능(cognitive function)에 대해 긍정적인 효과가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 파킨슨 환자와 척수손상 환자를 대상으로 한 체계적 문헌고찰 연구에서는 보행훈련을 위한 다른 치료방법들보다 효과적인 근거를 발견하지 못

했다고 보고되었으며(de Paz 등, 2019), 뇌졸중 환자의 경직(spasticity) 완화에는 중간에서 낮은 질적 논문들에서는 효과적인 근거가 없는 것으로 보고되었다(Bernard 등, 2016).

국내의 체계적 고찰 및 메타분석 연구에서는 경두개직류자극의 뇌졸중 환자 팔 기능에 대한 효과에서 팔 움직임에 대해서만 보통 효과크기가 나타났으며, 양극과 음극 경두개직류자극 중 양극 경두개직류자극에서만 큰 효과크기가 나타났으나 출판편의가 있는 것으로 보고되었다(Won 등, 2020). 따라서 국외 연구의 경우는 뇌졸중 환자뿐만 아니라 다양한 중추신경계 질환 환자의 인지 및 운동기능에 대한 경두개직류자극과 관련한 체계적 문헌고찰 및 메타분석연구들이 보고되고 있으나 아직까지 국내 연구의 경우 뇌졸중 환자 팔 기능과 관련한 연구가 보고되기 시작하고 있으며, 뇌졸중 환자 다리 기능에 대한 체계적 문헌고찰 및 메타분석과 같은 높은 수준의 근거연구는 거의 없는 실정이다.

2. 연구의 목적

이 연구의 목적은 국내 뇌졸중 환자 다리 기능에 대한 경두개직류자극 효과에 대한 메타분석을 통해 뇌졸중 환자 다리 기능에 대한 경두개직류자극의 치료적 근거를 제시하기 위한 것이다.

II. 연구방법

1. 연구설계

본 연구는 국내에서 보고된 뇌졸중 환자의 다리 기능에 대한 경두개직류자극의 효과를 파악하기 위한 메타분석 연구이다.

2. 연구의 선정 기준

본 연구는 PICO-SD(participants, intervention, comparison, outcome, study design)에 따라 연구를 선정하였다. 대상

자의 선정 기준은 연구대상자가 뇌졸중 환자이며, 경두개직류자극을 적용한 임상연구로 한정하였다. 연구 배제 기준은 연구대상자가 정상인 경우, 팔 기능 연구, 고찰연구, 사례연구, 통계적 수치가 정확하게 제시되지 않은 연구 등 본 연구의 설계 기준과 맞지 않는 연구는 배제하였다.

3. 자료 검색 및 선정 과정

자료 검색은 국가과학기술정보 통합서비스(NDSL), 학술데이터베이스서비스(DBpia), 한국교육학술정보원(RISS), 한국의학논문데이터베이스(Kmbase), 한국학술정보원(KISS), 한국학술지인용색인(KCI)의 데이터 베이스들을 사용하여 논문을 검색하였다. 검색어는 ‘경두개직류자극(transcranial direct current stimulation)’, ‘뇌졸중(stroke)’, ‘편마비(hemiplegia)’를 선정하였다. 자료 선별 및 선정과정은 물리치료학과 교수 1인과 임상 물리치료사 2인이 합의하에 최종 결정하였다.

4. 논문의 질 평가

선정된 논문들 중 무작위 논문들의 질적 평가는 코크란 비뚤림 위험평가도구(Cochrane risk of bias tool; Cochrane ROB)의 항목을 사용하여 분석하였으며(Higgins & Green, 2021), 비뚤림의 평가영역은 선택비뚤림(selection bias), 실행비뚤림(performance bias), 결과확인비뚤림(detection bias), 탈락비뚤림(attrition bias), 보고 비뚤림(reporting bias)으로 구성되어 있다. 이들 항목의 비뚤림을 무작위 배정순서 생성 및 배정순서 은폐, 연구 참여자 및 연구자에 대한 눈가림, 결과 평가에 대한 눈가림, 불충분한 연구결과 자료, 선택적 결과보고의 평가영역으로 평가하였다. 비무작위 논문들의 질적평가는 비무작위 연구를 위한 비뚤림 평가도구(risk of bias assessment tool for non-randomized studies; RoBANS)의 항목을 사용하여 분석하였으며(Kim 등, 2013), 비뚤림의 평가영역은 선택비뚤림(selection bias), 실행비뚤림(performance bias), 결과확인비뚤림(detection bias), 탈락비뚤림(attrition bias), 보고 비뚤림(reporting bias)으로 구

성되어 있다. 이들 항목의 비뚤림을 대상군 선정, 교란변수, 중재에 대한 측정, 결과 평가의 눈가림, 불완전한 결과자료, 선택적 결과 보고의 6가지 평가 영역으로 평가하였다.

5. 자료 분석

자료분석은 최종 선정된 7편에 대한 정보를 분석하여 자료를 코딩하였다. 메타분석에 사용된 프로그램은 R 프로그램(version 4.0)의 메타분석 패키지(meta package)를 이용하였으며, 효과크기는 교정된 표준화된 평균효과크기(corrected standardized mean difference; SMD)로 Hedges's g와 95 %의 신뢰구간(confidence interval; CI)을 계산하였다. Cohen(1988)에 의해 효과크기 0.2는 작은 효과크기, 0.5는 중간 효과크기, 0.8이상은 큰 효과크기로 분류된 기준으로 분석을 실시하였다. 뇌졸중 환자 다리 기능에 대한 경두개직류자극의 효과크기를 검증하기 위해 전체 평균효과크기와 각 연구물에서 결과 측정변수에 따라 근활성도(muscle activity), 균형(balance), 보행 시 이동능력(walking ability), 근력(muscle strength)의 4개의 하위그룹으로 나누어 각각의 효과크기를 분석하였다. 근활성도와 관련이 있는 변수는 앞정강근의 근전도(EMG) 측정에 의한 근활성도로 1개였으며, 균형은 BBS(Berg balance scale), 정적 균형(stability balance), 동적 균형(dynamic balance)의 3가지 변수들이었다. 보행 시 이동 능력과 관련된 변수는 보행속도(walking speed), 10 mWT(10 m walk tests), TUG(timed up and go test), UGT(244 cm up and go test)의 3가지 변수였으며, 근력은 무릎관절 펌 근력의 1개 변수였다. 또한 하나의 연구에서 여러 중재 집단이 있는 연구들의 경우에는 각각 개별 논문으로 취급하여 분석을 실시하였다. 연구에 대한 이질성 검증은 Higgins의 I^2 통계량과 Q통계량을 분석하여 판단하였다. Higgins의 경우 I^2 통계량이 25 %는 낮은 이질성(heterogeneity), 50 %는 중간 정도의 이질성, 75 %는 높은 이질성을 의미한다(Huedo-Medina 등, 2006). 본 연구에서는 이에 따라 $I^2=50$ %이상이고 Q통계량이 $p<.01$ 이하인 경우 랜덤효과모형(random effect model)으로 분석하였다. 출판편의(publication bias)를 분석하기 위해서 Egger의 회귀분석(Egger's regression test)을 실시하였으

며, 출판편의에 대한 영향을 평가하기 위해 ‘trim and fill’ 분석을 실시하였다.

III. 결과

1. 연구의 선정 과정

연구의 선별 및 선정 과정은 4단계를 통해 선정되었는데, 1단계에서 국가과학기술정보 통합서비스(NDSL) 136

편, 학술데이터베이스서비스(DBpia) 81편, 한국교육학술정보원(RISS) 241편, 한국의학논문데이터베이스(Kmbase) 42편, 한국학술정보(KISS) 48편, 한국학술지인용색인(KCI) 44편을 통해 592편이 검색되었다. 2단계에서는 중복된 연구를 제외한 후 남은 연구는 131편이었다. 3단계에서 제목 및 초록을 통해 대상자가 뇌졸중 환자가 아니거나 경두개직류자극이 아닌 연구들을 제외하여 10편이 선정되었고 4단계에서 평균과 표준편차 등의 데이터가 없거나 고찰 연구를 제외하여 최종 7편이 선정되었다(Fig 1).

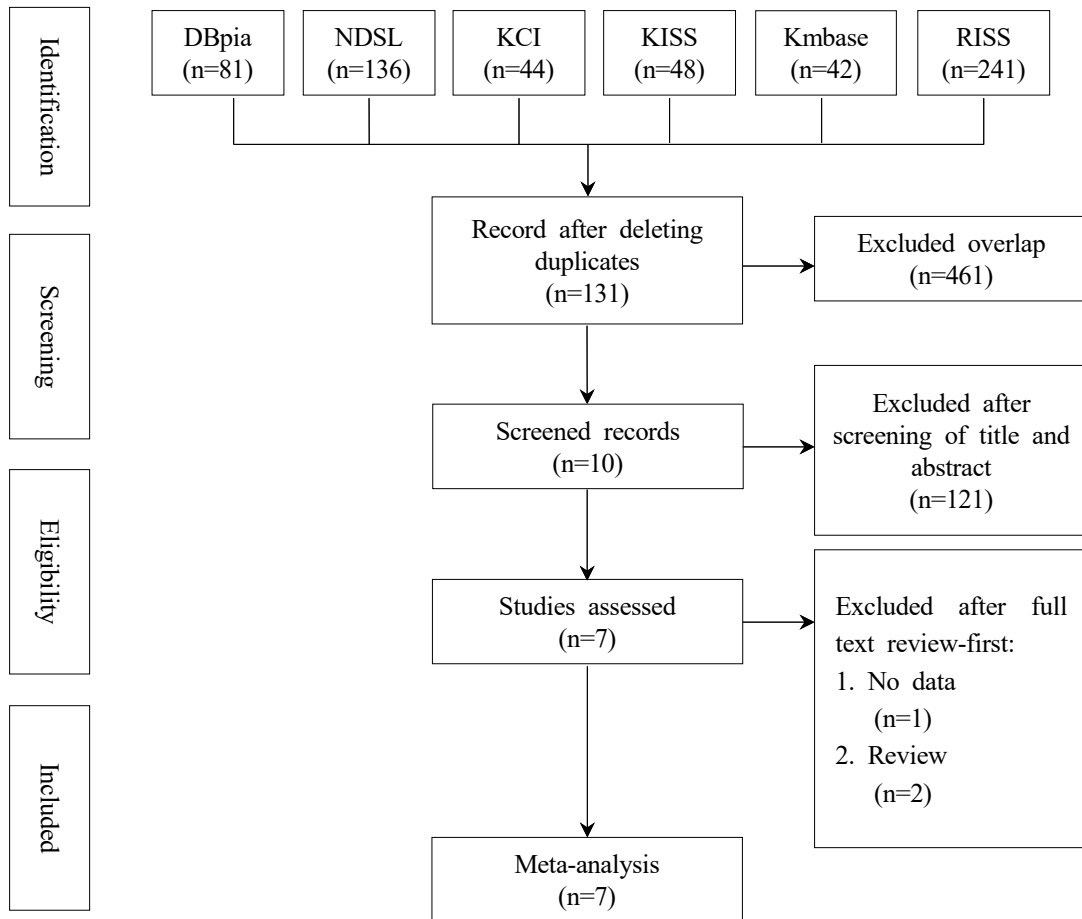


Fig 1. Flow chart of the study selection process

2. 선정된 연구의 특성

선정된 연구는 표본크기, 연구 설계, 대상자의 나이, 중재 횟수 및 방법, 측정도구로 구성하였다(Table 1). 분

석대상 7편의 논문은 2012년 6월부터 2020년 12월까지 분포되어 있으며, 연구 대상자 수는 총 181명, 무작위 논문 3편, 비 무작위 논문 4편이었다. 중재기간은 1회 적용이 2편, 4주가 2편, 6주가 2편이었다. 경두개직류자극의

전류강도(current intensity)는 1 mA가 2편, 2 mA가 5편이었으며, 회당 전기 자극시간은 10분이 2편, 20분이 3편, 30분이 2편이었다.

3. 선정된 연구에 대한 질적 수준 검증

무작위 연구들에 대한 질적 수준 검증은 Cochrane ROB(risk of bias)를 사용하여 평가한 결과 비플립 위험이 낮은 연구는 2편(Cho & Cha, 2014; Lee & Kim, 2020)이었으며, 무작위 배정순서에서는 무작위 배정을 실행하였으나 난수표 또는 컴퓨터 등과 같은 구체적인 방법에 대한 기술이 없어 불명확한 연구가 1편이었다. 배정순서의 은폐에서는 은폐방법에 대한 기술이 3편 모두 없는 것으로 나타나 비플립 위험이 명확하지 않은 것으로 평가하였다(Table 2).

연구 참여자와 연구자에 대한 눈가림 및 결과평가에 서도 3편 모두 눈가림에 대한 시행에 대해 기술이 없어

비플립 위험이 명확하지 않은 것으로 평가하였다. 불충분한 결과자료에 대한 비플립에서는 연구 설계에 따라 결과를 보고하여 3편 모두 비플립 위험이 낮은 것으로 평가하였다. 선택적 보고에서는 사전에 설정된 방법대로 이루어진 것으로 나타나 모두 비플립 위험이 낮은 것으로 평가하였다. 그 외 비플립 위험문제는 비플립 위험이 낮은 것으로 판단되었다.

비무작위 연구 4편에 대한 질 검증은 RoBANS를 사용하여 평가한 결과 대상군 선정 및 교란변수는 같은 대상군 집단에서 선정되고 교란변수가 없는 것으로 판단되어 비플립 위험이 낮은 것으로 평가하였다. 중재(노출)측정에서는 신뢰할 수 있는 평가도구를 사용하여 비플립 위험이 낮은 것으로 평가하였으며, 불완전한 자료 및 선택적 결과 보고에서는 결측치가 없고 연구 설계대로 보고하여 비플립 위험이 모두 낮은 것으로 평가하였다. 결과 평가에 대한 눈가림은 눈가림 여부에 대한 기술이 없어서 4편 모두 불명확한 것으로 판단하였다(Table 3).

Table 1. General characteristics of studies

Author	Sample size		Study design	Age (yr)	Intervention				Outcomes
	EG	CG			Current (time)	Total session	EG	CG	
An et al., 2019	15	15	NRCT	52.8	2 mA (30min)	30	tDCS+WF	StDCS+WF	UGT, BBS
Cho & Cha, 2014	15	16	RCT	61.6	1 mA (20min)	1	tDCS+PNF	PNF	10mWT, DB, EMG
Kim, 2014	11	11	RCT	61.5	1 mA (20min)	20	tDCS	-	BBS, EMG, WS
Kim, 2013	11	11	NRCT	58.5	2 mA (10min)	1	tDCS	StDCS	SB, MS
Lee & Kim, 2020	6	6	NRCT	67.7	2 mA (30min)	20	tDCS+NDT+MT	StDCS+NDT+MT	MS, TUG
Lee, 2012	14	14	RCT	56.4	2 mA (30min)	20	tDCS+GT	StDCS+GT	10mWT, BBS, EMG
Sohn et al., 2013	11	11	NRCT	58.5	2 mA (10min)	1	tDCS	StDCS	MS

EG; experimental group, CG; control group, 10mWT; 10m walk test, BBS; Berg balance scale, DB; dynamic balance, EMG; electromyography, GT; gait training, MS; muscle strength, MT; mirror therapy, NDT; neurodevelopment treatment, PNF; proprioceptive neuromuscular facilitation, SB; stability balance, StDCS; sham transcranial direct current stimulation, TUG; timed up and go test, UGT; 244 cm up and go test, WF; wii fit, WS; walking speed

Table 2. Risk of bias for randomized controlled trial studies

Domain	Risk of bias		
	Unclear	Low	High
Random sequence generation (selection bias)	1	2	-
Allocation concealment (selection bias)	3	-	-
Blinding of participants and personnel (performance bias)	3	-	-
Blinding of outcome assessment (detection bias)	3	-	-
Incomplete outcome data (attrition bias)	-	3	-
Selective reporting (reporting bias)	-	3	-
Other bias	-	3	-

Table 3. Risk of bias assessment tool for non-randomized studies

Domain	Risk of bias		
	Unclear	Low	High
Selection of participants	-	4	-
Confounding variables	-	4	-
Measurement of exposure	-	4	-
Blinding of the outcome assessments	4	-	-
Incomplete outcome data	-	4	-
Selective outcome reporting (reporting bias)	-	4	-

4. 경두개직류자극의 효과크기

다리 기능에 대한 경두개직류자극의 전체 평균효과크기를 분석한 결과 효과크기의 동질성(homogeneity)이 $I^2=83\%$ ($Q=103.69, p<.01$)로 이질성이 높은 것으로 나타났다(Fig 2). 따라서 랜덤효과모형으로 분석한 결과 전체 연구의 평균효과크기 Hedges’s $g=2.10$ (95 % CI: 1.54~2.66)으로 나타나 큰 효과크기가 있는 것으로 나타났다.

결과 측정변수(outcome)에 따라 근활성도(muscle activity), 균형(balance), 보행 시 이동능력(walking ability), 근력(muscle strength)으로 하위그룹 분석을 실시한 결과 근활성도의 평균효과크기 Hedges’s $g=2.38$ (95 % CI: 1.08~3.68)로 나타나 큰 효과크기가 있는 것으로 나타났다. 균형의 평균효과크기 Hedges’s $g=2.41$ (95 % CI:

1.33~3.50)로 나타나 큰 효과크기가 있는 것으로 나타났다. 보행 시 이동능력의 평균효과크기 Hedges’s $g=1.54$ (95 % CI: 0.49~2.59)로 나타나 큰 효과크기가 있는 것으로 나타났다. 근력의 평균효과크기는 Hedges’s $g=2.45$ (95 % CI: 0.85~4.05)로 나타나 큰 효과크기가 있는 것으로 나타났다.

5. 출판편의 분석

출판편의를 확인하기 위해 다리 기능에 대한 깔때기 그림의 비대칭에 대한 통계적 분석(Egger’s regression test)을 실시한 결과 통계적으로 유의한 것으로 나타나 (bias=7.587, $t=7.786, df=17, p=.000$) 다리 기능에 대한 효과는 출판편의가 있는 것으로 나타났다. 따라서 출판편의가 결과에 미치는 영향을 알아보기 위해서 ‘trim and

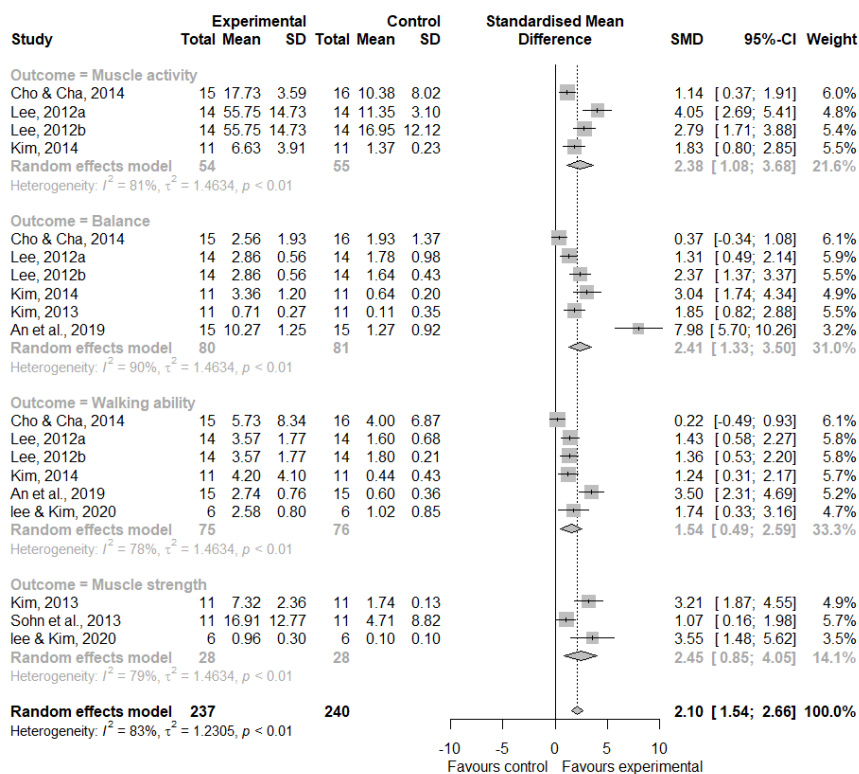


Fig 2. Lower extremity function

fill' 방법을 통해 그림 왼쪽 하단에 8개의 연구에 대한 효과크기가 채워지게 하여 보정한 결과 보정된 효과크기는 1.15(95 % CI= 0.52~1.77, p=.000)로 나타나 보정 전

효과크기인 2.10(95 % CI= 1.54~2.66)보다 크게 감소하였으나 보정된 효과크기는 여전히 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Fig 3).

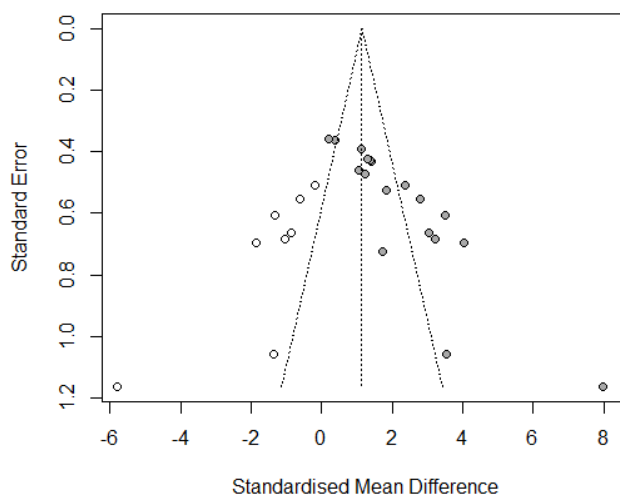


Fig 3. Adjusted funnel plot by trim and fill method

IV. 고 찰

본 연구는 2012년도에서 2020년도까지 국내에서 수행된 뇌졸중 환자를 대상으로 경두개직류자극을 적용한 연구들 중 최종 선정된 7편의 논문은 학위논문 5편, 학술논문이 2편이었으며, 무작위 논문 3편, 비무작위 논문 4편인 것으로 파악되었다.

본 연구에서는 뇌졸중 환자에 대한 경두개직류자극의 다리 기능에 대한 효과를 분석하기 위해 전체 평균효과크기 및 측정 결과 변수들에 따른 하위그룹 분석을 실시한 결과 전체 평균효과크기 및 측정 결과 변수 평균 효과크기 모두에서 큰 효과크기가 있는 것으로 나타났다. 효과크기가 연구들 사이에 크게 차이가 있었기 때문에 평균효과크기의 중요성보다 효과크기의 분산을 중점으로 해석을 해야 한다는 선행 연구(Hwang, 2016)에 따라 연구들의 실제 분산을 중점으로 분석을 실시하였다.

근활성도와 관련된 변수의 효과크기에서는 교정된 표준화된 평균차이(Hedges's g)는 2.38로 효과크기가 큰 것으로 나타났다. 실제 효과크기의 분포를 나타내는 분산을 살펴본 결과 4편 모두 숲 그림(forest plot)의 수직선(0)에 95 % 신뢰구간이 포함되지 않아 모두 효과적인 것으로 판단되었다. 이들 4편 연구들을 살펴보면 Cho와 Cha(2014)의 연구에서는 1 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극을 실시하고 PNF(proprioceptive neuromuscular facilitation)를 함께 적용한 실험군이 PNF만 적용한 대조군보다 효과적인 것으로 나타났으며, Kim(2014)의 연구에서는 1 mA의 전류로 주 5회 4주 동안 양극 경두개직류자극을 실시한 실험군이 무 처치 대조군 보다 효과적인 것으로 나타났다. 또한 Lee(2012)의 연구에서는 2 mA의 전류로 주 5회 6주 동안 양극 경두개직류자극과 보행 훈련을 실시한 실험군이 보행훈련만 실시한 대조군 및 허위 경두개직류자극과 보행훈련을 실시한 대조군 보다 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 20분 동안 1 mA 이상의 전류로 1회 이상 적용한 양극 경두개직류자극은 뇌졸중 환자 앞장근(tibialis anterior)의 근 활성화에 효과적인 것으로 나타났다.

균형과 관련된 변수의 효과크기에서는 교정된 표준화된 평균차이(Hedges's g)는 2.41로 효과크기가 큰 것으로

나타났다. 실제 효과크기의 분포를 나타내는 분산을 살펴본 결과 6편 중 5편은 숲 그림(forest plot)의 수직선(0)에 95 % 신뢰구간이 포함되지 않아 효과적인 것으로 판단되었다. 이들 5편의 연구들 중에서 평균 효과크기보다 높은 효과크기를 나타낸 2편의 연구들을 살펴보면 An 등(2019)의 연구에서는 30분 동안 2 mA의 전류로 주 5회 6주 동안 적용한 양극 경두개직류자극과 가상현실재활 프로그램을 적용한 실험군이 허위 경두개직류자극과 가상현실재활프로그램을 적용한 대조군 보다 BBS(Berg balance scale)에서 효과크기가 매우 큰 것으로 나타났으며, Kim(2014)의 연구에서도 BBS에서 20분 동안 1 mA의 전류로 주 5회 4주 동안 양극 경두개직류자극을 실시한 실험군이 무 처치 대조군보다 효과크기가 큰 것으로 나타났다. 또한 이들 연구 5편중에서 평균효과크기보다 효과크기가 작게 나타난 2편의 연구들을 살펴보면 Lee(2012)의 연구에서는 20분 동안 2 mA의 전류로 주 5회 6주 동안 양극 경두개직류자극과 보행 훈련을 실시한 실험군과 일반 보행훈련을 실시한 대조군과의 BBS에 대한 비교 연구였으며, Kim(2013)의 연구는 10분 동안 2 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극을 적용한 실험군과 허위 경두개직류자극을 실시한 대조군과의 정적 안정성 지수(stability index)에 대한 비교 연구였다.

그러나 1편(Cho & Cha, 2014)은 수직선(0)에 95 % 신뢰구간이 포함되어 효과적으로 판단하기 어려운 것으로 나타났다. 이 연구에서는 1 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극을 실시하고 PNF를 함께 적용한 실험군과 PNF만 적용한 대조군과의 동적 균형능력을 비교한 연구였다. 따라서 균형능력에 대한 양극 경두개직류자극 효과에서는 기능적인 균형능력을 BBS로 측정한 연구들에서는 모두 효과적인 것으로 나타났으나 1회 적용한 양극 경두개직류자극은 동적 균형능력 향상에 효과적인 것으로 판단하기에는 어려운 것으로 나타났다.

보행 시 이동능력과 관련된 변수의 효과크기에서는 교정된 표준화된 평균차이(Hedges's g)는 1.54로 효과크기가 큰 것으로 나타났다. 실제 효과크기의 분포를 나타내는 분산을 살펴본 결과 6편 중 5편은 숲 그림(forest plot)의 수직선(0)에 95 % 신뢰구간이 포함되지 않아 효과적인 것으로 판단되었다. 이들 5편의 연구들 중에서 평균 효과크기보다 더 큰 효과크기를 나타낸 2편의 연구

들을 살펴보면 An 등(2019)의 연구에서는 30분 동안 2 mA의 전류로 주 5회 6주 동안 적용한 양극 경두개직류자극과 가상현실재활프로그램을 적용한 실험군이 허위 경두개직류자극과 가상현실재활프로그램을 적용한 대조군보다 244 cm 돌아오기(244 cm up and go test)에서 효과크기가 매우 큰 것으로 나타났으며, Lee와 Kim(2020)의 연구에서도 30분 동안 2 mA의 전류로 주 5회 4주 동안 양극 경두개직류자극과 신경발달치료(neurodevelopmental treatment; NDT) 및 거울치료(mirror therapy)를 실시한 실험군이 신경발달치료(neurodevelopmental treatment; NDT) 및 거울치료(mirror therapy)를 실시한 대조군보다 TUG(timed up and go test)에서 효과크기가 큰 것으로 나타났다. 또한 5편중에서 평균효과크기보다 효과크기가 작게 나타난 3편의 연구들을 살펴보면 Lee(2012)의 연구에서는 2 mA의 전류로 주 5회 6주 동안 양극 경두개직류자극과 보행 훈련을 실시한 실험군이 일반 보행훈련 및 허위 경두개직류자극과 보행훈련을 실시한 대조군들과의 10 m WT(10 m walk test)에 대한 비교 연구였으며, Kim(2014)의 연구는 10분 동안 2 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극을 적용한 실험군이 허위 경두개직류자극을 실시한 대조군과의 보행속도에 대한 비교 연구였다.

그러나 1편(Cho & Cha, 2014)은 수직선(0)에 95 % 신뢰구간이 포함되어 효과적으로 판단하기 어려운 것으로 나타났다. 이 연구에서는 1 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극과 PNF를 함께 적용한 실험군이 PNF만 적용한 대조군보다 10 mWT(10 m walk test)에 대해 효과적인 것으로 판단하기 어려운 것으로 나타났다. 따라서 보행속도에 대한 양극 경두개직류자극 효과에서는 4주 이상 양극 경두개직류자극을 실시한 연구들에서만 보행속도에 효과적인 것으로 나타났다.

근력과 관련된 변수의 효과크기에서는 교정된 표준화된 평균차이(Hedges's g)는 2.45로 효과크기가 큰 것으로 나타났다. 실제 효과크기의 분포를 나타내는 분산을 살펴본 결과 3편 모두 숲 그림(forest plot)의 수직선(0)에 95 % 신뢰구간이 포함되지 않아 효과적인 것으로 판단되었다. 이들 3편의 연구들을 살펴보면 평균효과크기보다 더 큰 효과를 나타낸 2편의 연구로는 Kim(2013)의 연구에서는 10분 동안 2 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극

을 적용한 실험군이 허위 경두개직류자극을 실시한 대조군보다 무릎관절 펌 근력에 큰 효과크기가 나타났으며, Lee와 Kim(2020)의 연구에서는 30분 동안 2 mA의 전류로 주 5회 4주 동안 양극 경두개직류자극과 신경발달치료(neurodevelopment treatment; NDT) 및 거울치료(mirror therapy)를 실시한 실험군이 신경발달치료 및 거울치료를 실시한 대조군보다 무릎관절 펌 근력에 효과크기가 큰 것으로 나타났다. 또한 3편중에서 평균효과크기보다 효과크기가 작게 나타난 Sohn 등(2013)의 연구에서는 10분 동안 2 mA의 전류로 1회 양극 경두개직류자극을 적용한 실험군이 허위 경두개직류자극을 실시한 대조군보다 무릎관절 펌 근력에 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 10분 이상 및 2 mA의 전류로 1회 이상 적용한 양극 경두개직류자극이 무릎관절 펌 근력에 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구의 제한점으로는 뇌졸중 환자 다리 기능에 대한 통합 전체 메타분석과 결과 측정변수에 의한 하위그룹 분석을 실시하였으나 하위그룹들에서 여전히 이질성이 높은 것으로 나타났기 때문에 이질성에 대한 조절변수의 효과에서 본 연구결과를 해석하는 데는 제한점이 있다.

V. 결론

본 연구는 2012년부터 2020년까지 국내에서 수행된 뇌졸중 환자의 다리 기능에 대한 경두개직류자극을 적용한 연구들 중 최종 선정된 7편을 대상으로 메타분석을 실시하였다. 본 연구의 결과 뇌졸중 환자의 다리 기능에 대한 경두개직류자극의 효과는 전체 평균효과크기가 큰 것으로 나타났다. 근활성도는 20분 동안 1 mA 이상의 전류로 1회 이상 적용한 양극 경두개직류자극이 뇌졸중 환자 앞정강근(tibialis anterior)의 근 활성화에 효과적이었으며, 균형과 보행능력은 4주 이상의 양극 경두개직류자극이 효과적인 것으로 나타났고 무릎관절 펌 근력은 2 mA이상의 양극 경두개직류자극의 전류강도에서 효과적인 것으로 나타났다.

따라서 이러한 연구결과는 임상에서 뇌졸중 환자의

다리 기능에 대한 경두개직류자극의 치료적 근거로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서 비폴림 위험도 평가에서 질적으로 낮은 수준의 연구들이 다수 포함되었으며, 연구들 사이에 이질성이 매우 큰 것으로 나타났기 때문에 이러한 부분들에 대해 주의해서 해석해야하며, 향후에 질적으로 높은 수준의 연구들이 더욱 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- An TG, Kwon HC, Lee SM, et al(2019). The effects of transcranial direct current stimulation on balance, fall efficacy, and fall-related fitness in stroke patient's through a virtual reality rehabilitation program. *J Korean Soc Integr Med*, 7(1), 9-17. <https://doi.org/10.15268/ksim.2019.7.1.009>.
- Bai X, Guo Z, He L, et al(2019). Different therapeutic effects of transcranial direct current stimulation on upper and lower limb recovery of stroke patients with motor dysfunction: a meta-analysis. *Neural Plast*, 2019, Printed Online. <https://doi.org/10.1155/2019/1372138>.
- Bernard E, Joachim K, Marcus P, et al(2016). Transcranial direct current stimulation for improving spasticity after stroke: a systematic review with meta-analysis. *J Rehabil Med*, 48(7), 565-570. <https://doi.org/10.2340/16501977-2097>.
- Cho HS, Cha HG(2014). Effects of trunk pattern exercise in proprioceptive neuromuscular facilitation integrated transcranial direct current stimulation on function of lower extremity in stroke patients. *J Korea Acad Industr Cooper Soc*, 15(11), 6767-6773. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.11.6767>.
- Cohen J(1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, pp.25-26.
- de Paz RH, Serrano-Munoz D, Perez-Nombela S, et al(2019). Combining transcranial direct-current stimulation with gait training in patients with neurological disorders: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*, 16(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0591-z>.
- Hsu WY, Ku Y, Zanto TP, et al(2015). Effects of noninvasive brain stimulation on cognitive function in healthy aging and Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis. *Neurobiol Aging*, 36(8), 2348-2359. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2015.04.016>.
- Huedo-Medina T, Sanchez-Meca J, Marin-Martinez F, et al(2006). Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I2 index?. *Psychol Methods*, 11(2), 193-206. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.11.2.193>.
- Hwang SD(2016). *Meta-analysis using R*. 1st ed, Seoul, Hakjisa, pp.134-201.
- Jamil A, Batsikadze G, Kuo HI, et al(2017). Systematic evaluation of the impact of stimulation intensity on neuroplastic after-effects induced by transcranial direct current stimulation. *J Physiol*, 595(4), 1273-1288. <https://doi.org/10.1113/JP272738>.
- Kang SY(2017). Clinical applications of transcranial direct current stimulation in neurological disorders. *J Korean Neuro Assoc*, 35(2), 63-71. <https://doi.org/10.17340/jkna.2017.2.1>.
- Kim HJ(2014). The effects of transcranial direct current stimulation polarity on brain activity, balance and gait in hemiplegic patient. Graduate school of Seonam University, Republic of Korea, Doctoral dissertation.
- Kim SY, Park JE, Lee YJ, et al(2013). Testing a tool for assessing the risk of bias for nonrandomized studies showed moderated reliability and promising validity. *J Clin Epidemiol*, 66(4), 408-414. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2012.09.016>.
- Kim YW(2013). The effect of tDCS on the postural stability and strength of lower extremity in hemiplegic stroke patients. Graduate school of Chungnam University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Lee ST, Kim KY(2020). The effects of convergent stimulation on tDCS during mirror therapy to improve

- the muscle strength and gait ability in chronic stroke patients. *Journal of Industrial Convergence*, 18(4), 51-59. <https://doi.org/10.22678/JIC.2020.18.4.051>.
- Lee YS(2012). Effect of transcranial directed current stimulus on lower extremity muscle activation and walking capacity for hemiparalysis patients. Graduate school of Daegu University, Republic of Korea, Doctoral dissertation.
- Sohn MK, Jee SJ, Kim YW(2013). Effect of transcranial direct current stimulation on postural stability and lower extremity strength in hemiplegic stroke patients. *Ann Rehabil Med*, 37(6), 759-765. <https://doi.org/10.5535/arm.2013.37.6.759>.
- Thair H, Holloway AL, Newport R, et al(2017). Transcranial direct current stimulation(tDCS): a beginner's guide for design and implementation. *Front Neurosci*, 22(11), Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00641>.
- Won KA, Yang MA, Park HY, et al(2020). Effectiveness of transcranial direct current stimulation(tDCS) on upper extremity function in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *Therapeutic Sci Rehabil*, 9(1), 7-23. <https://doi.org/10.22683/tsnr.2020.9.1.007>.
- Higgins JPT, Green S. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0* [updated March 2011]. The Cochrane Collaboration. Available at <https://handbook-5-1.cochrane.org/>. Accessed January 12, 2021.