

로봇 중재가 뇌졸중 환자의 상지기능에 미치는 영향: 무작위대조연구에 대한 메타분석

권재성

청주대학교 보건의료과학대학 작업치료학과

The Effect of Robotic Intervention on Upper Limb Function in Individuals with Stroke: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials

Jae-Sung Kwon

Department of Occupational Therapy, College of Health Science, Cheongju University, Cheongju, Korea

Objectives: The main symptom of stroke is upper limb function deficit. Robotic intervention has been applied to treat the paretic upper limb. Through this meta-analysis, we investigated the effect of robotic intervention on upper limb function recovery of individuals with stroke. **Methods:** The analyzed studies were identified through electronic search engines such as PubMed, CINAHL, MEDLINE for the last 5 years. The PEDro scale was used to rate the methodological quality of included studies. Meta-analysis is performed to analyze the sample size, means, and standard deviations in selected studies. **Results:** Ten randomized controlled trails were included for meta-analysis. PEDro scale was more than 6 points in all studies. Three hundred twenty subjects participated in included studies. In order to statistically analyze the effect size of the robotic interventions, the outcomes of studies were classified into upper limb function (ULF) and activities of daily living (ADL). In consideration of heterogeneity of effect size, we used random effect model. Meta-analysis of 10 trials showed "small effect size". The effect size of ULF was 0.288 and the effect size of ADL was 0.265. **Conclusions:** Robotic intervention was not more effective than other dose-matching conventional therapies. Therefore, it is necessary to select appropriate individual interventions reflect characteristics of the individuals with stroke and robotic interventions may be used as a complementary methods to conventional therapy.

Key words: Robotic intervention, Upper limb function, Stroke, Meta-analysis

서론

뇌졸중 환자에게서 빈번하게 발생하는 장애는 상지기능의 손상으로 발병 환자의 80% 수준에서 증상이 나타난다[1]. 특히 뇌졸중 발병 후 1년 동안, 상지기능의 손상은 환자의 불안감을 높이고 삶의 질을 낮아지게 만든다[2,3]. 기능적으로도 마비측 상지를 사용하지 않음으로 인하여 독립적인 일상생활이 어렵게 된다[4,5].

뇌졸중 발병 후 상지기능 손상의 회복은 환자의 삶의 질과 독립적인 일상생활의 참여에 직접적인 영향이 있는 만큼 뇌졸중 재활에서 중요한 치료적 영역이다[6]. 손상된 상지기능을 회복시키기 위해서는 치료의 일관성과 강도가 중요하다[7]. 손상된 뇌신경의 가소성을 유발시키기 위하여 환자는 지속적이고 반복적으로 상지를 움직여야 하는데, 이것을 실현하려면 일상에서 목적을 가지고 활동하고 지속적인 동기부여가 되어야 한다[8]. 전통적으로 높은 강도의 대표적인 상지 재활

Corresponding author: Jae-Sung Kwon

298 Daesung-ro, Cheongwon-gu, Cheongju 28503, Korea
Tel: +82-43-229-7982, E-mail: kkoombo@cju.ac.kr

Received: January 19, 2018 Revised: February 7, 2018 Accepted: February 19, 2018

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

How to cite this article:

Kwon JS. The effect of robotic intervention on upper limb function in individuals with stroke: a meta-analysis of randomized controlled trials. J Health Info Stat 2018;43(1):46-53. Doi: <https://doi.org/10.21032/jhis.2018.43.1.46>

© It is identical to the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permit unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2018 Journal of Health Informatics and Statistics

훈련은 강제유도 운동치료(constraint-induced movement therapy)가 있다[9]. 그러나 강제유도 운동치료는 환자의 불편감과 낙상과 같은 위험성을 가지고 있고 많은 환자들이 중도에 포기하는 제한점을 가지고 있다[10]. 이후 컴퓨터 기술이 발달하고 강제유도 운동치료의 제한점을 보완하기 위하여 가상현실(virtual reality)을 이용한 상지 재활 훈련이 실시되었다. 가상현실을 이용한 훈련은 반복을 통한 운동의 강도를 높게 유지하면서 지속적으로 환자에게 동기를 부여할 수 있다. 또한 화면 안에서 자신의 모습을 볼 수 있으므로 거울 뉴런을 활성화하여 뇌의 가소성을 촉진할 수 있다는 장점이 부각되었다[11].

컴퓨터와 공학의 발전은 로봇 시스템을 뇌졸중 상지 재활치료에 적용할 수 있게 해주었다. 치료적으로 적용되는 로봇 기술은 다양한 환경에서도 상지기능 향상을 위한 활동의 규칙성과 강도를 일정하게 유지하도록 한다[12,13]. 그러나 뇌졸중 상지 재활에 적용된 로봇 중재 효과의 근거는 아직 명확하지 않다. 사전에 실시된 체계적 문헌연구에서는 로봇을 활용한 재활 훈련이 비슷한 강도의 전통적인 뇌졸중 상지 재활 훈련과 비교하여 상지 운동 조절과 기능, 일상생활 활동 향상에 효과가 있다고 분석하였다[14]. 그러나 다른 체계적 고찰과 메타분석에서는 로봇 상지 재활이 시간적으로 동일하게 제공된 전통적 치료와 비교하였을 때 통계적으로 효과크기가 작다는 결과를 보고하였다[15]. 또한 최근에는 로봇 중재의 형태와 환자의 특성, 중재 기간 등의 요인에 따라 효과성의 편차가 크다는 분석을 발표하였다[16]. 이와 같이 현재 로봇 중재의 적용은 뇌졸중 상지 재활 현장에서 효과성에 대한 논란이 지속되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 사전 문헌연구의 발표 시기와 기술의 발전 수준을 고려하여, 최근 5년 동안 뇌졸중 상지 재활에 적용된 로봇 중재 기술의 효과성을 알아보고자 하였다. 특히 질적으로 잘 통제되고 설계된 무작위대조연구를 선정하여 효과성의 근거를 명확히 하고자 하였다. 본 연구의 목적은 로봇 중재가 뇌졸중 상지기능 회복에 미치는 영향을 메타분석을 통하여 통계적으로 분석하기 위함이다.

연구 방법

연구 설계

본 연구에서는 뇌졸중 환자의 상지 재활에 적용된 로봇 중재에 대한 연구 중 무작위대조연구를 대상으로 메타분석을 실시하였다. 로봇 중재로는 다양한 로봇의 종류와 적용 방법 및 기간을 추출하였고 중속변인은 환자의 독립적인 일상생활의 참여에 직접적인 요인이 되는 '상지기능'과 '일상생활동작'으로 분류하여 분석하였다.

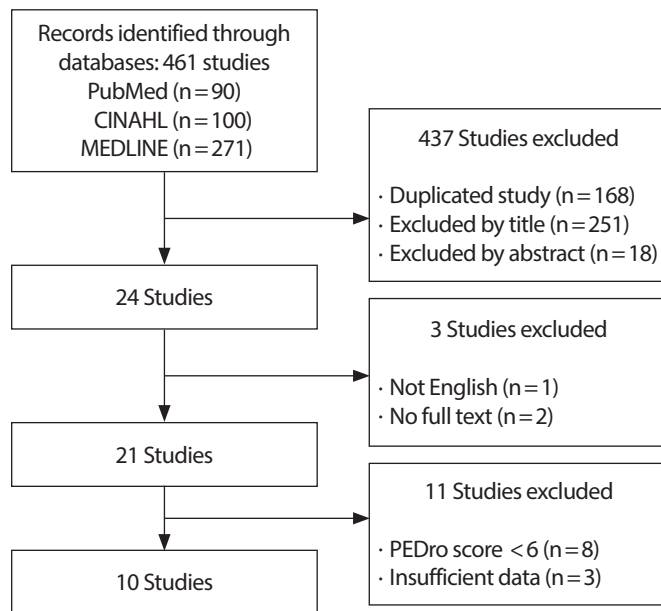


Figure 1. Research flow diagram.

분석대상 및 자료수집

분석할 연구를 수집하기 위하여 최근 2013년부터 2017년까지 5년 동안 출판된 국외 논문을 대상으로 하였다. 검색을 위한 데이터베이스 검색엔진은 PubMed와 CINAHL, MEDLINE을 사용하였다. 검색을 위한 전략은 의학주제어(medical subject heading, MeSH)와 주요 개념의 핵심 단어를 사용하였다. 사용한 주제어와 전략은(robot OR robotic) AND (rehabilitation OR therapy OR intervention) AND upper AND stroke [MeSH]이었다. 수집된 연구는 두 명의 연구자가 독립적으로 선정하였고 의견이 일치하지 않을 경우에는 토의를 거쳐 최종적으로 결정하였다. 검색 및 수집, 선정 과정은 Figure 1에 제시하였다.

대상 연구 선정 기준

분석을 위한 연구를 선정하기 위하여 (1) 무작위대조 임상실험연구, (2) 로봇을 설계하고 제작하는 연구가 아닌 로봇을 중재로 사용한 연구, (3) 상지 기능과 일상생활동작 수준을 표준화된 평가 도구로 측정 한 연구, (4) 주요 측정치의 평균과 표준편차, 대상자 수를 제시한 연구, (5) 사례연구, 단일실험연구, 종설, 체계적 문헌고찰이 아닌 실험연구, (6) 약물이 적용되지 않은 연구, (7) 뇌졸중 환자를 대상으로 실험군과 대조군의 동질성이 확보된 연구, (8) 영어로 출판된 연구와 같은 기준을 적용하였다.

질적 메타분석 방법

선정된 연구의 질적 수준을 평가하기 위하여 PEDro scale을 사용하

였다. 질적 평가는 두 명의 연구자가 독립적으로 실시하였고 일치하지 않을 경우 토의를 통하여 최종 PEDro score를 산출하였다. PEDro score는 총 10점으로 구성되어 있고, 3점 이하는 '나쁨', 4-5점은 '보통', 6-8점은 ' 좋음', 9-10점은 '매우 좋음'으로 분류된다[17]. 본 연구에서는 6점 이상의 ' 좋음'과 '매우 좋음'으로 평가되는 연구만을 선정하여 분석하였다.

분석 연구의 일반적 특성

본 연구에서 최종적으로 선정된 무작위대조연구는 10편이었다. 연구에 참여한 대상자는 실험군이 163명, 대조군이 157명으로 총 인원은 320명이었다. 모든 대상자의 진단은 뇌졸중이었고, 대상자의 발병 후 기간은 3개월 이내의 급성기 연구가 5편, 1년 이상의 만성기 연구가 5편이었다. 상지 재활 증재에 사용된 로봇의 종류로는 'Haptic Knob Robot', 'Robot-assisted group therapy (Bi-Manu-Track, Reha-Digit, Re-

ha-Slide)', 'Bi-Manu-Track Robotic Arm Trainer', 'InMotion2 Shoulder-Elbow Robot', 'Myomo e100', 'MIT-MANUS/InMotion2', 'Modified Hand Exoskeleton Robot', 'Robotic Therapy System-ReoGo', 'Arm-Assist Robotic Trainer'들이 사용되었다. 증재 기간은 최소 3주 15회기에서 최대 12주 60회기로 실시되었다. 효과를 측정하기 위한 평가 영역에서 상지 기능 평가 연구가 10편 중 10편이었고, 일상생활동작 평가 연구는 10편 중 6편이었다. PEDro score에 따른 연구의 질적 수준을 보면 6점 연구가 1편, 7점 연구가 6편, 8점 연구가 3편이었다(Table 1).

계량적 메타분석 방법

분석 연구의 통합적 효과크기를 분석하고 통계적 동질성, 출판 편의를 검정하기 위하여 Comprehensive Meta-Analysis 3.0 (Biostat, Englewood, NJ, USA)을 사용하였다. 효과크기의 통계적 동질성을 검정하기 위하여 Q-value를 사용하였는데, Q-value의 p값이 0.1보다 크고 작음

Table 1. Characteristics of included studies

Study	Exp/ Con (n)	Onset duration (D)	Age (y, M±SD)	Intervention	Time of intervention	Outcome measure (Classification)	PEDro score
Ang et al. [18]	8 7	398.2±150.9 455.0±109.6	51.1±6.3 58.0±19.3	HKR+CR SAT+CR	90 Ms, 3 Ss/W, 6 Ws	FMA (ULF)	7
Hesse et al. [19]	23 23	31.5±11.9 ^a 31.5±9.8 ^a	71.4±15.5 69.7±16.6	RAGT+IAT double IAT	60 Ms, 5 Ss/W, 4 Ws	ARAT (ULF), BBT (ULF), FMA (ULF), BI (ADL)	7
Hsieh et al. [20]	16 15	76.8±50.7 ^b 66.3±33.3 ^b	49.3±10.9 52.9±10.4	BRAT+TOA TOA	90 Ms, 5 Ss/W, 4 Ws	BBT (ULF), FMA (ULF), SIS-HF (ULF), FIM (ADL), SIS-ADL (ADL)	8
McCabe et al. [21]	12 11	all ≥365.0	21-49 (n=2) 21-49 (n=2) 50-81 (n=9) 50-81 (n=10)	ML+IMSER ML	300 Ms, 5 Ss/W, 12 Ws	AMAT, FMA (all ULF)	7
Page et al. [22]	8 8	1,341.0±1,152.0 ^b 3,204.0±3,438.0 ^b	59.0±12.9 58.5±9.5	RTP with Myomo RTP alone	60 Ms, 3 Ss/W, 8 Ws	FMA (ULF), SIS-HF (ULF), SIS-ADL (ADL)	6
Sale et al. [23]	26 27	all 30.0±7.0	67.7±14.2 67.7±14.2	IM2 CR	45 Ms, 5 Ss/W, 6 Ws	FMA, MI (all ULF)	8
Susanto et al. [24]	9 10	492.0±174.0 ^b 483.0±153.0 ^b	50.7±9.0 55.1±10.6	PA with MHER PA alone	60 Ms, 3-5 Ss/W, 5 Ws (total 20 Ss)	ARAT, FMA, WMFT (all ULF)	7
Takahashi et al. [25]	30 26	47.8±7.0 46.9±8.1	65.2±10.9 64.6±11.5	ST+RTS ST+SGT	80 Ms, 5 Ss/W, 6 Ws	FMA (ULF), MI (ULF), WMFT (ULF), MAL (ADL), FIM (ADL)	8
Tomic et al. [26]	13 13	35.3±9.7 37.3±7.7	56.5±7.4 58.3±5.2	CR+AART CR+CAT	60 Ms, 5 Ss/W, 3 Ws	FMA (ULF), WMFT (ULF), BI (ADL)	7
Wu et al. [27]	18 17	698.4±461.1 ^b 702.3±457.2 ^b	52.2±12.2 54.2±9.8	BRAT CAT	80 Ms, 5 Ss/W, 4 Ws	WMFT (ULF), MAL (ADL)	7

M±SD, mean±standard deviation; AART, arm-assist robotic training; ADL, activities of daily living; AMAT, arm motor ability test; ARAT, action research arm test; BBT, box and block test; BI, brthel index; BRAT, bi-banu-track robotic arm trainer; CAT, conventional arm training; Con, control group; CR, conventional rehabilitation; D, days; Exp, experimental group; FIM, functional independence measure; FMA, fugl-meyer assessment for upper extremity; HF, hand function; HKR, haptic knob robot; Hr(s), hour(s); IAT, individual arm therapy; IMSER, InMotion2 shoulder-elbow robot; IM2, MIT-MANUS/InMotion2; M, months; MHER, modified hand exoskeleton robot; MI, motricity index; ML, motor learning; Ms, minutes; Myomo, Myomo e100; PA, purposeful activity; RAGT, robot-assisted group therapy; RTP, repetitive task-specific practice; RTS, robotic therapy system; SAT, standard arm therapy; SGT, self-guided therapy; SIS, stroke impact scale; Ss, sessions; ST, standard therapy; TOA, task-oriented approach; ULF, upper limb function; W(s), week(s); WMFT, wolf motor function test; Y, year.

^aConvert week to day.

^bConvert month to day.

에 따라 효과크기의 이질성이 낮고 높음을 판단할 수 있다. 그러나 Q-value 만으로 효과크기의 이질성을 결정하는 것은 통계적으로 한계가 있으므로, 연구자가 분석 연구의 대상자 특성, 중재 방법, 변인 측정의 속성 등을 고려하여 고정효과모형 또는 랜덤효과모형을 선택하여야 한다[28].

분석 연구들의 통합적 효과크기를 산출하기 위하여 연구의 참여 대상자 수, 실험군과 대조군의 평균 또는 평균의 차이, 표준편차 또는 평균 차이의 표준편차, *p*값 등을 사용하였다. 각 연구의 종속변인들은 '상지기능'과 '일상생활동작'으로 분류하고 통합하여 효과크기를 산출하였다. 효과크기는 값이 0.4 미만일 경우 '작은 효과크기', 0.4 이상 0.8 미만의 범주일 경우 '중간 효과크기', 0.8 이상일 경우는 '큰 효과크기'로 해석하였다[29]. 통합된 효과크기는 숲 그림(forest plot)으로 제시하였다.

출판 편의 검정을 위해서 깔때기 점도표 법(funnel plot)과 Fail-Safe Number값을 사용하였다. 깔때기 점도표 법에서 점들이 효과크기를 중심으로 대칭적이고 균등하게 분포되어 있으면 출판편의가 존재하지 않는 것으로 보았고 Fail-Safe Number값이 크고 *p*값이 0.05보다 작으면 출판 편의가 존재하지 않는 것으로 해석하였다[30].

연구 결과

계량적 메타분석 결과

통계적 동질성 검정

효과크기의 동질성 검정을 위한 Q-value에서, 상지기능의 효과크기에 대한 Q 4값은 5.464 (df=9, *p*=0.792), 일상생활동작의 효과크기에 대한 Q값은 2.737 (df=5, *p*=0.740)로 제시되었다. Q-value에 근거하면 효과크기의 이질성은 낮은 수준이나 연구 참여 대상자들의 특성이 동

일하지 않고 효과 측정 방법과 측정치의 속성이 다르므로 본 연구에서는 랜덤효과모형을 선택하였다. 그러나 T²값이 0이므로 두 모형의 통계적 차이는 없었다(Table 2).

상지기능에 대한 로봇 중재 효과

상지 로봇 중재가 상지기능에 미치는 효과를 조사한 연구의 대상자의 총합은 실험군이 163명 대조군이 157명이었다. 통합된 효과크기는 0.288 (신뢰도 95%, 신뢰구간 0.067-0.510)로 작은 효과크기를 나타냈다 (Figure 2).

일상생활동작에 대한 로봇 중재 효과

상지 로봇 중재가 뇌졸중 환자의 일상생활동작에 미치는 효과를 알아본 연구의 참여 대상자의 총합은 실험군이 108명 대조군이 102명이었다. 통합된 효과크기는 0.265 (신뢰도 95%, 신뢰구간 -0.007-0.538)로 작은 효과크기로 나타났다(Figure 3).

출판 편의 검정

상지기능과 일상생활동작에 대한 효과크기를 분석한 연구들에서는 깔때기 점도표 법에서 각각 10개와 6개의 점들이 효과크기를 중심으로 균등하게 대칭적으로 분포되어 있지 않고 Fail-Safe Number값은 각각 10 (*p*<0.05)과 6 (*p*<0.05)으로 높지 않으므로 통계적으로 출판

Table 2. Statistical heterogeneity

Outcomes	Study (n)	T ²	Q	df	<i>p</i>
ULF	10	0	5.464	9	0.792
ADL	6	0	2.737	5	0.740

ULF, upper limb function; ADL, activities of daily living.

Study name	Statistics for each study						
	Std diff in means	Standard error	Variance	Lower limit	Upper limit	Z-value	<i>p</i> -value
Ang et al. [18]	0.541	0.527	0.278	-0.491	1.574	1.027	0.304
Hesse et al. [19]	0.239	0.296	0.088	-0.341	0.819	0.807	0.420
Hsieh et al. [20]	0.205	0.361	0.130	-0.502	0.912	0.567	0.570
McCabe et al. [21]	0.188	0.419	0.175	-0.633	1.009	0.449	0.654
Page et al. [22]	0.332	0.505	0.255	-0.659	1.323	0.657	0.511
Sale et al. [23]	0.249	0.276	0.076	-0.291	0.790	0.904	0.366
Susanto et al. [24]	0.442	0.466	0.217	-0.472	1.356	0.948	0.343
Takahashi et al. [25]	0.100	0.268	0.072	-0.426	0.625	0.371	0.710
Tomic et al. [26]	1.153	0.425	0.180	0.321	1.985	2.716	0.007
Wu et al. [27]	0.098	0.338	0.115	-0.565	0.762	0.291	0.771
Total	0.288	0.113	0.013	0.067	0.510	2.552	0.011

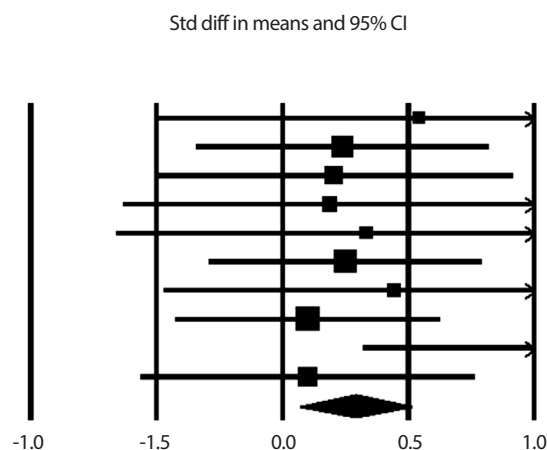


Figure 2. Effect of robotic intervention on upper limb function. CI, confidence interval.

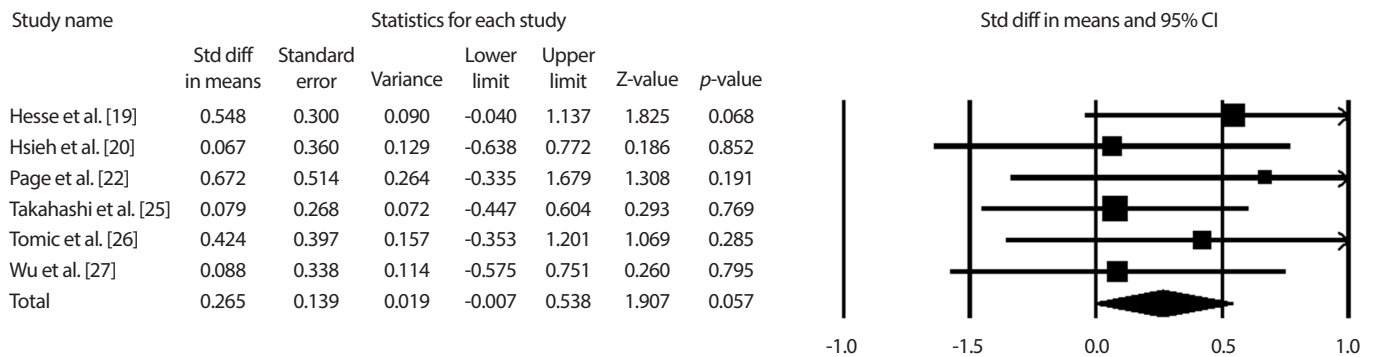


Figure 3. Effect of robotic intervention on activities of daily living. CI, confidence interval.

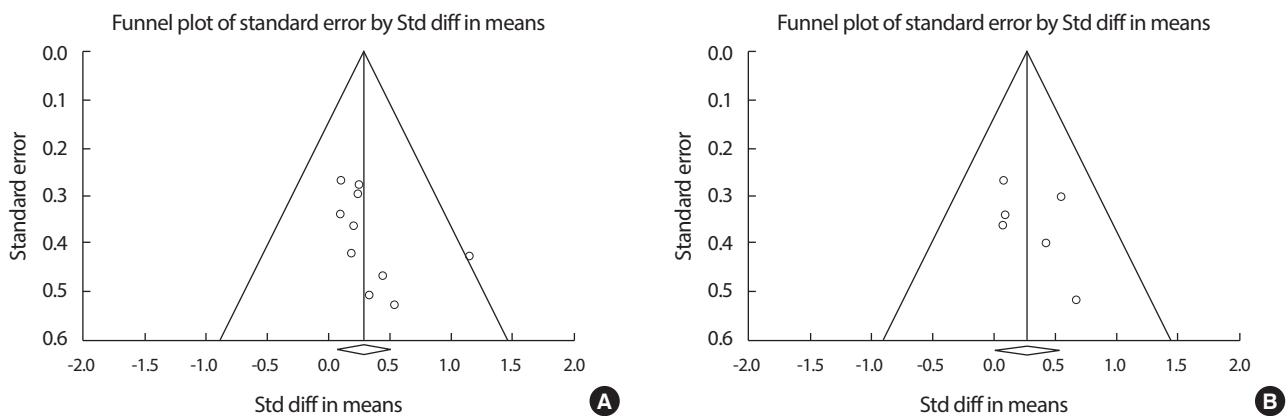


Figure 4. Funnel plots of outcomes. (A) Upper limb function outcomes; (B) Activities of daily living outcomes.

편의의 가능성을 배제할 수 없다(Figure 4).

고찰

본 연구의 목적은 최근 5년 동안 뇌졸중 상지 재활에 적용된 로봇 중재에 대하여 알아보고 ‘상지기능’과 ‘일상생활동작’에 미치는 효과성을 통계적으로 알아보기 위함이었다. 특히 PEDro score 6점 이상의 질적으로 잘 통제되고 설계된 무작위대조연구를 대상으로 메타분석을 실시하였다. 분석 대상이 된 연구는 최종적으로 10편이었다. 각 연구들의 독립변인인 로봇 중재의 형태에 따라서는, 분류되는 논문 편수가 적어 따로 분석하지 못하였다. 종속변인은 뇌졸중 환자의 독립적인 일상생활에 직접적으로 영향을 미치는 ‘상지기능’과 그 결과인 ‘일상생활동작’으로 분류하여 통합된 효과크기를 산출하였다.

분석 결과 ‘상지기능’에 대한 로봇 중재의 효과크기는 0.288로 작은 효과크기를 나타내었고, ‘일상생활동작’에 대한 효과크기 또한 0.265로 작은 효과크기를 보였다. 이러한 결과는 전통적인 뇌졸중 상지 재활과 비교하여 우월한 치료적 효과가 있다고 보기는 어려울 것이다.

Mehrholz et al. [31]은 그들의 첫 번째 체계적 문헌연구에서 1950년부터 2011년까지 장기간의 상지 로봇 중재 연구를 분석한 결과, 로봇 중재가 표준화된 상지 재활 또는 전통적인 집중치료에 비하여 상지의 운동조절 기능과 일상생활동작에 유의미한 효과가 있다고 보고하였다. 그러나 2년 후 추가로 연구된 문헌고찰에서는 로봇 중재의 효과성이 매우 낮다고 보고하였다. 그 원인으로서는 로봇의 종류가 다양해지고 중재 환경과 참여 대상자의 특성이 매우 달라져 효과크기의 편차가 커졌기 때문으로 고찰하였다[16]. 본 연구에서도 상지 재활을 위한 로봇의 형태가 대부분 달랐다. 같은 로봇 기종을 사용한 연구는 Bi-Manu-Track Robotic Arm Trainer가 2편[20,27], InMotion2가 2편[21,23]이었고, 나머지 연구에서는 모두 다른 기종의 로봇을 사용하였다. 연구 참여 대상자 또한 뇌졸중 환자로 진단은 동일하지만, 치료 회복에 영향을 줄 수 있는 발병 후 기간은 3개월 이내가 5편, 1년 이상이 5편으로 달랐다. 상지기능을 측정하는 평가도구도 단순한 상지협응을 측정하는 도구에서 상지기능으로 활동에 참여하는 것을 측정하는 도구까지 다양하였다. 이러한 상황은 로봇 중재가 상지기능 회복을 위하여 광범위한 환자군과 환경에서 사용되고 있다는 근거가 될 수는 있지만 통계적인 효

과성이 낮아지고 있다는 측면은 임상적으로 시사하는 바가 크다.

Veerbeek et al. [32]은 체계적 메타분석에서는 로봇 중재가 다른 전통적인 중재에 비하여 그 효과성이 충분치 않다고 분석하였다. 이들은 로봇 중재의 효과성이 낮은 원인을 중재의 특성에서 제시하였다. 즉 중재를 적용하는 치료사의 로봇에 대한 전문적 지식 여부, 로봇의 설치와 환자의 특성에 맞는 적용 및 설계, 적용하는 시기의 적절성 등 중재의 설계가 치료적 효과에 많은 영향을 줄 수 있다는 것이다. 이와 같은 체계적인 문헌연구의 결과는 본 연구의 분석결과를 지지한다. 본 연구자는 로봇 중재의 효과성이 충분치 않은 것에 대하여, 중재의 규칙성과 강도의 측면에서 분석하였다. 본 연구에서 분석 대상이 된 연구들은 대부분 로봇 중재와 같은 시간과 강도의 다른 치료를 진행하였다. 이때 좀 더 주의 깊게 보아야 할 것은, 중재 시간에 운동의 규칙성과 강도를 로봇 중재가 다른 보편적인 치료보다 월등히 많이 유지할 수 있는가에 대한 문제이다. 로봇 외에도 환자의 움직임에 대한 반복과 지속적인 강도를 유지하는 방법들은 많이 존재한다[11]. 그러므로 일상이 아닌 집중적인 치료 시간에 대한 효과를 비교할 때는 로봇 중재와 전통적인 다른 중재의 차이를 경험하기 어려울 것이다. 이와 같은 제한점을 극복하기 위해서는 수시로 착용이 가능한 로봇 치료기의 적용을 통해 활동의 지속 시간을 늘리고 강도를 높이는 시도가 필요할 것이다.

본 연구의 제한점은 로봇의 형태와 기능적 차이에 따른 분석이 이루어지지 못하였다는 것이다. 분석 연구들에서 상지 재활에 적용된 로봇의 중점 기능이 조절하는 관절의 위치(어깨, 팔꿈치, 손가락 등)에 따라 달랐다. 그러나 로봇의 기능에 따른 종류별 연구 논문의 편수가 적어 분석이 이루어지지 못하였다. 그러므로 로봇 기능의 옵션에 따라 상지 기능에 어떠한 영향을 미치는지 분석해볼 필요가 있다. 또한 로봇의 가격이 비싸다는 것을 고려할 때, 본 연구에서는 로봇 중재의 비용 효과에 대한 분석을 실행하지 못하였다. 로봇 중재의 효과성이 충분치 못할 경우 로봇에 투자되는 비용 대비 효과성에 대한 분석이 필요할 것이다. 다음으로 본 연구에서는 대상 연구 수의 부족으로 연구 참여 대상자들의 상지 마비에 대한 심각성 정도와 발병 후 기간에 따른 효과성 분석이 이루어지지 못하였다. 이는 연구 선정의 질적 기준을 높여 최종 분석 연구의 범주가 좁아진 결과이기도 하다. 뇌졸중 재활에 있어서 초기 손상의 심각성과 발병 후 기간은 이후 기능 향상에 영향을 미칠 수 있으므로 다음 연구에서는 연구의 질적 기준을 낮추고 분석 대상 연구 수를 늘려 연구 대상자의 특성에 따른 조절 변수의 유의성을 알아보는 것도 임상적 의미가 있을 것이다. 마지막으로 본 연구에서 통계적으로 효과크기의 이질성은 나타나지 않았으나, 각 연구의 참여 대상자 특성, 중재의 기간 및 발병 후 기간 등과 같은 연구 특성의 이질성을 통제하지 못하였다는 제한점이 있다. 또한 출판 편의의 가능성을 배제할 수 없으므로 결과의 해석에 신중을 기해야 할 것이

다. 뇌졸중 재활 현장에서 발전하고 있는 컴퓨터 공학 및 기계 공학 기술을 적용하는 것은 시대적으로 중요하고 의미 있는 시도이다. 그러므로 환자들의 기능 회복과 독립적인 일상생활에 가장 효과적이고 효율적인 중재 방법을 찾는 것은 더 큰 의미가 있을 것이다.

결론

본 메타분석의 목적은 최근 5년 동안의 뇌졸중 상지 재활에 적용된 로봇 중재들을 조사하고 그 효과성을 통계적으로 알아보기 위함이었다. 로봇 중재의 효과성을 분석하기 위하여 종속변인을 ‘상지기능’과 ‘일상생활동작’으로 분류하여 각각의 통합적인 효과크기를 산출하였다. 분석결과 ‘상지기능’과 ‘일상생활동작’에 대한 로봇 중재의 효과크기는 모두 ‘작은 효과크기’로 나타났다. 뇌졸중 상지 재활에 있어서 로봇 중재와 전통적인 치료를 동일한 시간으로 제공한다면 로봇 중재 치료의 효과가 더 월등하다고 볼 수는 없을 것이다. 그러므로 임상 현장에서는 환자 개인의 특성에 맞는 가장 효율적인 치료 방법을 선택하여야 하고, 기존 상지 재활의 보완적인 측면으로 로봇 중재를 적용하는 것이 적절할 것이다.

REFERENCES

1. Jorgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Stroke. Neurologic and functional recovery the Copenhagen Stroke Study. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 1999;10(4):887-906.
2. Morris JH, van Wijck F, Joice S, Donaghy M. Predicting health related quality of life 6 months after stroke: the role of anxiety and upper limb dysfunction. *Disabil Rehabil* 2013;35(4):291-299. Doi: 10.3109/09638288.2012.691942
3. Franceschini M, La Porta F, Agosti M, Massucci M. Is health-related-quality of life of stroke patients influenced by neurological impairments at one year after stroke? *Eur J Phys Rehabil Med* 2010;46(3):389-399.
4. Taub E, Miller NE, Novack TA, Cook EW 3rd, Fleming WC, Nepomuceno CS, et al. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74(4):347-354.
5. Broeren J, Rydmark M, Sunnerhagen KS. Virtual reality and haptics as a training device for movement rehabilitation after stroke: a single-case study. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85(8):1247-1250. Doi: 10.1016/j.apmr.2003.09.020
6. Pollock A, Farmer SE, Brady MC, Langhorne P, Mead GE, Mehrholz J,

- et al. Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2014(11):Cd010820. Doi: 10.1002/14651858.CD010820.pub2
7. Kwakkel G, Wagenaar RC, Twisk JW, Lankhorst GJ, Koetsier JC. Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet* 1999;354(9174):191-196. Doi: 10.1016/S0140-6736(98)09477-x
 8. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res* 2008;51(1):S225-239. Doi: 10.1044/1092-4388(2008/018)
 9. Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, Miltner WH, Taub E, Weiller C. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans. *Stroke* 2000;31(6):1210-1216.
 10. Page SJ, Levine P, Leonard AC. Modified constraint-induced therapy in acute stroke: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabil Neural Repair* 2005;19(1):27-32. Doi: 10.1177/1545968304272701
 11. Kwon JS, Park MJ, Yoon IJ, Park SH. Effects of virtual reality on upper extremity function and activities of daily living performance in acute stroke: a double-blind randomized clinical trial. *NeuroRehabilitation* 2012;31(4):379-385. Doi: 10.3233/nre-2012-00807
 12. Wagner TH, Lo AC, Peduzzi P, Bravata DM, Huang GD, Krebs HI, et al. An economic analysis of robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *Stroke* 2011;42(9):2630-2632. Doi: 10.1161/strokeaha.110.606442
 13. Timmermans AA, Seelen HA, Willmann RD, Kingma H. Technology-assisted training of arm-hand skills in stroke: concepts on reacquisition of motor control and therapist guidelines for rehabilitation technology design. *J Neuroeng Rehabil* 2009;6:1. Doi: 10.1186/1743-0003-6-1
 14. Loureiro RC, Harwin WS, Nagai K, Johnson M. Advances in upper limb stroke rehabilitation: a technology push. *Med Biol Eng Comput* 2011;49(10):1103-1118. Doi: 10.1007/s11517-011-0797-0
 15. Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: systematic review and meta-analysis of the literature. *J Rehabil Res Dev* 2012;49(4):479-496.
 16. Mehrholz J, Pohl M, Platz T, Kugler J, Elsner B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2015(11):Cd006876. Doi: 10.1002/14651858.CD006876.pub4
 17. Moseley AM, Herbert RD, Sherrington C, Maher CG. Evidence for physiotherapy practice: a survey of the Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Aust J Physiother* 2002;48(1):43-49.
 18. Ang KK, Guan C, Phua KS, Wang C, Zhou L, Tang KY, et al. Brain-computer interface-based robotic end effector system for wrist and hand rehabilitation: results of a three-armed randomized controlled trial for chronic stroke. *Front Neuroeng* 2014;7:30-30. Doi: 10.3389/fneng.2014.00030
 19. Hesse S, Heß A, Werner C C, Kabbert N, Buschfort R. Effect on arm function and cost of robot-assisted group therapy in subacute patients with stroke and a moderately to severely affected arm: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2014;28(7):637-647. Doi: 10.1177/0269215513516967
 20. Hsieh YW, Wu CY, Wang WE, Lin KC, Chang KC, Chen CC, et al. Bilateral robotic priming before task-oriented approach in subacute stroke rehabilitation: a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2017;31(2):225-233. Doi: 10.1177/0269215516633275
 21. McCabe J, Monkiewicz M, Holcomb J, Pundik S, Daly JJ. Comparison of robotics, functional electrical stimulation, and motor learning methods for treatment of persistent upper extremity dysfunction after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2015;96(6):981-990. Doi: 10.1016/j.apmr.2014.10.022
 22. Page SJ, Hill V, White S. Portable upper extremity robotics is as efficacious as upper extremity rehabilitative therapy: a randomized controlled pilot trial. *Clin Rehabil* 2013;27(6):494-503. Doi: 10.1177/0269215512464795
 23. Sale P, Franceschini M, Mazzoleni S, Palma E, Agosti M, Posteraro F. Effects of upper limb robot-assisted therapy on motor recovery in subacute stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11(1):104-104. Doi: 10.1186/1743-0003-11-104
 24. Susanto EA, Tong RK, Ockenfeld C, Ho NS. Efficacy of robot-assisted fingers training in chronic stroke survivors: a pilot randomized-controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2015;12(1):42-42. Doi: 10.1186/s12984-015-0033-5
 25. Takahashi K, Domen K, Sakamoto T, Toshima M, Otaka Y, Seto M, et al. Efficacy of upper extremity robotic therapy in subacute poststroke hemiplegia: an exploratory randomized trial. *Stroke* 2016;47(5):1385-1388. Doi: 10.1161/STROKEAHA.115.012520
 26. Tomic TJ, Savic AM, Vidakovic AS, Rodic SZ, Isakovic MS, Rodriguez-de-Pablo C, et al. ArmAssist robotic system versus matched conventional therapy for poststroke upper limb rehabilitation: a randomized clinical trial. *Biomed Res Int* 2017;2017:7659893. Doi: 10.1155/

- 2017/7659893
27. Wu CY, Yang CL, Chen MD, Lin KC, Wu LL. Unilateral versus bilateral robot-assisted rehabilitation on arm-trunk control and functions post stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2013;10:35. Doi: 10.1186/1743-0003-10-35
28. Borenstein M, Hedges LV, Higgins J, Rothstein HR. Introduction to meta-analysis. Wiley Online Library, 2009.
29. Cohen J. Statistical power for the social sciences. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum and Associates; 1988, p. 98-101.
30. Rosenthal R, Rubin DB. Comparing effect sizes of independent studies. *Psychol Bull* 1982;92(2):500.
31. Mehrholz J, Hadrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2012(6):Cd006876. Doi: 10.1002/14651858.CD006876.pub3
32. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, van Wegen EEH, Meskers CGM, Kwakkel G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2017;31(2):107-121. Doi: 10.1177/1545968316666957