

로봇치료가 파킨슨병 환자의 상지 기능에 미치는 영향

이인선*, 김종배**, 박지혁**, 박혜연**

*경인의료재활센터병원 작업치료실

**연세대학교 보건과학대학 작업치료학과

국문초록

목적 : 본 연구의 목적은 상지 로봇 치료가 파킨슨병 환자의 상지 기능에 미치는 영향을 알아보는 것이다.

연구방법 : 본 연구는 개별실험 연구방법(single subject experimental research) 중 A-B-A' 설계를 사용하였다. 3명의 파킨슨병 환자에게 총 20회기에 걸쳐 실험을 진행하였고, 로봇치료는 1회당 45분, 주5회로 시행되었다. 대상자의 상지 기능회복을 알아보기 위해 매 회기 Reo Assessment tool을 통해 상지 움직임의 효율성 지수를 측정 하여 결과 값을 분석하였고 상지 기능의 중재 전후 비교를 위하여 사전-사후 평가로 JHF, BBT, NHT를 측정하였으며 결과 분석은 시각적 그래프와 기술 통계량을 사용하였다.

결과 : 상지 로봇 치료를 적용한 뒤 측정된 상지 움직임의 효율성 지수 결과 값인 상지 움직임의 저항, 부드러움, 경로 효율성, 방향 정확성, 움직임 시작 시간, 전체 움직임 시간에 전반적인 향상을 보였고, 이를 통해 상지 로봇 치료가 파킨슨병 환자의 상지 기능에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

결론 : 파킨슨 환자의 상지 기능 향상을 위한 작업치료 적용 과정에서 로봇 치료는 대안적인 방안으로 고려되어질 수 있을 것으로 예상된다.

주제어 : 개별실험연구, 로봇재활, 상지기능, 파킨슨병

I. 서론

파킨슨병은 기저핵의 일부분인 선조체(corpus striata)와 흑색질(substantia nigra pars compacta)의 퇴화로 발생하는 진행성 중추신경계 질환이다(Calne, 2005; Morris, 2000). 신경전달물질인 도파민을 생산하는 선조체와 흑색질의 퇴화는 움직임, 근육조절, 그리고 균형 등에 영향을 주어, 떨림, 느림, 균형장애, 언어변화, 구부정한 자세, 보행패턴 변화, 얼굴표정상실, 그리고 근육강직 등을 특징으로 한 운동장애를 유발한다(Morris, 2000).

지난 10년간 국내의 파킨슨병 환자의 유병률을 보면 2004년부터 2013년까지 해마다 약 13.2%씩 꾸준한 증가를 보이고 있다. 특히, 60세 이상에서 10만 명당 파킨슨병 유병률은 약 5배 정도 높은 결과를 보였으며 연평균 유병률의 증가율을 약 10.6%였다. 발생률에 있어서도 10년간 증가율 증감의 차이는 있으나, 꾸준한 증가를 보이고 있다(Lee et al., 2017).

파킨슨병 환자는 전반적인 움직임 속도저하와 수의적인 움직임 수행에 어려움을 보인다. 운동완서증으로 알려진 움직임의 속도저하는 임상적으로 가장 두드러진 파킨슨병 환자의 특징 중 하나이다. 파킨슨병 환자의 운동완서증은 주로 빠른(ballistic) 움직임, 정밀도(accuracy)가 높은 움직임, 또 움직이는 물체를 추적(tracking)해야 하는 움직임을 수행할 때 나타난다(Majsak, Kaminski, Gentile, & Flanagan, 1998). 파킨슨병 환자는 고유수용성감각에 결함을 보이며(Konczak et al., 2009), 고유수용성입력 처리과정의 결함은 특정한 감각운동 처리과정의 이상으로 발생한다(Schettino et al., 2006). 이러한 현상은 대뇌 기저핵에서의 감각정보 통합 처리 과정에서의 오류로 인하여 운동계획과 운동의 촉진에 어려움이 발생하는 것으로 알려져 있다. 이는 기저핵이 예측이 가능하고 반 의식화된 동작에 대해 내적 단서의 발현과 동작에 대한 사전 계획을 관여하고 있기 때문이다(Sharpe, Cermak, & Sax,

1983). 파킨슨병 환자의 경우 움직임의 동기체제인 기저핵 기능의 저하로 운동학습에 있어 제한점을 갖게 된다(Nieuwboer, Rochester, Müncks, & Swinnen, 2009).

파킨슨병 환자에 대한 상지의 운동 조절과 기능 증진을 위한 운동학습훈련, 기능적 전기자극, 양측성 상지 훈련, 과제지향적 훈련, 로봇보조재활 등 다양한 치료 방법들이 제시되고 있다(Ring & Rosenthal, 2005; Summers et al., 2007; Platz et al., 2005; Masiero, Celia, Rodati, & Armani, 2007). 움직임 결함은 약물요법이나 신경외과적인 치료만으로는 개선시키기 어렵다. 최근에는 기저핵과 같은 중추신경계의 손상이 있어도 뇌의 자발적인 복구와 변화로 손상부위와 연관된 뇌 영역의 재조직화를 통해 운동기능의 회복이 가능하다는 주장이 제기되고 있다. 손상된 영역의 기능을 회복하기 위해서는 반복적이고 다양한 운동경험을 수행하는 훈련이 필요하다(Hirsch & Farley, 2009; Petzinger et al., 2013). 강도 높은 반복적인 움직임은 상지 기능 회복에 도움이 된다는 명백한 근거가 있다(Kwakkell, Kollen, & Lindeman, 2004; Butefisch, Humelsheim, Denzler, & Mauritz, 1995). 로봇보조장비는 반복적인 훈련 제공이 가능하다(Lum, Burgar, Shor, Majmundar, & Van der Loos, 2002). 이외에도 로봇보조치료는 전통적인 재활치료에 비해 장시간 동안 정밀하고 일관적인 치료를 제공할 수 있고 매 회마다 치료의 결과를 측정 및 저장할 수 있다는 장점이 있다(Bugar, Lum, Shor, & Van der Loos, 2000; Fasoli, Krebs, Stein, & Hogan, 2004; Norouzi-Gheidari, Archanbault, & Fung, 2012; Reinkensmeyer, Emken, & Cramer, 2004; Volpe et al., 2005).

로봇치료는 파킨슨 환자의 운동능력 향상에 사용되고 있다. Li, Pickett, Nestrail, Tuite와 Konczak(2010)의 연구에서 파킨슨병 환자 9명을 대상으로 시야를 차단하고 2차원 공간에서 가상의 상자 형태에 대한 직선 모양과 굴곡 모양을 판단하

며 반복해서 움직이는 로봇치료를 적용한 결과 UPDRS의 운동점수에서 향상을 보였고, Picelli, Tamburin, Passuello, Waldner와 Smania(2014)의 연구에서도 파킨슨병 환자 10명을 대상으로 로봇치료를 적용하여 2차원 공간에서 아래팔의 옆침과 뒤침, 손목관절의 굽힘과 펴기 동작만을 훈련시킨 결과 상지기능에 향상을 보였다.

파킨슨병 환자를 대상으로 로봇중재를 시행한 이전의 연구에서는 3차원 공간에서 목표물을 향한 팔 뻗기 과제 수행이 포함되어 있지 않았고 연구의 결과들에서 로봇 치료의 효과를 보기 위해 FMA, NHT, MFT와 같은 상지 기능 평가도구들을 사용하였기 때문에 과제를 수행하는 동안 상지의 움직임 분석하는데 한계가 있다. 상지 로봇의 경우 움직임 조절과 같은 질적 향상에 효과적인 장비이기 때문에 선행 연구에 사용된 측정 도구가 적합하지 않을 가능성이 있다. 또한, 신경재활에서 로봇 장치를 이용한 재활이 증가하고 있음에도 불구하고, 아직까지 파킨슨병 환자를 대상으로 한 상지 로봇 중재 전략에 대한 최신 근거가 부족한 실정이다 (Quinn, Busse, Dal Bello-Haas, 2013). 따라서 본 연구에서는 로봇 치료가 파킨슨병 환자의 상지 기능 향상에 효과가 있는지 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 기간

본 연구는 인천광역시 OO병원에서 내원하여 치료를 받는 환자를 대상으로 연구를 시행하였으며, 진행에 앞서 연세대학교 생명윤리심의위원회 (Institutional Review Board; IRB)의 심의를 통해 윤리적 절차를 거친 후 연구 전 연구 대상자에게 연구 목적 및 방법에 대하여 충분히 설명하고, 동의를 얻은 후에 연구를 실시하였다. 연구 대상자는 OO 병원에 입원한 파킨슨병 환자 중 아래의 선정 기준에 부합하는 3명을 선별하였다. 선별기준에서 Hoehn & Yahr stage 단계는 이전의 연구에서와 같이 3단계 미만으로 적용하였고, 상지로봇치료 과제 수행에 대한 지시사항을 이해하고 시행이 가능한 3단계 지시따르기 및 MMSE-K 20점 이상인자 그리고 팔 뻗기 과제를 수행할 때 중력을 이기고 움직일 수 있는 최소한의 근력 Fair 등급 이상을 기준으로 하였다.

본 실험에 대한 선별 및 배제 기준은 다음과 같다. 대상자들의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General Characteristics of the Participants

(N=3)

	Participant 1	Participant 2	Participant 3
Age	70Y	90Y	83Y
Sex	Male	Female	Male
Outbreak period	3M	18M	10M
Modified H&Y	1.5	2.5	2
Medicine drugs	Sinemet Tab.	Perkin Tab.	Madopar Tab.
MMSE-K	24	20	23
MMT	F~F+	F~F+	F+
Grip strength	16kg	6kg	10kg

Modified H&Y : Modified Hoehn & Yahr stage

1) 선별 기준

- (1) 파킨슨병 진단을 받은 자
- (2) Hoehn & Yahr stage 3단계 미만
- (3) MMT Fair 이상
- (4) MMSE-K 20점 이상
- (5) 상지로봇치료를 받지 않은 자
- (6) 본 연구 참여에 동의한 자

2) 배제 기준

- (1) 다른 신경학적 질환의 병력이 있는 자
- (2) 상지 훈련에 부적절한 정형외과적 질환의 병력이 있는 자
- (3) 지시따르기 3단계 미만인 자

2. 연구 설계

본 연구에서는 소수의 참여자를 대상으로 개인의 특성을 고려한 비통계적인 분석을 위해 개별실험 연구방법 중 A-B-A' 설계를 사용하였다(Figure 1). 실험은 2015년 6월부터 8월까지 총 4주 동안 20회기로 기초선 A 자료 측정 5회기, 중재기 B 10회기, 회귀 기초선 A' 5회기로 나누어서 진행하였다. 각각의 치료시간은 파킨슨병 환자에게 적용한 중재 연구를 근거로 45분씩 진행하였다(Picelli et al., 2014). 초기 5회기 동안 아무런 중재를 적용하지 않

고 기초선을 측정한 후 연구 대상자의 상지 기능 수준을 평가하기 위해 중재 전에 Jebson-Taylor 손 기능 평가와 Box and Block Test, Nine Hole Pegboard Test를 사용하였다. 실험 중재기 B 기간 동안 로봇 치료를 시행하였고, 중재기가 끝난 후 앞서 시행되었던 상지 기능 평가 도구를 이용하여 다시 한 번 상지 기능 수준을 평가하여 중재 전과 후의 변화를 살펴보았다. 총 20회기에 해당하는 매 회기마다 Reo Scale Assessment 도구를 통해 상지 움직임의 효율성 지수를 측정하였다. 본 연구에서 시행된 모든 평가 및 중재는 대상자의 약물 효과가 지속되는 ON state에 시행되었다.

3. 연구 도구

1) Reo therapy system

Reo therapy system(Motorika Medical[Israel] Ltd., Isrel)는 뇌졸중, 외상성 뇌손상이나, 신경학적 손상으로 인해 장애가 생긴 상지의 근력과 관절가동범위를 향상시키고 측정 및 평가하도록 고안되었으며 과제지향적 훈련이 가능하다. Reo therapy system은 작동판, 터치스크린, 분리형 핸들, 상지의 굽힘, 펴, 벌림, 모음, 팔꿈치 관절의 굽힘, 펴를 도와주는 3개의 자유도를 가진 이동바로 구성되어 있다(Figure 2). 각 대상자는 스크린을 정면으로 바라보

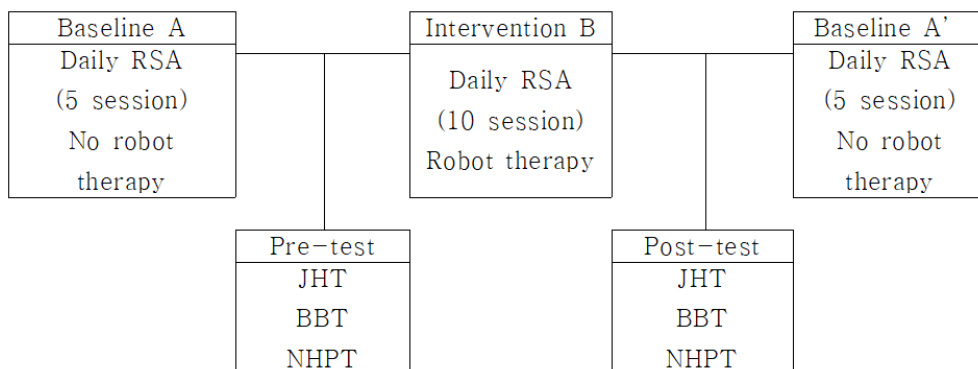


Figure 1. Flow chart



Figure 2. Reo therapy system

며 의자에 앉는다. 의자의 후면에 부착된 X자형 벨트로 대상자의 체간을 고정하고 앉은 자세에서 발판으로 다리를 지지하고 의자의 높이를 조절한다. 시작 전 팔 뻗기 가동범위를 각 대상자에 맞게 설정한다. 모든 동작은 위팔과 아래팔의 지지 없이 수행하며 핸들은 Grip & release handle을 사용한다. 각 프로그램의 설정에 따라서 대상자의 우세손 측으로 목표지향적인 3차원 팔 뻗기 움직임을 반복적으로 시행한다. 상지의 움직임은 모니터에 표시되는 화면과 스피커로 시각, 청각적인 피드백을 받을 수 있다. 본 연구에서는 회기 평가시 상지 움직임 평가도 구로써도 사용되고, 중재도구로도 사용되었다.

2) Jebsen-Taylor 손 기능 검사

Jebsen-Taylor 손 기능 검사는 1969년 Jebson등에 의해 고안된 일곱가지의 하위 검사로 표준화되어 있고, 일상생활에서 가장 많이 사용하는 손 기능을 포함하는 객관적인 평가 도구이다. 각 하위검사는 쓰기, 카드 뒤집기, 장기말 쌓기, 작은 물건 넣기, 먹기 흉내 내기, 크고 가벼운 깡통 옮기기, 크고 무거운 깡통 옮기기로 구성되어 있으며 평가단위는 시간(초)이며, 각 검사의 소요시간을 측정하였다. 측

정은 Jebsen-Taylor hand function test 장비 (SammonsPreston, USA)를 사용하였다. 검사-재검사 신뢰도는 .96에서 .99로 보고된 바 있다 (Jebson, Taylor, Trieschmann, Trotter & Howard, 1969).

3) Box and Block Test

Box and Block test는 일상생활에서 많이 쓰이는 손의 조작 능력 및 상지의 기민성을 평가하기 위해 사용하는 표준화된 평가 도구이다(Cromwell, 1965; Trombly, 1989). 이 도구의 검사-재검사 신뢰도는 왼손이 0.93, 오른손이 0.97이며, 검사자간 신뢰도는 왼손 0.99, 오른손 1.00이다(Cromwell, 1976). Box and Block test는 길이가 2.54cm인 정육면체 나무토막과 중앙에 칸막이가 달린 크기가 53.7cm X 27.4cm로 된 직사각형 상자로 구성되어 있다. 검사는 1분 동안 가능한 한 많은 나무 토막을 우세손으로 집어 다른 쪽으로 옮기며, 옮긴 나무토막의 개수를 측정한다.

4) Nine hole pegboard

손의 민첩성을 평가하기 위해 Nine Hole

Pegboard Test를 사용하였다. 9개의 금속대를 각 구멍에 끼우고 빼는 것으로 눈-손 협응 뿐만 아니라 손가락과 손의 민첩성을 측정하는 도구로서 평가가 쉽고 빠르며 표준화된 도구이다. 본 연구에서는 PIC5309 version을 사용하였으며, 해당 도구의 신뢰도는 오른손과 왼손 각각 0.98, 0.99로 높은 검사-재검사 신뢰도를 보였다(Grice et al., 2003).

4. 실험 방법

1) 기초선 A, 회귀기초선 A'

기초선 A와 회귀기초선 A' 기간에는 로봇치료 중재를 실시하지 않았다. 매 회기마다 RSA를 이용하여 움직임의 저항(resistance), 부드러움(smoothness), 방향 정확성(direction accuracy), 경로 효율성(path efficiency), 움직임 시작 시간(initiation time), 전체 이동시간(Time of moving target)에 대한 6가지 효율성 지수를 측정하였다.

2) 중재기 (B)

파킨슨병 환자의 상지 기능 향상을 위해 상지재활 로봇으로 Reogo(Motorika Medical[Israel] Ltd., Isrel)의 Reo therapy를 이용하여 로봇 치료를 시행하였다. 총 45분간 수행하였으며 작업치료사 1명이 전담하였다. 본 연구에 참여한 연구 대상자들은 로봇 치료를 받아본 적이 없고 도구 사용이 익숙하지 않았기 때문에 연구가 시작되기 전에 프로그램 실행 및 사용 방법에 대하여 충분한 설명을 하였다. 중재에 사용된 모든 프로그램은 화면상에 주어지는 목표지향적인 도달 과제를 수행하도록 구성되어있다. 목표지향적인 팔 뻗기 과제 수행을 위해 대상자들은 이동바를 이용하여 3차원 공간 내에서 상지의 굽힘, 폼, 벌림, 모음, 팔꿈관절의 굽힘, 폼 동작을 반복적으로 시행하게 된다. 대상자가 팔을 뻗을 때 앞으로 나아가는 이동바의 움직임의 속도는 100m/s로 셋팅한다. 이동바를 움직일 때 나타나는 저항은

가장 낮은 수준인 Low로 맞추고 운동방식은 자유(Free)모드로 로봇의 도움 없이 대상자의 노력만으로 능동적으로 훈련하도록 한다. 전면에 제시되는 화면 비율은 100%로 모든 대상자들이 위와 동일한 조건에서 과제를 수행한다. 중재에는 총 11개의 프로그램 중에서 Bubbles, Bow, Marbles, Arkanoid Horizontal, Cooking, Tennis frontal의 6가지 프로그램을 사용하였다. 'Bubbles'는 화면 하단에 나타나는 하나의 구슬을 상단에 서로 다른 색상의 패턴으로 나열된 구슬들 중 같은 색상을 찾아 대상자가 이동바를 움직여 같은 색상으로 쓰아지도록 방향을 맞춰 구슬을 맞추는 방법이다. 'Bow'는 화면에서 움직이는 풍선을 따라 이동바를 움직여가며 화살로 풍선을 정확하게 조준하고 기다리면 자동으로 화살이 발사되며 풍선을 맞춰서 터뜨리는 방법이다. 'Marbles'은 화면에 흩뿌려진 돌맹이들을 향해 대상자가 이동바를 움직여서 손 모양의 포인터를 돌맹이 위에 정확하게 위치시키면 자동으로 손바닥안에 돌맹이가 쥐어지고 돌맹이를 집은 뒤에는 바구니까지 옮겨 놓는 방법이다, 'Arkanoid Horizontal'는 상단 또는 측면에 제시된 벽돌 패턴을 향해 움직이는 공을 막대로 받아 쳐내 벽돌을 맞추도록 하는 방법이다. 막대의 움직임은 대상자가 이동바를 이용하여 조절한다. 'Cooking'은 부엌 배경의 화면과 여러 가지 음식 재료가 놓인 화면 내에 메모되어있는 레시피대로 재료를 가져와 그릇에 옮겨 담아 음식을 완성하는 방법으로 각 재료는 대상자가 팔을 뻗어 이동바를 움직여서 재료를 향해 손바닥 모양의 포인터를 위치시키면 자동으로 손 안에 쥐어지며, 손 안에 쥔 재료는 바구니로 옮겨 담는 방법이다. 'Tennis frontal'은 관상면 또는 시상면을 따라 움직이는 공을 쳐내는 테니스 게임으로 대상자가 이동바를 움직이면 테니스 공을 받아칠 수 있는 막대가 움직인다. 6개의 프로그램은 목표물을 향해 팔 뻗기 과제만 수행하도록 구성되어있다. 그 외, Grasp이 요구되어지는 프로그램은 제외하였다.

3) 회기 평가: 상지 움직임

치료기간 동안, 매일 치료가 끝난 후 매 회기 평가로 각 대상자마다 1일 1회씩 Reo Scale Assessment로 상지 움직임의 6가지 효율성 지수를 측정하였다. 우세손 측으로 목표물을 향한 팔 뻗기 과제를 수행하는 동안 변화되는 상지의 움직임을 분석하여 움직임의 저항, 부드러움, 방향 정확성, 경로 효율성, 움직임 시작 시간, 전체 이동시간을 확인하였다. 움직임의 저항은 바른 방향으로 힘이 가해지지 않는 시간의 비율(바른 방향으로 힘이 가해지지 않은 시간/전체시간 X 100%), 부드러움은 설정된 목표지점까지 부드럽게 움직이는 정도(1/대상자의 움직임 peak 속도 X 100%)를 측정하는 것이다. 방향 정확성은 타겟까지의 움직임 중 환자가 정방향으로 움직이려는 정확도(%), 경로 효율성은 이상적인 훈련 경로 대비 대상자의 실제 경로의 비율(%)을 나타낸 값을 뜻한다. 경로 효율성의 공식은 Optimal distance per exercise/patient distance per exercise와 같다. 움직임 시작 시간은 정확한 방향으로 힘을 가해 훈련을 시작하는데 걸리는 시간(sec)으로 시간이 짧을수록 움직임의 시작 시간이 빠른 것을 의미한다. 전체 이동시간은 타겟까지 움직이는데 총 소요된 시간(sec)이다.

4) 사전-사후 평가

기초선 자료 수집이 끝나고 사전 평가로 Jebsen-Taylor 손 기능 검사, Box and Block Test, None Hole Pegboard Test를 사용하여 상지기능의 변화를 측정하였고 중재기가 끝난 이후 동일한 평가도구를 사용하여 사후 평가를 시행하였다.

5) 분석 방법

기초선 A과 중재기 B, 회귀기초선 A'의 회기별 측정값은 시각적 그래프와 기술 통계량을 통해, 사전-사후 평가 결과는 기술 통계량을 통해 비교·분석하였다.

III. 연구결과

1. 회기 평가: 상지 움직임

1) 상지 움직임의 저항

대상자 1의 상지 움직임의 저항 값은 기초선 A(67.40%)보다 중재기 B(56.86%)로 7.54% 감소를 보였다. 대상자 2의 상지 움직임의 저항 값은 기초선 A(59.60%)보다 중재기 B(53.88%)로 5.72% 감소를 보였다. 대상자 3의 상지 움직임의 저항 값은 기초선 A(44.50%)보다 중재기 B(36.50%)로 8% 감소를 보였다(Figure 3).

2) 상지 움직임의 부드러움

대상자 1의 상지 움직임의 부드러움이 기초선 A(23.4%)보다 중재기 B(59.9%)로 36.5% 향상을 보였다. 대상자 2의 상지 움직임의 부드러움은 기초선 A(48.08%)보다 중재기 B(55.9%)로 7.82% 향상을 보였다. 대상자 3의 상지 움직임의 부드러움은 기초선 A(62.4%)보다 중재기 B(77.1%)로 14.7% 향상을 보였다(Figure 4).

3) 상지 움직임의 방향 정확성

대상자 1은 상지 움직임의 방향 정확성에 기초선 A(29.60%)보다 중재기 B(55.54%)로 25.94% 향상을 보였다. 대상자 2는 상지 움직임의 경로 효율성에 기초선 A(46.08%)보다 중재기 B(59.27%)로 13.19% 향상을 보였다. 대상자 3은 상지 움직임의 경로 효율성에 기초선 A(52.10%)보다 중재기 B(67.66%)로 15.56% 향상을 보였다(Figure 5).

4) 상지 움직임의 경로 효율성

대상자 1은 상지 움직임의 경로 효율성에 기초선 A(28.60%)보다 중재기 B(48.99%)로 20.39% 향상을 보였다. 대상자 2은 상지 움직임의 경로 효율성에

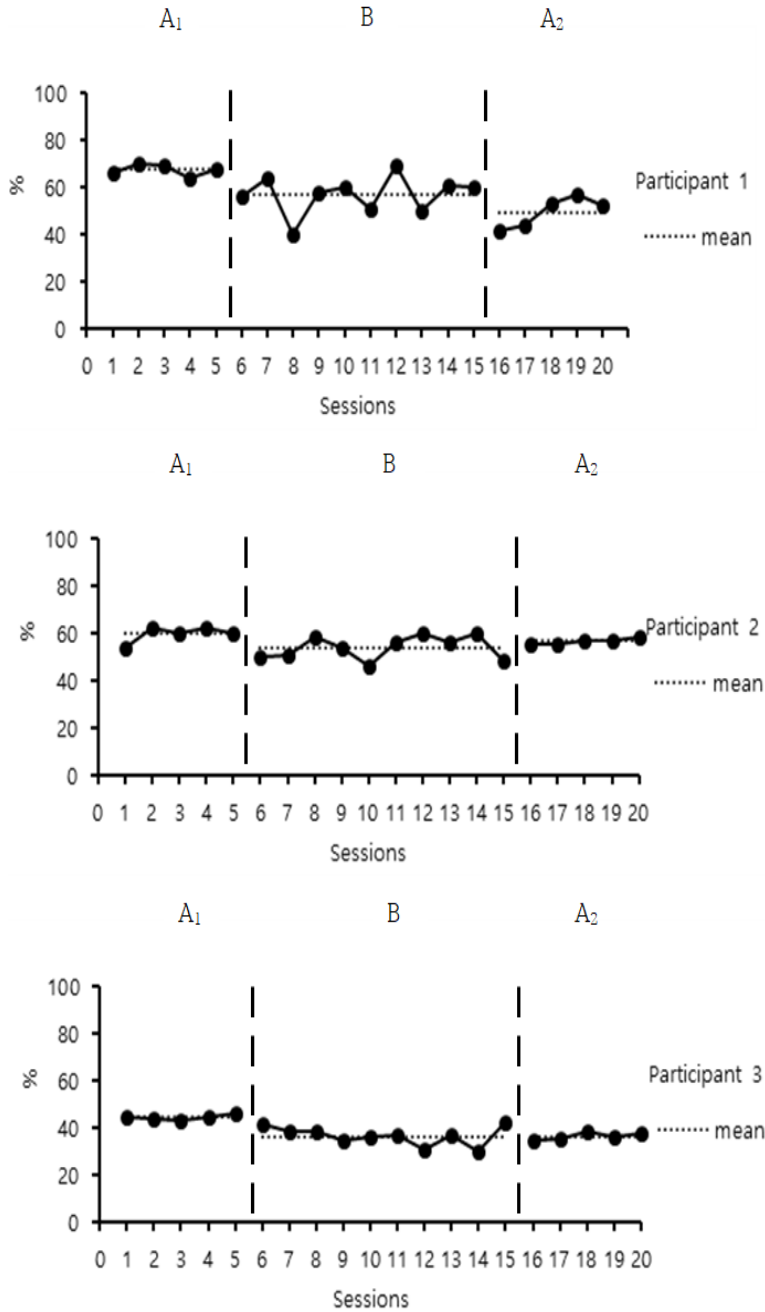


Figure 3. Resistance of movement

기초선 A(25.3%)보다 중재기 B(52.6%)로 27.3% 향상을 보였다. 대상자 3은 상지 움직임의 경로 효율성에 기초선 A(31.16%)보다 중재기 B(54.4%)로 23.24% 향상을 보였다(Figure 6).

5) 상지 움직임의 시작 시간

대상자 1의 상지 움직임 시작 시간은 기초선

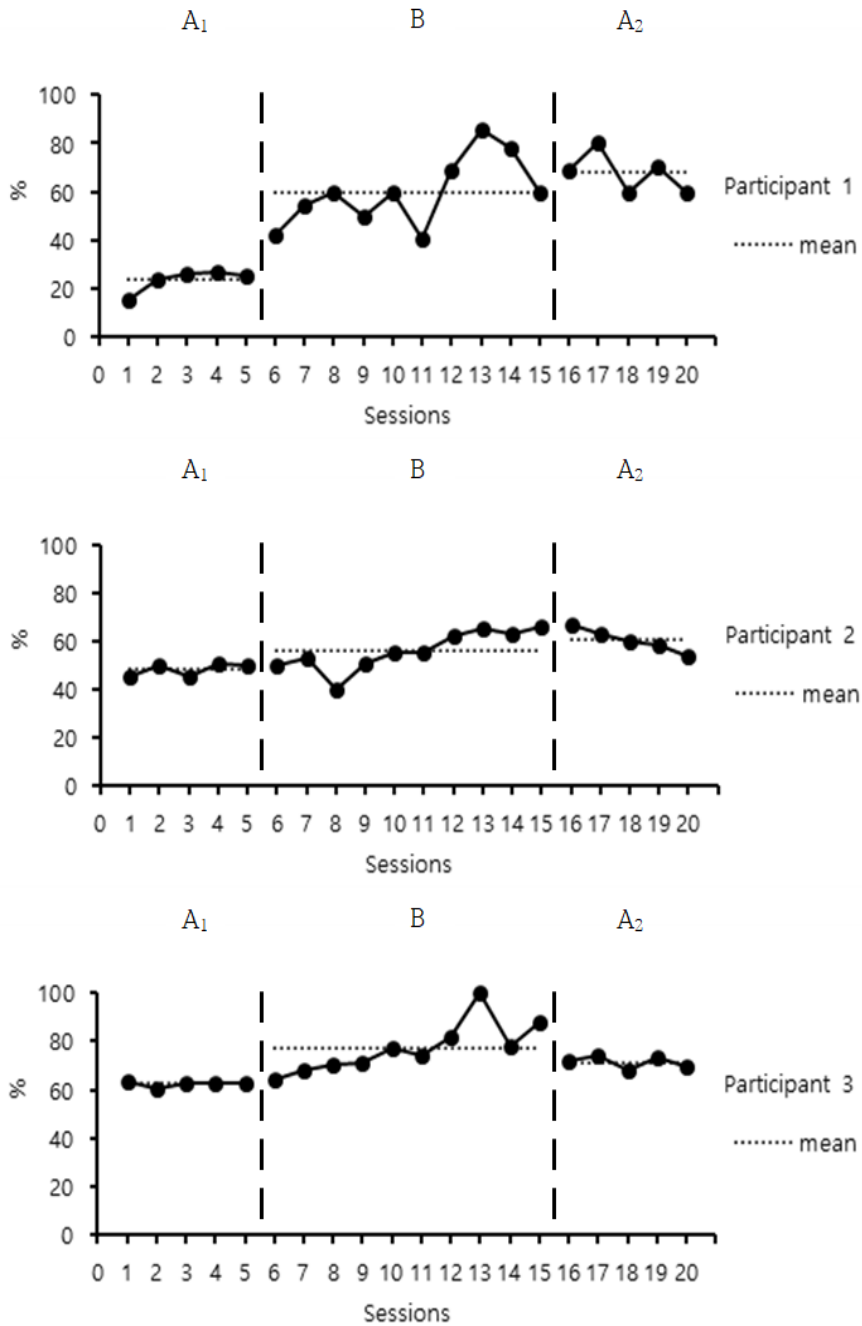


Figure 4. Smoothness of movement

A(5.1초)보다 증재기 B(2.04초)로 3.06초 단축되었다. 대상자 2의 상지 움직임 시작 시간은 기초선 A(3.11초)보다 증재기 B(1.7초)로 1.41초 단축되었

다. 대상자 3의 상지 움직임 시작 시간은 기초선 A(4.9초)보다 증재기 B(3.1초)로 1.8초 단축되었다 (Figure 7).

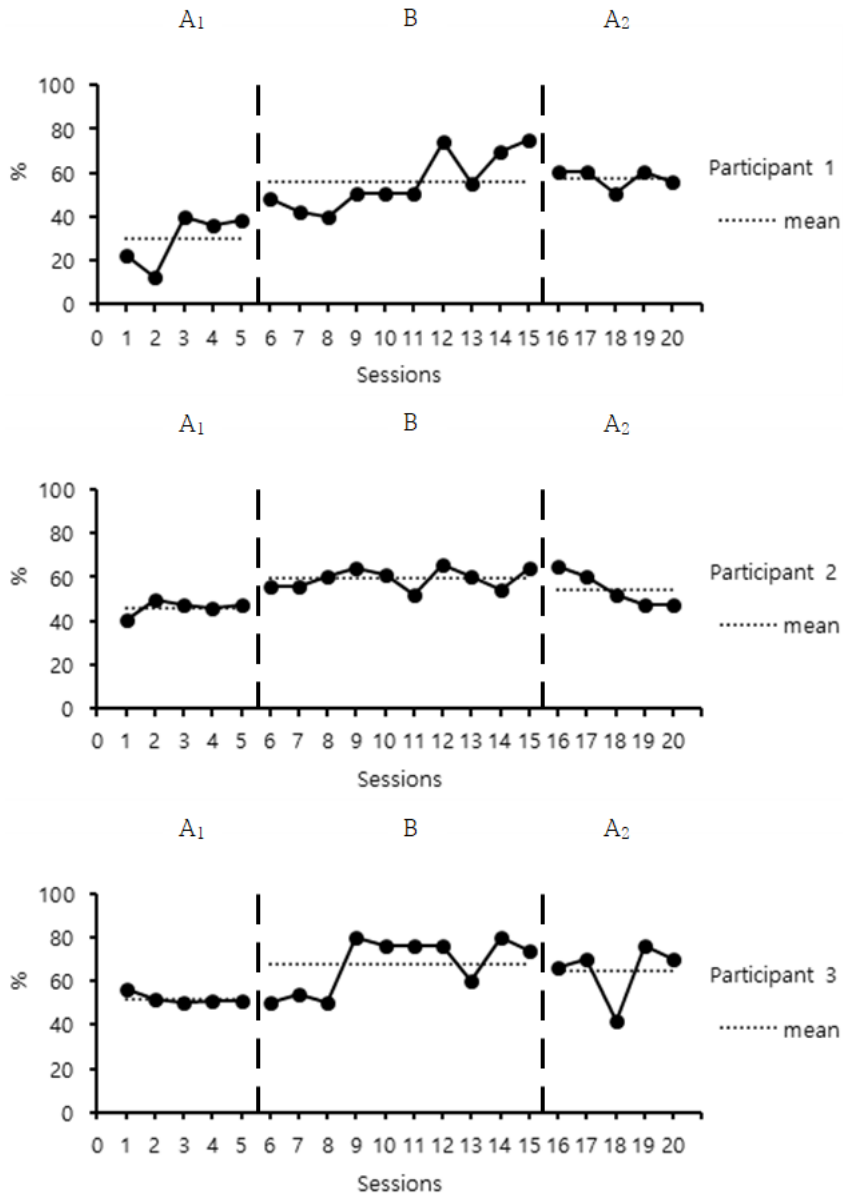


Figure 5. Direction accuracy of movement

6) 상지 움직임의 전체이동시간

대상자 1의 전체이동시간은 기초선 A(73.90초)보다 중재기 B(38.5초)로 35.4초 단축되었다. 대상자 2의 전체이동시간은 기초선 A(47.1초)보다 중재기 B(25.8초)로 21.3초 단축되었다. 대상자 3의 전체이동시간은 기초선 A(85.3초)보다 중재기 B(54.5초)로

30.8초 단축되었다(Figure 8).

2. 사전사후 평가

1) Jebson Taylor 손 기능 평가

전체 대상자의 Jebson Taylor 손 기능 검사의 사

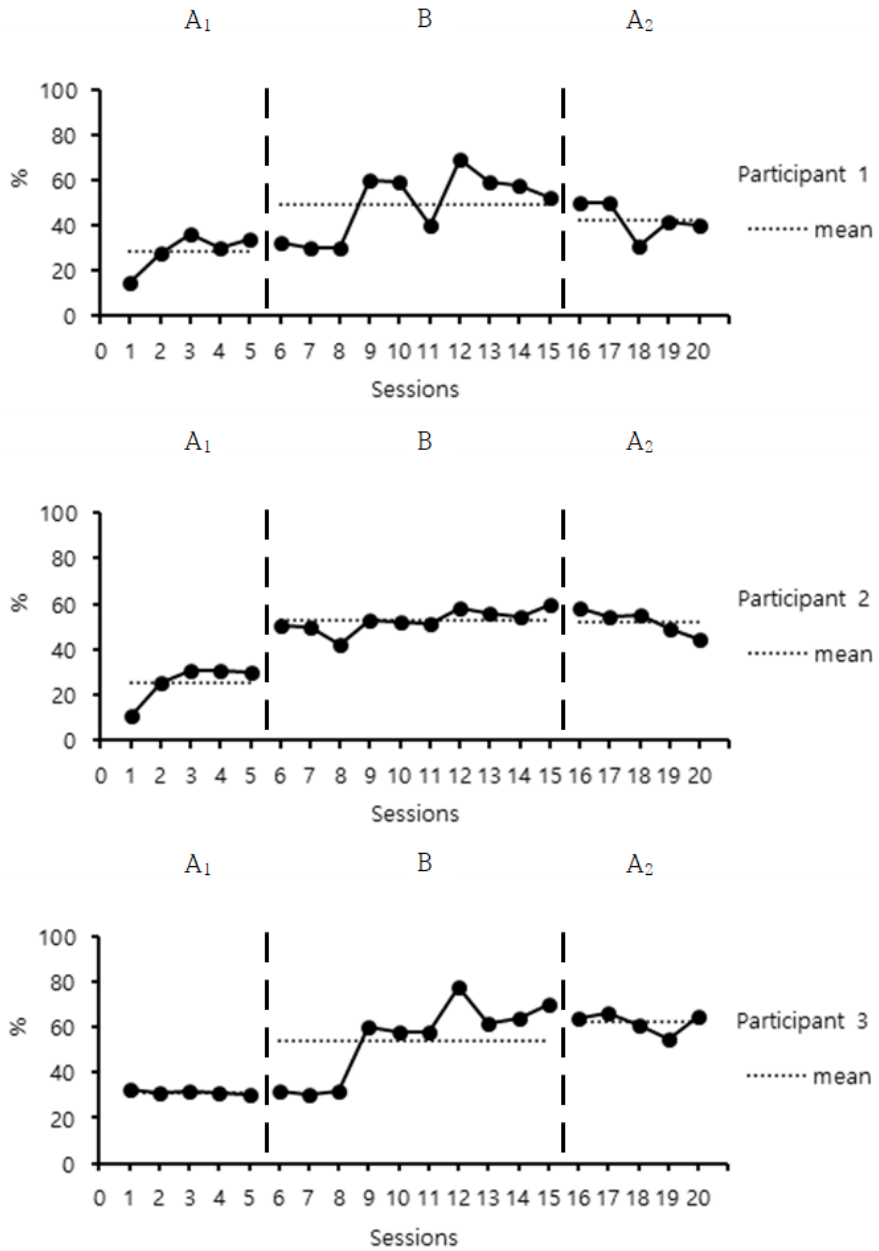


Figure 6. Path efficiency of movement

전-사후 평가 결과 값과 변화율은 다음의 표와 같다 (Table 2).

2) Box and Block Test

전체 대상자의 Box and Block Test의 사전-사후 평가의 결과 값과 변화율은 다음의 표와 같다 (Table 3).

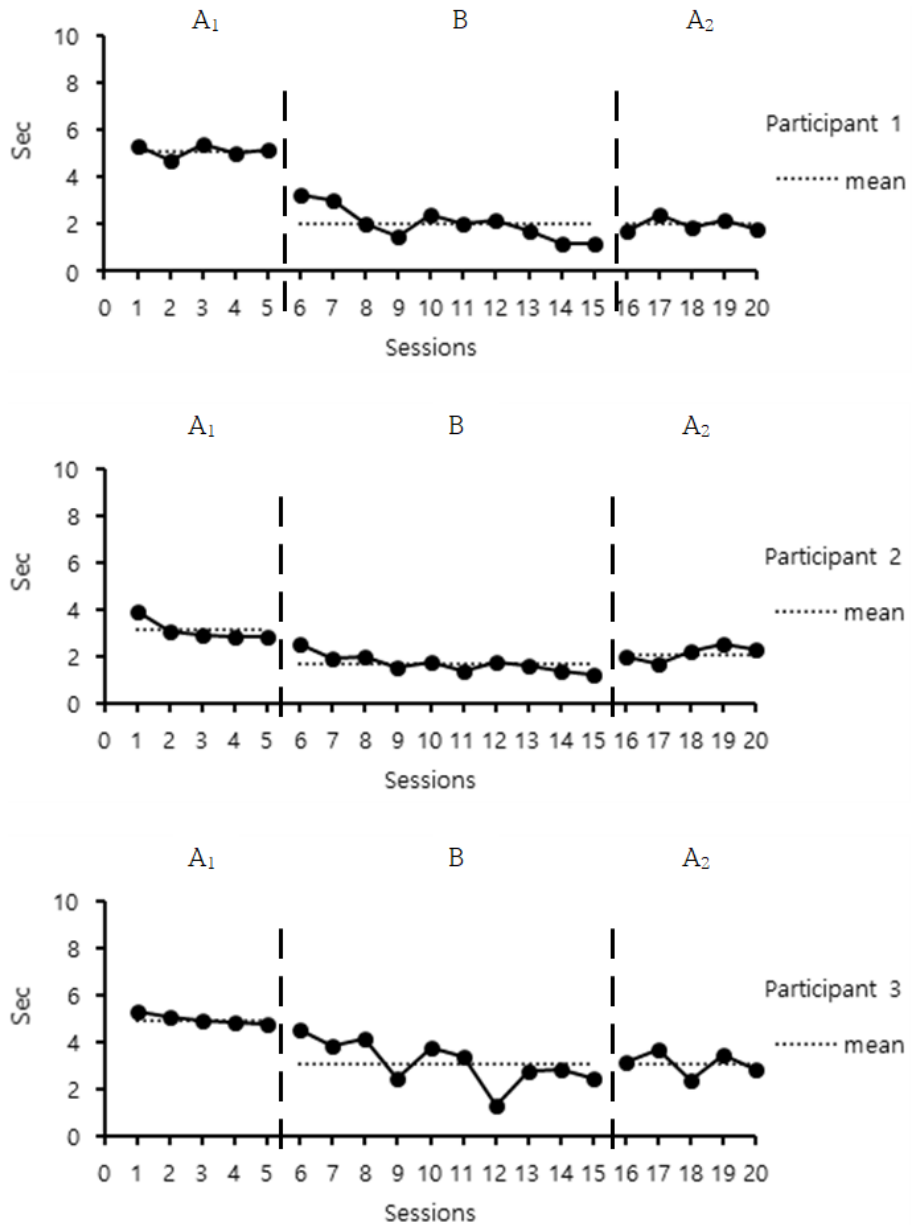


Figure 7. Initiation time of movement

3) Nine Hole Pegboard Test
 전체 대상자의 Nine Hole Pegboard Test의 사

전-사후 평가의 결과 값과 변화율은 다음의 표와 같다(Table 4).

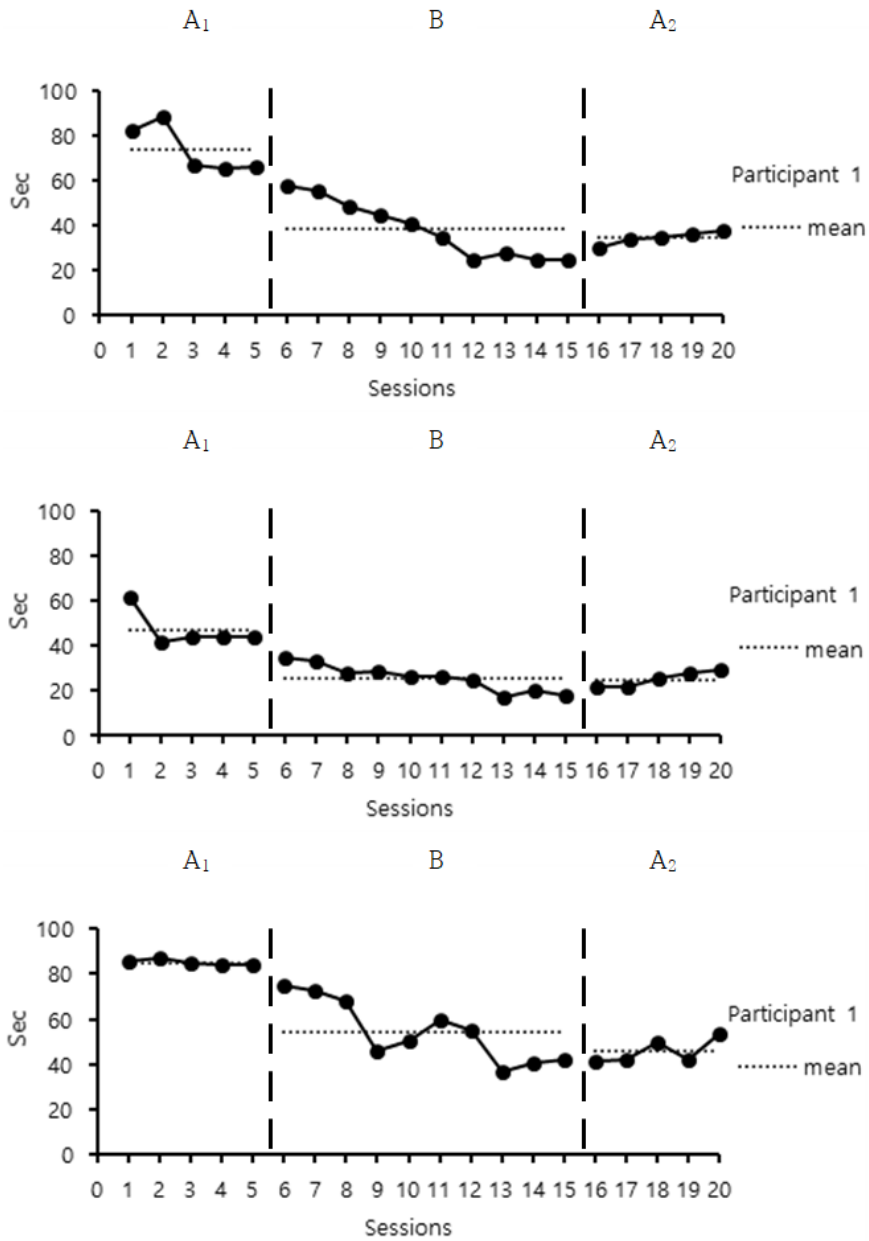


Figure 8. Time of moving target

Table 2. Result of Pre-Post test – Jebson Taylor Hand function test

Category	Participants	Pre-test(sec)	Post-test(sec)	Changes(sec)
Writing	1	99	82	17.0
	2	65.5	64.4	1.1
	3	56.7	50.4	6.3
Card Turning	1	39.4	14.0	25.4
	2	18.5	17.47	1.03
	3	15.60	10.16	5.44
Checkers	1	10.6	10.4	2.2
	2	6.42	7.33	-0.91
	3	10.08	9.02	1.06
Small Common Objects	1	19.0	15.2	4.2
	2	17.81	17.93	0.12
	3	21.44	15.93	6.09
Simulated Feeding	1	43.0	37.4	5.6
	2	15.75	15.07	0.9
	3	17.47	16.91	0.56
Large, Light Object	1	26.0	1.85	16.15
	2	24.55	11.40	13.15
	3	28.50	14.31	14.19
Large, Heavy Object	1	22.0	12.0	10.0
	2	25.01	18.41	7.6
	3	27.88	13.23	14.65

Table 3. Result of Pre-Post text – Box and Block Test

Partici-pant	Pre-test (ea)	Post-test (ea)	Changes (ea)
1	41	49	8
2	28	30	2
3	36	39	3

Table 4. Result of Pre-Post text – Nine Hole Pegboard Test

Partici-pant	Pre-test (sec)	Post-test (sec)	Changes (sec)
1	35.6	29.19	6.41
2	48.60	48.0	0.6
3	41.19	40.82	0.37

IV. 고찰

파킨슨병 환자들은 일반적으로 상지 기능에서 힘의 조절이나 타이밍을 맞추는데 손상을 보였고, 병이 진행될수록 손의 움직임의 질에 영향을 받는다(Picelli et al., 2014). 따라서 파킨슨병 환자의 상지 기능 회복에 집중적이고, 과제지향적인 치료방법이 권장되고 있지만, 상지 기능을 촉진시키는 명확한 방법은 아직까지 제시되지 않고 있다. 앞서 반복적인 상지의 움직임은 외적 자극이 되어 상지 움직임에 관여하는 신경 회로를 강화한다는 이론으로 로봇보조치료가 파킨슨병 환자의 상지 기능에 효과적일 수 있음을 예상할 수 있었다. 특히, 로봇보조치료는 내적 운동 체계의 결함을 운동 출력 체계를 향상시킬 수 있는 외적 자극을 제공하며, 이는 내적 운동 체계의 틀과 의도된 행동을 수행하는데 도움이 될 것이다(Nieuwboer et al., 2009).

본 연구의 결과들은 파킨슨병 환자의 점진적인 하지 기능 손실에 로봇을 이용한 집중적이고 과제지향적인 훈련 프로그램이 효과적이었다는 근거와 유사하다(Lo et al., 2010; Picelli et al., 2012; Carda et al., 2012; Picelli et al., 2013; Smania et al., 2013). 또한, Picelli 등(2014)은 Hoehn & Yahr stage 2.5 또는 3 인 파킨슨병 환자에게 아래팔과 손목 움직임에 집중적인 로봇치료를 적용한 결과 소근육 운동 기능에 효과가 있었다고 보고 하였다.

Li 등(2010)의 연구와 Picelli 등(2014)의 연구에서도 파킨슨병 환자에게 2차원 공간에서 상지의 움직임을 유도하는 로봇 치료를 적용한 결과 운동 기능에 향상을 보여주었다. 선행 연구들의 결과에서 알 수 있듯이 파킨슨병에 환자에게 있어서, 저항의 사용, 특정 과제, 강도, 로봇 장치를 이용한 훈련 프로그램들은 상지의 근력 향상에 효과적인 것으로 알려져 있다.

본 연구에서도 파킨슨병 환자를 대상으로 적용한 상지 로봇 증재가 상지 움직임에 미치는 영향을 알

아보기 위하여 3명의 대상자를 선별하여 연구를 진행하였다.

대상자 1은 본 연구에서 상지 움직임의 효율성 지수 변화와 상지 기능 평가의 사전-사후 측정 결과 값에서 나머지 두 명의 대상자와 비교하였을 때 가장 큰 향상을 보였다. 대상자 1이 타 대상자들에 비하여 가장 낮은 연령과, 수정된 H&Y과 장악력에서의 가장 높은 기능수준 그리고 짧은 유병기간이 로봇 증재를 통한 상지 기능 향상에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 또한, 대상자1은 본 실험에 대하여 깊은 관심을 보였고 로봇 증재를 통한 상지 재활에 대한 기대감이 다른 대상자들 보다 높았다. 따라서 실험 내내 가장 적극적으로 참여했던 부분도 상지 기능 향상에 긍정적인 효과를 주었을 것으로 사료된다. 상지 기능의 사전-사후 평가를 통한 변화 값을 살펴보면 대상자1은 Jebson-Taylor 손 기능 검사에서 나머지 두 명의 대상자보다 높은 향상을 보이고 있다. 특히 대근육 동작이 요구되어지는 가벼운 깡통 옮기기와 무거운 깡통 옮기기에 눈에 띄는 향상을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 BBT와 NHT에서는 다른 대상자들과 유사하게 큰 변화가 없었다. 이러한 결과는 로봇 증재 동안 주로 쓰여진 대근육 운동의 결과일 것으로 사료된다.

대상자 2는 경로효율성과 전체이동시간에는 약간의 향상을 보이고 있으나 그 외의 나머지 상지 움직임 효율성 지수 항목에서는 나머지 두 명의 참가자에 비해 가장 적은 변화폭을 보이고 있다. 이러한 결과에 대한 요인을 파악하기 위해 대상자 2의 개인적 특성을 다시 살펴본 결과 3명의 대상자 중 90세로 가장 나이가 많아 나머지 2명의 대상자에 비해 지구력이 부족하여 대상자 2에게 똑 같이 적용된 45분이라는 증재시간이 적합하지 않았을 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 대상자 2는 이전에 로봇 장치와 같은 복잡한 기계를 사용한 경험이 없어 실험에 참여하는데 낯설고 어려워하는 모습을 보였고 이로 인해 실험 참여에 대한 흥미와 동기를 부여하기 어려웠다. 실험에 참여하는 대상자의 연령이나 근지

구력, 로봇 장치를 이용한 치료의 경험 유, 무가 대상자의 상지 기능 변화에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

대상자 3의 경우 상지 움직임 중에서도 부드러움과 목표물을 향해 움직이는데 걸리는 총 시간에서 가장 큰 폭의 향상을 보이고 있다. 대상자 3의 개인적 특성을 살펴보면 대상자 1의 경우처럼 대상자 2보다 높은 수정된 H&Y과 장악력이 상지 움직임의 효율성 지수 향상과 상지 기능 평가 결과 값 변화에 향상을 가져오는데 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 대상자 3의 상지 기능 평가에 대한 사전-사후 평가 결과를 살펴보면 대상자 1과는 마찬가지로 대근육 동작이 요구되어지는 가벼운 깡통 옮기기 및 무거운 깡통 옮기기에 눈에 띄는 향상을 보이고 있다. 반면에 BBT에서는 3개의 향상 그리고 NHT에서 0.37초의 시간단축을 보여주었으나 눈에 띄는 변화를 보이지는 않았다. 이는 대상자 3의 상지 근위부의 근력이 F+ 등급으로 나머지 두 대상자보다 높은 상태에서 상지 로봇 증재를 시행하였고, 본 실험에서 요구되어진 상지의 움직임이 대근육의 움직임이 요구되어지는 동작들이었기 때문에 증재 방법 또한 대상자 3의 상지 기능 변화에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

많은 기저핵의 뉴런들이 수동적이고 능동적인 관절 움직임에 반응하는 고유수용성 감각 영역을 가지고 있다(Crutcher & DeLong, 1984). Li 등(2010)의 연구에서 파킨슨병 환자 9명을 대상으로 촉각 자극과 고유수용성 감각을 이용해 반복적으로 상지를 움직이는 로봇치료를 적용한 결과 UPDRS의 운동 점수에서 향상을 보였고 Nieuwboer 등(2009)의 연구에서도 20명의 파킨슨 환자에게 억제유도운동치료를 적용한 결과 상지의 미세한 운동과 대동작 수행에 상당한 개선을 관찰할 수 있었다.

본 연구에서는 상지 로봇 치료가 파킨슨병 환자의 상지 움직임에 미치는 영향을 알아보기 위해 파킨슨병 진단을 받은 환자(H&Y 1.5-2.5) 3명에게 Reogo의 상지 로봇 Reo therapy를 이용하여 3차원

공간에서 목표물을 향한 팔 뻗기 움직임을 반복적으로 적용한 뒤 Reo therapy에 내장된 RAS(Reo Assessment Scale)을 이용하여 상지 움직임의 저항, 부드러움, 경로 효율성, 방향 정확성, 움직임 시작 시간, 전체 움직임 시간에 대한 6가지 상지 움직임의 변화를 분석해 보았다.

본 연구에서 상지 로봇 치료를 적용한 뒤 측정된 상지 움직임의 효율성 지수 결과 값인 상지 움직임의 저항, 부드러움, 경로 효율성, 방향 정확성, 움직임 시작 시간, 전체 움직임 시간에 전반적인 향상을 보였고, 이를 통해 상지 로봇 치료가 파킨슨병 환자의 상지 기능에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 상지 기능의 증재 전과 후의 변화를 살펴보기 위하여 사전-사후 평가로 JHT, BBT, NHPT를 시행하여 상지 기능의 변화도 살펴보았다. 3명의 대상자에서 결과값의 미세한 증가를 볼 수 있었다. Picelli 등(2014)의 선행 연구에서 파킨슨 환자 10명을 대상으로 로봇 보조 상지 훈련을 시행하였다. 연구에 사용된 RAT(Robot Arm Training)장비를 이용하여 2차원 공간에서 아래팔의 옆침과 뒤침, 손목 관절의 굽힘과 펴 동작을 훈련시킨 결과 NHT, FMA에서는 유의미한 향상을 보였다.

연구에 참여한 대상자들은 치료 초기 동일한 상지 근력을 지녔지만, H&Y stage와 유병기간에서 서로 다른 수준을 보였으며, 이것에 의해 치료 결과가 달라진 것으로 사료된다. 상지움직임 효율성 지수 측정 결과 3명의 대상자 모두 회기 평가에서 전반적인 향상을 보였지만 각 대상자 별 특성을 살펴본 결과 로봇치료 증재에 있어서 개인별 특성에 따라 결과에 차이를 보인다. 따라서 향후의 연구에서 개인의 상지기능수준과 로봇치료에 대한 흥미, 개인의 심리적인 상태 등과 같은 개인의 특성들을 고려한 치료를 제공해야 할 것이다.

하지만 파킨슨 환자를 대상으로 로봇 증재를 이용한 연구가 부족하고 상지의 움직임을 한 움직임 학습을 촉진시키기 위한 최상의 재활 접근법은 아

직까지 정의되지 않았다(Quinn et al., 2013).

위의 연구 결과와 논의를 바탕으로 살펴본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫 번째, 본 연구는 개별 시험 연구 설계로 3명을 대상으로 연구를 진행하였기 때문에 그 결과를 일반화 하는데 어려움이 있다. 하지만 개인의 특성을 고려한 연구를 통해 제한적이거나 임상적용에 대한 기초를 제공하였다. 두 번째, 본 연구에 사용된 RSA는 검사-재검사 신뢰도가 확보되지 않은 상태이다. 추후 RSA에 대한 신뢰도를 측정하여 로봇을 이용한 3차원 동작 수행의 결과에 대해 RSA에서 측정되는 변수들에 대한 신뢰성을 확보할 필요가 있다. 세 번째, 연구 기간이 짧아 추가적인 증재와 평가를 시행하지 못했다. 추후 장기간의 연구기간을 설정한 연구를 통하여 치료 효과를 살펴볼 필요가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 파킨슨병 환자를 대상으로 상지 로봇 치료의 효과를 알아보았다. 상지 로봇 치료를 받은 대상자들은 증재 후 로봇 팔 움직임에 대한 대상자의 관절에서 발생하는 저항 값에 감소를 보였고, 목표물을 향해 팔을 뻗는 동안에 상지의 부드러운 움직임, 방향의 정확성, 경로 효율성에 향상을 보였다. 또한, 움직임 시작 시간과, 전체 이동시간에도 감소를 보였다. 이러한 결과는 상지 로봇 치료가 본 실험에 참여한 파킨슨병 환자의 상지 움직임의 효율성을 높이고 상지 기능을 향상시키는데 효과가 있음을 보여 주었다.

본 연구는 이전의 선행 연구에서 사용된 증재전략과 수지기능 평가만을 시행한 결과 측정 방식을 보완하였고 개별실험연구 설계를 통해 개인적 특성을 고려한 연구를 시행하였다는 것에 의의가 있다. 추후 더 많은 파킨슨병 환자를 대상으로 한 상지 로봇 치료의 효과성을 입증하기 위한 연구들이 이루어

어져야 할 것이다.

References

- Lee, J. E., Choi, J. K., Lim, H. S., Kim, J. H., Cho, J. H., Kim, G. S., ... & Lee, J. H. (2017). The Prevalence and Incidence of Parkinson's Disease in South Korea: A 10-Year Nationwide Population-Based Study. *Journal of the Korean Neurological Association*, 35(4), 191-198. doi.org/10.17340/jkna.2017.4.1
- Bugar, C. G., Lum, P. S., Shor, P. C., & Van der Loos, H. M. (2000). Development of robots for rehabilitation therapy: The Palo Alto VA/Stanford experience. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37(6), 663-673.
- Butefisch, C., Hummelsheim, H., Denzler, P., & Mauritz, K. H. (1995). Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *Journal of the neurological sciences*, 130(1), 59-68.
- Calne, D. (2005). A definition of Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 11, S39-40.
- Carda, S., Invernizzi, M., Baricich, A., Comi, C., Croquelois, A., & Cisari C. (2012). Robotic gait training is not superior to conventional treadmill training in Parkinson disease: A single-blind randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*, 26, 1027-1034.
- Cromwell, F. S. (1965). *Occupational therapist manual for basic skill assessment: Primary pre-vocational evaluation*. Oasadena. CA: Fair Oaks Printing Co.
- Cromwell, F. S. (1976). *Occupational therapist manual for basic skill assessment: Primary pre-vocational evaluation*. Altadena. CA: Fair Oaks Printing Co.
- Crutcher, M. D., & DeLong, M. R. (1984). Single cell studies of the primate putamen. *Experimental Brain Research*, 53(2), 244-258.
- Fasoli, S. E., Krebs, H. I., Stein, J., & Hogan, N. (2004). Robotic technology and stroke rehabilitation: Translating research into practice. *Topic in Stroke Rehabilitation*, 11(4), 11-19.
- Grice, K. O., Vogel, K. A., Le, V., Mitchell, A., Muniz, S.,

- & Vollmer, M. A. (2003). Adult norms for a commercially available Nine Hole Peg Test for finger dexterity. *American Journal of Occupational Therapy*, 57(5), 570-573.
- Hirsch, M. A., & Farley, B. G. (2009). Exercise and neuroplasticity in persons living with Parkinson's disease. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 45(2), 215-229.
- Jebson, R. H., Taylor, N., Trieschmann, R. B., Trotter, M. J., & Howard, L. A. (1969). An objective and standardized test of hand function. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 50, 311-319.
- Konczak, J., Corcos, D. M., Horak, F., Poizner, H., Shapiro, M., Tuite, P., ... & Maschke, M. (2009). Proprioception and motor control in Parkinson's disease. *Journal of Motor Behavior*, 41(6), 543-552.
- Kwakkel, G., Kollen, B., & Lindemen, E. (2004). Understanding the pattern of functional recovery after stroke: Facts and theories. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 22(3-5), 281-299.
- Li, K. Y., Pickett, K., Nestrail, I., Tuite, P., & Konczak, J. (2010). The effect of dopamine replacement therapy on haptic sensitivity in Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 257(12), 1992-1998.
- Lo, A. C., Chang, V. C., Gianfrancesco, M. A., Friedman, J. H., Patterson, T. S., & Benedicto, D. F. (2010). Reduction of freezing of gait in Parkinson's disease by repetitive robot-assisted treadmill training: A pilot study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 7(1), 51.
- Lum, P. S., Burgar, C. G., Shor, P. C., Majmundar, M., & Van der Loos, M. (2002). Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(7), 952-959.
- Majsak, M. J., Kaminski, T., Gentile, A. M., & Flanagan, J. R. (1998). The reaching movements of patients with Parkinson's disease under self-determined maximal speed and visually cued conditions. *Brain*, 121(4), 755-766.
- Masiero, S., Celia, A., Rosati, G., & Armani, M. (2007). Robotic-assisted rehabilitation of the upper limb after acute stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(2), 142-149.
- Morris, M. E. (2000). Movement disorders in people with Parkinson disease: A model for physical therapy. *Physical Therapy*, 80(6), 578-597.
- Nieuwboer, A., Rochester, L., Müncks, L., & Swinnen, S. P. (2009). Motor learning in Parkinson's disease: Limitations and potential for rehabilitation. *Parkinsonism and Related Disorders*, 15, S53-S58.
- Nieuwboer, A., Rochester, L., Herman, T., Vandenberghe, W., Emil, G. E., Thomaes, T., & Giladi, N. (2009). Reliability of the new freezing of gait questionnaire: Agreement between patients with Parkinson's disease and their cares. *Gait and Posture*, 30(4), 459-463.
- Norouzi-Gheidari, N., Archambault, P. S., & Fung, J. (2012). Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis of the literature. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 49(4), 479-496.
- Petzinger, G. M., Fisher, B. E., McEwen, S., Beeler, J. A., Walsh, J. P., & Jakowec, M. W. (2013). Exercise-enhanced neuroplasticity targeting motor and cognitive circuitry in Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 12(7), 716-726.
- Picelli, A., Melotti, C., Origano, F., Waldner, A., Fiaschi, A., Santilli, V., & Smania, N. (2012). Robot-assisted gait training in patients with Parkinson disease: A randomized controlled trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 26(4), 353-361.
- Picelli, A., Melotti, C., Origano, F., Meri, R., Waldner, A., & Smania, N. (2013). Robot-assisted gait training versus equal intensity treadmill training in patients with mild to moderate Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Parkinsonism and Related Disorders*, 19(6), 605-610.
- Picelli, A., Tamburin, S., Passuello, M., Waldner, A., & Smania, N. (2014). Robot-assisted arm training in patients with Parkinson's disease: A pilot study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11(1), 28.
- Platz, T., Eickhof, C., Van Kaick, S., Engel, U., Pinkowski, C., Kalok, S., & Pause, M. (2005). Impairment-oriented training or Bobath therapy for severe arm paresis after stroke: A single-blind, multi-centre randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 19(7), 714-724.
- Quinn, L., Busse, M., & Dal Bello-Haas, V. (2013).

- Management of upper extremity dysfunction in people with Parkinson disease and Huntington disease: Facilitating outcomes across the disease lifespan. *Journal of Hand Therapy*, 26(2), 148-155.
- Reinkensmeyer, D. J., Emken, J. L., & Cramer, S. C. (2004). Robotics, motor learning, and neurologic recovery. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 6, 497-525.
- Ring, H., & Rosenthal, N. (2005). Controlled study of neuroprosthetic functional electrical stimulation in sub-acute post-stroke rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 37(1), 32-36.
- Schettino, L. F., Adamovich, S. V., Hening, W., Tunik, E., Sage, J., & Poizner, H. (2006). Hand preshaping in Parkinson's disease: Effects of visual feedback and medication state. *Experimental Brain Research*, 168(1-2), 186-202.
- Sharpe, M. H., Cermak, S. A., & Sax, D. S. (1983). Motor planning in Parkinson patients. *Neuropsychologia*, 21(5), 455-462.
- Smania, N., Picelli, A., Geroin, C., Munari, D., Waldner, A., & Gandolfi, M. (2013). Robot-assisted gait training in patients with Parkinson's disease. *Neurodegenerative Disease Management*, 3(4), 321-330.
- Summers, J. J., Kagerer, F. A., Garry, M. I., Hiraga, C. Y., Loftus, A., & Cauraugh, J. H. (2007). Bilateral and unilateral movement training on upper limb function in chronic stroke patients: A TMS study. *Journal of the Neurological Sciences*, 252(1), 76-82.
- Trombly, C. A. (1989). *Occupational therapy for physical dysfunction* (3rd ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Volpe, B. T., Ferraro, M., Lynch, D., Christos, P., Krol, J., & Trudell, C. (2005). Robotics and other devices in the treatment of patients recovering from stroke. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 5(6), 465-470. Doi:10.1007/s11910-005-0035-y

Abstract

The Effect of Robot Therapy on Upper Extremity Function in a Patient With Parkinson's Disease

Lee, Inseon^{*}, O.T., Kim, Jongbae^{**}, Ph.D., Park, Ji-Hyuk^{**}, Ph.D., O.T.,
Park, Hae Yean^{**}, Ph.D., O.T.

^{*}Dept. of Occupational Therapy, Gyeong-in Rehabilitation Center Hospital

^{**}Dept. of Occupational Therapy, College of Health Science, Yonsei University

Objective : The purpose of this study was to investigate the effect of robot-assisted therapy on upper extremity function.

Methods : This study used a single-subject experimental A-B-A' design. Three Parkinson's disease patients took part. Each subject received a robot-assisted therapy intervention (45 min/session, 5 sessions/week for 4 weeks). Upper extremity movement was evaluated with the Reo Assessment tool in Reogo. The Jebsen-Taylor hand motor function test, Fugle-Mayer Assessment score, Box and Block Test, and Nine-hole pegboard test were assessed pre- and post-intervention.

Results : After intervention, all subjects underwent 3D motion analysis of reaching function. There was overall improvement in resistance, smoothness, direction accuracy, path efficiency, initiation time, and time to moving target with robot-assisted therapy. Robot-assisted therapy may have a positive effect on upper extremity movement in Parkinson's disease.

Conclusion : Robot-assisted therapy is considered an alternative in clinical occupational therapy to improve upper extremity function in Parkinson's disease.

Key words : Parkinson's Disease, Robot-assisted therapy, Single subject design, Upper limb