

편마비 어깨 통증을 위한 어깨 재활로봇의 사용성 평가

Usability Evaluation of Shoulder Rehabilitation Robot for Hemiplegic Shoulder Pain

이정수*, 김광기

J. S. Lee, K. G. Kim

요 약

편마비 측의 어깨 관절 통증은 뇌졸중 환자에게 흔하고 불편한 합병증으로 통증을 완화하고 어깨의 관절 가동범위(ROM) 회복을 위해서는 효과적인 재활 치료가 필요하다. 이 연구에서는 뇌졸중 편마비 환자를 위해 어깨 관절의 외전, 외회전, 굽힘 동작 등을 수행할 수 있는 6자유도 로봇 팔을 포함한 어깨 재활로봇을 개발했으며 이 로봇은 수동운동, ROM 회복을 위한 스트레칭, 운동 강화를 위한 능동보조운동이 가능하다. 프로토타입의 사용성 평가는 편마비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자 10명과 물리치료사 5명을 대상으로 실시하였다. 참가자들은 로봇 사용 후 설문지와 인터뷰를 완료하여 개선이 필요한 부분과 향후 개발 방향에 대한 유용한 의견을 얻을 수 있었다. Armeo Power와 같이 널리 사용되는 상지 재활로봇과 비교했을 때, 제안된 로봇은 어깨 관절의 ROM 회복과 통증 치료를 주목적으로 하는 점과 스트레칭 및 능동보조운동을 구현하고 6축 힘-토크센서로 의도 파악 및 통증 관리를 적용한 것에 대하여 긍정적인 피드백을 받았다. 주요 의견은 다양한 환자 상태에 맞출 수 있는 손잡이 및 벨크로와 같은 고정 장치의 개선 필요성과 다양한 신체 크기에 맞게 팔 길이 등을 쉽게 조절할 수 있는 기능 개선의 필요성이었다. 이러한 개선 사항은 다음 시제품에 반영되어 재활 로봇이 환자들에게 더 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

ABSTRACT

Hemiplegic shoulder pain is a common and uncomfortable complication in stroke patients, necessitating effective rehabilitation therapy to alleviate pain and restore the shoulder joint's range of motion (ROM). In this study, we developed a shoulder rehabilitation robot equipped with a six-degree-of-freedom (6-DOF) robotic arm capable of performing abduction, external rotation, and flexion movements for hemiplegic stroke patients. The robot supports three modes of operation: passive motion, stretching motion for ROM restoration, and active-assisted motion for strengthening exercises. Usability evaluation of the prototype was conducted with 10 stroke patients with hemiplegic shoulder pain and five physical therapists. Participants completed questionnaires and interviews after wearing the prototype, providing valuable feedback on areas for improvement and future development directions. Compared to widely used upper limb rehabilitation robot such as the Armeo Power, the proposed robot received positive feedback for its focus on restoring shoulder joint ROM and alleviating pain, as well as for implementing stretching and active-assisted motion, and applying intention detection and pain management using a six-axis force-torque sensor. Feedback indicated the need for various and improved fixation devices like handles and velcro to accommodate patient conditions, as well as the need for convenience in adjusting the robot arm to different body sizes. These improvements are expected to be addressed in the next prototype, making the rehabilitation robot more helpful for patients.

Keyword : hemiplegic shoulder pain, range of motion, shoulder rehabilitation robot, active-assisted exercises, usability evaluation

접 수 일 : 2024.11.22

심사완료일 : 2025.03.31

게재확정일 : 2025.03.31

* 이정수 : 가천대학교 의예과 연구교수

jsmech@gachon.ac.kr (주저자)

김광기 : 가천대학교 의공학과 교수

kimkg@gachon.ac.kr (교신저자)

※ 본 연구는 보건복지부 국립재활원 재활연구개발용역사업(R&D) 재활로봇중개연구용역(#NRCTR-EX23007)으로 수행되었습니다.

1. 서론

뇌졸중은 뇌혈관이 막히는 뇌경색이나 혈관이 터지는 뇌출혈로 사망하거나 뇌 손상이 발생하는 질환으로 현재 우리나라는 매년 10만 명 이상 발생하며 2030년에는 뇌졸중 환자가 35만 명에 이를 것으로 예상된다[1]. 뇌졸중은 신체 조정 능력과 운동 기능의 저하나 경직, 마비 및 감각 소실, 인지 및 의사소통 장애 등을 일으키며[2] 뇌졸중 환자의 85% 이상은 신체 한쪽의 근력이 저하되고 경직 등의 비정상적인 근육의 긴장도가 발생하는 편마비를 경험하게 된다[3].

편마비 환자는 팔이나 손의 마비 또는 기능 저하로 독립적인 일상생활에 어려움을 겪게 되며[4] 특히 편마비 측의 어깨 관절 통증은 유병률이 34%에서 84%로 보고되었다[5, 6]. 편마비 어깨 통증으로 움직임이 제한되어 어깨의 관절가동범위(ROM, range of motion)가 감소하므로[1] 어깨 관절의 통증을 완화하고 ROM을 회복하기 위한 재활 치료가 필요하며 이를 위한 재활 로봇은 어깨 관절의 생체역학적인 움직임인 어깨 관절 중심의 움직임이나 견갑상완리듬 등을 고려하여 어깨와 팔의 움직임을 자연스럽게 재현해야 한다[7].

편마비 뇌졸중 환자의 어깨 재활을 위해 어깨 관절의 외전, 외회전, 굽힘 등의 동작을 구현할 수 있는 6자유도(6-DOF, degree of freedom) 로봇 팔을 갖는 어깨 재활로봇을 개발하였으며 수동운동, ROM 회복을 위한 스트레칭, 운동 강화를 위한 능동보조운동이 가능하다.

어깨 재활로봇의 프로토타입을 이용하여 편마비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자 10명과 물리 치료사 5명을 대상으로 사용성 평가를 진행하고 설문지와 인터뷰를 통해 로봇의 개선 사항 및 향후 개발 방향을 도출하였다.

2. 연구방법

2.1 편마비 어깨 통증을 위한 어깨 재활로봇

로봇 팔이 어깨와 팔의 움직임을 자연스럽게 추종하려면 어깨 관절의 생체역학적인 움직임인 어깨 관절 중심의 움직임이나 견갑상완리듬을 반영할 수 있는 메커니즘이 필요하다. 뇌졸중 편마비 환자의 어깨 통증을 위한 재활에서 어깨 재활로봇은 넓은

ROM을 유지하면서 외전, 외회전, 굽힘 등의 움직임과 이러한 움직임의 조합 시 로봇 팔의 링크와 구성 요소 간에 상호 간섭이 발생하지 않는 조건에서 그림 1과 같이 설계하였다.

어깨 재활로봇의 로봇 팔은 외골격의 6자유도로 구동기로 작동하는 4개의 관절과 수동으로 작동하는 2개의 관절로 구성된다.

구동기 작동의 4자유도는 오목위팔관절의 외전-내전, 내회전-외회전 및 굽힘-폄 동작을 위한 3자유도(①, ②, ③)와 어깨가슴관절의 상방회전과 로봇 팔의 좌우측 변환을 위한 1자유도(④)로 구성된다. 수동 작동의 2자유도는 어깨가슴관절의 내밀-뒤당김 움직임을 위한 평행사변형 구조의 1자유도(⑤)와 팔꿈치 관절의 굽힘-폄 동작을 위한 1자유도(⑥)로 구성된다. 팔꿈치 관절에 6축 힘-토크센서를 장착하여 능동보조운동에서 사용자의 의도를 파악하고 스트레칭에서는 관절의 경직 등에 따른 반력을 측정하여 ROM을 제한하여 환자의 안전을 확보하고 통증 관리하게 된다.

로봇 팔 착용에 있어 사용자의 신체 치수에 따라 로봇 팔의 길이를 조절할 수 있다. 한국 디자인 진흥원에서 제공하는 사이즈코리아의 인체데이터를 참고하여, 로봇 팔의 높이는 일반의자(높이 400~500mm)에 무릎을 수직으로 굽히고 앉았을 때 위팔뼈 머리의 높이인 1000mm를 기준으로 전동 리프트 컬럼의 유선 리모컨을 수동으로 조작하여 850mm에서 1150mm까지 조절이 가능하다. 사용자의 상완(upper arm)은 위팔수직거리 320mm를 기준으로 300mm에서 340mm까지, 전완(forearm)은 팔꿈치주먹수평길이 310mm를 기준으로 290mm에서 350mm까지 조절할 수 있으며 도브테일(dove tail) 구조로 맞물려 있는 상완과 전완을 수동으로 빼거나 밀어 넣어 길이를 조정한 후 퀵 클램프(quick clamp)로 고정하게 된다.

시제품은 컨트롤러의 비상정지 스위치와 치료사나 의료진이 조작할 수 있는 별도의 유선 리모컨 형식의 비상정지 스위치를 두어 안전사고에 대비하였다. 6축 힘-토크센서는 환자의 ROM 수준, 관절의 강직 정도에 따른 구동 저항을 측정하여 각 동작에 대하여 ROM을 제한하여 환자의 관절에 과도한 움직임이 가해지지 않도록 보호하고 통증을 관리할 수 있다. 또한 환자는 견측에 유선 스위치를 직접 조작하여 로봇의 작동을 멈추거나 통증 발생을 알릴 수 있도록 하여 안전성 확보를 위한 메커니즘을 구성하였다.

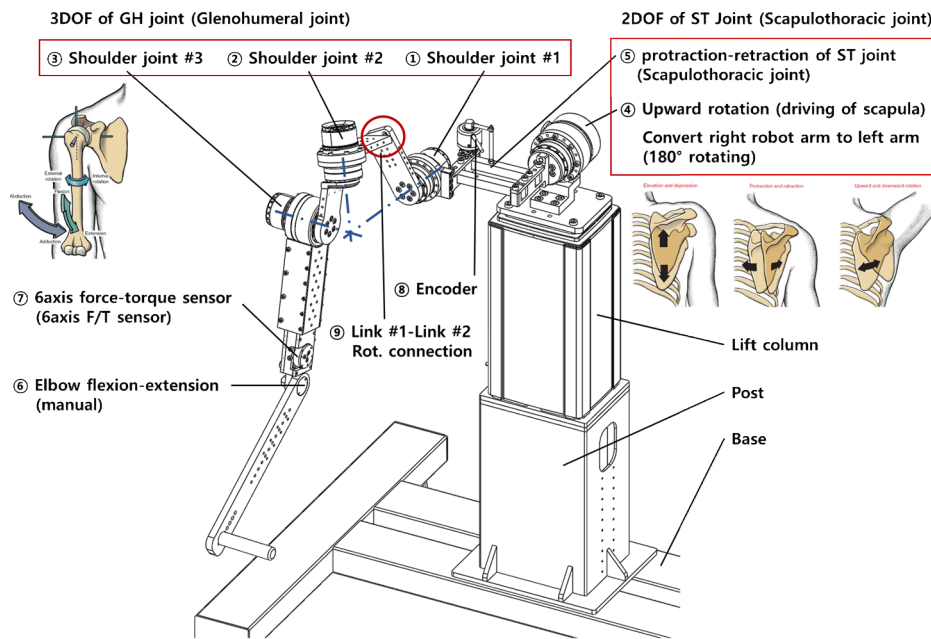


그림 1. 6자유도의 로봇 팔을 가진 어깨 재활로봇[8]

Fig. 1. Shoulder rehabilitation robot with a 6-DOF robot arm.

2.2 사용성 평가

어깨 재활로봇의 시제품은 그림 2와 같이 가천대 길병원 물리치료실에서 편파비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자 10명(남: 7명, 여: 3명, 신장: $167.7 \pm 8.6\text{cm}$, 체중: $67.9 \pm 11.2\text{kg}$)과 물리치료사 5명(남: 5명, 신장: $176.6 \pm 4.0\text{cm}$, 체중: $76.6 \pm 3.4\text{kg}$, 경력: $11 \pm 3.4\text{년}$)을 대상으로 사용성 평가가 진행되었다. 사용성 평가는 연구 계획서, 연구 대상자 설명문 및 동의서, 증례기록서, 설문지 등과 함께 가천대학교 생명윤리심의위원회(IRB, Institutional Review Board)의 심의와 승인을 받았다(승인번호 : 1044396 - 202209-HR-191-02).



그림 2. 어깨 재활로봇 시제품의 사용성 평가

Fig. 2. Usability evaluation of shoulder rehabilitation robot.

환자들은 수정 애쉬워스 척도(MAS, modified

Ashworth scale) Grade 2(관절의 전체 범위에 걸쳐 긴장도가 높아져 있긴 하나 관절을 움직이긴 어렵지 않은 정도)[9] 이내의 환자를 연구 대상으로 하였으며 40대 남성 2명, 50대 남성 2명과 여성 2명, 60대 남성 3명, 60대 여성 1명이며 재활 치료 기간은 4명의 환자가 1개월 미만, 1명의 환자가 6개월 이상, 5명의 환자가 1년 이상이었다.

사용성 평가 방법에는 여러 종류가 있지만 본 연구에서는 Interview(인터뷰)/Surveys(설문조사)[10] 방법을 선택하여 로봇 착용 시험 후 설문지를 작성하고 인터뷰를 진행하였다. 로봇의 실제 사용자인 뇌졸중 환자와 조작자의 역할을 하는 물리치료사의 주관적인 경험과 피드백을 얻기 위해서 인터뷰 기법과 만족도 항목을 객관적으로 분석하여 정량적 평가를 하기 위해 설문조사 기법을 선택하였다. 만족도 설문 조사 항목은 외형, 자세 편의성, 높이 조절, 팔 길이 조절, 조작 편의성, 손잡이, 운동 기능성(외전-내전, 내회전-외회전 및 굽힘-펴), 기존 재활로봇과 비교하여 평가 여부 그리고 추후 사용 의사이다. 사용성 평가 절차는 전체 설명(2분), 동의서 작성(2분), 로봇 착용 시험(15-20분), 설문지 작성(3-5분), 인터뷰(3-5분), 시험 종료(1분)로 구성되었으며 전체 시간은 35분 내외이다[표 1].

로봇 착용 시험의 절차는 다음과 같다.

첫째, 능동보조운동을 적용하여 목표 동작은 어깨 관절의 외전-내전, 내회전-외회전, 굽힘-펴므로 한다.

표 1. 사용성 평가의 절차

Table 1. Procedure for usability evaluation.

활동	설명	소요 시간
사용성 평가 설명	● 사용성 평가에 대한 전반적인 설명 ● 로봇 착용 시험의 목적 및 개요, 방법 설명	2분
동의서 작성	● 참여자는 사용성 평가에 대한 내용을 충분히 숙지하고 자유로운 의사에 따른 참여임을 동의서를 작성하여 확인	2분
어깨 재활로봇의 착용 시험	● 로봇 착용 시험 진행 ● 연구 진행자는 참여자가 시험을 진행하는 동안 그들을 관찰 및 기록	15-20분
설문지 작성	● 참여자가 느꼈던 그대로를 작성하도록 설명하고 필요에 따라 작성에 도움을 제공	3-5분
인터뷰	● 환자나 물리치료사들과 시제품의 전체적인 의견과 사용성이나 만족도에 대해 인터뷰 진행	3-5분
시험 종료	● 시험 종료 후 참여자 배웅	1분

둘째, 환자의 의도를 판단하는 기준인 임계값은 제어 프로그램에서 상중하 3단계(3kg, 2kg, 1kg)를 선택하거나 직접 수치를 입력하여 적용할 수 있으며, 환자의 통증 상태, ROM이나 경직의 정도를 고려하여 임계값은 가장 낮은 단계인 1kg을 적용한다.

셋째, 환자의 체력을 고려하여 동작마다 3회 반복을 1세션으로 하여 3세션을 진행한다.

넷째, 물리치료사 등의 도움을 받아 로봇 팔을 착용하고 신체 치수에 맞게 팔 길이 등을 조절한다.

다섯째, 환자가 참을 수 있는 통증 수준에서 운동 시작 전후의 ROM을 로봇에서 측정하고 관절 각도기(goniometer)를 사용하여 값을 확인한다.

신체 치수 조절, 로봇 조작성, 기타 운동 기능성 등을 고려하여 설문지를 작성하고 인터뷰를 진행하였다.

먼저 환자 10명의 시험 전후의 ROM을 측정하고 ROM의 통계 처리는 통계 프로그램인 SPSS 29.0.1.0을 사용하였으며 시험 전후의 ROM을 비교하기 위해 대응표본 t검정(Paired t-test)을 시행하고 통계학적 유의수준은 0.05로 설정하였다. 시험 전후의 ROM 증가량은 5°에서 6° 정도로 외전 동작의 ROM(90.0°에서 96.2°로 유의하게 증가($p<.001$))을 비롯하여 나머지 5개 동작에서도 ROM은 유의하게 증가하였다[표 2]. 6개 동작을 각 9회씩 반복하는 단 한 번의 로봇 착용 시험 전후의 ROM을 측정하였으므로 ROM이 유의미하게 증가하였다는 통계적 분석 결과는 임상적인 결과로 볼 수 없으나 향후 재활을 통해 ROM 증가의 가능성을 예상할 수 있는 참고 자료로 활용할 수 있다.

환자 10명의 착용 시험과 만족도 설문 조사 및 인터뷰의 결과를 얻었으며[그림 3] 정리하면 다음과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사용성 평가 결과

본 연구에서는 사용성 평가의 주목적인 로봇 착용 및 능동보조운동에서 디자인 측면, 자세 편의성,

표 2. 환자 10명의 착용 시험 전후의 ROM(°) 비교

Table 2. ROM(°) comparison before and after 10 patients' robot wearing tests.

시험 동작	시험 전	시험 후	t값	p
외전	90.0±25.01	96.2±25.33	5.051	<.001
내전	37.8±11.92	43.6±12.12	3.996	.003
내회전	35.2±13.16	40.5±13.54	5.129	<.001
외회전	55.2±19.33	60.8±19.62	4.617	.001
굽힘	88.7±30.21	93.8±30.36	3.723	.005
펴م	32.1±12.48	37.8±12.18	4.075	.003

첫째, 높이 조절, 팔 길이 조절, 조작 편의성, 6개 목표 동작의 기능성, 추후 사용 의사 등 대부분의 만족도 조사 항목에 대하여 긍정적인 의견이 많았다. 로봇 팔의 반자동 높이 조절 기능은 좋은 평가를 받았으며 비록 팔 길이를 수동으로 조작하는 것에는 편의성이 개선되어야 한다는 의견이 있었지만 로봇 팔의 신체 치수 조절 범위가 넓어 모든 환자의 팔에 맞게 조절이 가능한 것에 좋은 의견을 받았다. 로봇의 기능성과 관련하여 관절을 수동적으로 움직이는 연속 수동 움직임(CPM, continuous passive motion) 장치와 비교하여 능동보조운동 기능을 구현할 수 있으며 6축 힘-토크센서가 통증 관리를 하는 점에 좋은 반응을 보였으며 상용화된 제품이 빨리 출시 되었으면 좋겠다는 의견을 받았다. 하지만 의사소통이 원활하지 않아 물리치료사나 보호자의 도움을 받는 경우가 있었으므로 환자의 의견이 정확히 전달되지 않았을 가능성이 있다.

둘째, 디자인이나 신체 치수 조절에 완성도가 필요하다는 의견이 있었다.

셋째, 환자의 통증이나 경직 등의 상태에 따른 맞춤 프로그램이 필요하다는 의견이 있었다.

넷째, 로봇 팔의 움직임이 부드럽고 좋으며 상용화되어 재활치료에 적용되었으면 좋겠다는 의견이 있었다.

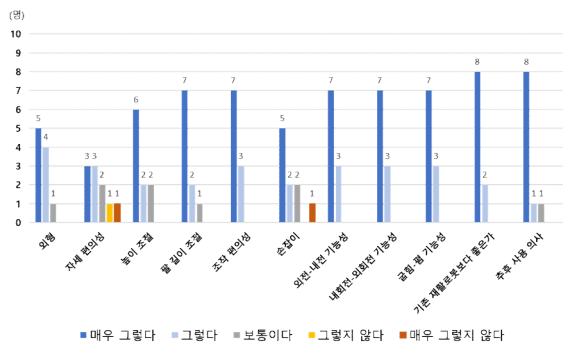


그림 3. 환자 10명의 사용성 평가 만족도 조사 결과
Fig. 3. Results of the usability evaluation satisfaction survey of 10 patients.

5명의 물리치료사는 세션 수와 임계값의 상, 중, 하 단계에 제한을 두지 않고 착용 시험을 진행하였으며 만족도 설문 조사 및 인터뷰의 주요 의견은 다음과 같다[그림 4].

첫째, 시제품의 모터와 배선이 노출되어 로봇의 디자인이 친숙하지 않다는 의견이 있었으며 외관에 대한 만족도는 긍정적인 수준에서 중립적인 수준까지 다양했다.

둘째, 낮은 민감도를 적용하면 저항운동과 같이 로봇의 움직임이 무겁게 느껴진다는 의견이 있었다.

셋째, 다양한 환자 상태에 맞출 수 있는 손잡이 및 벨크로와 같은 고정 장치의 개선 필요성과 다양한 신체 크기에 맞게 팔 길이를 쉽게 조절할 수 있는 편의성 등의 기능 개선이 필요하다는 의견이 있었다.

넷째, 6개 동작 이외에 물을 마신다든지 머리를 빗는 등의 일상생활 동작과 유사한 복합 동작이 가능하면 좋겠다는 의견이 있었으며 이 부분은 제어 프로그램 등의 추가 개발이 필요한 부분이다.

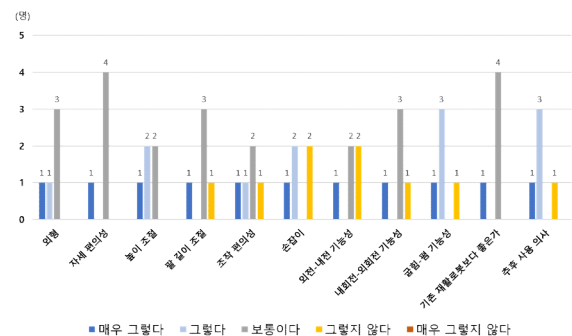


그림 4. 물리치료사 5명의 사용성 평가 만족도 조사 결과
Fig. 4. Results of the usability evaluation satisfaction survey of five physical therapists.

3.2 고찰

어깨 재활로봇은 편마비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자의 통증을 완화하고 ROM의 기능 회복 및 유지를 위한 재활에 사용되는 것이 목적이기에 본 연구에서는 개발 중인 어깨 재활로봇 시제품의 사용성 평가를 통해 로봇 착용 시험 후 만족도 설문 조사 및 인터뷰를 진행하여 사용성을 확인하고 로봇의 개선 사항 및 향후 개발 방향을 도출하였다.

환자 10명의 만족도 조사 결과는 높이 조절, 팔 길이 조절, 조작 편의성, 6개 목표 동작의 기능성, 추후 사용 의사, 6축 힘-토크센서의 통증 관리 등 대부분의 조사 항목에서 긍정적인 의견이 많았으나 글쓰기나 의사소통에 어려움으로 환자들의 의견이 정확하게 반영되지 않았을 가능성이 있으며 재활로봇에 대한 경험이 적어 새로운 재활로봇에 대한 막연한 기대감이 긍정적인 의견에 영향을 끼쳤을 가능성도 고려해야 한다. 개선할 점으로는 디자인이나 신체 치수 조절에 완성도가 필요하다는 의견, 환자의 통증이나 경직 등의 상태에 따른 맞춤 프로그램

이 필요하다는 의견이 있었다. 또한 환자 10명에는 가장 낮은 단계인 임계값을 적용하였는데 향후 임상 조건에 맞게 임계값 설정을 개선하거나 환자의 근력이나 경직 상태에 따라 구체화하는 연구가 필요하다.

5명의 물리치료사는 실제 환자에게 로봇을 착용시키고 신체에 맞게 팔 길이나 로봇 팔의 높이 등을 조절하는 등의 초기 자세를 준비시키고 로봇을 조작하여 환자의 상태에 적합한 프로그램을 설정하고 재활치료를 진행하는 사용자이자 조작자의 입장에서 기존의 상용화된 재활로봇과 비교하여 의견을 제시하였다. 로봇의 디자인은 구동기와 배선 등이 드러나 있어 로봇의 외형이 편안함이나 친숙한 느낌을 주기에는 거리가 있으므로 차기 시제품에는 배선 등에 덮개를 씌우고 신체가 닿는 팔 착용부에는 부드러운 재질의 천을 덧대는 방법 등을 고려해야 한다. 팔 길이 조절은 수동으로 조절하고 고정하는 방식에서 신속하고 편하게 조절할 수 있도록 자석 등을 적용하여 길이 변경을 쉽게 할 수 있도록 구조를 변경하거나 퀵 락(quick lock) 등의 장치로 더 편리하게 고정할 수 있도록 편의성을 개선해야 하고 로봇 착용에 사용되는 벨크로 등의 고정장치는 환자 상태에 따라 폭과 길이를 다양화하여 적용할 수 있도록 개선이 필요하다. 기존 재활기구나 로봇과 비교하고 추후 사용 의사에서는 긍정적인 의견과 부정적인 의견이 함께 있었다.

물리치료사들은 어깨 재활로봇이 편마비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자의 통증 완화와 ROM의 기능 회복을 주목적으로 하는 것과 스트레칭 및 능동보조운동을 구현하고 6축 힘-토크센서로 의도 파악 및 통증 관리를 적용한 것에 대하여 긍정적인 의견을 주었다. 시제품 단계이므로 상용 로봇과 비교하면 디자인 및 신체 치수 조절 편의성, 기능 등에서 상대적으로 부족하므로 개선사항을 보완하여 완성도를 높인다면 재활치료의 가능성이 기대된다는 공통된 의견을 주었다. 특히 기존 상지 재활로봇과 비교하여 움직임이 부드럽고 6개 동작에 대해 넓은 ROM을 가지므로 뇌졸중 편마비성 어깨 통증 환자의 초기 재활에 도움이 될 것으로 기대하였다.

기존 재활로봇에 대한 국내의 사용성 평가 연구를 살펴보면 물리치료사 10명을 대상으로 손 재활 시스템에 대한 연구가 있었으며[11] 척수 손상 장애인 10명을 대상으로 전동휠체어에 대한 연구가 있었다[12]. 선행 연구를 고려하여 편마비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자 10명과 물리치료사 5명을 사용성 평가의 연구 대상으로 하였다.

어깨 재활로봇은 실제 환자의 통증 완화와 ROM

의 기능 회복 및 유지에 사용되므로 재활로봇의 치료 효과를 객관적으로 확인하기 위해서는 1회의 사용성 평가가 아니라 장기간의 임상시험 등으로 ROM의 증가와 함께 기능적 평가 또는 통증의 감소를 확인해야 한다. 하지만 본 연구에서는 기능성에 따른 치료 효과보다는 디자인이나 편의성 등의 개선 사항 및 향후 개발 방향을 도출하려는 목적으로 사용성 평가를 진행하였다. 시제품의 로봇 착용 시험은 6개 동작을 각 9회씩 반복하여 시험 전후 환자의 ROM을 측정하였으므로 ROM이 유의미하게 증가하였다는 통계적 분석 결과는 임상적인 결과로 볼 수 없으며 재활 치료의 효과는 향후 임상시험을 통하여 객관적으로 입증해야 하는 과제가 남아 있다.

재활로봇과 같은 의료기기의 사용성 평가에는 사용자의 안전성과 효과적인 활용 여부가 최우선이므로 향후 사용성 평가 연구에서는 사용 오류(use error)와 근접 오류(close call)의 평가를 수행해야 하며 사용자 인터페이스(user interface)의 고도화와 위험관리(risk management) 등이 선행되어야 할 것이다. 또한 사용 시나리오(use scenario)별 sub-task 수행 소요 시간 등의 사용성 평가 방법 또는 요소에도 보완이 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 뇌졸중 편마비 환자의 어깨 통증을 완화하고 ROM의 기능 회복 및 유지를 위한 어깨 재활로봇 시제품의 사용성 평가를 진행하였다. 사용성 평가는 편마비 어깨 통증이 있는 뇌졸중 환자 10명과 물리치료사 5명을 대상으로 로봇 착용 시험 후 설문지와 인터뷰를 완료하여 개선이 필요한 부분과 향후 개발 방향에 대한 유용한 의견을 얻을 수 있었다. 제안된 로봇은 어깨 관절의 ROM 회복과 통증 치료를 주목적으로 하는 점에서 긍정적인 피드백을 받았으며 도출된 어깨 재활로봇의 개선 사항으로는 다양한 환자 상태에 맞출 수 있는 손잡이 및 벨크로와 같은 고정 장치의 개선과 다양한 신체 크기에 맞게 팔 길이 등을 쉽게 조절할 수 있는 편의성의 확보이다. 이러한 개선 사항은 다음 시제품에 반영되어 재활 로봇이 환자들에게 더 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] M. J. Kim and H. M. Park, "Relationships of Activities of Daily Living and Body Image with

- Quality of Life in Stroke Patients: Mediating Effects of Interpersonal Relations,” Journal of Muscle and Joint Health, vol. 28, no. 2, pp. 183-191, 2021.
- [2] K. B. Lee, S. H. Lim, K. H. Kim, K. J. Kim, Y. R. Kim, W. N. Chang, et al., “Six-month functional recovery of stroke patients: A multitime-point study,” International Journal of Rehabilitation Research, vol. 38, no. 2, pp. 173-180, 2015.
- [3] F. R. Horak, “Clinical assessment of balance disorders,” Gait & Posture, vol. 6, pp. 79-84, 1997.
- [4] H. S. Kwak, L. Mercier, T. Audet, and R. Hebert, “Impact of motor, cognitive, and perceptual disorders on ability to perform activities of daily living after stroke,” Stroke, vol. 32, pp. 2602-2608, 2001.
- [5] A. W. Dromerick and M. J. Reding, “Medical and neurological complications during stroke rehabilitation,” Stroke, vol. 25, pp. 358-361, 1994.
- [6] P. Wanklyn, A. Forster, and J. Young, “Hemiplegic shoulder pain (HSP): Natural history and investigation of associated features,” Disability and Rehabilitation, vol. 18, pp. 497-501, 1996.
- [7] K. S. Lee, J. H. Park, and H. S. Park, “Design of a robotic device for effective shoulder rehabilitation,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B, vol. 41, no. 8, pp. 505-510, 2017.
- [8] D. A. Neumann, “Kinesiology of the Musculoskeletal System,” 3rd edition, Elsevier, pp. 125, 133-140, 2016.
- [9] A. Harb and S. Kishner, “Modified ashworth scale,” StatPearls[Internet], StatPearls Publishing, 2023.
- [10] J. H. Lee and W. H. Lee, “A Study on the Practical Use of Paper Prototyping for Improvement of User Interface Design,” Journal of Korea Design Forum, no. 19, pp. 347-355, 2008.
- [11] S. M. Ahn, G. H. Lee, S. Kim, S. J. Bae, H. J. Lee, D. Oh, et al., “Development and Usability Evaluation of Hand Rehabilitation Training System Using Multi-Channel EMG-Based Deep Learning Hand Posture Recognition,” Journal of Biomedical Engineering Research, vol. 43, no. 5, pp.

361-368, 2022.

- [12] J. S. Kang, Y. H. Chang, Y. C. Kim, K. T. Nam, and E. P. Hong, “Usability evaluation according to the development of a posture adjustable tilt and reclining electric wheelchair,” Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, vol. 17, no. 2, pp. 106-118, 2023.



이정수(Jung-Soo Lee)

2024년 - 현재 가천대학교 의과대학 의예과 연구교수
 2018년 - 현재 가천대학교 의과대학 의공학교실 연구원
 2024년 2월 가천대학교 의용생체공학 전공(공학박사)
 2021년 2월 인천대학교 기계공학 전공(공학석사)
 2002년 8월 홍익대학교 기계시스템디자인공학과(공학사)

Interest: Rehabilitation/Surgical robot, Medical devices, FEA study (bone fracture, implant)



김광기(Kwang Gi Kim)

2017년 - 현재 가천대학교 교수
 2007년 - 2017년 국립암센터 과장, 책임
 2005년 2월 서울대학교 대학원 의공학과 졸업(박사)
 1998년 2월 포항공과대학교 물리학과 졸업(석사)

Interest: Medical imaging Process, Medical Artificial intelligence, Surgical Robot, Medical System Applications