

## 비특이적 통증 환자에서 마사지 로봇이 체표면 온도, 통증, 근긴장도, 관절가동범위에 미치는 효과

배소정<sup>1</sup> · 권기현<sup>2</sup> · 태기식<sup>3\*</sup> · 이현주<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>건양대학교 물리치료학과, <sup>2</sup>(주)마젠타로보틱스, <sup>3</sup>건양대학교 의공학과

### Effects of Massage Robot on Skin Temperature, Pain, Muscle Tone, and ROM in Patients with Non-specific Pain

So Jeong Bae<sup>1</sup>, Ki Hyun Kwon<sup>2</sup>, Ki Sik Tae<sup>3\*</sup> and Hyun Ju Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Konyang University

<sup>2</sup>Magenta Robotics Inc.

<sup>3</sup>Department of Biomedical Engineering, Konyang University

(Manuscript received 12 November 2023 ; revised 18 December 2023 ; accepted 26 December 2023)

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the effects on skin temperature, pain, muscle tone, and ROM after applying the massage robot "PIRO-ZERO" to 6 men and 4 women in their 20s who complained of non-specific pain in the shoulder or back for more than 12 weeks. As a result of the study, there was a significant increase in skin temperature not only in the area where the massage was applied, but also on the opposite side and throughout the body due to increased blood flow. Pain in the upper trapezius, rhomboid, and erector spinae muscle was decreased, and muscle tone in the erector spinae muscles was significantly decreased. There was a significant increase in ROM of neck and trunk flexion, which is thought to be because the massage reduced muscle tone around the spine, increasing flexibility. In the future, as the safety and effectiveness of massage robots are further verified and the pressure, speed, and path become more diverse, satisfaction is expected to increase.

**Key words:** Non-specific pain, Massage robot, Skin temperature, Pain, Muscle tone, ROM

### I. 서 론

현대사회에서 장시간의 컴퓨터 사용과 좌식생활, 그리고 스트레스로 인한 피로와 긴장으로 인해 다양한 신체질환이 발생하고 있다[1]. 대표 증상으로써 어깨 또는 허리의 비특이적 통증(non-specific pain)이 나타나는데, 이는 특별한 원인을 알 수 없는 통증으로 12주 이상 지속되면 만성 통증으로

이행된다[2]. 비특이적 통증 환자에서 나타나는 미세적 구조 변화로는 근섬유의 미세 외상으로 인한 근막통증점(trippper point) 출현, Type I에서 Type II로의 근섬유 유형 변화, 척추 주위 근육의 낮은 피로 저항과 척추 불안정성 등이 있다[3]. 만성통증으로 이행될 경우 우울증, 불안 및 자신감 저하로 인해 삶의 질을 저하시키고 경제적으로는 의료비용 부담을 증가시킨다[4].

최근 비특이적 통증 환자에 대한 중재방법은 다양한데, 물리적 인자치료, 운동치료, 도수치료, 아로마 요법, 마사지 등이 포함된다. 이 중 마사지 요법은 의료기관이 아닌 곳에서도 대중적으로 접근이 가능하며, 근막통증유발점을 비활성화시키는 기술을 적용하여 비특이적 통증 환자에 적용하고 있다[5]. 미국 통계 기준 마사지 서비스를 받는 비율은 1990년과 1997년 사이에 36% 증가했으며, 혈액 순환 개선, 근육 이완, 정신적 편안함과 같은 장점으로 인해 마사지 서비스 비용에 연

\*Corresponding Author : Ki Sik Tae

Dept. of Biomedical Engineering, Konyang University, 158 Gwanjeodong-ro, Seogu, Daejeon, 35365, Republic of Korea  
Tel: +82-42-600-8518

E-mail: tae@konyang.ac.kr

\*Co-Corresponding Author : Hyun Ju Lee

Dept. of Physical Therapy, Konyang University, 158 Gwanjeodong-ro, Seogu, Daejeon, 35365, Republic of Korea  
Tel: +82-42-600-8453

E-mail: leehj@konyang.ac.kr

40~60억 달러를 지출하고 있다고 한다[6]. 마사지는 미용 목적뿐만 아니라 비특이적 통증 및 근골격계 질환과 관련하여 치료적으로 적용되는데, 이는 염증 과정을 약화하고 조기 회복을 촉진하기 때문이다[7]. 그러나 치료사마다 마사지 기술과 강도 등이 달라질 수 있기 때문에 표준화가 어렵다는 제한점이 있다. 반면 환자 관점에서는 장소에 구애받지 않고 기다릴 필요 없으며, 개별화된 맞춤형 마사지 서비스를 일관되게 받을 수 있고 치료사와의 신체적 접촉을 최소화하기를 원한다.

이러한 요구도에 따라 기존 산업체에서 사용하고 있는 로봇팔(robot arm)을 의료환경에 적용하고자 하는 시도가 진행되고 있다[8]. Marin-Mendez 등은 비접촉 공압 방식의 마사지 로봇(ADAMO)을 개발한 후, 비특이성 허리통증 환자 44명을 대상으로 공압 유무에 따라 대조군과 ADAMO 마사지군으로 나누어 마사지를 적용하였다. 두 군 모두 오스웨스트리 장애지수(Oswestry Disability Index: ODI)가 유의하게 감소한 반면 통증(Visual Analogue Scale: VAS)은 공압에 의한 로봇 마사지기군에서만 유의하게 감소하였다고 하였다[3]. Li 등은 마사지를 적용하기 위해 힘 센서의 민감성을 높이고 로봇 학습 알고리즘 기반의 위치/힘 티칭 인터페이스를 개발하는 연구를 하였다[9]. 7개 부분(A1~A7)의 힘 센서 관찰과 3차원 공간의 마사지 궤적을 생성하여 자연스러운 마사지 학습을 유도하는 시스템 구축하도록 하였다.

로봇을 이용한 마사지는 예방적 접근에 따라 의료비를 절감할 뿐만 아니라 치료의 접근성을 높여 만성으로의 통증 전이를 막을 수 있다. 미국의 국민건강보험 기준으로 환자에게 청구된 금액과 마사지 기계의 월 임대료를 비교했을 때, 로봇을 활용한 마사지 치료의 비용이 기존 물리치료 대비 60.17% 감소된 것으로 나타났다[10]. 또한 도수마사지와 로봇을 이용한 마사지를 적용하였을 때 VAS 및 MPQ (McGill Pain Questionnaire)로 평가한 통증 조절 및 FRI (Functional Rating Index)로 평가한 삶의 질 개선에 모두 효과적이었지만, VAS와 FRI 척도에서 로봇 마사지만 도수마사지에서 더 유의하게 효과적이었다고 하였다[10]. 현재 로봇 마사지는 도수 마사지와 비교할 때 효과성은 낮으나 비용 절감, 공간과 시간의 자유로움, 불필요한 신체적 접촉의 최소화 등의 장점에 따라 지속적으로 연구가 진행될 것으로 생각된다.

본 연구에서는 로봇 플랫폼을 기반으로 로봇팔과 end effector, 비전센서를 통한 골격 및 근육위치 추정이 가능하여 마사지 궤적을 생성하는 마사지 로봇 중재를 통한 효과를 검증하고자 하였다. 12주 이상 어깨 또는 허리의 비특이적 통증과 함께 높은 근긴장도를 호소하는 20대 남녀 10명을 대상으로 마사지 로봇을 적용하였을 때 어깨와 허리의 체표면 온도, 근긴장도, 통증, 관절가동범위에 미치는 효과를 확인하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 대상자 선정

본 연구의 대상자는 20대 남녀 10명(남 6명, 여 4명)으로써, 1시간 이상 컴퓨터 작업 시 비특이적 어깨 통증(NSSP; non-specific shoulder pain) 또는 허리 통증(NSBP; nonspecific back pain)과 근 긴장도가 나타나는 경우에 해당된다. 그리고 12주 이상 위의 증상이 지속된 경우로 하였다[2]. 연구가 진행되기 전 체크리스트를 통해 근 긴장도(muscle tone)와 숫자통증척도(NRS: Numeric rating scale)를 확인하였다. 현재 본인이 느끼는 통증 정도를 숫자로 표시하도록 하는데, 전혀 아프지 않으면 “0”, 최대 통증을 느끼는 상태라면 “10”으로 표기한다. 척추의 골격계 및 신경계 질환이 있는 경우 선정 기준에서 제외되었다. 표 1은 실험에 참여한 피검자의 정보를 보여준다. 본 연구는 건양대학교 IRB의 승인을 받은 후 진행되었다(KYU 2022-01-024-001).

### 2. 마사지 로봇

본 개발제품(PIRO-ZERO, Magenta Robotics Inc., Korea)은 크게 콘트롤 박스, 로봇팔, 티칭 펜던트로 구성되어 있다. PC 내 Blender 프로그램을 이용하여 로봇의 마사지 시작과 멈춤, 속도와 압력 조절 등을 제어 할 수 있다. OnRobot force/Torque sensor data를 이용하여 Python에서 수신한 OnRobot byte data를 분석하여 일정치를 초과해 가압을 멈추는 순간 ODV (OnRobot data visualization)에 현시되는 힘을 측정하였다.

로봇팔은 6축의 자유도를 가진 다관절에서 각각 360°의 구동범위를 가지고 있고, 다양한 end-effect 교체 가능하여 확장성의 장점을 가지고 있다. 또한, end-effector의 종류는 지압용 end-effector (1구)와 컨디셔닝용 end-effector(2구)로써, 별도의 기법 없이 마사지 볼의 롤링으로 경로를 생성하여 왕복 적용할 수 있다. 마사지 경로는 티칭핸들의 B 모드를 이용하여 point를 찍어 치료사가 선상의 경로를 유도하고 다섯 가지의 속도와 압력 중 환자가 편안해 하는 모드를 선택하면 이후 자동 로봇 프로그램이 작동된다. 티칭 펜던트는 시스템 운영에 사용하는 장치로 로봇의 각종 제어 및 시스템 로딩을 할 수 있다.

표 1. 대상자의 일반적 특성

Table 1. General characteristics of subjects

Variables	Mean±SD	
Age (yrs)	21.67±1.30	
Height (cm)	170.17±8.68	
Weight (kg)	69.58±10.45	
Sex (male/female)	6/4	
NRS (cm)	Shoulder (N=5)	3.83±41
	Back (N=5)	3.33±52

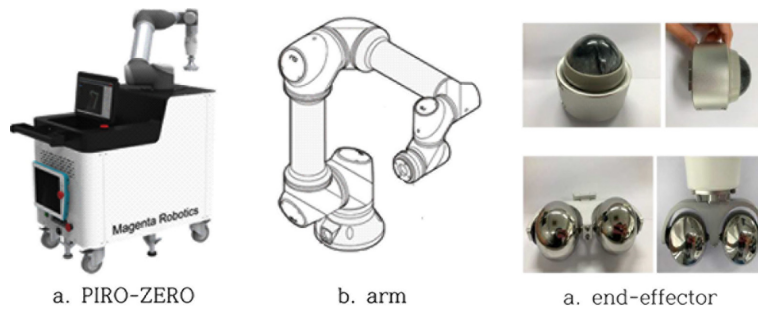


그림 1. 마사지 로봇 구성  
Fig. 1. Component of Massage Robot “PIRO-ZERO”

3. 측정 도구

(1) 적외선 체열 측정기(Digital Infrared Thermal Imaging: DITI)

적외선 체열 검사는 인체표면으로부터 자연적으로 방사되고 있는 적외선을 촬영하여 체표면 온도(skin temperature) 변화를 측정할 수 있다. 이러한 체표면 온도 변화는 시각적으로 표현되어 환자의 이해를 도울 수 있을 뿐만 아니라, 통증의 생리적 기능적 상태를 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있다. 실험에 사용된 적외선 체열 측정장비(T-1000XD, Korea)는 손작동형 제품으로 이미지 해상도 최대 640×480 픽셀을 적용할 수 있으며 열 민감도(NETD)가 50 mk 미만으로 아주 작은 온도 차이도 측정이 가능하다.

대상자는 마사지 로봇을 적용하기 전과 후에 외부의 빛과 열이 차단된 밀실 공간에서 측정하였고, 목, 어깨, 등과 허리 부분으로 나누어 측정하였다.

(2) 근긴장도 측정계(Myotone)

근육의 탄성력을 통해 긴장도(muscle tone)를 측정하는 장비(Myotone AS, Estonia)로 안정상태에서 수동적인 타진에 의해 발생하는 근육의 진동을 측정한다. 지름 3 mm의 원형 탐침을 일정한 속도로 밀어준 후 피부 및 근육의 진동 및 복원 그리고 탐침이 밀 때의 힘 가속도 등을 측정하는 원리이다. 전기적 자극이 없어 쉽게 사용이 가능하여 신체 근육 및 피부, 인대 등 소프트 티슈 등의 상태를 실시간 측정할 수 있는 장점이 있다. 본 기기는 ICC 0.81~0.99로 높은 신뢰도를 나타내었다[11].

근긴장도의 측정 부위는 어깨의 위등세모근(upper trapezius)과 어깨올림근(levator scapular), 상척추부위의 마름근(rhomoid)과 하척추부위의 척추세움근(erector spinae)으로써, 통증을 호소하며 근긴장도가 촉진되는 지점으로 하였다. 정확한 측정을 위해 숙련된 검사자는 각 근육의 동작을 유도한 후 마커를 이용해 표시하여 마사지 로봇 적용 전·후 동일한 부위에 수직으로 위치하여 측정하였다. 1회 평가 시 5번의 타진을 통하여 평균값을 기록하도록 조정하였다.

(3) 디지털 압통계(Algometer)

통증 역치(pain threshold)는 디지털 압통계(FPX25, USA)를 이용하여 측정하였으며 압력 감지 스트레인 게이지 변형기가 내장되어 있어 힘 적용에 선형으로 반응하고 값은 적용된 최대 힘을 표시한다. 또한 데이터 기록을 위한 디지털 선명도와 컴퓨터 인터페이스를 가지고 있다. 단위는 뉴턴(0~150 N) 또는 Ibf으로 값을 표시하여 선택할 수 있다. 검사를 위해 신체 표면에 수직으로 압력을 가하고 잘못된 임계값을 유발하지 않기 위해 속도를 일정하게 하였다. 본 기기는 ICC 0.78~0.93로 높은 신뢰도를 나타내었다[12,13]. 촉진된 통증 유발점에 표식을 하고, 압통계를 이용하여 점진적인 압력을 가할 때 대상자는 압력 부위에 통증이 발생하는 시점에서 표현하도록 하여 그때의 측정값을 압통 역치 값으로 기록하였다. 3번 측정을 한 평균값을 산출하고 단위는 Ibg로 표기하였다. 통증 역치는 통증을 유발하는 최소한의 압력이므로 통증 역치값이 높을수록 통증에 둔감하다는 의미이며, 낮은 통증 정도를 의미한다. 측정 부위는 어깨의 위등세모근과 어깨올림근, 상척추부위의 마름근과 하척추부위의 척추세움근으로 설정하였다.

(4) 실험 절차

대상자는 비특이적 어깨 통증 환자(5명)와 허리 통증 환자(5명)의 두 그룹으로 나누었다. 사전에 체표면 온도, 통증 정도, 근긴장도, 압통 역치를 사전에 측정하였다. 훈련된 로봇 조작자는 마사지 의자에 위치한 대상자를 위해 마사지 로봇의 전원을 켜고, 티칭 핸들에 단말기(척추용 롤)를 부착시킨 후 마사지 로봇의 경로(어깨 또는 허리 부위 선택)에 따라 15분간 어깨 또는 척추 부위를 따라 작동시킨다. 마사지 경로는 티칭핸들의 “B (add) mode”를 이용하여 치료부위 선상에 가상의 지점을 찍어 연결함으로써 생성된다. 이 때 대상자가 선호하는 티칭 핸들의 end-effector 압력 30 N(압력단계 3), 50 N(압력단계 5)을 선택하도록 함으로써 최적의 마사지 변수를 찾도록 하였다. 대상자마다 지압용 end-effector(한개의 구)와 컨디셔닝 end-effector(두개의 구)를 모두 적용하였으

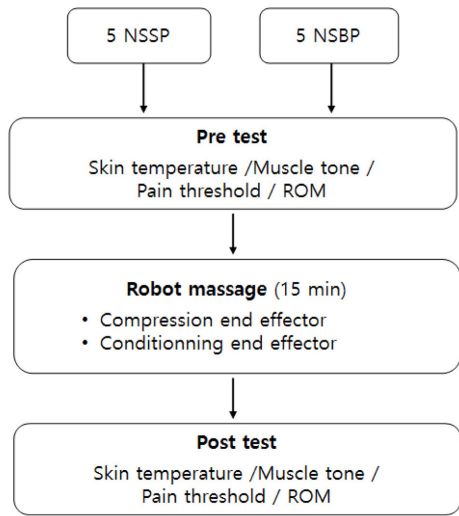


그림 2. 연구 절차  
Fig. 2. Flow chart in this study



그림 3. 마사지 로봇 중재 장면  
Fig. 3. Massage robot intervention

며, 전이효과(carry-over effect)를 방지하기 위하여 같은 날은 피하였다. 마사지 로봇을 적용 후, 같은 방법으로 사후 측정을 하였다(그림 2, 그림 3).

(5) 자료 분석

본 연구의 얻어진 자료의 분석을 위해 통계분석프로그램인 SPSS for window (20.0 version)을 이용하여 모든 항목의 측정값을 평균과 표준편차로 산출하였다. 전체 대상자는 체표면 온도, 근긴장도, 통증 역치값, 관절가동범위를 로봇마사지 적용 전 후 비교를 위해 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed ranks test)을 사용하여 실시하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였고, 통계적 유의 수준은  $p < .05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 체표면 온도

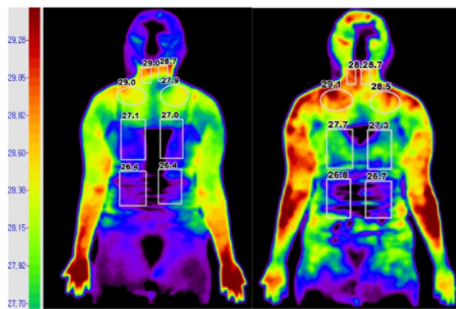
본 연구에 참여한 대상자는 총 10명으로, 오른쪽 어깨 통증 환자 5명, 오른쪽 허리 통증 환자 3명, 왼쪽 허리 통증 환자 2명이었다. 각 환자의 체열 변화에 대한 정성평가에서, 마사지 적용부위의 국소적 온도 상승과 함께 치료부위의 반대 부위를 포함한 전신적인 온도 상승을 확인할 수 있었다(그림 4).

2. 근긴장도

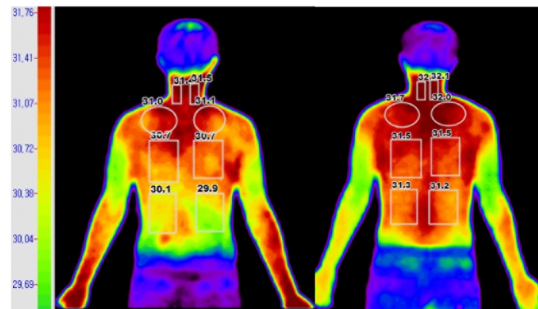
마사지 로봇 적용 전과 후의 근긴장도를 비교한 결과, 어깨 모드의 적용 시 위등세모근과 어깨올림근의 근 긴장도에서 의미있는 변화는 없었다. 반면 허리 모드로 적용 시 상부 마름근과 하부 척추세움근의 근긴장도가 감소되었으며 특히 척추세움근에서 통계적으로 유의한 감소 추이를 나타냈다( $p < .05$ ), (표 2).

3. 통증 역치

마사지 로봇 적용 전과 후의 통증 역치를 비교한 결과, 어깨 모드의 위등세모근과 허리 모드의 마름근 및 척추세움근에서 통계적으로 유의한 압통값의 증가가 있었다( $p < .05$ ), (표 3). 압통값은 높을수록 통증 수준이 감소되었으므로 설명된다.



(a) Upper trapezius (lt.: pre, rt.: post)



(b) Erector spinae (lt.: pre, rt.: post)

그림 4. 마사지 로봇 적용 전·후 체표면 온도 비교

Fig. 4. Comparison of skin temperature before and after applying the massage robot

표 2. 마사지 로봇 적용 전·후 근긴장도

Table 2. Muscle tone before and after applying the massage robot (unit: N/m)

Mode	Area	Pre	Post	Z
		Mean±SD		
Shoulder	Upper trapezius	307.65±51.17	306.47±46.36	-.11
	Levator scapular	332.30±54.73	335.48±88.72	-.73
Lumbar	Rhomboid	285.17±52.50	272.70±42.81	-.11
	Erector spinae	283.20±33.57	251.92±30.15	-2.20*

표 3. 마사지 로봇 적용 전·후 통증 역치

Table 3. Pain threshold before and after applying the massage robot (unit: lbf)

Mode	Area	Pre	Post	Z
		Mean±SD		
Shoulder	Upper trapezius	6.59±3.05	7.95±2.86	-1.99*
	Levator scapular	8.38±4.44	7.93±4.13	-.94
Lumbar	Rhomboid	6.99±2.63	9.17±4.71	-2.17*
	Erector spinae	6.80±2.71	7.19±3.37	-1.15*

표 4. 마사지 로봇 적용 전·후 관절가동범위

Table 4. ROM before and after applying the massage robot (unit: °, cm)

Mode	Area	ROM	Pre	Post	Z
			Mean±SD		
Shoulder mode (°)	Neck	Flexion	50.50±4.97	53.33±4.18	-2.03*
		Extension	42.33±11.00	43.00±8.44	-.68
		Rt. flexion	28.00±7.18	28.83±7.70	-.68
		Lt. flexion	27.17±2.48	30.67±4.63	-1.51
		Rt. rotation	55.17±7.52	59.00±2.37	-1.22
		Lt. rotation	60.00±7.72	61.33±3.98	-.27
Lumbar mode (cm)	Trunk	Flexion	5.50±1.05	5.90±.68	-1.63*

\*p<.05

#### 4. 관절가동범위

마사지로봇 적용 전과 후의 관절가동범위를 비교한 결과, 어깨 모드의 마사지 적용 시 목의 굽힘 각도가 통계적으로 유의하게 증가하였다(p<.05). 이외 목의 펴, 가쪽 굽힘, 돌림에서도 가동범위의 증가 경향이 있었으나, 통계학적으로 유의하지 않았다. 허리 모드의 마사지 적용 시에는 허리의 굽힘 가동범위에서 통계학적으로 유의한 증가가 있었다(표 4).

### IV. 고찰 및 결론

본 연구는 12주 이상 비특이적 어깨와 허리 통증 및 근긴장도를 호소하는 20대 남녀 10명을 대상으로 “PIRO-ZERO” 로봇을 이용한 마사지를 적용하여 효과를 알아보고

자 하였다. 비특이적 통증은 근막통증점 활성화를 동반하여 근긴장도의 증가, 혈액순환 감소, 연관통, 가동범위의 감소 등으로 악순환의 고리가 끊어지지 않는다면 삶의 질을 저하시킬 뿐만 아니라 많은 의료 비용이 든다[14]. 때문에 접근이 용이한 마사지를 통해 통증과 관련된 증상들을 감소시키는 중재접근이 필요하다. 본 연구에서는 6축의 자유도를 가진 다관절 로봇팔과 적절한 압력으로 마사지를 적용하는 end effector, 치료사의 마사지 궤적을 학습하도록 프로그램된 마사지 로봇을 개발하여 어깨와 허리에 적용하였다. 연구 결과 정량적인 체표면 온도는 마사지 적용 부위 뿐만 아니라 반대 쪽과 전신 혈류증가에 의한 온도상승 효과가 있었다. 위등세모근과 마름근, 척추세움근의 통증이 감소하였고 척추세움근의 근긴장도가 유의하게 낮아졌다. 목과 몸통의 굽힘 각도가

유의하게 증가하였는데 이는 등 부위의 마사지에 의한 근긴장도가 감소되어 유연성이 증가한 것으로 생각된다.

도수 마사지의 의학적 효과는 다수의 논문을 통해서 이미 입증되었다[15]. 도수 마사지는 많은 장점에도 불구하고 시공간적 한계와 경제성, 표준화 및 체계화의 제한점이 있다. 따라서 도수 마사지의 단점을 보완하며 임상적 효과에 근접하고자 하는 로봇 개발과 효과 검증에 대한 연구가 진행 중이다. Zhou 등은 힘 센서 및 로봇 학습 알고리즘 기반의 로봇 학습 프레임 워크 구축과 머신 러닝을 활용하고자 하였다[16]. Li 등은 end-effector에 따라 손바닥 주무르기 및 누르기 동작이 가능한 구동 시스템을 설계하였다[9]. 개인의 특성을 고려한 압력 조절이 어려워 노인 환자에게 적용하기에 어려운 부분이 있으나 다중 방식 안전 전략을 구상하는 부분에 대한 연구로 진행하였다. Yang 등은 센서를 사용해 근육의 강성을 측정하고, 3D 시각 기술을 사용하여 사람의 몸을 분석하였으며 그 정보를 바탕으로 치료 상의 마사지를 수행하였다[17]. 또한 3차원 카메라를 이용한 개인별 자동 자세 인식 분석 및 위치 보정이 가능하도록 하였다. 마사지 로봇의 장점으로 인해 활발한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 개인차에 의한 마사지 압력 및 속도 관련 기초 자료가 부족한 부분은 여전히 해결해야 할 부분이다. 인공지능 기술을 접목하고 기계 학습(machine learning)을 시도하고 있지만, 공학적 접근에서 임상적 적용으로의 확장을 위해 많은 데이터 수집과 실험 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 기존 마사지 로봇의 연구내용을 반영하여 개발하였고, 환자를 대상으로 효과검증을 하고자 하였다. 그러나 대상자 수가 적어 통계적 유의성을 충분히 반영할 수 없는 점이 아쉬움으로 남는다. 마사지 로봇은 시간, 공간 및 경제적 이점과 함께 치료적 일관성이 보장된다. 또한 질환과 치료 기법에 대한 데이터 수집이 가능한 만큼 안정성과 용이성, 효과성이 검증된 연구 및 논의가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

## References

- [1] Kang DM, Kim YK, Kim JE. Job stress and musculoskeletal disease. *J Korean Med Assoc.* 2011;54(8):851-858.
- [2] Kanchanomai S, Janwantanakul P, Pensri P, Jiamjarasrangsi W. Risk factor for onset and persistence of neck pain in undergraduate students: 1-year prospective cohort study. *BMC Public Health.* 2011;15(11):566.
- [3] Marin-Mendez H, Marin-Novoa P, Jimenez-Marin S, Isidoro-Garijo I, Ramos-Martinez M, Bobadilla M, Mirpuri E, Martinez A. Using a robot to treat non-specific low back pain: Results from a two-arm, single-blinded, randomized controlled trial. *Front Neurobot.* 2021;14(15):715632.
- [4] Kim SJ, Shim JM, Park YD. Effects of aromatherapy massage on edema reduction in the treatment of lymphedema. *Physical Therapy Korea.* 2007;14(3):1-8.
- [5] Roh YS, Kim SS, Kim JI. The analysis of research on massage interventions for patients in Korea. *Journal of Korean Clinical Nursing Research.* 2009;15(3):171-182.
- [6] Moyer CA, Rounds J, Hannum JW. A Meta-analysis of massage therapy research. *Psychol Bull.* 2004;130(1):3-18.
- [7] Poppendieck W, Wegmann M, Ferrauti A, Kellmann M, Pfeiffer M, Meyer T. Massage and performance recovery: A Meta-Analysis review. *Sports Med.* 2016;46(2):183-204.
- [8] Sun K, Zhao Q, Yang Z, Xu X. Visual feedback system for traditional chinese medical massage robot. *Chinese Control Conference.* 2019;7:6379-6385.
- [9] Li C, Fahm A, Li S, Sienz J. An Enhanced robot massage system in smart homes using force sensing and a dynamic movement primitive. *Front Neurobot.* 2020;29(14):30.
- [10] Kim SK, Min AR, Jeon CJ, Kim TY, Cho SH, Lee SC, Lee CK. Clinical outcomes and cost-effectiveness of massage chair therapy versus basic physiotherapy in lower back pain patients: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2020;(12):e19514.
- [11] Mullix J, Warner M, Strokes M. Testing muscle tone and mechanical properties of rectus femoris and biceps femoris using a novel hand held Myoton Pro device: Relative ratios and Reliability. *Working Papers in the Health Sciences,* 2012;1(1):1-8.
- [12] Jensen OK, Callesen J, Nielsen MG, Ellingsen T. Reproducibility of tender point examination in chronic low back pain patients as measured by intrarater and inter-rater reliability and agreement; a validation study. *BMJ open.* 2013;3(2):e002532.
- [13] Vanderweem L, Oostendorp RA, Vaes P, Duquet W. Pressure algometry in manual therapy. *Man Ther.* 1996;1(5):258-265.
- [14] Lara-Palomo IC, Gil-Martinez E, Antequera-Soler E, Castro-Sanchez AM, Fernandez-Sanchez M, Garcia-Lopez H. Electrical dry needling versus conventional physiotherapy in the treatment of active and latent myofascial trigger points in patients with nonspecific chronic low back pain. *Trials.* 2022;23(1):238.
- [15] Field T. Massage therapy review. *Complement Ther Clin Pract.* 2014;20(4):224-229.
- [16] Zhou L, Feng Z, Cai Z, Yang X, Ai C, Shao H. A massage area positioning algorithm for intelligent massage system. *Comput Intell Neurosci.* 2022;4.
- [17] Yang J, Croghan IT, Fokken SC, Johnson DE, Calva JJ, Do A, Mueller MR, Bauer BA, Chon TY. Satisfaction and feasibility evaluation of an electronic massager-expert manipulative massage automation (EMMA): A Pilot study. *J Prim Care Community Health.* 2023.