

근골격계 어깨 통증 환자를 위한 모션인식 기반의 디지털 치료제의 효과성 검증

황 효 현^{1*} · 이 창 배²

¹(주)다인리더스 책임연구원

²(주)다인리더스 수석연구원

Effectiveness of Motion Recognition-based Digital Therapeutics for Musculoskeletal Shoulder Pain

Hyo-Hyon Hwang^{1*} · Chang-Bae Lee²

¹Senior Researcher, Dain Leaders Corp., Seoul 04793, Korea

²Principal Researcher, Dain Leaders Corp., Seoul 04793, Korea

[요 약]

인공지능과 모션인식 기술을 활용한 디지털 치료제가 근골격계 질환 치료에 대안으로 주목받고 있다. 그러나 인체의 복잡한 움직임에 대한 정확도가 떨어진다는 문제점 및 관련 연구가 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 어깨 통증을 호소하는 환자의 재활을 돕는 디지털 치료제의 프로토타입을 설계하여, 디지털 치료제의 효과성을 평가하였다. 국제표준 소프트웨어 품질평가 기준인 SIO/IEC 25000에서 제시하는 기능 적합성과 성능 효율성에 중점을 두어 평가하였다. 그 결과 모션인식 정확도, 관절 각도 정확도, 모션인식 지연율에서 모두 PASS 평가를 받았다. 그러나 이는 일부 항목만으로 평가한 것으로, 향후 종합적인 품질평가와 장기적 효과 및 안전성 평가가 필요하다. 더불어 임상 적용을 위한 데이터 보안 및 개인정보 보호 측면의 검토와 보호 방안을 마련해야 할 것이다. 후속 연구를 통해 사용성과 임상적 유효성을 입증하고, 실질적인 의료 시스템에 통합될 수 있는 근거 자료 확보를 기대한다.

[Abstract]

Digital therapeutics utilizing artificial intelligence and motion recognition technology are gaining attention as alternatives for treating musculoskeletal disorders. However, challenges remain, particularly regarding the accuracy of recognizing complex human movements, and related research is limited. This study developed a prototype digital therapy for patients with shoulder pain and evaluated its effectiveness. The evaluation focused on functional suitability and performance efficiency based on SIO/IEC 25000 standards. The prototype received “PASS” ratings for motion recognition delay rate. Further comprehensive quality assessments and long-term evaluations of effectiveness and safety are necessary. Additionally, data security and privacy measures must be established for clinical application. Future research is expected to demonstrate usability and clinical effectiveness and provide evidence for integration into real-world medical systems.

색인어 : 모션인식, 디지털 치료제, 근골격계 재활, 어깨 통증 관리, 소프트웨어 품질 평가

Keyword : Motion Recognition, Digital Therapeutics, Musculoskeletal Rehabilitation, Shoulder Pain Management, Software Quality Assessment

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.11.3329>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 02 October 2024; Revised 29 October 2024

Accepted 05 November 2024

*Corresponding Author; Hyo-Hyon Hwang

Tel: [REDACTED]

E-mail: elinahyo@gmail.com

1. 서론

근골격계 질환으로 인한 어깨 통증은 주로 업무나 일상생활에서 반복적인 작업이 지속될 때 발생하며, 이는 근육, 관절, 신경, 혈관 등 다양한 조직에 미세한 손상이 누적됨으로써 발병하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 근골격계 질환은 근육 회복뿐만 아니라 정신적 스트레스 완화에도 도움이 되는 스트레칭 등의 운동 요법을 통해 관리할 수 있다[1]. 그러나 이러한 치료법은 발병 기전(發病 機轉)이 명확하게 규명되지 않았으며, 근본적인 치료 효과에 대한 한계가 존재한다.

최근 인공지능(AI, Artificial Intelligence)과 모션인식 기술을 활용한 디지털 치료제가 근골격계 질환 치료에 새로운 대안으로 주목받고 있다[2].

디지털 치료제는 근골격계 재활에 있어 모션인식과 인공지능 기술을 이용해 환자의 운동상태를 실시간으로 모니터링하고, 정확한 운동 수행을 돕는 동시에 환자의 데이터를 추적하여 맞춤형 재활 프로그램을 제공할 수 있다는 강점이 있다[3].

참고문헌 [3]과 [4]에 따르면, 디지털 치료제를 통한 재활은 전통적인 물리치료와 유사한 효과를 보이며, 환자의 재활 과정 참여율을 높이는 것으로 평가하고 있다. 또한, 만성질환의 증가와 의료비 부담 완화라는 측면에서도 디지털 치료제가 중요한 대안으로 자리 잡고 있으며, 임상적 효과가 입증됨에 따라 그 성장세는 앞으로도 지속될 것으로 전망된다[4].

디지털 치료제의 효과적인 활용을 위해서는 인체 관절 각도 측정을 위해 움직임 분석시스템을 사용하여 복잡한 검증 프로토콜에 대한 연구가 병행되어야 할 것이다[5].

특히, 근골격계 질환을 앓고 있는 환자들의 경우, 정확한 운동 프로그램을 기억하지 못하거나, 운동 수행에 따른 피드백이 부족하여 부정확한 자세로 운동 효과가 떨어지는 행위를 반복적으로 수행 또는 재활치료에 대한 이해 부족으로 치료 효과를 저해하는 요소로 작용하고 있다. 그럼에도 이와 관련된 연구의 미흡한 실정이다[6].

이외에도 기존의 컴퓨터 비전 기반 디지털 치료제의 다수가 2D 이미지를 사용하여 움직임을 분석하는 시스템으로 구축되어 있어 3D 관절 분석에 한계가 있고, 복잡한 움직임에 대한 정확도가 떨어진다는 문제가 지적되고 있다[7].

이에 본 연구는 PC 기반 디지털 치료제 프로토타입을 설계하여 실시간 카메라를 이용한 모션인식으로 어깨 회전물을 추적하고, 통증을 호소하는 환자에게 적용하여 치료 효과를 검증하고자 한다. 연구의 일환으로, 소프트웨어 품질평가 기준인 ISO/IEC 25000에서 제시하는 기능 적합성과 성능 효율성에 중점을 두어 평가를 진행하였으며, 최종적으로 디지털 치료제의 효과성을 확인하고자 한다.

이러한 연구 결과는 향후 근골격계 분야의 디지털 치료제 개발에 중요한 참고 자료로 활용될 수 있다. 본 연구는 근골격계 환자 치료에서 디지털 치료제의 잠재력을 확인하고, 규제 및 정책적 개선의 필요성을 제시하는 데 기여할 것이다.

1-2 연구 범위 및 방법

디지털 치료제의 프로토타입은 모션인식을 기반으로 어깨의 가동물이 낮은 근골격계 어깨 통증을 호소하는 환자의 재활을 지원하는 목적으로 설계하였다. 실제 근골격계 어깨질환(어깨 병변 M75) 치료에 실증적인 기능 적합성과 성능 효율성을 검증하고자 다음과 같은 소프트웨어 품질평가 연구를 진행하였다.

첫째, 디지털 치료제의 개념을 정의하고, 모션인식 기술을 바탕으로 개발된 디지털 치료제의 사례를 분석하였다.

둘째, 선행연구를 통해 탐색한 디지털 치료제의 사례를 토대로 모션인식 기술을 적용하여 프로토타입을 개발하였다.

셋째, 프로토타입을 국제표준(ISO/IEC 25000)에 따라 평가함에 기술 구현을 통한 재활 훈련의 효과성에 집중하기 위하여 기능 적합성과 성능 효율성으로 그 범위를 축소하여 진행하였다.

이는 지정된 환경에서 초기 테스트에 한하며, 다양한 환경과 환자군의 효과성 평가를 위한 연구는 포함하지 않았다.

II. 선행연구 고찰

2-1 디지털 치료제의 정의

디지털 치료제(Digital Therapeutics(DTx))는 업계에서 통용되는 용어에 해당하며, 국내에서는 알약이나 주사 용액과 같은 ‘의약품’의 형태와 구별하기 위해 ‘디지털 치료기기’로 규정하고 있다[3]. 참고문헌 [8]에 따르면, 디지털 치료제는 질병이나 장애에 관해 치료, 관리, 예방을 목적으로 환자에게 근거 기반의 치료적 중재(evidence-based therapeutic intervention)를 제공하는 과학적 근거가 있는 고도화된 소프트웨어 의료기기이다.

디지털 치료제는 기존 치료제와 병행하여 치료 효과를 증대시키는 대체제(Medication Replacement)와, 단독으로는 사용할 수 없으나 기존 치료제와 함께 사용하여 치료 효과를 지원하는 보완제(Complementary Therapy)로 구분할 수 있다. 이러한 디지털 치료제의 개념을 정립하기 위해서는 서비타이제이션 테크(Servitization-tech) 트렌드를 반영한 서비스 측면을 고려할 필요가 있다. 또한, 임상적 엄밀성에 기인한 독립적인 치료 효과를 기준으로 한 대체제는 디지털 치료제로, 보완제는 디지털 신약으로 구분할 수 있다[3],[8].

이러한 정의는 디지털 치료제가 소프트웨어 또는 소프트웨어가 결합한 하드웨어 기반의 치료기기라는 점과 임상시험을 통해 치료 효과에 대한 근거를 확보해야 한다는 특징을 강조하며, 결과적으로 기존의 웰니스(Wellness) 제품과 명확한 차별성을 가진다는 것을 설명하고 있다.

표 1은 기존 약물 치료법과 디지털 치료제의 공통점과 차

표 1. 기존 약물 치료법과 디지털 치료제 비교[2]

Table 1. Comparison of existing treatments and digital therapeutics[2]

Category		Existing Treatments	Digital Therapeutics
Commonalities		Treatment efficacy must be validated through clinical trials, and medical treatment is provided as per medical necessity	
Differences	Side Effects	Possibility of toxicity and side effects	Lower likelihood of toxicity and side effects
	Cost	High cost due to raw materials, development period, etc	Lower cost due to development and welfare benefits
	Medication Compliance	Difficult to manage	Real-time management possible
	Patient Status Monitoring	Observation of patient status outside of clinical settings is difficult	Real-time monitoring using digital devices
	Data	Difficult to collect, manage, and analyze patient data	Data collection, management, and analysis are easier, enabling real-time adjustments to treatment

이점을 비교하여 제시하고 있다. 양 치료법 모두 치료 효과는 임상시험을 통해 검증되어야 하며, 의학적 필요성에 따라 제공된다는 공통점을 지니고 있다. 그러나, 부작용 측면에서 기존 약물 치료법은 독성과 부작용 발생 가능성이 높은 반면, 디지털 치료제는 독성과 부작용 발생 가능성이 상대적으로 낮은 특징을 보인다.

이외에도 비용 측면에서 디지털 치료제는 개발 비용이 상대적으로 낮고 복지 혜택을 통해 비용 절감이 가능하다. 또한 투약 순응도 면에서 역시 실시간으로 관리가 가능하다는 장점이 있다. 디지털 장치를 통한 실시간 모니터링이 가능하고, 데이터 수집, 관리, 분석이 용이하며, 실시간으로 치료 조정이 가능한 이점을 제공한다.

2-2 관절인식 기반의 디지털 치료제 사례

참고문헌 [9]에 따르면, 디지털 치료제는 전 세계 17억 명 이상의 사람들에게 장기적인 통증 완화, 약물 복용 감소, 그리고 수술 빈도 감소를 통해 의료 비용 절감에 기여할 수 있는 효과적인 대안으로 평가되고 있다.

디지털 치료제는 환자들이 스스로 상태를 관리하고, 통제할 수 있도록 돕는 특성이 있다. 이는 컴퓨터 비전, 인공지능(AI), 가상현실(VR, Virtual Reality), 웨어러블 센서 등의 기술을 통합하여, 환자의 상태를 실시간으로 모니터링하고 맞춤형 피드백을 제공함으로써 가능해진다[10]. 이를 통해 환자가 스스로 통제하고 관리할 수 있도록 돕는 행동 중재(Behavior Intervention)를 통해 치료 효과를 제공하고 있다.

또한, 디지털 치료제는 비침습적이고 비약물적인 치료 방법을 제공하므로, 전통적인 치료 방식에서 흔히 발생하는 부작용과 독성을 피할 수 있는 장점이 있다. 이러한 치료제는 환자 맞춤형 프로그램을 통해 치료 효과를 극대화할 뿐만 아니라, 의료 시스템의 비용 효율성을 향상시킨다[9].

이러한 특성을 반영하여, 근골격계 질환을 앓고 있는 환자를 디지털 치료제는 실제 정형외과 분야에서 다양하게 활용되고 있다(표 2 참고).

표 2. 근골격계 질환에 대한 디지털 치료 사례

Table 2. Digital therapeutics case for musculoskeletal disorders

Digital Therapeutics (Company Name)	State	Services provided
Motion Coach™ (Kaia Health)	US	Treatment with computer vision sensors
Hinge Connect (Hinge Health)	US	App-based musculoskeletal disease management
Joint Academy App (Joint Academy)	Sweden	Vision sensor-based back pain management

Kaia Health에서 개발한 Motion Coach™는 근골격계 질환 환자를 위한 모바일 기반 디지털 치료제이며, 환자가 스스로 자신의 상태를 관리할 수 있도록 동기를 부여하는 기능을 가지고 있다[11]. 이 프로그램은 모바일 카메라를 사용하여 환자의 움직임을 실시간으로 촬영하고, 이를 인공지능 기술로 분석하여, 환자가 운동을 안전하고 정확하게 수행할 수 있도록 실시간 피드백을 제공한다. 이러한 방식으로 환자는 맞춤형 운동을 지속해서 수행할 수 있으며, 이를 통해 운동 교정과 재활치료 효과를 높일 수 있다(그림 1 참고).

특히, 독일에서는 Kaia Health의 디지털 치료제가 의사의 처방을 통해 제공되며, 법적 건강 보험 체계 내에서 비용이 보장된다[8]. 이는 디지털 치료제가 의료 시스템 내에서 정식으로 인정받아 환자들에게 비용 부담 없이 제공되고 있음을 나타내는 중요한 사례이다. 참고문헌 [12]에 따르면, Kaia Health의 디지털 치료제는 독일 연방의약품 및 의료기기청(BfArM, Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte)의 승인을 받아, 디지털 헬스 애플리케이션 목록(DiGA, Directory of Digital Health Applications)에 등재되었으며, 이는 비특이적 급성 및 만성 요통 치료에서 임상적으로 효과가 검증된 결과를 기반으로 한다.

이와 같은 사례는 디지털 치료제가 전통적인 치료 방법과 결합하여 비용 효율적이고 환자 중심의 맞춤형 치료를 제공하는 데 유의미한 견인 역할을 수행하고 있음을 시사한다.

Hinge Health의 Hinge Connect는 근골격계 질환 관리를

위해 개발된 디지털 치료 솔루션으로, 환자가 집에서 효과적 인 재활치료를 받을 수 있도록 설계하였다. 이 시스템은 실시간 화상 연결을 통해 물리치료사가 직접 운동을 시연하고, 환자는 이를 따라 수행하는 방식으로 운영된다. AI 기반 컴퓨터 비전 기술을 활용하여, 환자가 올바른 운동 자세를 취하는지 실시간으로 모니터링하고 피드백을 제공하는 것이 특징이다[13].

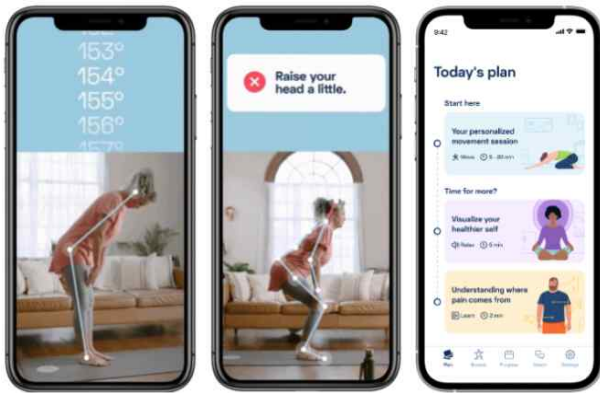


그림 1. Motion Coach™ application의 화면 예시[12]
 Fig. 1. Motion Coach™ application execution screen[12]

모션인식 방식으로는 TrueMotion™ 기술이 도입되었으며, 이는 환자의 전신 움직임을 추적하여 간단한 동작부터 복잡한 움직임까지 정확하게 측정할 수 있다. 이 시스템은 실시간으로 시각적 및 음성 피드백을 제공하여 환자가 안전하고 효과적으로 재활 운동을 수행할 수 있도록 돕는다[13],[14].

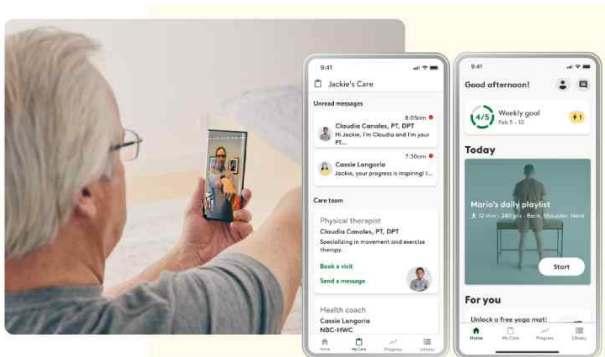


그림 2. Hinge Connect application의 화면 예시[14]
 Fig. 2. Hinge Connect application execution screen[14]

또한, 전자 의료 기록(EMR, Electronic Medical Record) 과 연동되어 치료 데이터를 통합적으로 관리할 수 있으며, 이를 통해 물리치료사와 의사 간의 실시간 협력이 가능하다. 더불어 Hinge Connect는 사용자의 의료 기록과 운동 데이터를 자동으로 수집하여 맞춤형 치료 계획을 제공하며 필요 시, 비수술적 치료나 비마약성 치료를 제안하는 방식으로 치료 과정에 개입할 수 있는 특징을 지닌다[15](그림 2 참고).

Joint Academy에서 제공하는 Joint Academy App은 골

관절염, 관절통, 요통 등의 만성 근골격계 질환 치료에 최적화된 모바일 기반 디지털 치료제로, 환자가 비대면으로도 전문적인 재활치료를 받을 수 있도록 설계되었다. 이 앱은 환자를 전문 물리치료사와 연결하여, 각 환자의 상태에 맞춘 맞춤형 운동 프로그램을 제공한다. 환자는 매일 5~10분씩 운동을 수행하며, 그 결과는 실시간으로 물리치료사에게 전송되어 지속적인 환자 상태 모니터링이 가능하다[16].

참고문헌 [17]에 따르면, Joint Academy App은 실시간 피드백 기능을 통해 환자가 운동을 수행하는 동안 올바른 자세를 유지할 수 있도록 지원한다. 환자는 완료된 운동의 결과를 마이 데이터(My Data)에서 확인할 수 있으며, 물리치료사는 이를 바탕으로 환자의 상태를 모니터링하고, 필요에 따라 치료 계획을 수정한다. 이러한 기능은 환자 맞춤형 치료를 제공함으로써, 전통적인 대면 치료와 유사한 수준의 재활 효과를 달성할 수 있게 한다고 평가된다(그림 3 참고).

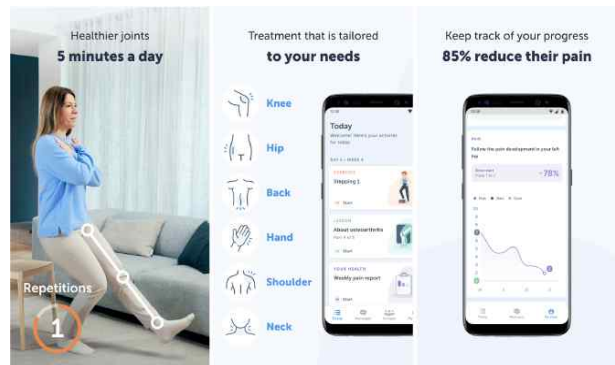


그림 3. Joint academy app 화면 예시[16],[17]
 Fig. 3. Joint academy app execution screen[16],[17]

앞서 비교한 정형외과(OS, Orthopedic Surgery) 근골격계 질환의 디지털 치료제를 살펴보면, 인공지능 및 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 모바일 기반 접근성을 향상하고, 일상생활 속에서 행동 중재를 강화하고 있음을 알 수 있다. 디지털 치료제 역시 기존 치료제와 마찬가지로 환자의 적극적인 참여 의지가 효과성을 높이는 핵심 요소이며, 이러한 일상화된 프로토콜 제공은 근골격계 통증을 호소하는 환자들에게 중요한 동기부여가 될 수 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 사례 분석을 바탕으로, 어깨 통증을 호소하는 환자를 대상으로 모션인식을 통해 어깨의 회전 기능 범위를 추적하여 행동 중재 중심으로 재활치료에 도움을 줄 수 있는 디지털 치료제 프로토타입으로의 개발에 중점을 두었다.

III. 디지털 치료제 프로토타입 개발

3-1 기능구현

본 연구는 디지털 치료제의 프로토타입을 통해 어깨 관련

질환이 만성적으로 발현하여 환자가 지속적인 관리가 필요할 때, 중복 처방을 예방하고 효율적인 관리가 가능하도록 설계되었다. 이는 일상에서 환자의 재활 훈련을 촉진하며, 행동 중재를 통해 치료 효과를 극대화하는 데 중점을 두고 있다. 이를 위해, 선행연구를 기반으로 컴퓨터 비전 기술을 접목한 모션인식을 활용하여 어깨 회전 가동 범위를 추적하고, 환자의 상태를 실시간으로 모니터링하여 맞춤형 운동을 추천해 주는 디지털 치료제 프로토타입을 개발하였다.

초기 개발 단계에서는 MoveNet과 OpenPose를 함께 사용하여 Unity 엔진에서 구현을 시도하였으나, 두 기술 간의 데이터 처리 방식의 차이로 인해 상충하는 문제가 발생하였고, 데이터 정확도와 구분의 일관성이 저하되는 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위해 최종적으로 Mediapipe의 Pose Estimation 모델을 선택하여 프로토타입을 완성하였다.

Mediapipe를 활용한 개발 과정에서는 환자의 운동 패턴을 효과적으로 추적할 수 있도록, CML(Core Machine Learning) Kit Pose Detection API(Application Programming Interface)를 통해 실시간 모션 데이터를 확보하는 방식이 채택되었다. 이 API는 카메라로부터 수집된 영상을 분석하여 주요 관절의 좌표를 추출하고, 이를 통해 환자의 움직임은 3차원 스켈레톤 형태로 표현할 수 있다[18]. 어깨, 팔꿈치, 손목의 위치 좌표(From shoulder to elbow, to hand)를 이용해 환자의 운동 동작을 실시간으로 추적하고, 이를 기반으로 지정된 재활 운동을 추천하는 기능을 구현하였다(그림 4 참고).



그림 4. open CV 중 하나인 Mediapipe Pose를 이용한 관절 인식 테스트

Fig. 4. Joint recognition test screen using Mediapipe Pose, one of the open CV

프로토타입의 워크플로우는 환자가 회원가입 후 초기 문진을 통해 증상 유무를 확인하고, 이를 기반으로 맞춤형 재활 프로그램을 제공받는 과정으로 구성된다. 증상이 있는 환자는 해당 증상에 맞는 운동과 스트레칭 프로그램을 제공받으며, 증상이 없는 환자는 일반적인 스트레칭 프로그램이 배정된다. 운동 수행 과정에서는 실시간으로 모션 인식 기술을 활용하여 아바타와의 동작 유사도를 평가하고, 환자가 정해진 운동을 완료했을 때 그 결과를 마이 데이터(My Data)에서 확인할 수 있도록 설계하였다.

특히, 환자가 운동 도중 불편을 느끼거나 중단하는 경우, 자동으로 상태 확인을 위한 후기 문진 페이지로 전환되어 현재 상태를 기록하고, 향후 운동 프로그램에 반영할 수 있도록 데이터가 관리된다. 이러한 프로세스는 환자가 자신의 상태 변

화와 재활 진척 상황을 명확히 인지하고, 필요한 경우 치료 계획을 조정하는 데 활용될 수 있도록 설계되었다(그림 5 참고).

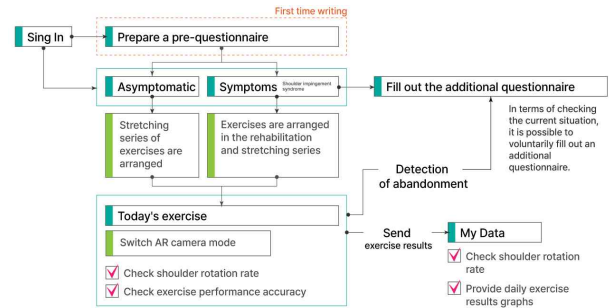


그림 5. 프로토타입의 워크플로우
Fig. 5. HUSIS prototype workflow

본 프로토타입은 환자와 의료진 간의 상호작용을 증진하고, 장기적인 재활 관리를 돕기 위한 데이터 기반의 모니터링 기능을 포함하여 의료진이 환자의 상태 변화를 정밀하게 파악하고 필요한 중재를 즉각적으로 제공할 수 있는 체계를 마련하였다.

3-2 프로토타입 구현

프로토타입을 실행시키면 환자는 최초 회원가입 시, 작성한 사전 문진의 결과를 토대로 증상과 무증상으로 구분이 된다. 증상을 보유하고 있는 환자는 그에 맞는 재활 및 스트레칭 운동이 배치되고 무증상의 경우, 단순 스트레칭 운동이 배치된다.

할당된 운동을 완료한 후에는 마이 데이터에서 그날의 운동 결과를 확인할 수 있다. 그러나 운동 도중 포기하거나 통증을 호소하여 중단하게 되는 경우, 솔루션이 이를 감지하여 중단에 따른 상태를 확인하는 후기 문진 페이지로 자동 전환되도록 설계하였다.

이때 작성하는 후기 문진은 현 상태에 대한 기록으로, 최초 1회 작성하는 사전 문진과는 별개이며, 환자가 원할 경우, 수시로 작성할 수 있도록 하였다. 또한 이에 대한 기록 역시, 환자의 상태 변화에 반영할 수 있도록 마이 데이터에서 관리하도록 하였다.

인터페이스 설계 과정에서는 사용자의 동기부여를 유지하기 위해 몇 가지 문제 상황을 해결하는 것을 원칙으로 삼았다. 시각적 데이터 전달성의 부족, 사용자의 시각적 이해 능력 저하, 헬스케어 실천 과정에서 전후 변화 확인의 어려움[19] 등으로 인해 사용자가 지속적인 사용을 포기하지 않도록 하였다. 이를 위해, 인터페이스 설계 시 문자열과 상징성을 지닌 이미지를 함께 배치하여 정보를 전달하고, 꾸준한 사용을 직관적으로 확인할 수 있도록 로그 데이터를 시각화하였다. 또한, 버튼 디자인에서는 팔 사용이 불편한 환자의 특성을 고려하여 자동 열림/닫힘 기능 및 음성 가이드 등을 포함하여 사용자 편의를 높였다(그림 6 참고).

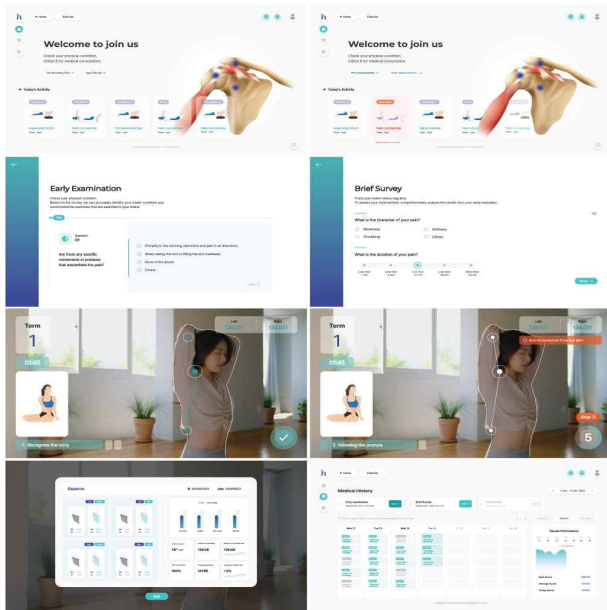


그림 6. 프로토타입 화면 구성
Fig. 6. HUSIS prototype screen design

3-3 소프트웨어 품질평가

관리자 페이지는 의료진이 환자의 데이터를 효율적으로 관리하고, 재활 진행 상황을 체계적으로 추적할 수 있도록 고안되었다. 관리자 페이지에서는 의료진이 관리자 계정을 통해 환자의 운동상태를 한눈에 파악할 수 있는 근골격계 질환별, 환자별 데이터 확인 기능이 제공된다. 이러한 기능은 의료진이 환자의 상태 변화를 실시간으로 모니터링하고, 환자의 치료 진행을 정밀하게 평가할 수 있도록 한다.

특히, 어깨 회전 가동물의 변화를 시각적으로 보여주는 그래프와 환자가 수행한 운동별 성과를 상세히 보여주는 화면이 제공되어, 의료진은 환자의 운동 패턴을 체계적으로 분석할 수 있다. 이와 같은 시각화 도구는 환자의 회복 과정을 명확하게 파악할 수 있도록 돕고, 필요한 경우 즉각적으로 맞춤형 치료 계획을 수정하거나 보완할 수 있는 장점을 제공한다.

또한, 데이터 기반의 추적 관리는 환자별 치료의 개인화를 촉진하며, 장기적 치료 효과를 극대화하는 데 기여한다. 이를 통해 의료진은 정밀한 재활 계획을 제공할 수 있으며, 환자 상태에 맞춘 적극적인 중재가 가능해진다. 이러한 시스템은 환자의 상태를 효율적으로 관리할 수 있을 뿐만 아니라, 의료진이 환자 맞춤형 데이터를 기반으로 실질적인 치료 효과를 극대화할 수 있는 중요한 도구로 기능한다.

그림 7에 제시된 이러한 시각화와 상세 보기 기능은 재활 치료의 효율성과 정확성을 높이는 핵심 도구로 활용될 수 있으며, 의료진과 환자 모두에게 중요한 이점을 제공한다.

본 연구에서는 소프트웨어 품질평가를 위해 국제표준인 ISO/IEC 25000을 기준으로 기능 적합성과 성능 효율성을 평가하였다. ISO/IEC 25000에서 제품 품질 속성은 기능 적합

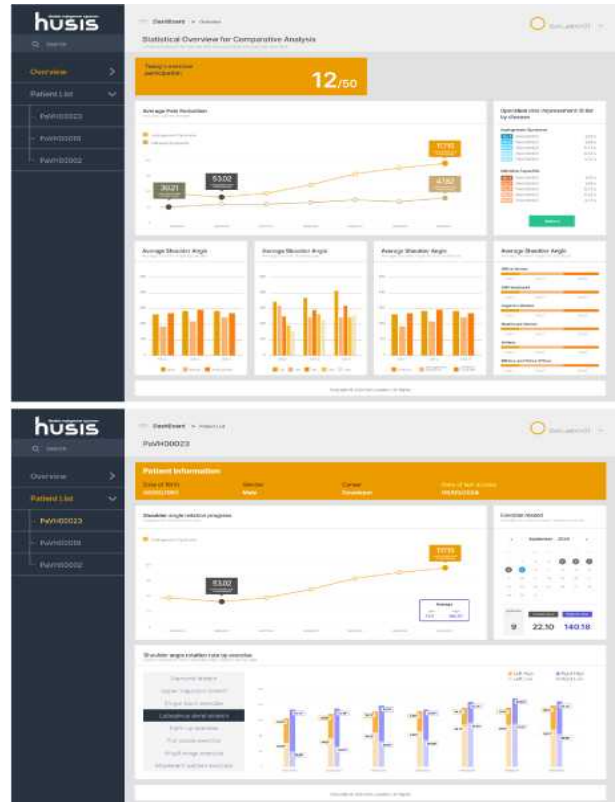


그림 7. 관리자 페이지에서 확인되는 환자 운동데이터
Fig. 7. Patient exercise data confirmed in admin page

성, 성능 효율성, 호환성, 사용성, 신뢰성, 보안, 유지보수성, 이식성의 8가지 요소로 구분되는데[20], 프로토타입 단계에서는 모든 요소를 적용하기에는 한계가 있다고 판단하였다. 따라서, 프로토타입의 품질평가 시, 재활 훈련의 효과성에 유의미한 영향을 미치는 어깨 위치 좌표 추적과 실시간성을 중심으로, 기능 적합성과 성능 효율성 두 가지 항목에 중점을 두어 평가를 진행하였다.

이때, 기능 적합성은 시스템이 지정된 조건에서 사용될 때 명시적 및 암시적 요구를 충족시키는 기능을 제공하는 정도를 의미하며, 성능 효율성은 명시된 조건에서 사용되는 자원량과 그에 따른 성능[20]으로 정의하였다.

소프트웨어 품질평가의 합격 기준은 그림 3에서 제시된 바와 같이 총 세 가지로 구분하였다.

TF1부터 TF3까지 변수 발생을 방지하기 위해 하나의 테스트 케이스를 이용하여 각 수행 결과 값을 확인하였다. 이 테스트 케이스는 동일한 조건에서 총 3회 반복 수행하여 그 값을 도출하였다.

이때, TF1의 모션인식 정확도는 현재 표시되는 각 관절 포인트들이 올바른 위치에 뜨는지 PDJ(Percentage for Detect Joint, 관절감지율) 값을 계산해 확인하였다. 또한 TF2는 어깨 각도를 확인하며 표시된 각도는 프로그램상 보이는 어깨 각도 수치이며, 실제 각도는 모바일에서 카메라로 보이는 어깨의 각도를 확인하였다. 마지막으로 TF3에서 지

표 3. SW 품질평가 합격 기준

Table 3. SW quality assessment passing standards

Category		Contents
Functional Conformance	TF1 Accuracy (PDJ, Percentage for Detect Joint)	Motion recognition must be measured with more than 90% accuracy. Accuracy (PDJ) = Number of joints correctly detected / Total number of joint points × 100
	TF2 Accuracy (Similarity)	The joint angle must be recognized accurately by 85% or more. Accuracy(Similarity) = 1 - (Displayed angle - Actual angle / max(Displayed angle , Actual angle)) × 100
Performance Efficiency	TF3 Delay rate	The motion recognition must be measured without delay by 90% or more. Delay rate = Σ(Delay time > 100ms => 0:1) / Number of trials × 100

연율은 추정된 포즈가 100ms보다 늦게 따라 움직였을 경우, 지연했다고 정의하고 백분율(%)로 환산하였다.

어 모두 우수한 성과를 보였으며, 근골격계 어깨 통증을 호소하는 환자들을 위한 디지털 치료제로서 충분한 기능성과 성능 효율성을 갖추고 있음을 확인하였다(표 4 참고).

IV. 결 과

본 연구의 프로토타입 소프트웨어 품질평가 결과, TF1 모션인식 정확도 측정에서 어깨, 팔꿈치, 손(shoulder, elbow, hand)의 관절 포인트가 각 테스트에서 정상적으로 인식되어 좌우 각각 100%의 정확도를 기록하였다(그림 8 참고).

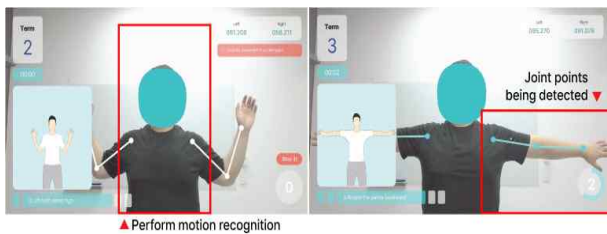


그림 8. 모션인식 정확도 측정 화면
Fig. 8. Motion recognition accuracy measurement

이러한 결과는 프로토타입이 환자의 움직임을 정확하게 추적할 수 있는 능력의 입증이라 하겠다. 즉, 재활 훈련 시 정확한 자세를 유지하도록 돕는 기초가 마련되었으며, 실시간 모션인식을 통한 근골격계 재활 훈련의 신뢰성을 뒷받침한다.

TF2 각도 유사성 테스트에서는 3회에 걸친 각도 측정 결과, 표시된 각도와 실제 각도의 차이가 평균 2~3도로 미미한 수준임을 확인하였다. 평균 유사성은 96%로, 어깨 회전 운동 범위를 정확하게 측정할 수 있음을 보여준다(그림 9 참고).

이는 정확한 운동 피드백을 제공하는 데 필수적인 요소로, 환자가 효율적인 재활치료를 받을 수 있도록 도와줄 수 있다.

TF3 지연시간 테스트에서는 프레임 단위로 분석한 결과, 평균 약 2프레임(33ms)의 지연을 기록하였다(그림 10 참고).

이는 실시간 운동 추적 및 피드백 제공 시, 체감할 수 없는 수준의 지연을 의미하며, 모션인식 기반 디지털 치료제의 실시간 피드백 제공 능력을 검증한 결과로 해석할 수 있다.

종합적으로, 본 연구에서 개발된 프로토타입은 모션인식 정확도, 어깨 각도 유사성, 실시간 피드백 제공 지연시간에 있

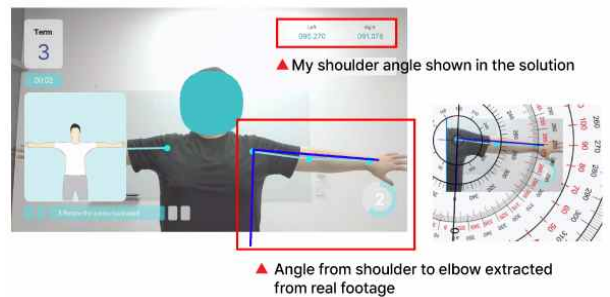


그림 9. 관절 각도 인식 정확도 측정 화면
Fig. 9. Measuring joint recognition accuracy



그림 10. 모션인식 지연률 평가를 위해 하나의 테스트 케이스 3회 반복 수행
Fig. 10. Repeat one test case 3 times to evaluate motion recognition delay rate

표 4. 평가 항목별, 반복 수행 결과 집계

Table 4. Aggregation of repeated performance results by evaluation item

Evaluation items		1 session	2 session	3 session
TF1	Number of joint points detected	3	3	3
	Number of joint points to be detected	3	3	3
	Joint recognition rate	100%	100%	100%
TF2	Displayed angle	81	66	85
	Actual angle	69	63	82
	Similarity	97.8%	95.4%	99.6%
TF3	Minimum delay	1f	1f	1f
	Maximum delay	3f	4f	3f
	Average	2f	2.5f	2f

표 5. 테스트 결과 요약

Table 5. Summary of test results

Test Subject	Test Results
TF1: Achieving 90% Motion Recognition Accuracy	PASS: Motion recognition accuracy measured at 90% or higher - Total number of executions: 3 - Average accuracy: 100%
TF2: Joint angle accuracy is 85% or higher	PASS: The shoulder joint angle accuracy was measured to be 85% or higher - Total number of times performed: 3 - Average accuracy: 96%
TF3: Motion recognition response speed of 90% or more	PASS: Motion recognition is not delayed by more than 90% - Total number of executions: 3 - Delay rate: 100%

기능 및 성능 평가 결과, 각 시험 대상은 모든 시험 절차를 충족하는 경우 PASS로 표기하였다. 결과적으로 프로토타입의 품질평가는 모션인식 정확도, 관절 각도 인식 정확도, 모션인식 지연율에서 모든 기준을 충족함을 알 수 있다. 이에 대하여 표 5와 같이 요약하였다.

이러한 결과는 디지털 치료제의 임상적 적용 가능성을 뒷받침하며, 향후 실제 재활치료에서 본 연구의 프로토타입이 유의미한 역할을 할 수 있음을 시사한다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 근골격계 어깨 통증 환자들이 재활 과정에서 겪는 운동 프로그램 기억의 어려움과 피드백 부족, 잘못된 자세로 인한 운동 효과 저하 등의 문제를 해결하고자 PC 기반 디지털 치료제 프로토타입을 설계하였다. 기존 2D 기반 모션인식 시스템의 3D 분석 한계를 극복하기 위해 실시간 카메라 모션인식을 통해 어깨 회전률을 추적하여 환자의 운동상태를 실시간으로 모니터링하고, 맞춤형 운동 피드백을 제공할 수 있도록 하였다. 더불어 본 연구를 통해 개발된 프로토타입의 효과성을 검증하고자, 소프트웨어 품질을 평가하였다.

ISO/IEC 25000 표준을 기준으로 기능 적합성과 성능 효율성에 중점을 두어 소프트웨어 품질평가를 진행하였다. 테스트 결과, TF1에서 모션인식 정확도가 좌우 각각 100%로 확인되었고, TF2에서 어깨 각도 추적 유사성이 96%를 기록했으며, TF3에서는 평균 33ms의 지연시간으로 모든 시험 절차가 정상적으로 수행되었음을 입증하였다.

이러한 결과는 본 프로토타입이 어깨 회전 가동 범위를 정밀하게 추적하고 환자의 재활 훈련을 실시간으로 지원할 수 있음을 시사하며, 모션인식 정확성과 실시간 데이터 처리 성능 면에서 우수한 성과를 보임으로써 어깨질환 환자의 재활과 행동 증재에 실질적으로 이바지할 가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 ISO/IEC 25000 표준의 8가지 품질평가 요소 중 기능 적합성과 성능 효율성만을 다루었기 때문에, 향후 연구에서는 사용성, 신뢰성, 호환성 등 추가적인 품질평가 요소를 포함한 종합적 평가가 필요하다. 다양한 사용자 환경에

서의 적용 가능성을 확보하기 위해, 모바일과 같은 다양한 기기와 환경에서의 호환성 테스트도 추가될 필요가 있다.

본 연구 과정에서 근골격계 질환 환자들이 팔 사용에 불편을 겪는다는 점을 고려하여 음성인식 인터페이스 도입을 논의하였다. 향후 연구에서는 음성 명령으로 운동을 수행할 수 있는 기능을 추가하여 환자 접근성을 높이고, 재활 프로그램의 효과성을 강화할 필요가 있다. 이를 위해서는 실제 임상 환경에서의 적용이 필요하다. 실제 임상 현장에서의 적용 가능성을 높이기 위해 디지털 치료제의 인터페이스를 환자와 의료진 모두에게 친화적으로 설계하고, 사용 편의성을 향상하는 기능이 필요하다.

또한, 환자가 아바타의 운동을 따라 수행하는 방식과 실제 물리치료사와 실시간으로 연결하여 운동을 진행하는 방식 사이에 효과성과 신뢰성에서 차이가 발생할 수 있음을 감안하여, 아바타와 물리치료사 협업 방식을 포함한 혼합형 치료 방안을 고려할 필요가 있다. 이를 통해 환자에게 자율성과 편리성을 제공하면서도, 필요한 세밀한 피드백을 제공할 수 있도록 시스템을 개선할 수 있을 것이다.

더불어 임상적 적용을 위한 데이터 보안 및 개인정보 보호 측면의 검토가 필요하다. 디지털 치료제가 의료 시스템에 통합될 경우, 환자의 민감정보를 다루게 되므로 데이터 암호화, 접근 제어 등의 보안 대책을 강화하여 환자데이터 보호 방안을 마련해야 한다.

특히, 환자의 움직임을 실시간으로 추적하는 모션인식 기능이 의료진의 재활 관리에 얼마나 유용하게 활용될 수 있는지에 대한 실증적 데이터 확보가 중요하다. 결과적으로 환자 맞춤형 치료 계획을 가능하게 하는 데이터 추적 및 분석시스템의 도입이 요구된다. 환자의 운동 기록과 상태 변화를 장기적으로 수집하고, 이를 기반으로 개인별 치료 효과를 극대화할 수 있도록 디지털 치료제를 고도화해야 한다. 이를 통해 디지털 치료제의 성능을 지속해서 개선하고, 환자 맞춤형 재활 프로그램 제공을 위한 고도화된 솔루션으로 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 근골격계 환자를 위한 디지털 치료제의 가능성을 확인하였으나, 다양한 임상 환경에서 장기적인 효과와 안전성을 확보하기 위해 추가 연구가 필요하다. 특히, 다기관 협

력을 통해 실제 임상 환경에서 다양한 환자군을 대상으로 한 대규모 임상시험을 진행함으로써, 디지털 치료제의 효과성을 객관적으로 평가할 필요가 있다. 이를 위해 다음과 같은 추가 연구 방향을 제안한다.

첫째, 임상적 유효성 확보를 위해 무작위 대조군 연구(RCT, Randomized Controlled Trial)를 실시하여 디지털 치료제를 사용한 환자와 기존 물리치료를 받은 환자 간의 재활 효과를 비교 평가할 필요가 있다. 이를 통해 디지털 치료제가 표준 치료와 동일하거나 우수한 효과를 보이는지에 대한 객관적 데이터를 확보할 수 있을 것이다.

둘째, 장기적 추적 관찰 연구를 통해 치료 효과의 지속성을 평가해야 한다. 디지털 치료제의 효과가 일정 기간 지속하는지, 장기적으로 환자 삶의 질 향상에 이바지하는지를 평가하기 위해 최소 6개월 이상의 추적 관찰이 권장된다.

셋째, 현재 본 연구의 프로토타입은 베트남 하노이 의과대학 병원에서 파일럿 테스트를 진행하고 있다. 이와 같은 다양한 국제 협력 연구를 통해, 문화적 차이와 다양한 의료 시스템에서도 디지털 치료제가 일관된 효과를 발휘할 수 있는지를 검증하는 연구가 필요하다. 이를 통해 글로벌 의료 환경에서의 임상적 유효성을 확보하고, 디지털 치료제의 보급 가능성을 높일 수 있을 것이다.

이와 같은 연구를 통해 디지털 치료제의 임상적 유효성을 입증하고, 추후 실질적인 의료 시스템에 통합될 수 있는 근거 자료를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] I. S. Jeong, A Study on the Program for Increasing Stretching in Dancers, Master's Degree, Graduate School of Hanyang University, Seoul, 1999.
- [2] J. H. Son, S. H. Yang, and I. Y. Jeong, Current Status and Prospects of Digital Therapeutics, Insurance Research Institute, KIRI Report 2023(03), Seoul, p. 9, 2023.
- [3] EDPS. Digital Therapeutics (DTx) [Internet]. Available: https://www.edps.europa.eu/press-publications/publications/techsonar/digital-therapeutics-dtx_en
- [4] Editorial Department, "J. H. Ahn CEO of SYM Healthcare (CEO of K-Global Accelerator-nurtured startup), and SYM Healthcare, a Startup that Provides AI Musculoskeletal Examination and Digital Therapeutics," *Hankyung JOB&JOY*, No. 264, pp. 8-9, 2023.
- [5] F. Zsarnoczky-Dulhazi, S. Agod, S. Szarka, K. Tuza, and B. Kopper, "AI Based Motion Analysis Software for Sport and Physical Therapy Assessment," *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, Vol. 2024, No. 30, pp. 2-5, 2024. http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202430012022_0020i
- [6] S. Bahadori, T. Immins, and T. W. Wainwright, "A Review of Wearable Motion Tracking Systems Used in Rehabilitation Following Hip and Knee Replacement," *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, Vol. 2018, No. 5, pp. 2-6, 2018.
- [7] Medical Technologies Evaluation Programme, A Digital Therapy Solution for Chronic Pain Management Using Computer Vision: Techniques and Evaluation, National Institute for Health and Care Excellence (NICE), London, pp. 5-11, 2023.
- [8] J. H. Park, S. J. Song, and M. C. Bae, "Digital Therapeutics Technology Trends and Industry Outlook," *KEIT PD Issue Report*, Vol. 2020, No. 3, pp. 86-90, 2020.
- [9] J. Y. Park and J. H. Park, "Digital Therapeutics for the Musculoskeletal Disorders," *Journal of the Korean Society for Clinical Pain*, Vol. 21, No. 2, pp. 74-79, December 2022. <https://doi.org/10.35827/cp.2022.21.2.74>
- [10] J. H. Son, S. H. Yang, and I. Y. Jeong, "Current Status and Prospects of Digital Therapeutics," *KIRI Report*, Vol. 2023 No. 3, p. 9, 2023.
- [11] Medical Device & Technology. Kaia Health Gains Back Pain Digital Therapy Approval for Prescription in Germany [Internet]. Available: <https://www.medicaldevice-technology.com/view/kaia-health-gains-back-pain-digital-therapy-approval-for-prescription-in-germany>
- [12] Kaia Health. Website [Internet]. Available: <https://kaiahealth.com/>
- [13] Mobi Health News. Hinge Health Scoops up Wrnch to Boost Digital MSK Clinic's Motion Tracking Capabilities [Internet]. Available: <https://www.mobihealthnews.com/news/hinge-health-scoops-wrnch-boost-digital-msk-clinics-motion-tracking-capabilities>
- [14] Hinge Health. Website [Internet]. Available: <https://www.hingehealth.com/>
- [15] Wearable Technologies. Musculoskeletal Startup Hinge Health Launches Hinge Connect to Integrate with Users' EMRs [Internet]. Available: <https://wearable-technologies.com/news/musculoskeletal-startup-hinge-health-launches-hingeconnect-to-integrate-with-users-emrs>
- [16] Joint Academy. Website [Internet]. Available: <https://www.jointacademy.com/us/en/>
- [17] Google Play. Joint Academy App [Internet]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.arthro.us.jointacademy&hl=en>
- [18] H. H. Hwang, C. B. Lee, and H. R. Shin, "A Study on the Interface Design of Digital Therapeutics for Patients with Musculoskeletal Shoulder Disorders Using Motion Recognition Convergence Technology," *Journal of the*

Korean Society of Science & Art, Vol. 42, No. 4, pp. 775-786, September 2024. <http://doi.org/10.17548/ksaf.2024.09.30.775>

- [19] Y. S. Seo, A Study on Smart Mobile Healthcare UX Design for Continuous Motivation, Master's Thesis, Seoul National University Graduate School, Seoul, February 2015.
- [20] S. M. Lee, "The Study on the Quality Assessment Model of Aircraft Voice Recognition Software," *Journal of the Korea Software Evaluation Society*, Vol. 15, No. 2, pp. 73-83, 2019. <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2019.12.1>



황효현(Hyo-Hyon Hwang)

2014년 : 이화여자대학교
디자인대학원
(디자인석사-UX디자인)
2022년 : 이화여자대학교 일반대학원
(디자인박사-영상디자인)

2011년~2015년: 에이온스튜디오

2015년~2023년: ㈜시온네트웍

2020년~2024년: 이화여자대학교 조형예술대학 디자인학부 겸
임교수

2024년~현 재: ㈜다인리더스

※관심분야 : 사용자경험(User Experience), 행위 유도성
(Affordance), 디지털 치료제(Digital Therapeutics),
메타버스(Metaverse), 실감미디어(Sensory Media),
디지털콘텐츠(Digital Contents) 등



이창배(Chang-Bae Lee)

2004년 : 수원대학교
(공학학사-정보통신)

2018년 : 숭실대학교 경영대학원
(경영석사-콘텐츠경영)

2011년~2015년: 에이온스튜디오

2015년~2023년: ㈜시온네트웍

2021년~2023년: 경희대학교 디지털 콘텐츠학과 겸임교수

2024년~현 재: ㈜다인리더스

※관심분야 : 인공지능(Artificial Intelligence), 디지털 치료제
(Digital Therapeutics), 메타버스(Metaverse), 실
감미디어(Sensory Media), 디지털콘텐츠(Digital
Contents), 콘텐츠 경영(Content Business) 등