

근골격계 질환에서 디지털치료제의 적용

연세대학교 의과대학 재활의학교실, 강남세브란스병원 재활의학과¹, 연세대학교 의과대학 희귀난치성 신경근육병 재활연구소², 연세대학교 의과대학 융합의학과³, 연세대학교 의과대학 의료기기산업학과⁴

박진영¹ · 박중현^{1,2,3,4}

Digital Therapeutics for the Musculoskeletal Disorders

Jinyoung Park, M.D.¹ and Jung Hyun Park, M.D., Ph.D.^{1,2,3,4}

¹Department of Rehabilitation Medicine, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine,

²Rehabilitation Institute of Neuromuscular Disease, Yonsei University College of Medicine,

³Department of Integrative Medicine, Yonsei University College of Medicine,

⁴Department of Medical Device Engineering and Management, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Digital therapeutics (DTx) is emerging in the field of digital healthcare thanks to the development of ICT (information and communications technology), sensors, and AI (artificial intelligence) technology. A clinical trial-based design and manufacturing process is required for DTx before it can be prescribed in the medical field. The risks, and effectiveness and intended use of DTx must then be approved by regulatory authorities. The digital healthcare apps for musculoskeletal disorders, which had previously concentrated on monitoring and feedback on aerobic exercise, have lately begun to be applied to rehabilitative exercises utilizing AI technologies using convolutional neural networks. The development of DTx focusing on therapeutic rehabilitative exercise is expected in the future. (*Clinical Pain* 2022;21:74-79)

Key Words: Digital therapeutics, Musculoskeletal disorders, Exercise

서 론

디지털 기술 혁신이 헬스케어 및 의료 기술 및 데이터와 융합되어 이용자들을 대상으로 서비스를 제공하는 분야를 디지털 헬스케어(digital healthcare)라고 한다. 정보통신기술(information and communications technology, ICT)의 발달과 더불어 건강 및 의료 관련 빅데이터의 획득이 가능해지고 인공지능 기술을 통해 데이터 처리가 수월해짐에 따라 개인 맞춤 의료 서비스가 확대되고 있다. 이러한 변화에 따라 각종 디지털 의료기기는 질병의 진단, 환자 감시, 의사 결정 지원 등을 넘어 장애나 질병을 예방, 관리 또는 치료하는 영역까지 확장되고 있으며, 그 중에서 소프트웨어 의료기기(software as medical device, SaMD)가 각광받고 있다[1].

<https://doi.org/10.35827/cp.2022.21.2.74>

접수일: 2022년 11월 22일, 수정일: 2022년 12월 8일,

게재승인일: 2022년 12월 12일

책임저자: 박중현, 서울시 강남구 언주로 63길, 20

⑩ 06229, 연세대학교 의과대학 재활의학교실,

강남세브란스병원 재활의학과

Tel: 02-2019-3491, Fax: 02-3463-7585

E-mail: RMPJH@yuhs.ac

SaMD는 하드웨어에 종속되지 않고 의료기기의 사용목적에 부합하는 기능을 가지며, 독립적인 형태의 소프트웨어만으로 이루어진 의료기기로 정의된다[1]. SaMD는 진단보조, 예방·치료, 질환 예측 분야 등으로 구분되며, 식품의약품안전처의 보도자료에 따르면, SaMD 임상시험 승인건수는 2013년 첫 승인 이후 꾸준히 증가하여 2022년 5월 기준으로 총 91건이 승인되었다. 진단 보조를 위한 SaMD가 먼저 등장하였고, 질환 예측 분야는 2020년부터, 예방·치료 분야의 SaMD에 대한 임상시험 승인은 2021년부터 시작되었다[2]. 국내에서 첫 번째로 허가된 SaMD는 의료영상 분석을 통해 진단을 보조하는 것으로, 환자의 손 엑스레이 영상에 대한 골연령을 분석해 의료인이 환자의 골연령을 판단하는 것을 지원하는 서비스였다. 이후에는 생체신호 및 병리 조직 등의 분석, 환자 치료 계획 수립에 도움을 주는 등의 인공지능 기반 의료기기가 허가를 받아 사용되고 있으며, 2022년 6월 기준으로 총 114품목(진단보조 85품목, 예방·치료 28품목, 질환 예측 1품목)이 SaMD로 허가 받았다[2].

디지털치료제(digital therapeutics, DTx)는 “의학적 장애나 질병을 예방, 관리, 치료하기 위해 환자에게 근거 기반의 치료적 개입을 제공하는 SaMD”로 정의되는데, 디지털 헬스케어의 영역 안에서 치료적 개입이 필요한 “환자”를 대

상으로 한다는 것이 특징이다[1]. 디지털치료제는 기존 신약과 비교하여 개발 비용이 적고 개발 기간도 짧은 편이며, 의약품을 대신하거나 병행함으로써 치료제 개발이 어려운 의료 분야에 활용될 수 있다. 특히, 행동교정이나 만성질환에 대한 치료적 관리, 환자 데이터 수집 및 분석 등의 임상 분야에서 관련 제품들이 개발되고 있는 추세이다[1].

이러한 새로운 분야인 디지털치료제의 개발에 대한 규제에 선제적이고 예측 가능하게 대비하기 위해 디지털치료제에 대한 정의, 판단기준, 허가·심사 방안 마련이 2020년 8월 식품의약품안전처에서 ‘디지털치료기기 허가·심사 가이드라인(민원인 안내서)’으로 발표되었고, 2021년 12월 니코틴 및 알코올 사용장애 개선, 불면증 개선을 위한 디지털 치료기기에 대한 임상시험계획서 작성 가이드라인도 공개되었다[1,3-5].

하지만 공개된 가이드라인 등을 보면 현재 디지털치료제의 주 관심 대상 질환은 중독, 수면 등 대부분 정신건강의 학과 영역에 속한다고 할 수 있다. 하지만, 향후 생활습관 개선, 운동 등의 방법을 통한 근골격계 질환 관리를 위한 디지털치료제의 필요성이 증가할 것으로 보인다. 이에 본 종설을 통해 디지털치료제의 현황과 미래, 근골격계 질환에서의 응용 가능성에 대해 기술하고자 한다.

본 론

1. 디지털 헬스케어 및 디지털치료제의 범주

디지털치료제의 개념에 대한 이해를 위해 헬스케어, 의료, 디지털 헬스케어 등의 개념과 범주를 정리하는 것이 필요하다.

디지털 헬스케어는 디지털 기술을 헬스케어 혹은 의료 분야에 적용하여 소프트웨어 기반의 서비스 모델을 개발한 것인데, 웹 기반의 서비스들이 선행되지만 스마트폰의 등장과 맞물려 크게 다섯 단계에 걸친 성장을 보였다. (1) 정보제공: 이용자가 건강 또는 치료와 관련된 정보를 휴대전화나 웹을 통해 손쉽게 확인할 수 있도록 안내하는 교육 콘텐츠 기반의 서비스가 선행되었으며, (2) 데이터 수집: 이후에는 이용자가 데이터를 기록하여 누적 관리할 수 있는 형태의 서비스들이 개발되었다. 초기의 서비스들은 다이어리의 개념으로, 이용자가 직접 본인의 신체 활동이나 활력 징후, 신체 정보들을 만보기나 혈압계, 체온계, 체중계, 줄자 등의 오프라인의 전자기기 또는 가정용 의료/측정 기기를 통해 측정하거나 기분이나 통증 등의 상태를 앱 상에 수기기록을 하는 형태였다 [6,7]. 이후 측정 센서들의 개발과 네트워크 시스템의 지속적인 발전에 힘입어, 과거에는 측정하지 못하고 버려졌던 건강 관련 정보들을 웨어러블 디바이스 등을 통해 자동으로 수집할 수 있게 되었고, 수집

된 데이터를 자동으로 앱 내에 누적 기록할 수 있게 되었고 손쉽게 공유하고 전송할 수 있게 되었다[8-11]. 대부분의 디지털 헬스케어 서비스의 시작은 데이터의 수집으로부터 시작되며, 미래 디지털 의료의 구현은 모두 데이터와 연관지어 설명할 수 있을 것이다. (3) 데이터 통합: 기계 학습을 통한 인공지능 분석을 통해 많은 양의 데이터를 처리하고 해석할 수 있게 되었으며, (4) 데이터 해석: 서비스 이용자들은 직접 제공한 데이터를 기반으로 건강 관련 보고서를 받아볼 수 있게 되었다. (5) 피드백: 이후에는 분석된 내용을 바탕으로 이용자들에게 여러 가지 형태로 경고 알람이나 건강 활동을 위한 격려를 위한 알람, 보고서 기반의 생활습관, 행동, 운동 교정 피드백 등을 제공하게 되었다. 이렇게 디지털 헬스케어는 ‘정보제공-데이터 수집-통합-해석-피드백’의 5단계에 걸쳐 발전해 왔으며, 현재의 디지털 헬스케어는 이 전체 발전단계들이 혼합된 형태로 빠른 속도로 발전하고 있다.

그러나 이러한 디지털 헬스케어의 단계적 발전에도 불구하고 환자를 ‘치료’하는 개념의 서비스들은 헬스케어 시장 및 의료 시장에 최근에 와서야 아주 제한적으로 도입되어, 디지털치료제는 보건 의료 제도의 범주로 이제 겨우 막 진입 단계에 있다. 환자를 치료하기 위해서는 의료적인 중재가 필요한데, 약, 시술, 수술 등이 이에 해당한다. 역사적으로 1세대 신약 저분자화합물에서 2세대 신약 생물학적 제재를 거쳐 3세대 신약인 세포·유전자 치료제에 이르기까지 신약의 개발은 환자가 수동적인 상태에서 약물을 투여 받거나 복용하는 형태의 전통적인 ‘약물’의 형태를 유지하며 개발되어 왔다. 그러나, 향후에는 환자들이 적극적으로 치료를 위해 행동적 개입을 하게 되는 디지털치료제가 차세대 신약 혹은 완전히 다른 영역의 치료제로의 역할을 할 것으로 기대된다.

디지털치료제는 디지털 기술 자체를 환자를 치료하는 약으로 사용하겠다는 목적으로 탄생한 용어로, ‘치료제’라는 용어의 사용을 위해서는 임상적 유효성을 입증하는 것이 선행되어야 한다. 즉, 대부분의 디지털치료제는 디지털 헬스케어와 의료의 교집합 영역에 해당하지만, 일부 서비스는 의료(medical)와 웰니스(wellness)의 영역 그 사이의 모호한 위치에 있기도 하다. 스마트폰을 이용하는 서비스만 있는 것은 아니기 때문에 모든 디지털치료제가 모바일 헬스케어 영역에 속하지는 않는다(Fig. 1). 새롭게 정의되기 시작한 분야이기 때문에 아직도 명확하게 분류를 하기가 애매한 부분이 있으나, 대부분 SaMD의 형태로 제공되는 치료 목적으로 개발된 스마트폰 앱 서비스나 웹 또는 가상 현실(virtual reality VR), 증강현실(augmented reality, AR) 기반의 게임, 쟁봇 등의 서비스가 이에 해당한다.

디지털치료제를 개발하는 기업 및 기관의 다국적(미국,

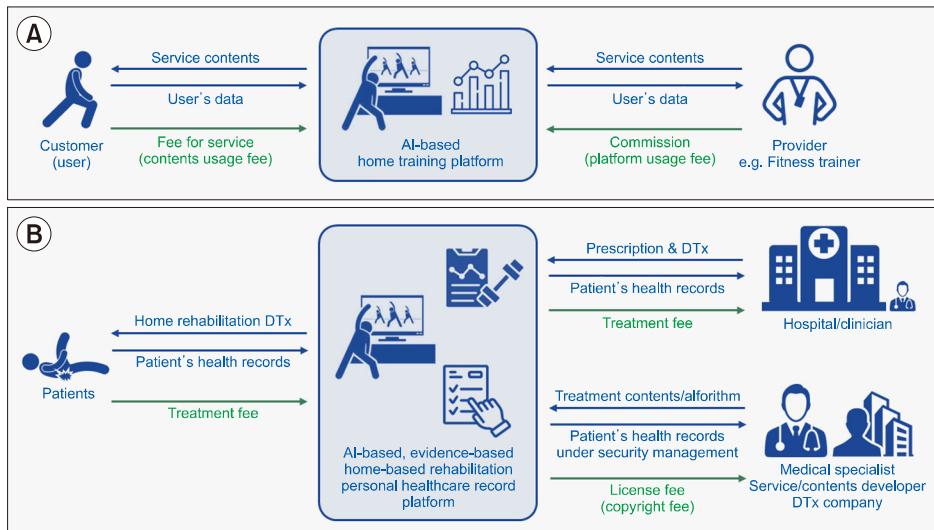


Fig. 1. Position of digital therapeutics in the healthcare market. AI: artificial intelligence, DTx: digital therapeutics, SaMD: software as a medical device.

대한민국, 호주, 중국, 프랑스, 독일, 일본, 싱가포르, 영국 연합체인 Digital Therapeutics Alliance (DTA)에서 2018년 발표한 백서에 따르면 디지털치료제는 질병이나 질환을 예방, 관리, 치료하는 임상 근거 기반의 높은 수준의 소프트웨어 프로그램으로, 위험, 효능 및 의도된 사용에 대해 규제 기관의 인허가를 받아야 한다. 또한 디지털치료제는 환자, 임상의 및 지불인에게 데이터 기반의 중재를 통해 광범위한 조건을 해결할 수 있는 지능적이고 접근 가능한 도구를 부여한다.

2. 디지털치료제의 유형

DTA의 기준에 따르면, 의약품의 분류를 음식·건강기능 식품·일반의약품·전문의약품으로 나누는 것처럼, 디지털치료제는 3개의 유형으로 나눌 수 있다[12].

첫째는 단순 건강증진(improve a health function) 및 질병 예방 목적의 디지털치료제이다. 건강기능식품이 건강증진에 유용한 기능이 있지만 질병의 치료제로서는 인정되지 않는 것처럼, 이 유형의 디지털치료제의 질병의 관리나 치료에 대한 기능도 잘 인정되지 않는다. 건강증진의 주장을 입증하기 위한 임상적인 근거가 마련되어야 한다. 해당 국가기관의 재량에 따라 규제를 받을 수도, 안 받을 수도 있는 유형이다.

두 번째는 질병의 관리(manage a disease)에 해당하는 디지털치료제이다. ‘의약품’의 범주에 들어간다고 할 수 있으며, 따라서 독립적인 임상연구를 통해 유효성, 안정성을 입증해야 한다. 또한 각국의 식품의약품안전처나 그에 준하는 정부 기관의 인허가가 필요하다. 의약품에 비유하면 일반의약품과 일부 전문의약품이 이 카테고리에 속할 것이다.

세 번째는 질병을 치료(treat a disease)하는 디지털치료제이다. 직접적인 환자의 질병 치료를 목적으로 하며, 가장 적극적인 목적을 가진, 약으로 치면 전문의약품에 해당하는 유형이다. 임상시험의 결과에 따라 규제기관의 인허가를 받아야 그 유효성을 주장할 수 있게 된다. 또한 의사의 처방에 의해서만 이용할 수 있으며, 디지털치료제 단독 혹은 기존 약제 등과 병용으로 사용이 가능하다.

3. 디지털치료제의 대상여부 판단기준 및 절차

DTA에 따르면 디지털치료제가 준수해야하는 기본 10가지 원칙은 아래와 같다[13].

1. 질병이나 질환을 예방, 관리, 치료한다.
2. 소프트웨어를 통해 구현되고 소프트웨어나 보완 하드웨어, 의료기기, 의료 서비스 또는 약물을 통해 전달되는 의료 중재를 생성한다.
3. 검증된 임상 작용 기전을 기반으로 데이터 기반 및 정보에 입각한 중재를 통합한다.
4. 제품 개발 및 사용성 프로세스에 최종 사용자를 참여시킨다.
5. 환자 개인 정보를 보호하고 보안 시스템을 마련한다.
6. 제품을 배포, 관리하면서 최적의 상태를 유지한다.
7. 동료 평가를 거친 학술지에 임상적으로 의미 있는 결과를 포함하는 시험 결과를 게시한다.
8. 위험, 효능 및 의도된 사용에 대해 규제 기관의 인허가를 받아야 한다.
9. 임상 평가 및 규제 상황에 적절히 부합해야 한다.
10. 실사용증거(real world evidence, RWE)나 제품 성능 데이터를 수집하고 분석한다.

2022년 현재 식품의약품안전처는 디지털치료제에 대한 근

거로 약사법이 아닌, 『의료기기법』 제2조를 따르기 때문에 ‘디지털치료제’라는 용어보다는 ‘디지털치료기기’라는 단어를 사용하고 있으며, 디지털치료제에 해당하는지 여부를 판단하는 기준에 따라 종합적으로 검토한다(Fig. 2) [1]. 이 판단 기준에 따라 디지털치료제에 해당하지 않더라도 의료 기기나 의료기기가 아닌 것으로 분류될 수도 있다.

4. 디지털치료제의 현황

2022년 10월 현재, DTA에 등록된 디지털치료제는 23개이며, 그 중 절반이 넘는 14개의 제품군이 정신건강의학과 영역(불안, 외상후스트레스장애, 주의력결핍과잉행동장애, 공포증, 중독, 수면 등)에 해당하였다. 나머지는 당뇨관련 제품이 4종, 통증 2종, 암, 요실금, 만성폐쇄성폐질환 관련하여 각 1종씩이 등록되어 있다. 대부분의 치료법은 인지행동치료(cognitive behavioral therapy, CBT) 혹은 수용전념치료(acceptance and commitment therapy, ACT) 기반으로 구성되어 있으며, 일부는 혈당 모니터링 및 약제 용량의 제안, 요실금 운동 등을 기반으로 한다.

최초의 디지털치료제로 받아들여지는 것은 약물 중독 및 의존성을 치료하기 위한 목적으로 PEAR Therapeutics에서 개발한 ‘reSET’이라는 앱 서비스이며, 2017년 9월 SaMD로는 최초로 치료목적의 FDA 인허가를 획득하였다. 18세

이상에서 의사의 처방 하에만 사용할 수 있는 스마트폰 앱이며, 기존의 외래 기반 치료와 더해서 12주(90일) 동안 사용할 시, 약물에 대한 중독 증상이 완화시키고 기존의 외래 기반 치료 프로그램에 대한 순응도를 높이는 것이 목적이다. 무작위 암상시험을 통하여 기존 치료군에 비해 금욕 비율이 두배 이상(40% vs. 18%) 높은 것을 증명하였다. 마치 신약을 개발하는 것과 비슷한 과정으로 인허가를 획득한 것이다. 임상의들을 위한 reSET 사용설명서에는 적응증과, 안전정보(안전성, 유효성, 대상환자, 보안성)가 소프트웨어 사용 방법 및 추가 지원 방법과 함께 기술되어 있다[14].

5. 근골격계 질환에서 디지털치료제의 적용

최근 코로나19 팬데믹 상황에서 홈트레이닝에 관심이 높아지면서 다양한 모델의 디지털 헬스케어 모델이 제시되고 있으며, 특히 운동 동작을 모니터링 하여 운동량과 바른 동작 여부를 대한 피드백을 하는 것이 중요해지고 있으며, 이는 환자와 일반인 모두에게 해당한다[15,16].

스마트폰을 통해 운동방법을 비디오 스트리밍으로 제공하는 앱들이 소개되어 있는데, 초기 개발된 앱들은 단순한 운동정보만을 알려주지만, 최근에는 개인별 운동 정보가 디지털화되어 저장, 관리가 가능하다. 하지만, 대부분의 운동 앱은 가속도 센서와 자이로스코프, 지자기 센서를 이용

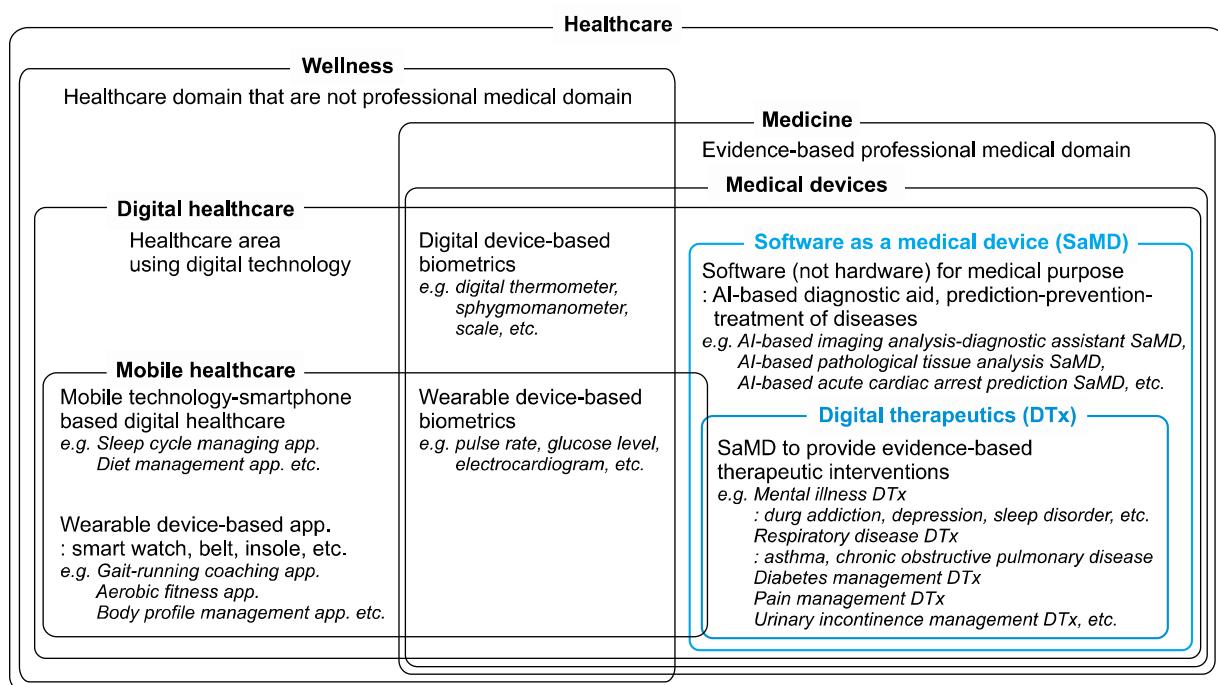


Fig. 2. Criteria for digital therapeutics (DTx) in Republic of Korea. This diagram is enlisted in the “Guidance for Review and Approval of Digital Therapeutics (DTx) (For Industry)” published by Medical Device Evaluation Department of Ministry of Food and Drug Safety, Republic of Korea in 2020.

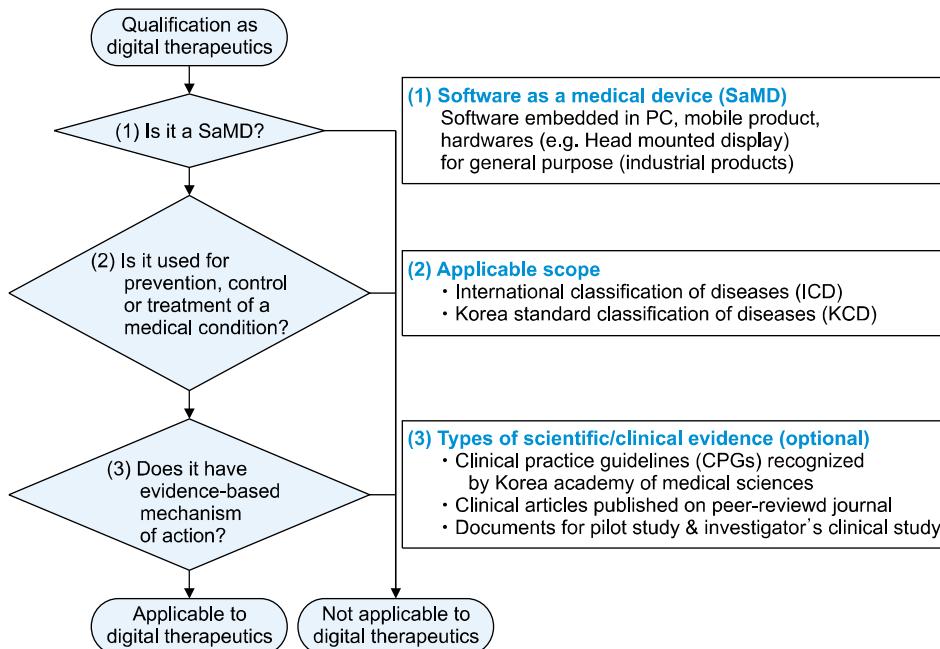


Fig. 3. Business models of digital healthcare service and digital therapeutics (DTx). Current business models (production, use of services/contents, and flow of payment of usage fees) of digital healthcare services (A) and predictable business models of DTx in the future in Republic of Korea (B).

하여 주로 운동 횟수 및 시간, 보행 관련 데이터(이동 거리, 걸음 수, 보행 속도, 오른 계단 수) 등을 관리하여 유산소운동에 대한 제한된 데이터만 수집, 관리, 분석하여 피드백을 제공해왔다. 상대적으로 근력운동이나 스트레칭 운동 등을 포함한 근골격재활운동은 모바일 헬스케어 부분에서 한동안 관심 받지 못했는데, 관절 움직임을 확인할 수 있는 하드웨어(카메라) 및 분석 기술의 발전이 필요했기 때문이다. 최근에 시각적 이미지를 분석하는 데 사용하는 딥 러닝의 알고리즘인 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN)을 응용하여 인체의 관절점(key point)을 감지할 수 있는 기술이 개발되었다. 운동 동작을 학습시켜 이를 기준으로 환자의 관절 운동을 평가할 수 있는 기술이 소개되었고 기계학습 기반의 동작인식 모바일 운동 코칭 앱(machine learning-based motion-detecting mobile exercise coaching application, MDMECA)이라는 개념으로 그 효용성과 동기부여 방법에 대한 고찰이 연구되었다[16-18].

향후 근골격계 질환의 관리를 위한 이상적인 운동 처방 기반의 디지털치료제 모델은 의사를 비롯한 의료서비스 제공자가 제작한 치료적 운동법의 기계학습을 통해 개발될 것이다. 의사가 특정한 근골격계 질환을 가진 환자에게 맞춤형 처방을 하면, 카메라 센서와 인공지능 알고리즘을 통해 3차원 깊이 정보가 반영된 환자의 운동 동작이 분석되고, 분석된 데이터를 기반으로 운동의 강도와 횟수 등을 실시간으로 조정하여 의사의 처방에 대한 최대 수행율을 획득하게 하고, 그 결과물을 전자의무기록(electronic medical records, EMR)을 통해 처방의에게 피드백하여 재처방으로

순환되게 하는 개념이다(Fig. 3).

결 론

디지털 헬스케어 분야의 하나인 디지털치료제는 최근 각광받고 있으며, 특히 정신건강의학과 분야에서 인지행동치료를 중심으로 제품들이 발표되고 있다. 근골격계 의학 분야에서는 향후 치료적 재활운동을 중심으로 한 디지털치료제의 개발이 기대된다.

REFERENCES

- Ministry of Food and Drug Safety. Guidelines for Review and Approval of Digital Therapeutics (DTx) (For Industry). Medical Device Evaluation Department, Ministry of Food and Drug Safety; 2020 [cited 2020 Aug 27]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14596&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=45.
- Ministry of Food and Drug Safety. Increased development of software as a medical device such as digital therapeutics. Medical Device Policy Division, Ministry of Food and Drug Safety; 2022 [cited 2022 Jul 5]. Available from: https://udiportal.mfds.go.kr/brd/view/P01_01?&ntceSn=199.
- Ministry of Food and Drug Safety. Guidelines for safety and performance evaluation of clinical trial protocol preparation of digital therapeutics to improve nicotine use dis-

- order (Public Handbook). Medical Device Evaluation Department, Ministry of Food and Drug Safety; 2021 [cited 2021 Dec 8]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14957.
4. Ministry of Food and Drug Safety. Guidelines for safety and performance evaluation and clinical trial protocol preparation of digital therapeutics for alcohol use disorders improvement (Public Handbook). Medical Device Evaluation Department, Ministry of Food and Drug Safety; 2021 [cited 2021 Dec 8]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14956.
 5. Guidelines for safety and performance evaluation and clinical trial protocol preparation of digital therapeutics for insomnia improvement (Public Handbook). Medical Device Evaluation Department, Ministry of Food and Drug Safety; 2021 [cited 2021 Dec 8]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14955.
 6. Rosser BA, Eccleston C. Smartphone applications for pain management. *J Telemed Telecare* 2011;17:308-12.
 7. Carter MC, Burley VJ, Nykjaer C, Cade JE. Adherence to a smartphone application for weight loss compared to website and paper diary: pilot randomized controlled trial. *J Med Internet Res* 2013;15:e32.
 8. Årsand E, Muzny M, Bradway M, Muzik J, Hartvigsen G. Performance of the first combined smartwatch and smartphone diabetes diary application study. *J Diabetes Sci Technol* 2015;9:556-63.
 9. Ahanathapillai V, Amor JD, Goodwin Z, James CJ. Preliminary study on activity monitoring using an android smart-watch. *Healthc Technol Lett* 2015;2:34-9.
 10. Fokkema T, Kooiman TJ, Krijnen WP, CP VAN DER Schans CP, DE Goot M. Reliability and validity of ten consumer activity trackers depend on walking speed. *Med Sci Sports Exerc* 2017;49:793-800.
 11. Krivoshei L, Weber S, Burkard T, Maseli A, Brasier N, Kühne M, et al. Smart detection of atrial fibrillation[†]. *Europace* 2017;19:753-7.
 12. Digital Therapeutics Alliance. DTx Product Categories. Digital Therapeutics Alliance; 2021. Available from: <https://dtxalliance.org/understanding-dtx/>.
 13. Digital Therapeutics Alliance. DTA: Digital Therapeutics Industry Report 2018. Digital Therapeutics Alliance; 2018. Available from: <https://dtxalliance.org/2018/10/23/dtaindustryreport2018/>.
 14. Pear Therapeutics. reSET® & reSET-O®: Clinician Information Brief Summary Instructions. In: Therapeutics P, editor.: Pear Therapeutics; 2022. Available from: <https://peartherapeutics.com/products/reset-reset-o/>.
 15. Miller JS, Litva A, Gabbay M. Motivating patients with shoulder and back pain to self-care: can a videotape of exercise support physiotherapy? *Physiotherapy* 2009;95:29-35.
 16. Park J, Chung SY, Park JH. Real-time exercise feedback through a convolutional neural network: a machine learning-based motion-detecting mobile exercise coaching application. *Yonsei Med J* 2022;63:S34-s42.
 17. Park J, Kim M, Park JH. Promoting Adherence to joint exercise using the donation model: proof via a motion-detecting mobile exercise coaching application. *Yonsei Med J* 2022;63:1050-7.
 18. Biebl JT, Rykala M, Strobel M, Kaur Bollinger P, Ulm B, Kraft E, et al. App-based feedback for rehabilitation exercise correction in patients with knee or Hhp osteoarthritis: Prospective cohort study. *J Med Internet Res* 2021;23:e26658.