

ISSN. 2465-8456



06

2021 June | Vol. 7

# 융합연구리뷰

Convergence Research Review

**노인성 질환 예측을 위한 디지털 헬스케어 연구 동향**

문경률(한국과학기술연구원 선임연구원)

**디지털치료제 지식생산 및 산업 경쟁력 방향**

김문구(한국전자통신연구원 책임연구원)

박종현(한국전자통신연구원 책임연구원)

# CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 노인성 질환 예측을 위한 디지털 헬스케어 연구 동향
- 33 디지털치료제 지식생산 및 산업 경쟁력 방향



융합연구정책센터  
Convergence Research Policy Center

융합연구리뷰 | Convergence Research Review  
2021 June vol.7 no.6

발행일 2021년 6월 7일

발행인 김현우

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4977 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 디사플래닝 Tel. 02-6315-4600



## 노인성 질환 예측을 위한 디지털 헬스케어 연구 동향

병원신문 기사(2019년 9월 30일)에 따르면, 2014년부터 2018년까지 3대 노인성 질환인 치매·파킨슨·뇌졸중에 대한 진료비만 20조 원을 넘었다고 한다. 또한 국회예산정책처가 2019년에 공개한 ‘노인건강분야 사업분석’ 보고서에 의하면, 2018년 기준 노인 의료비 지출 규모는 전체 의료비 지출 규모의 40% 이상을 차지하고, 2019년 65세 이상 노인의 총 진료비는 31조 7,514억 원으로 노인 의료비 재정 확대가 불가피한 것으로 드러나 만성질환 예방 및 관리의 중요성이 대두되고 있다.

고령화로 인한 노인성 질환에 대응하기 위한 방안으로 의료분야에 첨단 ICT가 융합된 디지털 헬스케어 산업이 부상하고 있는 현재, 본 호 1부에서는 노인성 질환 예측을 위한 디지털 헬스케어 연구 동향에 대해 알아본다. 특히, 노쇠, 근감소증, 인지기능장애 및 노인성 우울증을 예측하고 관리할 수 있는 다양한 기술들을 소개한다.

인구 고령화는 전 세계적으로 모든 나라들이 직면하고 있는 문제이다. 유엔(UN)에 의하면, 80세 이상 인구는 2050년에 4억 2,600만 명에 달할 것으로 추정된다고 한다. 우리나라 또한, 통계청의 ‘2020년 고령자 통계’에 따르면, 전 세계적으로 유래 없는 급속한 고령화 사회로 접어들고 있고 2025년에는 국민 10명 중 2명이 65세 이상인 ‘초고령 사회’에 진입할 것으로 전망된다고 한다. 고령화 사회로의 진입으로 노인성 질환에 대한 대비책 마련이 시급한 가운데, 우리나라의 강점인 IT 기술을 활용하여 노인성 질환 예측을 위한 디지털 헬스케어 산업의 무궁한 성장을 기대해 본다.

## 디지털치료제 지식생산 및 산업 경쟁력 방향

중앙일보 헬스미디어 기사(2020년 8월 7일)에 따르면, 우울증 환자를 대상으로 약물치료와 디지털치료제 사용을 병행한 그룹과 약물치료만 제공된 그룹에 대해 1년간 재발 양상을 추적관찰한 결과, 약물치료와 디지털치료제를 병행한 그룹의 연평균 우울증 재발 횟수가 0.6회로 약물치료만 제공된 그룹(2회)에 비해 약 3분의 1회 감소하였다고 한다. 또한 사이언스타임즈 기사(2020년 9월 24일)에 따르면, 당뇨병 예방 디지털치료제를 사용한 사람들은 1년 이후 체중의 4.7%를 평균적으로 감량했고, 당화혈색소도 1년 뒤 평균 0.38% 감소한 것으로 확인되었다고 한다. 이렇듯 우울증, 당뇨병뿐만 아니라 다양한 질병 예방·관리·치료에 효과가 있는 디지털치료제가 최근 주목을 받고 있다.

디지털치료제란 과학적 근거에 기반한 소프트웨어를 활용하여 질병의 예방·관리·치료 기능을 제공하는 새로운 형태의 의료기기이다. 기존의 바이오 의약품과 달리 인체에 직접 작용하는 것이 아니기 때문에 부작용 발생 및 독성이 없고 개발 기간 및 비용이 적게 소요되며 한 번에 수백만 명에게 배포할 수 있는 장점이 있어 전 세계 국가들은 디지털치료제 산업역량 강화를 위한 방안을 모색 중이다.

본 호 2부에서는 코로나-19 유행 및 디지털 기술의 발전으로 의료 분야에서 블루오션으로 부상하고 있는 디지털치료제에 대해 알아본다. 제도, 정책과 관련하여 다각적인 준비를 통해 현재 전 세계적으로 초기 도입단계에 있는 디지털치료제 산업에서 우위를 선점할 수 있기를 기대해 본다.



# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 June vol.7 no.6



# 01

## 노인성 질환 예측을 위한 디지털 헬스케어 연구 동향

문경률(한국과학기술연구원 선임연구원)

# I 서론

디지털 기술과 정보통신기술(ICT, Information and Communications Technology)의 기하급수적 발전은 기존 산업의 패러다임을 빠르게 바꾸어 놓았고, 기술 및 산업 영역 간의 경계를 허물며 기존에 볼 수 없었던 다양한 산업의 변화와 신산업 창출을 가져오고 있다. 디지털 헬스케어는 헬스케어의 부분 개념으로 헬스케어를 위해 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 웨어러블 디바이스, 스마트폰, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 가상/증강 현실, 블록체인 및 인공지능 등의 다양한 디지털 기술이 기존의 의료 기술과 융합되어 개인 건강과 질환을 관리하는 새로운 의료 산업 분야로 정의할 수 있다(김지은, 2020; 최윤섭, 2020).

그림 1. 디지털 헬스케어



출처 : (좌) HIT Infrastructure(2019), (우) Galen Data(2019)

디지털 헬스케어는 전자의무기록과 같은 사용자의 임상·진단 정보뿐만 아니라 IoT 센서를 통해 일상생활 중 실시간으로 획득 가능한 생체 데이터를 측정, 통합, 분석, 활용하는 과정에서 기존의 의료 기술을 근본적으로 변화시키고 있다. 최근에는 디지털 기술로부터 일상생활 동안 획득된 방대한 생체 데이터를 저장할 수 있는 클라우드 기술과 이러한 빅데이터를 인간의 도움 없이 자동으로 분석 가능한 인공지능과 빅데이터 분석 기술이 집약적으로 발전하면서 다양한 의료 서비스를 모바일 기기로 제공해주는 ICBMA(사물인터넷(IoT), 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big Data), 모바일(Mobile), 인공지능(AI)) 플랫폼을 구축하고 선제적, 능동적으로 헬스케어

서비스를 제공할 수 있는 인프라 확립을 위해 노력 중이다. 가까운 미래에 의료데이터, 유전체 데이터, 그리고 행동양식, 바이오 데이터, 환경, 사회 경제적 요인과 같은 디지털 기술로부터 획득한 외부데이터를 이용하여 사용자의 상태를 실시간으로, 지속적으로, 정량적으로 파악하여 개인 맞춤형 질병의 진단, 예측, 예방, 치료가 가능한 새로운 시대가 빠르게 다가올 것으로 기대된다.

그림 2. 의료정보 기술의 진화

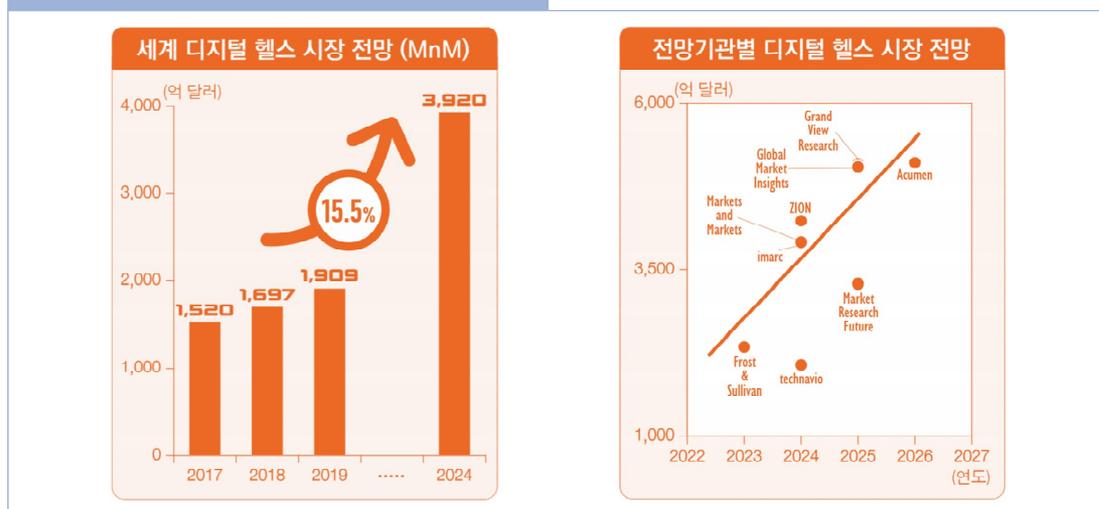
구분	1950~1960년	1970~2000년	2000~2020년	2020년~
주요 기술	Mainframe Computers	Health IT	E-Health	Digital Health
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>메인프레임 컴퓨터*가 비즈니스 영역에 도입되나, 의료 분야에서의 영향은 상대적으로 제한적임</li> <li>* 기업, 은행 등에서 다량의 단말기를 연결하여 다수의 사용자가 함께 사용하는 컴퓨터</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>의료정보학의 출현</li> <li>의료정보로 인한 문제발생 및 해결책 모색</li> <li>개인 컴퓨터 보급 확대</li> <li>병원내 Health IT시스템 구축 및 관련 부서 설치</li> <li>물류와 조작용의 기능이 성과 중심으로 재편되고, 관리시스템에서 소프트웨어분야의 중요성 높아짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>만성질환 이환율 증가</li> <li>개인컴퓨터 보급과 인터넷을 통한 정보접근으로 소비문화(consumerism) 출현</li> <li>전자상거래(E-commerce) 출현</li> <li>전자 의무기록(EMR) 확산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분석학, 인공지능, 로봇, 머신러닝, 사물인터넷, 헬스 어플, 가상현실 등 정보통신 기술(ICT) 출현</li> <li>웰니스 중요성 높아짐</li> <li>소비자는 언제 어디서나 디지털화된 의료서비스를 요구</li> <li>라이프스타일에 맞춘 소비자·환자중심 케어 강조</li> <li>시스템과 연결된 새로운 데이터 저장기기(웨어러블, 센서, 소셜네트워크 데이터) 활용</li> </ul>

출처 : 한국보건산업진흥원(2020)

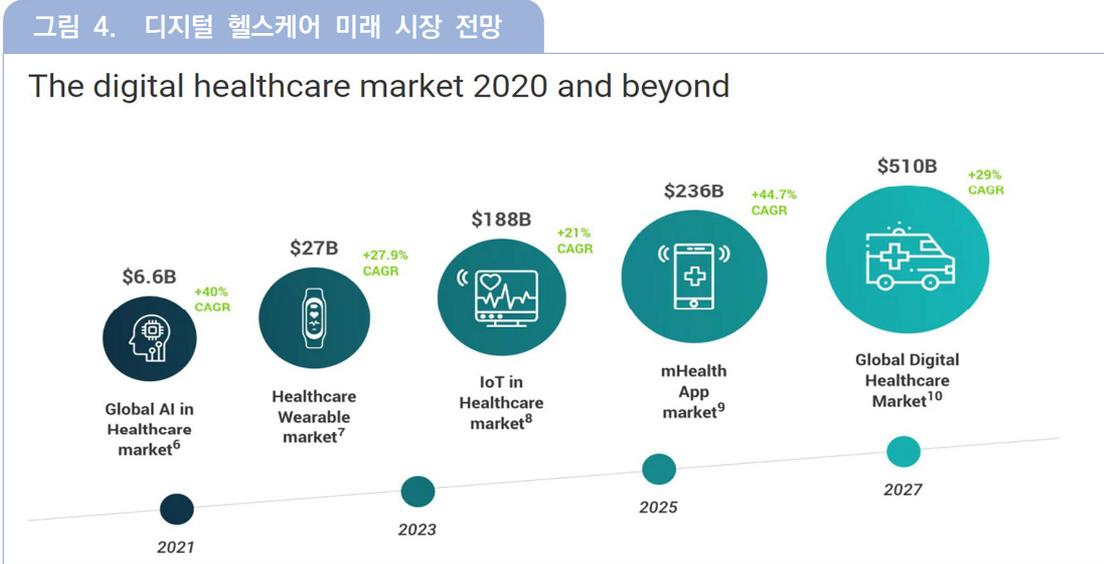
## II 디지털 헬스케어 시장 현황 그리고 고령화 시대의 도래

ICT 기술의 발달로 헬스케어의 패러다임은 치료에서 예방으로, 병원에서 소비자로 관심의 중심이 이동하고 있다. 의료 산업은 전 세계적으로 6조 달러가 넘는 최대 규모의 산업으로 현재 전 세계적 고령화와 웰빙(well-being)에 대한 수요의 확대로 더욱 빠르게 성장하고 있다. 마켓스앤마켓스(Markets and Markets)의 조사를 인용한 한국과학기술기획평가원의 최근 보고서에 따르면, 세계 디지털 헬스케어 시장은 2018년 1,697억 달러에서 연평균 15.5%씩 성장하여 2024년 3,920억 달러를 기록할 것으로 전망하고 있다(한국과학기술기획평가원, 2020). 시장 정의와 범위에 따라 편차가 존재하지만 2027년 5,080억 달러 내외의 시장을 형성할 것으로 추산된다. 한국보건산업진흥원의 '디지털 헬스 산업 분석 및 전망 연구' 보고서에 따르면 국내 디지털 헬스 산업 또한 향후 5년간 15.3% 성장률을 기록하며 빠르게 성장할 것이라는 관측이 나오고 있다.

그림 3. 세계 디지털 헬스케어 시장 전망



출처 : 한국과학기술기획평가원(2020)

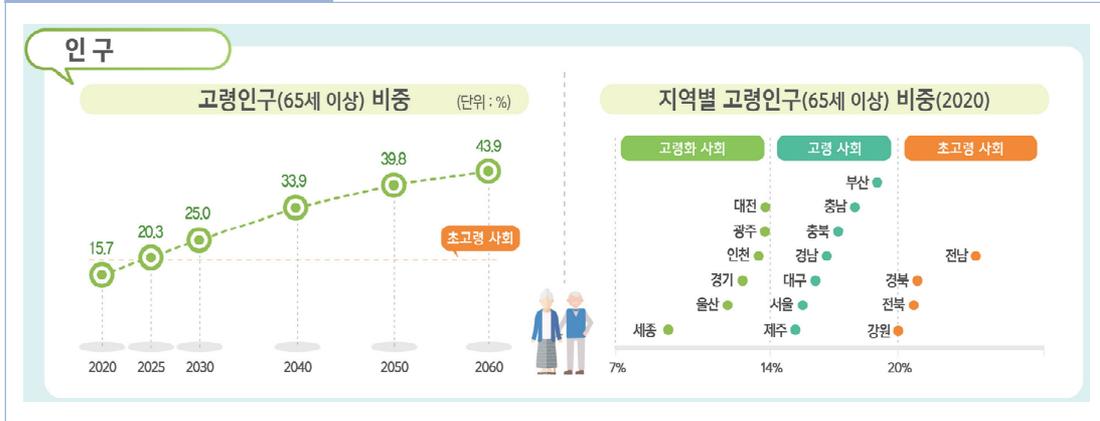


출처 : Object Box(2020.12.06.)

디지털 헬스케어가 빠르게 일상 속에 스며들면서, 최근에는 디지털 헬스케어 기술을 인구 고령화의 해결책으로 사용하고자 하는 시도들이 증가하고 있다. 베이비부머 은퇴를 시작으로 미국 사회도 고령화가 가속되고 있으며 이를 위한 의료비 부담 경감과 의료인력 부족의 한계를 극복하기 위해 노력하고 있다. 경제협력개발기구(OECD)에 따르면 미국의 의료비 지출은 2017년 1인당 1만 209.4 달러로 세계 최대 수준이며 총 의료비 지출은 전년 대비 3.9% 증가한 3조 5,000억 달러로 이는 미국 GDP의 17.9%를 차지하는 수준이다. 미국의과대학협회(AAMC, Association of American Medical Colleges)에 따르면 미국은 오는 2030년에 12만 명의 주치의 및 전문의 인력 부족을 겪을 것으로 예상되며, 전문가들은 디지털 헬스케어 기술의 보급 및 일상화가 이러한 인력난과 비용적인 측면을 해소할 수 있을 것으로 기대한다(KOTRA 해외시장동향, 2019).

한국의 경우 2018년 고령사회 진입을 시작으로 OECD 국가 중에서 가장 빠르게 고령화가 진행되고 있으며, 2025년에는 65세 이상인 인구가 전체 인구의 20%를 넘는 초고령화 사회에 진입할 것으로 예측된다. 2019년도 건강보험통계연보에 따르면 고령자 진료비는 총 35조 8,000억 원으로 전체 진료비의 41.6%에 해당하며, 고령자 1인당 연평균 진료비는 456만 8,000원으로 국민 1인당 평균보다 3배 가량 높은 것으로 나타났다(건강보험 통계연보, 2019). 이에 현 정부는 2020년 정부 R&D 중점 투자 방향 발표를 통해 4차 산업혁명 대응을 위한 인공지능 기술과 함께 급격한 고령화에 대비하여 건강의료 수요에 과학적이고 능동적으로 대응하기 위한 연구개발에 지원을 강화하고 있다.

그림 5. 한국의 고령화



출처 : 통계청(2020)

그림 6. 노인 진료비 추이

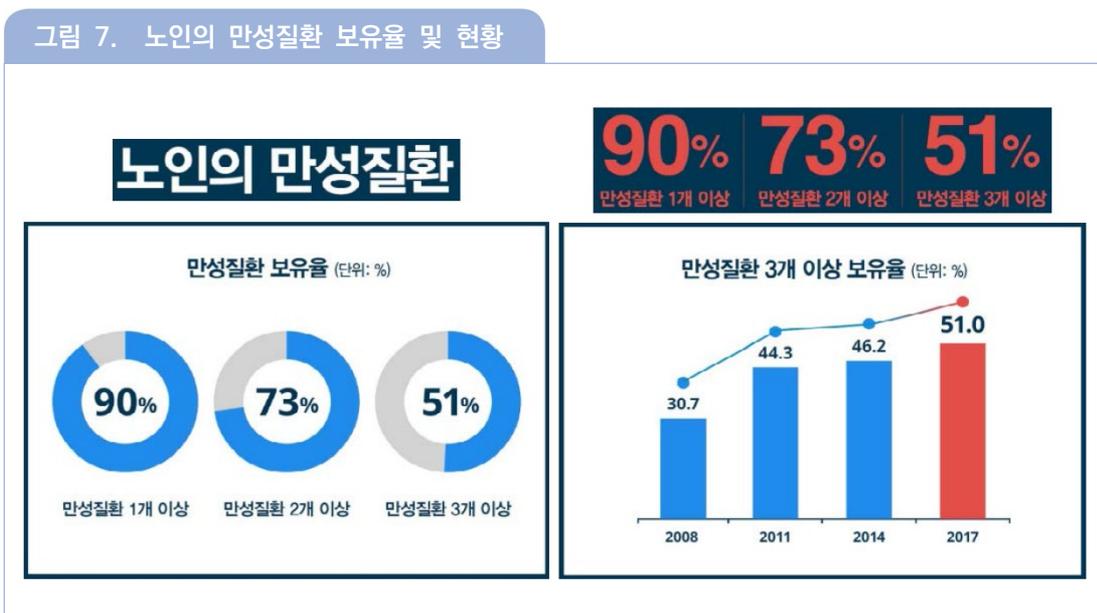


출처 : 연합뉴스(2020.11.12.)

### III 노인성 질환의 특징 및 대표 질환 선정

#### 1. 노인성 질환의 특징 및 예측의 필요성

노인성 질환은 노화, 만성질환, 급성질환의 합성으로 나타난다. 대부분의 경우 한 노인에게 여러 가지 질환이 함께 존재하며, 65세 이상의 노인 중 90%는 한 개 이상, 51%는 3개 이상의 만성질환을 복합적으로 가진다. 또한 질환이 기저질환으로 내재 되어 드러나지 않는 경우가 많고, 증상이 비전형적이며 개인차가 매우 크기 때문에 이를 의사가 시기적절하게 진단/치료/관리하는데 어려움이 존재한다. 그리고 초기의 문제가 새로운 문제를 연속적으로 발생시키는 폭포상 효과를 초래하며, 생체 방어능력의 저하로 치료가 어렵고 합병증 발병의 확률이 높아 일상생활 속에서 질환을 상시적으로 모니터링하고 이를 통한 위험 예측과 조기 발견이 매우 중요하다(조주연, 2005).



출처 : 한국보건사회연구원(2017)

## 2. 대표 노인성 질환의 선정 및 정의

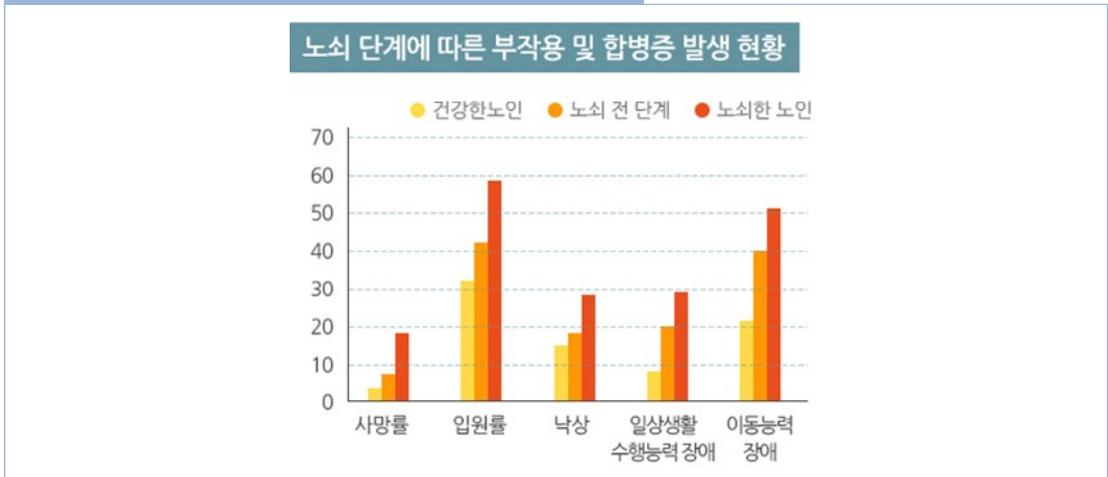
누구나 아프지 않고 건강한 노년기를 맞이하고 싶어 하지만, 실제로는 노화가 진행됨에 따라 지방과 근육 손실 등의 신체 변화부터 노쇠, 근감소증과 같은 질환, 우울증, 섬망, 인지기능장애, 파킨슨병과 같은 뇌신경계 질환, 고혈압, 심부전, 부정맥 및 판막 질환과 같은 심혈관계 질환뿐만 아니라 다양한 폐, 신장비뇨기계질환, 뼈와 관절의 질환, 면역질환 및 피부질환 등이 다양하게 발생한다. 이렇듯 노인성 질환은 매우 다양하고 복잡하여 대표적 노인성 질환을 선정하기가 매우 까다롭고 복잡한 것이 사실이다. 융합연구리뷰에서는 대표적인 노인성 신체 질환으로 노쇠와 근감소증을, 정신적 질환으로 치매를 포함한 인지기능장애와 노인성 우울증에 중점을 두고 이를 해결하기 위한 디지털 헬스케어 기술 및 연구 동향을 위주로 알아보려고 한다.

### 2.1. 노쇠

75세 이상 노인의 경우 20-30%가 노쇠에 해당한다. 노쇠란 노화와 만성 질환에 따른 변화로 인해 대내외적 스트레스에 적절히 대응하지 못하는 취약한 상태를 일컫는다. 특히 노년기에는 노쇠에 따라 여러 신체기관의 생리적 저장능력이 급격히 저하되어 생리적, 신체적, 정신적인 항상성 유지가 어려우며, 한번 노쇠에 걸리게 되면 노인증후군이 발병될 위험이 커지고, 신체 및 정신 기능의 과도한 저하로 인해 쉽게 낙상, 보행 장애를 가질 수 있으며, 외상상태에 빠져 의존 상태가 되기 쉽다. 일반적으로 노쇠의 진단기준으로는 프라이드(Fried)가 제안한 체중감소, 극도의 피로감, 근육 허약, 보행속도, 신체활동 저하의 5가지 기준 중 3가지 이상에 해당할 경우를 노쇠로, 1-2개에 해당하면 전노쇠로 정의하는 CHS(Cardiovascular Health Study) frailty index와 락우드(Rockwood)가 제안한 92개의 증상, 징후, 임상병리학적 이상, 질환, 장애의 유무를 측정하여 전체의 비율로 계산한 Frailty index가 대표적이다(이윤환, 2015).

노쇠는 일상생활 장애 및 요양시설 입소의 원인 1위이며 노쇠 노인의 3년 후 사망률은 정상 노인에 비해 78% 이상 높게 나타난다(J. Walston, 2006; M.J. Mohler, 2014). 또한 완전한 회복이 어려워 요양원으로 전원하는 경우가 많고 삶의 질이 저하되며 궁극적으로 사망에 이르게 하는 대표적 노인성 질환 중 하나이다.

그림 8. 노쇠에 따른 부작용 및 합병증 발생 현황



출처 : 중앙일보헬스미디어(2017.03.20.)

그림 9. 노쇠 평가 도구

#### 한국형 노쇠 평가 도구

	그렇다	아니다
1 최근 1년 동안 병원에 1회 이상 입원했습니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 현재 본인의 건강이 나쁘다고 생각하십니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 정기적으로 4가지 이상의 약을 계속 드십니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 최근 1년간 체중의 5% 또는 4.5kg 이상 살이 빠졌습니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 최근 한 달 동안 우울하거나 슬퍼진 적이 있습니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 최근 한 달 동안 소변이나 대변이 자절로 나올 때(지릴 때)가 있었습니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 의자에 앉은 상태에서 자리에서 일어나 4m 거리를 걸어갔다 돌아와서 다시 의자에 앉는 데 10초 이상 걸리십니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 일상생활 중 소리가 잘 들리지 않거나 눈이 잘 보이지 않은 적이 있습니까?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8개 항목 중 '그렇다'가 5개 이상이면 노쇠, 3~4개는 노쇠 전 단계, 2개 이하면 건강한 상태임.

#### 한국형 노쇠 평가 도구 측정 결과

단위: % 서울 거주 65세 이상 노인 240명 대상.

노쇠 전 단계  
35.8

노쇠  
26.6

원기 왕성  
37.6

남성

---

노쇠 전 단계  
40.3

노쇠  
7.5

원기 왕성  
52.2

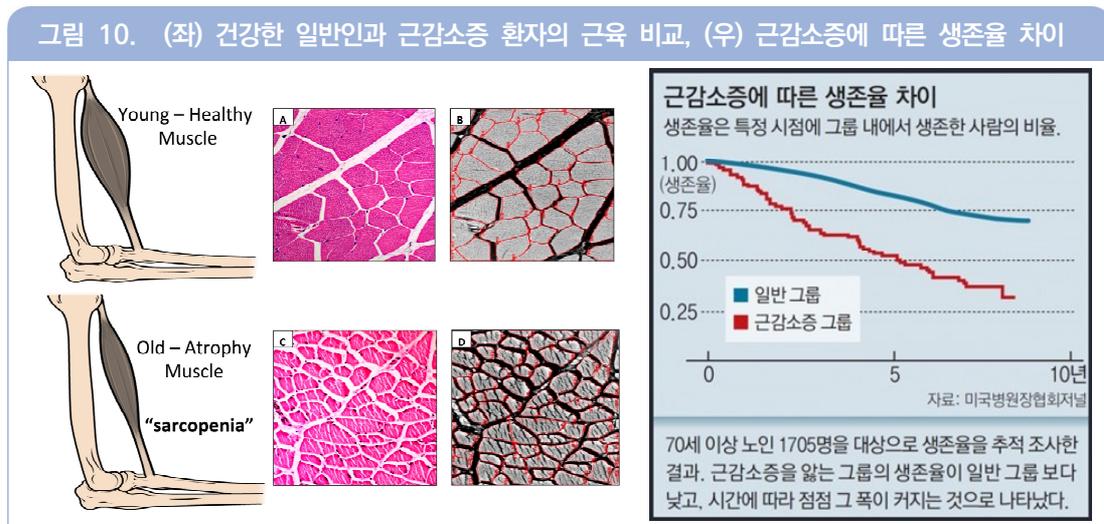
여성

자료: 대한노인병학회

출처 : 동아일보(2015.01.23.)

## 2.2. 근감소증

근감소증은 노화 등 다양한 이유로 몸의 근육량 및 근력이 비정상적으로 줄거나 약해져 신체활동이 원활하지 않은 상태를 말하며, 방치 시 골절, 낙상, 우울증, 비만, 제2 당뇨병, 심하면 사망에까지 이르게 하는 위험한 질병이다(Musumeci, 2017). 미국과 일본 정부는 근감소증을 질병으로 인정해 '질병 코드'를 부여하여 국가적 차원에서 관리하고 있다. 근감소증이 발생하면 근육이 줄어들어는 것뿐 아니라 뼈도 약해지며, 새로운 혈관, 신경이 생기는 것을 방해해 인지기능 저하를 유발하기도 한다.

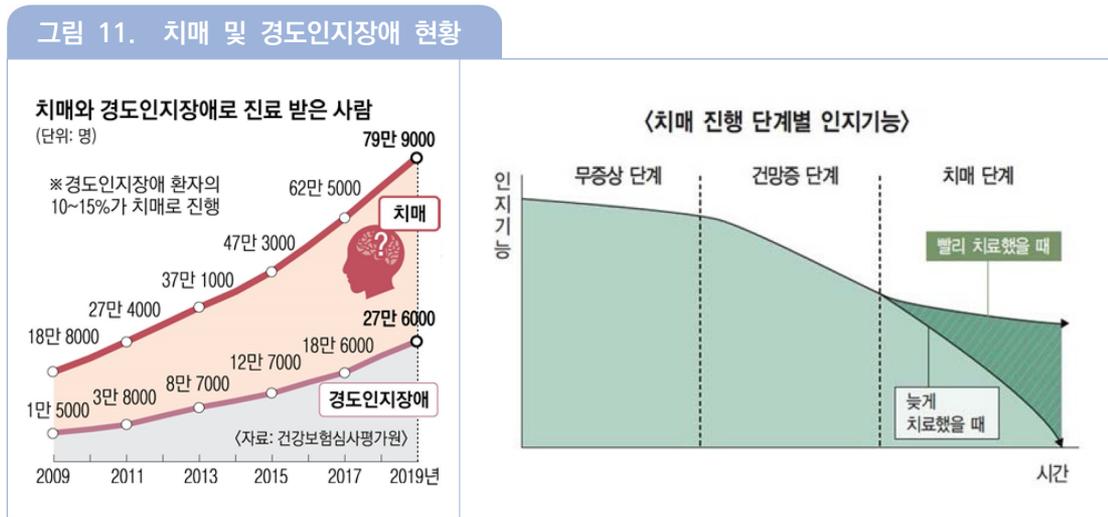


출처 : (좌) Journal of Functional Morphology and Kinesiology(2017), (우) 유로저널(2020)

## 2.3. 인지기능장애

전 세계적으로 빠르게 진행되는 고령화에 따라 인지기능장애 및 치매 노인의 수도 지속적으로 증가하고 있다. 인지기능은 뇌손상이나 뇌질환 등 다양한 원인에 의해 저하되거나 손상될 수 있다. 기억장애/판단장애/언어장애 등 인지기능 종류에 따라 이름이 붙여지고, 두 가지 이상의 인지기능이 저하되면 인지기능장애라 부른다(B. Winblad, 2004). 인지기능장애는 경도인지장애를 비롯한 다양한 종류의 치매증을 포함한다. 경도인지장애는 치매의 전단계이며 진단 기준상 기억력을 포함한 다른 영역의 인지기능 이상을 호소하지만 전반적으로는 문제가 없어 독립적인 생활을 유지하는 상태이다. 세계적으로 65세 이상의 노인 중 6-18%, 80세 이상의 경우 40% 이상의 노인이 인지기능장애를 가지는 것으로 드러났다(L. Ren, 2018).

한국의 경우 2019년 치매로 진료받은 수진자수는 80만 명으로 연평균 16%가 증가하고 있으며, 경도인지장애 수진자수는 27만 6,045명으로 최근 10년간 수진자수가 19배 수준으로 크게 증가하였다. 한국 노인의 치매 유병률은 8.7%, 경도인지장애는 24.1%로 경도인지장애를 가진 노인의 경우, 10%는 1년 뒤, 6년 후에는 80%가 치매로 나타나기 때문에 이를 시기적절하게 관리할 수 있는 디지털 헬스케어 기술이 절실히 필요한 상황이다(건강보험심사평가원, 2020).

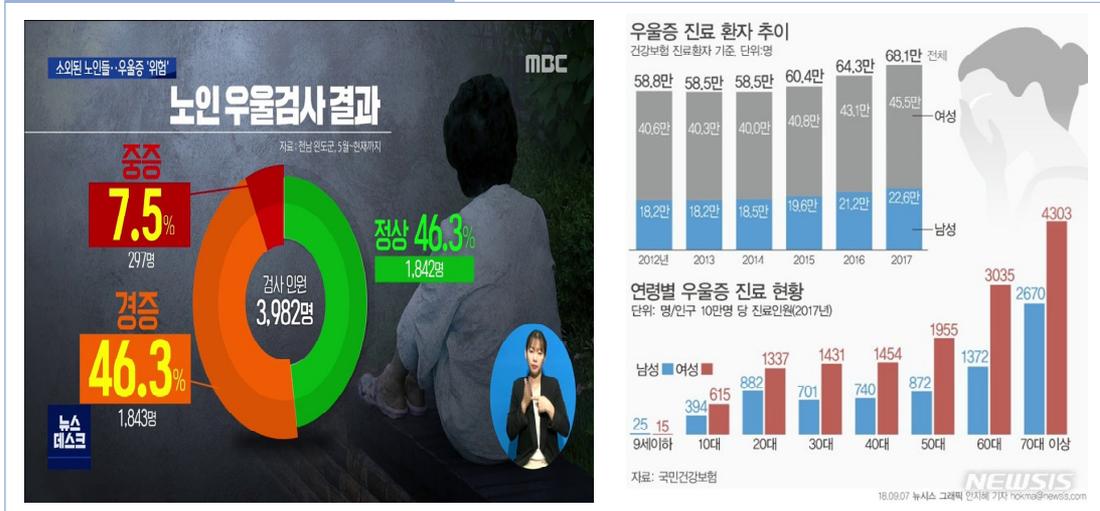


출처 : 백세시대(2019)

## 2.4. 우울증

우울증은 현대사회에서 가장 흔하면서도 심각한 정신건강 문제이며, 세계보건기구(WHO)는 2030년 인류에게 가장 큰 부담을 야기하는 질병 1위가 될 것으로 예측하였다. 특히 노년층의 우울증은 매우 심각한 수준으로 국내의 경우, 2014년 약 20만 명에서 2019년 약 31만 명으로 21.7% 증가하였고(연합뉴스, 2020.09.21.), 전체 우울증 환자 중 33.1%가 65세 이상의 고령자로 나타났다. 최근의 연구에서 노인 사망 원인의 25%가 정신적 장애라는 보고도 있었다. 노인성 우울증의 경우 기분의 저하나 의욕상실이 지속되어 일상생활에 심각한 지장을 주는 상태로 기억력 저하, 식욕부진, 무기력, 통증 등이 주증상이어서 단순한 노화로 착각하여 진단이 늦어지는 경우가 많으며 1차 의료에서 50% 이상 미진단 되는 경우가 많다. 또한 국내의 경우 노인 자살률이 OECD 평균의 3배로 디지털 헬스케어 기술을 활용한 우울증 관리 역시 매우 필수적인 요소 중 하나이다.

그림 12. 국내 노인 우울증 현황



출처 : (좌) MBC 뉴스(2020.07.08), (우) 중앙일보(2018)

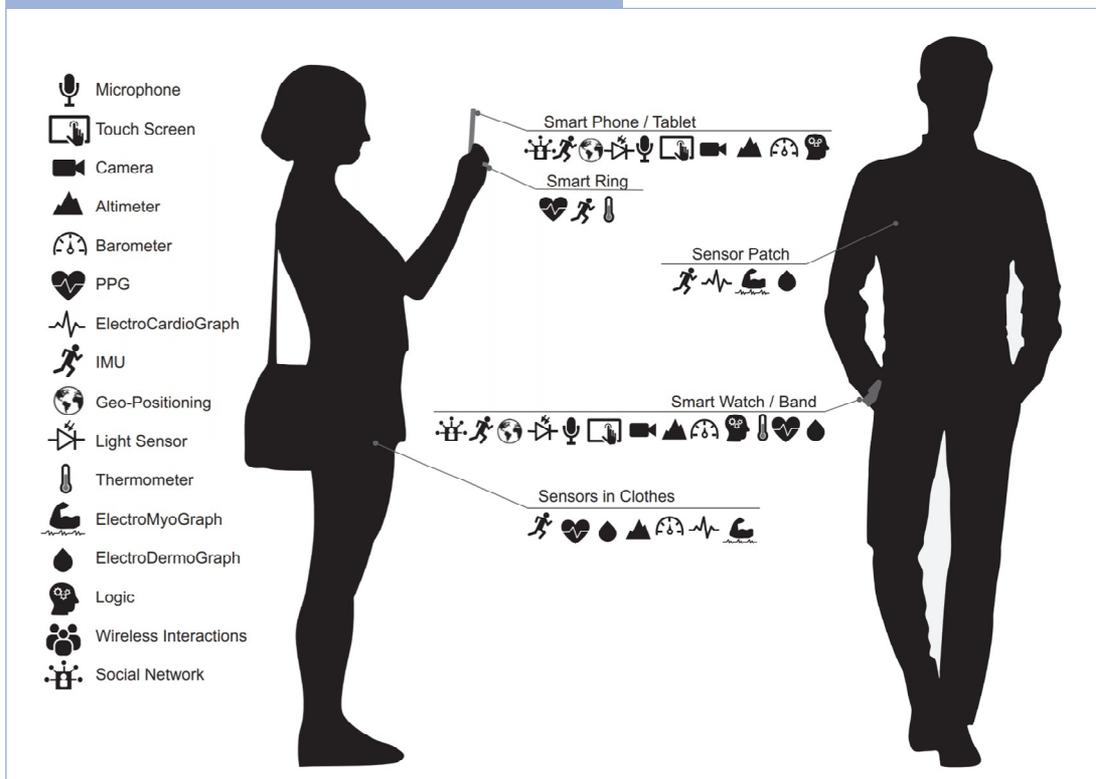
# IV 노인성 질환 예측 및 관리를 위한 디지털 헬스케어 기술 현황

## 1. 실버 디지털 헬스케어를 위한 데이터의 측정 및 확보

디지털 헬스케어는 데이터의 측정, 분석 및 통합, 그리고 정보의 원활한 제공 단계를 거쳐 구현될 수 있다. 이를 위해서 무엇보다 중요한 것은 웨어러블 센서, IoT, 스마트폰 등과 같은 디지털 기술로부터 측정된 생체 데이터의 확보일 것이다. ICT 기술의 발전은 스마트폰 및 웨어러블 센서의 급속한 발전으로 이어졌고, 내장되는 센서의 종류 또한 갈수록 다양해지며 정확해지고 있다. 이러한 디지털 기술의 발전으로 인해 예전에는 측정할 수 없었던 방대한 생체 데이터의 취득이 가능해졌다. 최근에 출시된 스마트폰에는 소셜네트워크, 가속도, 자이로스코프, 자지기센서를 포함한 관성센서, 글로벌 추적 시스템(GPS, Global Positioning System), 조도센서, 마이크, 카메라, 고도센서, 압력센서 및 온도센서 등 다양한 종류의 생체 데이터를 측정할 수 있는 센서들이 포함되어 디지털 헬스케어를 위한 핵심 기기로 변화하고 있다.

스마트폰과 마찬가지로 생체 신호를 실시간으로 정확하게 측정하기 위한 방법으로는 웨어러블 기기가 있다. 웨어러블 기기는 인체에 직접 착용할 수 있는 의료 또는 건강 모니터 전자 장비를 의미하며, 소프트웨어에 의해 감지, 기록, 분석, 조정, 또는 질병 치료나 건강 상태 유지에 도움을 주는 장비를 말한다. 웨어러블 센서는 인체에 비침습적으로 손쉽게 탈부착이 가능하고 측정된 데이터가 스마트폰과 연동이 가능하여 데이터의 취득 및 송수신을 손쉽게 가능하도록 하였다. 웨어러블 센서는 약세서리형에서 직물결합형으로, 최근에는 인체결합형으로 진화하며 발전하고 있으며, 대표적인 웨어러블 디바이스는 주로 손목, 머리, 의류, 발 및 신체 감각 제어 장치로 분류할 수 있으며, 이를 이용하여 개인 심전도, 활동량, 체온, 산소포화도, 수면의 질, 혈류, 호흡수, 피부전기반응 등 나아가서는 안압과 혈당까지 측정이 가능하다. 최근에는 미세전자기계시스템(MEMS, Micro Electro Mechanical Systems) 기술의 발달로 웨어러블 디바이스의 초소형화가 가능해지고 있으며 RFID(Radio Frequency Identification) 전파 인식, GPS, 센서, 가상현실, 증강현실 등의 기술과 융합되어 실시간 인터랙션이 가능하고, 빅데이터와 인터넷 클라우드 플랫폼을 통해 데이터를 수집하고 공유함으로써 우리의 건강과 생활에 점진적으로 적용되고 있다(Kourtis, 2019).

그림 13. 스마트폰과 웨어러블에 탑재된 센서들



출처 : Kourtis, L.(2019)

## 2. 실버 디지털 헬스케어 기술 현황

### 2.1. 노쇠 및 근감소증

세계보건기구(WHO)는 노쇠를 건강 노화를 방해하는 주적으로 규정하고 각국 정부의 예방 노력을 당부하고 있음에도 불구하고 노쇠 및 근감소증을 진단/관리하기 위한 기술은 이 질환들의 중요도에 비해서 활발히 이루어지지 않고 있다. 앞서 설명한 노쇠 진단을 위한 두 방법 모두 설문지 및 인터뷰를 통해 측정이 진행되기 때문에 노인에게 적절하고 타당한 설명을 해줄 수 있는 트레이닝된 의료 종사자를 필요로 하며, 과거의 진단 기록 및 다양한 병증에 대한 정보도 함께 제공되어야 하기 때문에 임상주의 개입이 필수적이다. 게다가 악력과 보행속도 등과 같은 운동 수행능력 측정을 위해 통제된 실험 환경이 필요하다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하고 노쇠를 보다 손쉽게 평가하기 위해 한국의 DYPHI사에서 AndanteFit을 개발하였다. AndanteFit은 카메라, 거리센서, 적외선 센서 등을 이용하여 정적 균형 검사, 보행속도검사, 의자에서 일어나기 검사를 진행한 후, 각 점수를 종합하여 신체 나이와 노쇠 지수 평가를 제공한다.

그림 14. 노인성 질환 예측 디바이스, AndanteFit



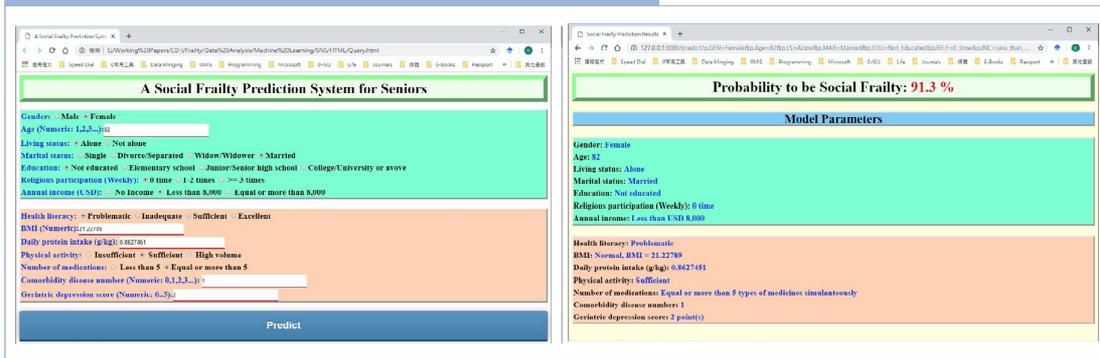
출처 : DYPHI사 홈페이지

최근의 연구들에 따르면 노인의 기본적인 정보 또는 보행과 같은 특정 행동 수행 패턴만을 이용하여 노쇠 및 근감소증 유무까지 파악하는 연구들이 다수 수행되고 있다.

대만의 I-Shou 대학에서 수행한 연구에 따르면 나이, 성별, 키, 몸무게, 교육년수, 수입, 결혼 여부, 약물복용정보, 종교 활동, 활동량 등 손쉽게 획득 가능한 노인의 기본적인 정보를 인공지능 모델에 입력한 결과, 신체적 노쇠의 경우 75% 이상, 사회적 노쇠 정도는 96% 이상으로 매우 정확히 노쇠의 분류가 가능하였다(Kuo, 2019). 호주의 Torrens 대학에서 수행한 연구에서는 나이, 성별, 질병정보, 인지기능 관련 정보, 영양, 행동학적 정보, 복약 정보 등 복합적인 70여 가지의 변인을 이용하여 노쇠를 75% 이상의 정확도로 예측할 수 있는 머신러닝 방법을 제시하였으며(R.C. Ambagtcheer, 2020), 이탈리아의 Turin 대학에서도 이와 유사한 여러 가지 혈액, 입원기록, 질병정보, 빈혈, 순환기계 질병 등 병원에서 측정 및 분석 가능한 정보를 이용하여

노쇠 상태와 관련된 사망률, 긴급입원, 장애, 골절 등의 정보를 79% 정확도로 예측하였다(Tarekegn, 2020). 뿐만 아니라 스페인의 Deusto 대학에서 수행한 연구에서는 병력, 약리학, 심리 검사, 동반 질환, 신체 기능적 능력, 영양 결핍 정보, 생화학 및 사회 인구 통계 데이터를 고려하는 99개의 변수와 머신러닝 기법을 이용하여 노인의 근감소증 여부를 83% 이상의 정확도로 예측하였다(Castillo-Olea, 2020).

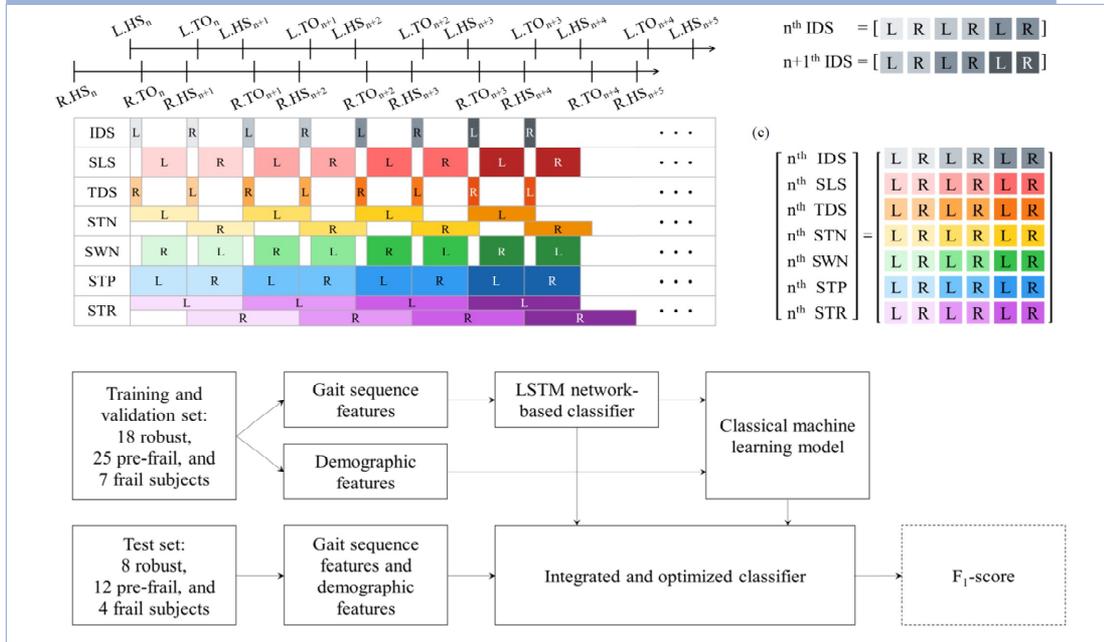
그림 15. 신체적 노쇠 및 사회적 노쇠 예측 시스템



출처 : Kuo(2019)

웨어러블 센서를 이용한 연구로는 가속도센서를 이용하여 48시간 동안 노인이 일상생활을 하는 중 보행 시간 파라미터의 변동성, 대칭성, 규칙성 등을 인공지능 모델에 입력 및 이를 활용하여 노쇠 및 건강한 노인을 구분하였다. 본 연구에서는 76.8%의 민감도와 80%의 특이도로 노쇠 분류가 가능하였다(Kumar, 2019). 현재까지 노쇠 진단을 위해 진행된 연구 중 가장 좋은 성능을 나타낸 연구는 보행의 시간적 파라미터를 딥러닝에 입력하여 활용한 연구이다. 노인 의학에서 보행은 혈압, 맥박, 호흡수, 체온, 체중 다음으로 제6의 활력 징후(vital sign)로 여겨질 만큼 노인성 질환과의 연관성이 깊다. 이 연구에서는 보행 시 양발이 땅에 붙고 떨어지는 시간 정보를 이용하여 보행을 입각기, 유각기, 단하지지지기, 양하지지지기, 걸음시간, 활보시간 등으로 세분화하였고, 이렇게 추출된 연속된 세 걸음의 시간정보를 장단기 메모리 네트워크의 입력으로 제공하였다. 본 연구는 건강한 사람과 노쇠를 가진 사람의 두 그룹만을 분류하는 이진분류에 국한되지 않고, 전노쇠를 포함한 다중 분류 모델을 제시하였으며, 건강한 노인, 전노쇠, 노쇠 세 그룹을 93% 이상 정확히 분류함으로써 노쇠 조기진단 및 예측 연구의 새로운 가능성을 보여주었다(Jung, 2021).

그림 16. 연속 세걸음의 보행 시간 변인 및 장단기메모리 네트워크를 이용한 노쇠 예측



출처 : Jung(2021)

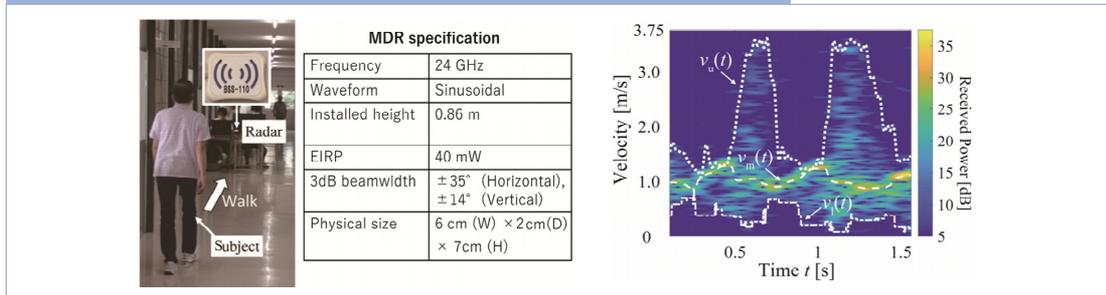
노쇠와 유사하게 보행 패턴을 이용한 근감소증 판별 연구도 있다. 이 연구에서는 보행의 시간적 변인뿐만 아니라 활보, 활보 속도, 가속도 및 각속도 센서의 세부 보행 구간별 최대, 최소, 평균, 분산 등 다양한 공간적 변인을 동시에 활용하여 근감소증 여부를 95% 이상의 정확도로 분류하였다(Kim, 2021).

## 2.2. 인지기능장애

노령화가 진행될수록 노인의 인지기능은 급격히 저하되기 시작한다. 인지기능장애의 치료를 위해서는 시기적절한 진단이 매우 중요하다. 노인의 인지기능이 진단되지 않거나 치료되지 않으면 시간이 지남에 따라 급속히 증상이 악화되어 삶의 질이 저하되고, 수명이 감소하며, 낙상 관련 부상, 영양실조, 간질성 발작으로 인한 사망률이 급격히 증가한다. 그럼에도 불구하고 대다수 노인의 인지기능장애 진단은 종종 미진단되거나 단순한 노화로 착각하여 진단이 늦어지는 경우가 존재한다. 미국의 한 연구에 따르면 의사들은 인지기능장애 환자의 40% 이상에서 병증을 인지하지 못했다고 보고했으며, 50%가 넘는 노인이 인지기능장애의 종점인 치매 단계에 이르기까지 의사를 통한 인지기능 평가를 받지 못했던 것으로 드러났다(Kotagal, 2015). 이러한 이유 때문에 일상생활 속에서 디지털 헬스케어 기술을 활용한 인지기능장애의 예측 및 진단이 절실히 요구되고 있다.



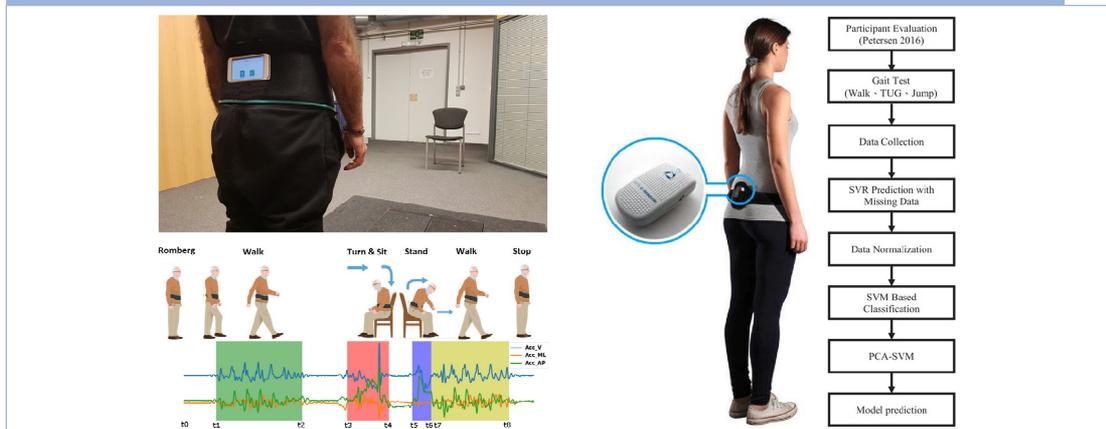
그림 18. Micro-Doppler 레이더를 이용한 인지기능장애 분류



출처 : Saho(2019)

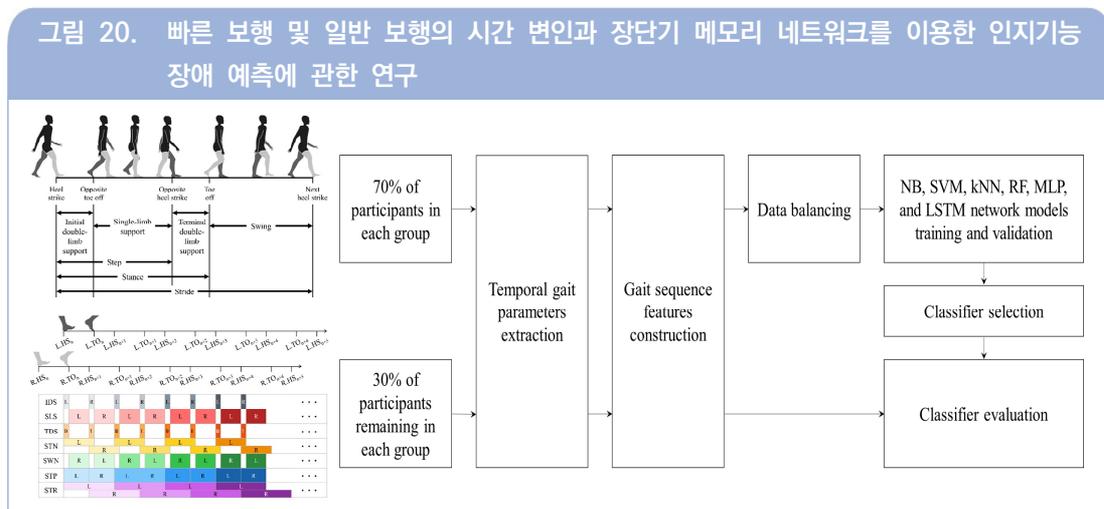
스페인에서는 피험자의 허리 뒤에 스마트폰을 부착하고 신체 중심의 앞뒤, 좌우 이동 정보 및 앉았다 일어나기, 걷기, 회전하기 등의 동작을 수행할 때 무게중심의 이동 정보를 취득하여 알츠하이머 치매를 가진 노인과 건강한 노인의 차이를 관찰하였다. 이 연구에서는 알츠하이머 환자의 보행, 돌기, 앉기, 앉았다 일어서기, 반응시간 등에서 일반인과 유의미한 차이가 있었다고 보고하였다(Serra-Añó, 2019). 이러한 연구의 연장선으로 대만의 MacKay Memorial 병원에서는 허리 뒤에 IMU(Inertial Measurement Unit, 관성 측정 장치) 센서 기반의 움직임 측정 센서(G-WALK)를 부착하여 보행 및 점프 등 다양한 동작을 수행하게 한 후 취득된 동작 변인을 입력으로 하는 머신러닝 기법을 이용하여 경도인지장애를 가진 노인 중 파킨슨병이 있는 노인과 없는 노인을 91.67%의 정확도로 분류하였다(Chen, 2020).

그림 19. 스마트폰 및 IMU 센서를 이용한 치매와 인지기능장애 및 파킨슨병 예측 연구



출처 : (좌) Serra-Añó(2019), (우) Chen(2020)

가장 최근의 연구로는 일반보행 및 빠른 보행 시 보행의 시간 파라미터를 장단기 메모리 네트워크의 입력으로 동시에 활용하여 비인지장애/경도인지장애/중증인지장애 위험군을 F1 스코어 기준으로 0.974의 높은 정확도로 분류하였다. 이 연구에서는 일반속도 및 빠른 속도의 보행 시 각 세걸음 동안의 보행 시간 변인을 동시에 이용하여 임상 환경이 아닌 일상생활 중 전문가의 도움 없이 인지기능장애의 조기 진단을 가능하게 하는 새로운 기법을 제시함으로써 실버 디지털 헬스케어를 이용한 인지기능장애 진단의 새로운 가능성을 제시하였다 (Jung, 2021). 이 연구에서 개발된 모델을 사용하면 스마트 인솔, 가속도 센서, 보행 영상 등 보행의 시간 변인을 측정할 수 있는 어떠한 센서 및 영상을 사용하더라도 경도인지장애 및 중증인지장애의 위험성을 정확하게 예측 가능할 것으로 기대된다.

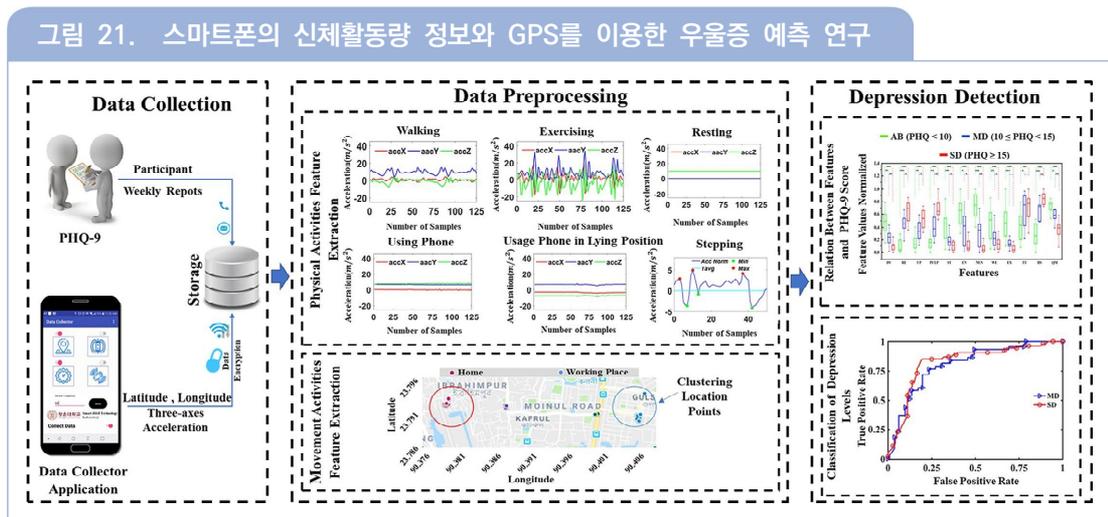


출처 : Jung(2021)

### 2.3. 우울증

미국의 노스웨스턴 대학에서는 스마트폰의 사용 패턴을 분석함으로써 사용자가 우울증 증상이 있는지 86.5%의 정확도로 판단 할 수 있었다. 연구진은 28명의 대학생을 대상으로 총 2주 동안 사용자가 얼마나 다양한 장소를 방문했는지, 방문 장소에서 보낸 시간의 다양성, 집에 머무는 시간, 생활 규칙성, 활동량, 전화사용 빈도 및 시간 등을 활용하여 우울한 사람과 우울하지 않은 사람을 구분하였다(Saeb, 2015). 웨어러블을 이용한 노인성 우울증의 경우 손목 착용형 웨어러블 디바이스를 이용하여 건강한 노인과 일상생활을 비교하였을 때, 신체 활동량이 줄어들고, 동작의 정확성이 떨어지며, 일상생활 능력 및 삶의 질이 저하된다는 사실을 발견하였다

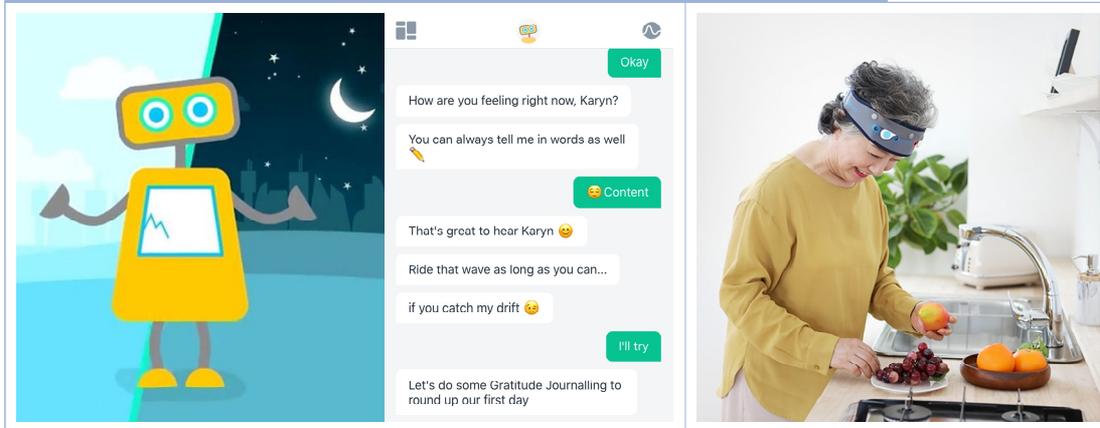
(O'Brien, 2017). 이와 유사하게 2020년 일본의 Keio 대학에서는 우울증 예측을 위해 걸음 수, 에너지 소비량, 신체 움직임, 수면시간, 심박률, 피부온도, 자외선 노출량 등이 제공되는 손목 착용형 웨어러블 디바이스를 이용하여 우울증 정도를 76%의 정확도로 예측하였다(Tazawa, 2020). 한국의 강원대학교에서 수행한 연구에서는 스마트폰의 가속도 센서로부터 추출된 신체 활동량 정보와 GPS로부터 추출된 움직임 패턴을 인공지능 모델의 입력으로 하여 우울증을 87.2%의 정확도로 분류하였다(Masud, 2020).



출처 : Masud(2020)

우울증 치료를 위한 디지털 헬스케어 기술로는 스탠퍼드 대학의 심리학 전문가들이 창업한 치료용 챗봇 스타트업이 있다. 챗봇은 인공지능이 우울증 환자에게 채팅으로 인지 행동 치료를 제공하며 임상적 검증을 완료하였다(Clive Thompson, 2018). 국내의 경우, 와이브레인 사에서 개발한 MINDD STIM은 미세 전류를 통해 뇌를 자극하는 방식으로 항우울제와 유사한 효과를 내어 우울증을 치료한다. 이러한 웨어러블 기기를 통해 병원 의사의 지도 하에 자극 정도를 설정하고 병원에서는 물론 가정에서 자극 모듈을 대여하여 사용할 수도 있다. 뿐만 아니라 기기 사용 이력을 병원에서도 확인할 수 있어 환자의 순응도 또한 관리가 가능하다(민태원, 2019).

그림 22. (좌) 우울증 치료를 위한 챗봇, (우) 와이브레인 우울증 치료기



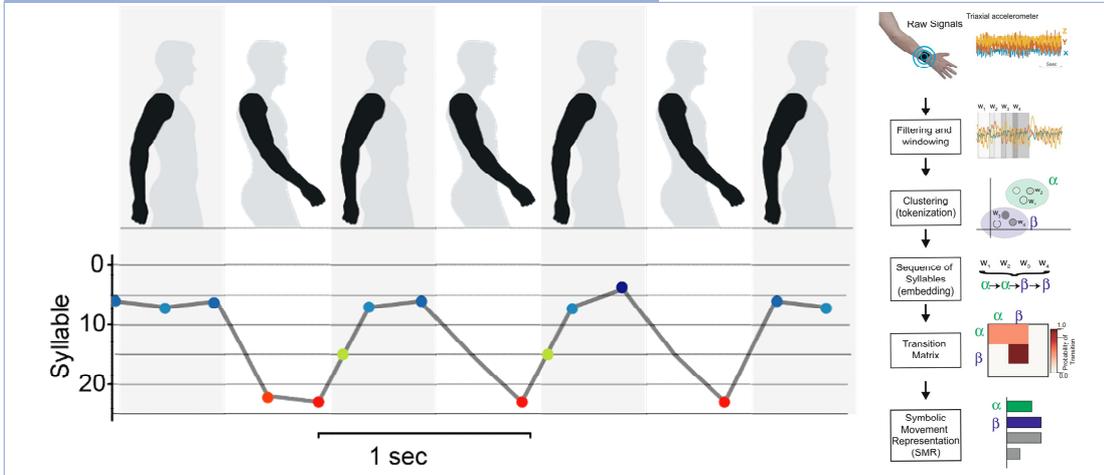
출처 : (좌) Clive Thompson(2018), (우) 민태원(2019)

#### 2.4. 기타 노인성 질환

지금까지 노쇠, 근감소증, 인지기능장애 및 우울증 등 선정된 대표 노인성 질환을 예측할 수 있는 기술 및 연구 동향을 살펴보았다. 추가적으로 파킨슨병, 부정맥과 같은 심혈관 질환, 그리고 혈압 관리를 위한 디지털 헬스케어 기술을 간단히 소개하고자 한다.

파킨슨병은 중뇌의 도파민 신경 세포가 파괴되면서 발생하는 대표적인 퇴행성 뇌 질환 중 하나이다. 파킨슨병은 병이 진행될수록 환자는 물론 보호자의 부담이 알츠하이머병 이상으로 커지기 때문에 정확하고 빠른 진단법이 필요하다. 이러한 이유로 국내외에서는 파킨슨병 진행 정도를 예측하는 다양한 연구가 진행 중이다. 최근 IBM사에서 인공지능 기술을 이용해 파킨슨병 환자의 움직임을 분석하여 파킨슨병 진단뿐만 아니라 병증의 진행 정도를 파악할 수 있다는 연구 결과를 발표하였다. 본 연구에서는 보행 시 팔의 움직임이 일반인과 파킨슨병 환자 사이에 차이가 있음을 이용하여 질병의 진행 정도를 비지도 학습을 통해 예측하였다. 이 모델은 파킨슨병 환자의 점점 산만해지고 변동성이 커지는 팔 움직임 사이의 전환을 포착해 파킨슨병 환자의 보행 장애와 심각성을 추정할 수 있었다(Abrami, 2020).

그림 23. IMB에서 개발한 파킨슨병 진단 알고리즘



출처 : Abrami(2020)

심혈관 질환의 경우, 스탠포드 대학에서는 딥러닝을 이용한 다양한 종류의 부정맥 진단을 전문의 수준의 정확도로 분류 가능한 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서는 약 5만 3,000명의 환자에서 얻은 9만여 건의 심전도 데이터를 딥러닝을 이용하여 학습하여 딥러닝이 심장내과 전문의보다 더 나은 정확도로 부정맥을 판단하였다(Hannun, 2019). 이러한 알고리즘과 최근 활발히 개발되고 있는 손목 착용형 웨어러블 심전도 센서를 활용한다면 일상생활에서 상시적으로 부정맥을 진단하고 질병 발생 시 빠르게 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

디지털 헬스케어를 이용한 혈압 관리를 위해서, 최근에는 삼성에서 혈압측정이 가능한 스마트워치가 개발되었다. 고혈압은 특별한 증상이 없어 방치하면 뇌, 심장 합병증으로 사망에 이를수 있고, 하루에서 수시로 수치가 변할 수 있기 때문에 주기적으로 측정해야 한다. 이 스마트워치는 발광 다이오드 빛을 손목 혈관에 비취 조직을 통과하는 혈액량을 센서로 측정하는 광 혈류측정(PPG, Photoplethysmography) 기법을 사용한다. 먼저 커프형 혈압계를 통해 측정된 기준 혈압 정보가 있으면 측정된 혈류 측정 값을 비교·분석해 혈압을 실시간으로 분석하여 알려줄 수 있다(이금국, 2021). 이렇게 다양한 디지털 헬스케어 기술을 이용하여 노인성 질환들이 실시간으로 진단, 관리, 예방할 수 있는 시대가 점점 가까워지고 있다.

그림 24. 손목 착용형 웨어러블을 이용한 혈압 측정



출처 : 헬스조선(2021.02.16.)

## V 결론

앞서 살펴본 바와 같이 디지털 기술의 발전에 힘입어 인체에서 생성되는 수많은 종류의 생체 및 행동 데이터를 병원에서는 물론 일상에서도 사용자의 상태를 지속적·정량적으로 획득할 수 있게 되었다. 디지털 헬스케어 기술을 이용하여 노인의 노쇠, 근감소증, 인지기능장애, 우울증을 포함한 당뇨, 파킨슨병, 부정맥 등 다양한 노인성 질환의 위험도 및 조기 검출이 가능한 시대가 곧 도래할 듯하다. 하지만 이것만으로 어떠한 질환에 언제 어떻게 걸리게 될지, 언제 질환이 재발하게 될지, 현재 가지고 있는 질환의 치료 효과 및 예후 그리고 복합적 질환을 종합적으로 예측하고 선제적으로 대응하기에는 무리가 있어 보인다. 사용자의 건강 및 질병 상태를 판단하고 선제적으로 대응하기 위해서는 사용자의 종합적인 데이터를 코호트 연구를 통해 장기간에 걸쳐 측정하고 수집·분석하는 것이 필수적이다. 그러나 실제 사용자의 모든 데이터가 획득된다 하더라도 스마트폰, 웨어러블 디바이스 및 병원 진단 데이터로부터 들어오는 다양한 데이터의 정형화 문제, 측정기기 및 센서의 상이함에 따른 정확도 문제, 그리고 병원 간 전자의무기록 사이의 호환성 문제도 존재한다. 뿐만 아니라 전 세계적으로 디지털 헬스케어 시장에 구글, 애플, 마이크로소프트, IBM, 버라이즌, 쉐프린 등 유수의 기업들이 진출하고 있음에도 불구하고 기대와는 달리 아직 디지털 헬스케어 시장의 높은 장벽과 규제로 인해 구체적인 수익 모델을 만드는 것은 현실적으로 많은 어려움이 있어 보인다. 또한 기술의 발전이 너무나 빠른 현대에서 분류가 어려운 서비스 및 기기가 계속해서 등장하고 있기 때문에 기술과 규제 및 보안 정책의 간극을 줄이는 노력 또한 요구된다. 이 이슈들을 현명하게 해결할 수 있다면, 디지털 헬스케어의 발전이 노인성 질환을 예측, 관리, 치료하는데 주는 혜택을 극대화할 수 있을 것이다. 디지털 기술이 바꾼 헬스케어의 변화의 물결 속에서 노인 건강 수명의 연장이라는 주어진 과제에 어떻게 대처해 나갈지 고민하며 주어진 과제를 하나하나 해결해 나가야 할 때다.

저자 \_ 문경률(Kyung-Ryoul Mun)

### • 학력

National University of Singapore  
Biomedical Engineering 박사

### • 경력

現) 한국과학기술연구원 선임연구원  
現) 경희대학교 KHU-KIST 융합과학기술학과 겸임교수

## 참고문헌

### 〈국내문헌 : 가나다순〉

- 1 건강보험심사평가원 보도자료. (2020). 노인 10명당 1명이 치매, 치매 예방 조기검진이 필수입니다.
- 2 김지은·황정민·홍영주·김수경. (2021). 디지털헬스 산업분석 및 전망 연구, 한국보건산업진흥원.
- 3 디지털 헬스. (2019). 美 사회에 해법을 제시하다, KOTRA 해외시장동향.
- 4 이윤환. (2015). 근거중심의 노쇠 예방. J Korean Geriatr Soc, 19(3), 121-129.
- 5 정경희·오영희·강은나·김경래·이윤경·오미애·황남희·김세진·이선희·이석구·홍송이. (2017). 2017년도 노인 실태조사, 한국보건사회연구원.
- 6 조주연. (2005). 노화의 임상적 의의 및 노인 질환의 특징, 대한의사협회.
- 7 최윤섭. (2021). 디지털 헬스케어: 의료의 미래.
- 8 통계청. (2020). 2020 고령자 통계.
- 9 한국과학기술기획평가원. (2020). 과학기술&ICT 정책·기술 동향, No.168.

### 〈국외문헌 : 알파벳순〉

- 10 Abrami, A., Heisig, S., Ramos, V., Thomas, K. C., Ho, B. K., & Caggiano, V. (2020). Using an unbiased symbolic movement representation to characterize Parkinson's disease states. Scientific reports, 10(1), 1-12.
- 11 Ambagtsheer, R. C., Shafiabady, N., Dent, E., Seiboth, C., & Beilby, J. (2020). The application of artificial intelligence (AI) techniques to identify frailty within a residential aged care administrative data set. International journal of medical informatics, 136, 104094.
- 12 Boettcher, L. N., Hssayeni, M., Rosenfeld, A., Tolea, M. I., Galvin, J. E., & Ghoraani, B. (2020, July). Dual-Task Gait Assessment and Machine Learning for Early-detection of Cognitive Decline. In 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 3204-3207). IEEE.
- 13 Castillo-Olea, C., Garcia-Zapirain Soto, B., & Zuñiga, C. (2020). Evaluation of prevalence of the sarcopenia level using machine learning techniques: case study in Tijuana Baja California, Mexico. International journal of environmental research and public health, 17(6), 1917.
- 14 Chen, P. H., Lien, C. W., Wu, W. C., Lee, L. S., & Shaw, J. S. (2020). Gait-Based Machine Learning for Classifying Patients with Different Types of Mild Cognitive Impairment. Journal of medical systems, 44(6), 1-6.
- 15 Clive THompson, "May A.I. Help You?", The New York Times, 2018, <https://www.nytimes.com/interactive/2018/11/14/magazine/tech-design-ai-chatbot.html>
- 16 Giuseppe Musumeci, 2017, Sarcopenia and Exercise "The State of the Art", Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 2(40), <https://www.mdpi.com/2411-5142/2/4/40/htm>

- 17) Hannun, A. Y., Rajpurkar, P., Haghpanahi, M., Tison, G. H., Bourn, C., Turakhia, M. P., & Ng, A. Y. (2019). Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nature medicine*, 25(1), 65–69.
- 18) Jung, D., Kim, J., Kim, M., Won, C. W., & Mun, K. R. (2021). Frailty Assessment Using Temporal Gait Characteristics and a Long Short-Term Memory Network. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.
- 19) Jung, D., Kim, J., Kim, M., Won, C. W., & Mun, K. R. (2021). Classifying the Risk of Cognitive Impairment Using Sequential Gait Characteristics and Long Short-Term Memory Networks. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.
- 20) Kim, J. K., Bae, M. N., Lee, K. B., & Hong, S. G. (2021). Identification of Patients with Sarcopenia Using Gait Parameters Based on Inertial Sensors. *Sensors*, 21(5), 1786.
- 21) Kotagal, V., Langa, K. M., Plassman, B. L., Fisher, G. G., Giordani, B. J., Wallace, R. B., ... & Foster, N. L. (2015). Factors associated with cognitive evaluations in the United States. *Neurology*, 84(1), 64–71.
- 22) Kourtis, L. C., Regele, O. B., Wright, J. M., & Jones, G. B. (2019). Digital biomarkers for Alzheimer's disease: the mobile/wearable devices opportunity. *NPJ digital medicine*, 2(1), 1–9
- 23) Kumar, D. P., Toosizadeh, N., Mohler, J., Ehsani, H., & Laksari, K. (2019). Sensor-based Characterization of Daily Walking: A New Paradigm in Frailty Assessment.
- 24) Kuo, K. M., Talley, P. C., Kuzuya, M., & Huang, C. H. (2019). Development of a clinical support system for identifying social frailty. *International journal of medical informatics*, 132, 103979.
- 25) Masud, M. T., Mamun, M. A., Thapa, K., Lee, D. H., Griffiths, M. D., & Yang, S. H. (2020). Unobtrusive monitoring of behavior and movement patterns to detect clinical depression severity level via smartphone. *Journal of biomedical informatics*, 103, 103371.
- 26) Mohler, M. J., Fain, M. J., Wertheimer, A. M., Najafi, B., & Nikolich-Zugich, J. (2014). The Frailty syndrome: clinical measurements and basic underpinnings in humans and animals. *Experimental gerontology*, 54, 6–13.
- 27) Musumeci, G. (2017). Sarcopenia and exercise “The State of the Art”. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2(4), 40.
- 28) O'Brien, J. T., Gallagher, P., Stow, D., Hammerla, N., Ploetz, T., Firkbank, M., ... & Olivier, P. (2017). A study of wrist-worn activity measurement as a potential real-world biomarker for late-life depression. *Psychological medicine*, 47(1), 93–102.
- 29) Ren, L., Zheng, Y., Wu, L., Gu, Y., He, Y., Jiang, B., ... & Li, J. (2018). Investigation of the prevalence of cognitive impairment and its risk factors within the elderly population in Shanghai, China. *Scientific reports*, 8(1), 1–9.
- 30) Saeb, S., Zhang, M., Karr, C. J., Schueller, S. M., Corden, M. E., Kording, K. P., & Mohr, D. C. (2015). Mobile phone sensor correlates of depressive symptom severity in daily-life behavior: an exploratory study. *Journal of medical Internet research*, 17(7), e175.

- 31)** Saho, K., Uemura, K., Sugano, K., & Matsumoto, M. (2019). Using micro-Doppler radar to measure gait features associated with cognitive functions in elderly adults. *IEEE Access*, 7, 24122–24131.
- 32)** Serra-Añó, P., Pedrero-Sánchez, J. F., Hurtado-Abellán, J., Inglés, M., Espí-López, G. V., & López-Pascual, J. (2019). Mobility assessment in people with Alzheimer disease using smartphone sensors. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 16(1), 1–9.
- 33)** Siuly, S., Alçin, Ö. F., Kabir, E., Şengür, A., Wang, H., Zhang, Y., & Whittaker, F. (2020). A new framework for automatic detection of patients with mild cognitive impairment using resting-state EEG signals. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(9), 1966–1976.
- 34)** Tarekegn, A., Ricceri, F., Costa, G., Ferracin, E., & Giacobini, M. (2020). Predictive modeling for frailty conditions in elderly people: machine learning approaches. *JMIR medical informatics*, 8(6), e16678.
- 35)** Walston, J., Hadley, E. C., Ferrucci, L., Guralnik, J. M., Newman, A. B., Studenski, S. A., ... & Fried, L. P. (2006). Research agenda for frailty in older adults: toward a better understanding of physiology and etiology: summary from the American Geriatrics Society/National Institute on Aging Research Conference on Frailty in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 54(6), 991–1001.
- 36)** Tazawa, Y., Liang, K. C., Yoshimura, M., Kitazawa, M., Kaise, Y., Takamiya, A., ... & Kishimoto, T. (2020). Evaluating depression with multimodal wristband-type wearable device: screening and assessing patient severity utilizing machine-learning. *Heliyon*, 6(2), e03274.
- 37)** Winblad, B., Palmer, K., Kivipelto, M., Jelic, V., Fratiglioni, L., Wahlund, L. O., ... & Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment—beyond controversies, towards a consensus: report of the International Working Group on Mild Cognitive Impairment. *Journal of internal medicine*, 256(3), 240–246.

#### 〈기타문헌 : 마지막순서(홈페이지주소 등)〉

- 38)** 강민경. (2020.09.21.). "노인 정신질환 10년새 5배 증가...90세 이상은 '폭증' 수준". 연합뉴스. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200920049900001>
- 39)** 강세훈. (2018.09.09.). 우울증 '70대 여성' 가장 많아...女, 남성의 두배. 중앙일보. <https://news.joins.com/article/22954212>
- 40)** 김영은. (2020.11.12.). [그래픽] 65세 이상 노인진료비 추이. 연합뉴스. <https://www.yna.co.kr/view/GYH20201112001200044>
- 41)** 김용대. (2017). 남성 고기, 여성 우유 섭취 적으면 근감소증 위험 증가. 유로저널. [http://eknews.net/xe/?mid=kr\\_politics&liststyle=viewer&page=16&document\\_srl=560288&listStyle=viewer](http://eknews.net/xe/?mid=kr_politics&liststyle=viewer&page=16&document_srl=560288&listStyle=viewer)
- 42)** 민태원. (2019.09.16.). 하루 30분씩 뇌에 전기 흘려 줬더니...최기 치매 증상 개선. 국민일보. <http://m.kmib.co.kr/view.asp?arcid=0013715175>

- 43) 박정렬. (2017.03.20.). [실버 건강, 지켜야 산다] #2 고령자에게엔 암보다 무서운 노쇠. 중앙일보 헬스미디어. [https://jhealthmedia.joins.com/article/article\\_view.asp?pno=18416](https://jhealthmedia.joins.com/article/article_view.asp?pno=18416)
- 44) 유근형. (2015.01.23.). [2015 건강 리디자인] '서있기-걷기-일어서기'만 체크해도 '노화 신호' 보여요. 동아일보. <https://www.donga.com/news/Society/article/all/20150123/69238938/1>
- 45) 이금숙. (2021.02.16.). 고혈압 진단 '게임체인저' 될까? 스마트워치의 '도전'. 헬스조선. [https://health.chosun.com/site/data/html\\_dir/2021/02/16/2021021602378.html](https://health.chosun.com/site/data/html_dir/2021/02/16/2021021602378.html)
- 46) 이수연. (2019.08.23.). [백세시대 / 치매를 알자 4] 치매를 일찍 발견하면 어떤 점이 좋은가요?. 백세시대. <https://www.100ssd.co.kr/news/articleView.html?idxno=63640>
- 47) 유튜브. (2020). 코로나19로 고립된 노인들..우울증 '위험' [목포MBC 뉴스데스크]. [https://www.youtube.com/watch?v=sfMCaWTaP\\_o](https://www.youtube.com/watch?v=sfMCaWTaP_o)
- 48) Abbas Dhilawala. (2019). What is Digital Healthcare and How Does it Affect Patient Care?. Galen Data. <https://www.galendata.com/digital-healthcare-future-healthcare/>
- 49) DYPHI사 홈페이지 <https://www.dyphi.com/>
- 50) Fred Donovan. (2019.06.28.). Advanced Technologies Fueling Digital Healthcare Revolution. Xtelligent Healthcare Media HIT Infrastructure. <https://hitinfrastructure.com/news/advanced-technologies-fueling-digital-healthcare-revolution>
- 51) Object Box. (2020.12.06.). Digital Healthcare – a look at the market, projections, and trends with in-depth white paper. <https://objectbox.io/digital-healthcare-market-2020-stats-projections-and-trends/>



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 June vol.7 no.6



# 02

## 디지털치료제 지식생산 및 산업 경쟁력 방향

김문구(한국전자통신연구원 책임연구원)  
박종현(한국전자통신연구원 책임연구원)

# I 서론

고령화 사회와 함께 코로나-19의 장기화가 지속되면서 건강관리의 중요성이 증대되고 인공지능(AI, Artificial Intelligence), 빅데이터, 가상현실(VR, Virtual Reality) 등 첨단기술의 발전이 가속화되면서 의료와의 접목을 통한 디지털 헬스케어에 대한 수요가 확대되고 있다. 특히, 코로나-19로 인한 이동제한 및 사회적 거리두기 등의 조치에 따른 비대면 사회에 대한 경험은 의료체계 또한 비대면 디지털 방식을 통해 질병의 예방, 치료, 관리 등에 관한 관심 증대로 이어지고 있다. 이에 따라 시간과 장소의 제약 없이 스마트 기기, VR, 게임 등을 활용한 데이터 기반 질병을 치료하는 디지털치료제(DTx, Digital Therapeutics)에 대한 관심과 가치가 빠르게 증가하고 있다. 디지털치료제는 소프트웨어 프로그램을 활용해 질병 치료에 직·간접적인 개선 효과를 줄 수 있는 기존 의약품 방식에서 벗어난 디지털 방식의 새로운 치료제라 할 수 있다. 이러한 디지털치료제는 정보통신기술(ICT, Information and Communications Technology)과 의료가 융합된 새로운 성장 산업으로 주목받고 있으며, 디지털기기와 소프트웨어를 사용해 환자를 치료하는, 새롭게 등장한 방식으로 미래 의료 패러다임 대전환의 신호탄이 될 것으로 기대된다.

의료 패러다임의 새로운 변화를 촉발한 디지털치료제는 AI와 빅데이터 기반 개인 맞춤형 치료제에 대한 개발 기대감이 커지고 만성질환에서 신경정신질환에 이르는 다양한 질병 치료가 가능해지며 치료 효과에 대한 기대가 증대됨에 따라 연평균 약 20%의 빠른 성장을 통해 시장 규모가 크게 확대될 것으로 전망된다. 디지털치료제는 기존 신약개발에 비해 짧은 개발기간과 비용 절감이 가능하며, 비대면 방식으로 제공되어 환자의 의료 접근성 향상과 데이터 기반 실시간 환자 모니터링으로 의사와 환자 간 양방향 소통 등 다양한 편익이 예상됨에 따라 의료 시장에서의 공급과 수요가 모두 빠르게 증가할 것으로 전망된다. 또한, 2021년 1월에 개최된 CES(Consumer Electronics Show)에서도 Akili Interactive, WellDoc, Propellar Health 등 다수의 기업이 참가해 과잉행동장애(ADHD, Attention Deficit Hyperactivity Disorder), 당뇨, 수면장애, 호흡기질환 등을 치료할 수 있는 다양한 종류의 디지털치료제가 소개되어 많은 관심을 받았다.

디지털치료제의 성장 가능성에 대한 높은 기대는 기업과 정부 보건기관의 협력을 통해 디지털치료제의 시장 진입을 가속하고 있다. 디지털치료제의 선도국가인 미국은 식품의약국(FDA, Food and Drug Administration)이 2017년 세계 최초로 약물중독 환자를 대상으로 한 인지행동치료 앱인 Pear Therapeutics사의

reSET 제품 승인을 허가하였으며, 이후 다양한 질병 영역에서 디지털치료제 개발이 활발히 진행되고 있다. 우리나라는 현재까지 정부로부터 승인받은 디지털치료제가 없지만, 벤처 및 스타트업을 중심으로 임상이 진행되거나 개발되고 있어 향후 디지털치료제 보급이 크게 확대될 것으로 기대된다.

미국을 비롯한 주요국은 디지털치료제 산업 활성화를 위한 다양한 지원정책에 자원과 역량을 집중하고 있다. 소프트웨어 방식의 새로운 디지털 치료 방식의 등장에 따라 기술발전에 부합한 의약품 기반의 규제체계와는 다른 새로운 형태의 규제 체계 개선을 위한 법·제도 개선 및 허가·심사 가이드라인 마련 등을 통해 시장 초기 도입단계의 디지털치료제 산업 활성화를 위한 규제의 틀을 빠르게 정비하고 있다. 하지만, 디지털치료제가 시장에 조기에 안착하기 위해서는 의료기관/의사-개발업체-정부기관-이용자 등 이해관계자들 간 이해충돌의 여지가 있는 이슈에 대한 소통과 협력 그리고 제도권 시장에 들어오기 위한 제도 마련 등에 대한 지속적인 논의 또한 디지털치료제 시장 확대의 핵심 요인이 될 것이다.

이에 융합연구리뷰에서는 우선 디지털치료제에 대한 개념, 유형, 산업 동향 및 국내외 정책동향을 통해 디지털치료제에 대한 전반적인 현황 파악을 하고, 다음으로 학술논문 출판과 인용에 대한 서지정보와 네트워크 분석을 바탕으로 디지털치료제의 지식구조, 협력 관계 및 핵심 주제를 체계적으로 분석하며, 마지막으로 '다이아몬드 SWOT' 분석을 적용한 국내 디지털치료제 산업역량을 진단하고 글로벌 선도의 산업경쟁력 강화 방향을 제시하고자 한다.

## II 개념 및 유형

### 1. 개념 및 편익

디지털치료제(DTx, Digital Therapeutics)는 의료와 디지털기술이 결합한 새로운 형태의 의료기기로 일반적으로 환자의 질병을 예방, 관리, 치료하기 위해 과학적, 임상적 근거기반의 치료적 개입을 제공하는 소프트웨어 의료기기로 정의할 수 있다.

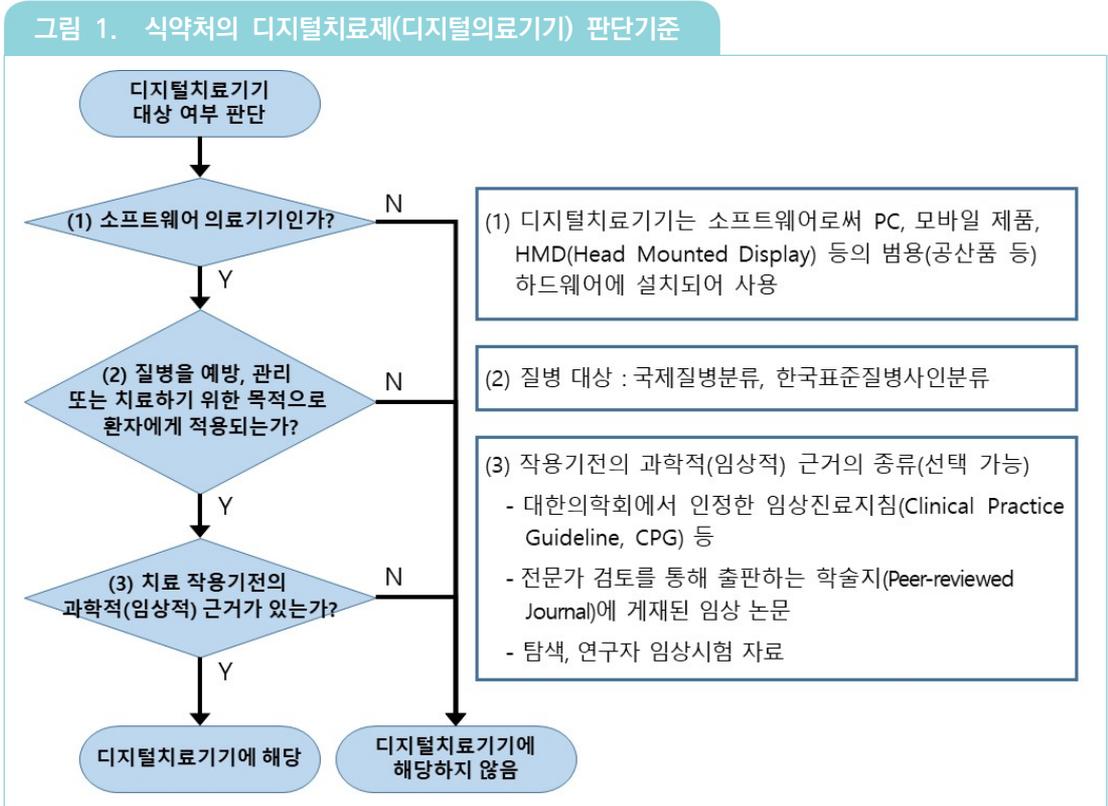
디지털치료제에 대한 국제 비영리 단체인 DTA(Digital Therapeutics Alliance), 국내의 식품의약품안전처, 한국바이오경제연구소 등에서 언급한 개념들 역시 대체로 질병의 ① 예방·관리·치료, ② 근거기반, ③ 치료적 개입, ④ 소프트웨어 의료기기 등의 공통된 요소를 포함하고 있다. 특히, 디지털치료제는 의약품이 아니지만, 소프트웨어를 활용해 질병의 치료와 관리 기능을 제공하기 때문에 임상적으로 검증된 특정 질환에 대한 치료 효과 및 의사의 처방 요건을 갖추어야 한다(한국산업기술평가관리원, 2020).

표 1. 디지털치료제의 다양한 정의

구분	개념 정의
DTA (Digital Therapeutics Alliance)	• 질병을 예방·관리·치료하기 위해 환자에게 근거기반 치료제 개입(evidence-based therapeutics intervention)을 제공하는 소프트웨어 의료기기
식품의약품안전처	• 소프트웨어 의료기기로 치료 작용기전에 대한 과학적·임상적 근거를 바탕으로 질병의 예방·관리·치료를 목적으로 사용하는 디지털 치료기기
한국바이오경제연구소	• 기존의 먹는 알약이나 주사제가 아닌 디지털기술을 기반으로 질병 예방, 관리 및 치료하는 목적의 새로운 개념의 디지털기기

자료 : DTA(2019), 식약처(2020), 한국바이오경제연구소(2020)

식품의약품안전처(2020)는 ‘디지털치료기기 허가·심사 가이드라인’을 통해 디지털치료기기의 판단기준을 아래 <그림 1>과 같이 3단계 과정을 통해 구체적으로 제시하고 있다.



자료 : 식약처(2020)

디지털치료제는 기존 치료제와는 다른 차별적인 편익과 기능을 제공하며, 이를 이해관계자별로 구분하여 살펴보면 아래 <표 2>와 같다.

우선 의료기관·의사 측면에서 디지털치료제는 기존 신경정신질환 분야의 환자에게 제공하는 의료 상담·교육·지도 등의 영역을 소프트웨어를 통해 표준화가 가능하여 의사의 역할 부담을 경감시켜 보다 밀도 있는 환자 치료에 집중할 수 있다. 그리고, 디지털치료제의 도입은 하루 24시간 실시간으로 환자 상태 모니터링이 가능해짐에 따라 데이터 기반 환자 맞춤 치료를 촉진한다.

환자 측면에서는 병원への 접근성이 어려울 경우 모바일 애플리케이션, VR, 챗봇, AI 등을 통한 비대면 방식으로 수월하게 의료 이용의 접근성이 높아진다. 특히, 병원 방문을 통해 주기적인 의사의 관리를 받지 않더라도 집에서 환자가 소프트웨어 의료기기 또는 디지털치료기기를 이용하여 질병 치료와 관리를 받게 되면 병원 방문에 따른 시간과 비용을 줄일 수 있는 이점이 있어, 코로나-19 확산으로 이동제한, 사회적

거리두기 등의 조치 등으로 의료 접근성이 낮아진 환경에서 다양한 디지털치료제의 등장과 보급·확산이 전망된다. 그리고, 디지털치료제는 의약품, 주사제 등이 아닌 소프트웨어 기기의 특성상 독성 및 부작용 없이 이용할 수 있다.

마지막으로 개발업체 입장에서 디지털치료제는 기존 의약품 개발시 장기간 개발과 막대한 개발비용의 부담에서 벗어나 신약개발 기간이 짧고 소요비용 또한 상당 부분 절감할 수 있다. 편용범(2019)에 의하면, 기존 신약개발 대비 디지털치료제의 개발 기간과 개발비용은 각각 23%~33%, 0.33%~0.67% 수준에 불과해 상대적으로 기간은 짧고 비용은 저렴한 것으로 분석되었다.

표 2. 이해관계자별 디지털치료제가 제공하는 편익

구분	편익
의료기관/의사	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 의사 역할 부담 경감: 환자에게 제공하는 상담/교육/지도 영역을 소프트웨어로 표준화</li> <li>· 데이터 기반 환자 실시간 모니터링 가능</li> </ul>
환자	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비대면 방식을 통해 쉽게 의료 이용 접근 가능</li> <li>· 독성 및 부작용 없음</li> </ul>
개발업체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신약개발 기간 단축 및 비용 절감</li> </ul>

자료 : 식약처(2020), 한국산업기술평가관리원(2020) 참조하여 저자 작성

## 2. 유형

디지털치료제는 직·간접적인 치료 효과에 따라 <표 3>과 같이 대체제(Medication Replacement)와 보완제(Medication Complement)의 2가지로 유형으로 구분할 수 있다. 단독사용으로 직접적인 치료 효과를 높이는 대체제 유형의 디지털치료제는 약물중독, ADHD 등 질병 치료가 대표적이며, 단독사용이 불가능한 보완제 유형의 디지털치료제는 고혈압, 심장병, 당뇨 등 인체 위험이 중증도 이상의 만성질환자를 대상으로 한 복약관리 또는 약물공급을 유지 관리하는 것을 들 수 있다.

표 3. 직·간접적인 치료 효과에 따른 디지털치료제 유형

구분	내용
대체제	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 질병에 기존 치료제 대신 독립적으로 사용해도 직접적인 치료효과를 내거나, 기존 치료제와 병행 사용해서 치료효과를 직접적으로 향상시키는 디지털치료제</li> <li>- 예) 약물중독, ADHD 치료 등</li> </ul>
보완제	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 독립적인 치료효과가 없어 단독 사용이 불가하여 기존 치료제(의약품)와 병용해 치료효과의 향상을 간접적으로 지원하는 디지털치료제</li> <li>- 예) 복약관리, 약물공급 유지 관리 등</li> </ul>

자료 : 한국과학기술기획평가원(2020), 한국산업기술평가관리원(2020)

## III 국내외 동향

### 1. 산업 동향

#### 1.1. 시장 전망

세계적으로 시장 초기 도입단계에 있는 디지털치료제 시장은 심장병, 당뇨, 고혈압 등 만성질환자와 우울증, 공황장애, ADHD, 중독 등 신경정신질환자의 증가에 따른 수요 증대와 함께 기존 의약품 기반 높은 치료비용 부담에 대응하여 시장이 빠르게 확대될 것으로 기대된다. 특히, 디지털치료제는 시간과 장소에 관계없이 스마트 기기 앱, VR, 게임 등 모바일 환경에서 실시간 환자 모니터링을 할 수 있어 데이터 기반 치료 효과를 향상시킴으로써 새로운 시장 창출 가능성이 큰 분야다. 더욱이, 의약품의 보조 치료제를 넘어 환자로부터 습득한 빅데이터와 AI 기술을 활용한 환자 맞춤형 다양한 디지털치료제 개발이 기대되며, 만성질환에서부터 신경정신계 질환에 이르기까지 다양한 질병 치료에 효과적인 치료제로써 기대치가 높아짐에 따라 향후 빠른 시장 성장이 예상된다.

미국의 글로벌 시장조사 전문기관인 Allied Market Research(2020)에 의하면, 디지털치료제 시장은 2018년 21.2억 달러에서 연평균 약 20%의 높은 성장을 통해 2026년 96.4억 달러의 시장 규모를 형성할 것으로 전망된다.

국내 디지털치료제 시장 또한 초기 태동기 단계로 가파른 고령화 추세와 맞물려 만성질환자의 증가와 함께 우울증, 치매 등 신경정신질환의 발병이 증가하고 있어 디지털치료제에 대한 이용자 니즈가 점차 확대될 것으로 기대된다. 한편, 디지털치료제를 포함한 국내 디지털 헬스케어 시장은 2016년에 4.7조 원에서 2020년 14조 원 규모의 시장을 형성할 것으로 예상됨에 따라 디지털 헬스케어의 이머징 마켓(emerging market)으로 부각되고 있는 디지털치료제 시장 규모 또한 향후 잠재 성장이 높을 것으로 예측된다(정보통신산업진흥원, 2019).

#### 1.2. 기업 동향

제4차 산업혁명 패러다임의 변화 속에서 AI, 빅데이터, 디지털기술 등의 활용이 확대되면서 지능화 및 데이터 기반 사회로의 전환이 빠르게 전개되고 있으며, 이러한 변화로 의료분야에서 AI, VR, 빅데이터 등 첨단기술을 활용한 디지털치료제 시장 성장에 대한 기대감이 높아지고 있다. 한편, 예기치 않게 발생한

코로나-19로 인한 비대면 경험은 의료산업의 비대면화를 촉진하면서 모니터링 중심의 질병 관리에서 치료까지 아우르는 디지털치료제의 시장 확대를 더욱 촉발하고 있다.

이에 국내외의 주요 기업들은 디지털치료제 개발에 역량을 강화하고 있으며, 특히 미국은 글로벌 디지털치료제 개발의 선도국가로서 약물중독, 불면증, 만성 뇌졸중, 호흡기질환, 당뇨 등 다양한 질병 영역에서 제품을 출시하고 있다. 미국 식품의약국(FDA, Food and Drug Administration)으로부터 임상 과정을 통과해 승인받은 최초의 디지털치료제는 2017년 Pear Therapeutics의 reSET 제품으로 약물중독 환자를 대상으로 한 인지행동치료 앱이며, 게임 형태의 디지털치료제는 소아 ADHD 치료용으로 Akili Interactive Lab의 EndeavorRx가 최하다. 그 외 식품의약국(FDA)으로 부터 허가받은 디지털치료제는 당뇨 치료용으로 Voluntis의 Insulia, WellDoc의 BluStar, 불면증·수면장애 치료용으로 Pear Therapeutics의 Somryst와 Big Health의 Sleepio 등이 대표적인 디지털치료제다. 식품의약국(FDA)으로부터 허가받은 제품 외에 디지털치료제는 치매, 공황장애, 금연, 자폐증, 우울증, 조현병 등 질환 영역으로 확대되어 현재 다양한 제품 개발이 진행되고 있다.

우리나라는 벤처기업 및 스마트업 중심으로 디지털치료제 개발이 진행되고 있다. 아직 정부로부터 정식으로 허가받은 디지털치료제는 없으나, 2019년 뉴냅스가 시각장애 인지행동 치료 소프트웨어(SW)로 개발한 뉴냅비전이 국내에서 처음으로 임상시험을 승인받아 임상이 진행 중이다. 한편, 2021년에는 라이프시맨틱스가 호흡기질환 재활용 디지털치료제 레드필 숨튼의 임상시험을 신청하였으며, 빅씽크테라퓨틱스는 국내 시장을 벗어나 강박장애 인지행동 디지털치료제 오쓰프리에 대한 임상을 미국에 신청하여 승인을 받는 등 디지털치료제 개발에 역량을 집중하고 있다. 한편, 알코올 중독, 불면증 대상 디지털치료제를 개발 중인 웰트는 2021년 3월 한독으로부터 30억 원 규모의 투자를 받고 이용자 니즈를 만족시킬 제품 개발에 박차를 가하고 있다.

표 4. 국내외 주요 디지털치료제 기업 동향

구분	기업	제품	주요 특징
해외	Pear Therapeutics	reSET	약물중독 환자 대상 인지행동치료 앱
		reSET-O	마약성 진통제 중독 인지행동치료 앱
		Somryst	만성불면증 인지행동치료 앱
	Big Health	Sleepio	수면장애 관리 앱
	Akili Interactive Lab	EndeavorRx	소아 ADHD 대상 게임형 치료 SW
	mahana therapeutics	parallel	과민성 대장증후군(IBS) 환자 대상 웹-기반 인지 행동(CBT) 치료 앱
	Voluntis	Insulia	당뇨 환자 치료용 인슐린 투여 용량 계산 앱
	WellDoc	BlueStar	당뇨 환자 치료용 인슐린 투여 관리 앱
	MedRhythms	MedRhythms	만성 뇌졸중 환자 건기 개선 센서·음악치료 앱
	Propeller Health	RESPIMAT	천식, 만성폐쇄성질환 등 호흡기 관련 치료제

구분	기업	제품	주요 특징
국내	뉴냅스	뉴냅비전	시각장애 치료 VR SW
	빅싱크테라퓨틱스	오씨프리	강박장애 인지행동 치료 SW
	라이프시맨틱스	레드필 숨튼	호흡질환자 재활 SW
		레드필 케어	암환자 예후 관리 SW
	에임메드	Somzz	불면증 치료 SW

자료 : 식약처(2020), 한국산업기술평가관리원(2020), 의학신문(2020.12.7.), MEDIGATENEWS(2021.1.13.)

## 2. 정책동향

우리나라를 비롯하여 미국, 유럽, 일본, 중국 등 주요국에서는 디지털치료제를 차세대 디지털 헬스 산업의 혁신적인 유망 성장 분야로 설정하여 정부 차원의 적극적인 정책지원에 자원과 역량을 집중하고 있다.

미국은 식품의약국(FDA)을 중심으로 디지털치료제 기술과 규제 혁신 체계의 틀을 마련하여 실행하고 있다. 2017년 '디지털 헬스 혁신전략'을 통해 소프트웨어 의료기기 특성에 부합한 규제체계를 마련하였으며, 디지털치료제 기술이 빠르게 발전하는 점을 반영해 제품 중심이 아닌 기업 중심의 사전 승인을 도입한 '디지털 헬스 소프트웨어 사전인증 파일럿 프로그램'을 2019년 시행하였다. 유럽은 유럽연합을 중심으로 디지털치료제 산업 활성화를 위해 디지털헬스 혁신의료기기 관련 의료기기 지침법 및 체외진단의료기기법 등을 선제적으로 제정하였다. 영국은 국립임상연구소가 주축이 되어 국영건강보험제도(NHS, National Health System)에 디지털치료제 활성화를 위한 가이드라인을 마련하였으며, 선제적으로 제조업 분야 정실질환에 대한 디지털치료제 활용 방안을 제시하였다.

일본은 2017년 혁신의료기기의 조건부 승인제도 도입을 시작으로 2020년 후생노동성에서 치료용 스마트폰 애플리케이션 디지털치료제에 대한 의료보험을 처음으로 승인했다. 한편, 제약회사 시오기를 비롯한 7개 회사를 중심으로 '일본 디지털치료제 컨소시엄'을 2019년 설립하여, 기업을 중심으로 일본 내 디지털치료제 시장 확산 지원 계획을 발표하였다.

중국은 디지털치료제 시장 확산에 앞서 혁신의료기기 개발 및 허가 장려 정책을 추진하고 자국 자체의 디지털치료제 개발과 함께 미국 등 해외 기업과의 협약을 통한 디지털치료제 시장 진출을 준비하고 있다.

우리나라는 정부 중심의 디지털치료제 산업 활성화를 위해 적극적인 정책지원을 추진하고 있다. 2019년 '제12차 과학기술관계장관회의'에서 중점 대상 유망기술 중 헬스케어 분야에 디지털치료제가 포함되었으며, 동년 '바이오헬스 산업 혁신전략'을 통해 혁신적 디지털 헬스기기에 대한 효과를 검증하고 R&D 투자 지원을

제시하였으며, '디지털 뉴딜 정책'을 통해 비대면 산업 지원정책의 하나로 디지털치료제에 대한 R&D 지원을 포함하고 있다. 이러한 정책적 노력으로 2020년 식약처는 디지털치료기기 허가·심사 적용 범위와 판단기준을 제시하는 가이드라인을 발표하였으며, 의료기기 산업 육성 및 혁신의료기기 지원법을 시행하였다. 그러나, 디지털치료제 관련 정부의 R&D 투자는 2015년부터 2019년까지 연평균 88억 원으로 낮은 수준이며(한국과학기술기획평가원(2020), 기존 대기업 제약사 또한 투자가 매우 낮은 수준에 불과하고 대부분 스타트업 중심으로 R&D 투자와 임상시험이 전개되는 양상을 보이고 있다.

표 5. 국내외 주요국의 디지털치료제 정책 동향

국가	정책 동향
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FDA를 중심으로 디지털치료제 기술 및 규제 혁신 체계 마련               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 헬스 혁신전략('17): 소프트웨어 의료기기 특성을 반영한 간소화된 규제 틀 마련</li> <li>- 디지털 헬스 소프트웨어 사전인증 파일럿 프로그램('19): 빠르게 발전하는 기술발전속도를 반영하여 제품이 아닌 기업 대상 사전 승인 규제 도입</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유럽연합은 디지털헬스 혁신의료기기 등장에 대응하여 의료기기 지침법 및 체외진단의료기기법 제정</li> <li>• 영국 국립보건임상연구소(NICE)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국영건강보험제도(NHS)에 디지털치료제 도입/실행 관련 전반적인 가이드라인 제시 및 평가 역할 수행</li> <li>- 제조업자 대상 정신질환 분야 디지털치료제 활용 방안 제시</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혁신의료기기 조건부 승인제도 도입('17)</li> <li>• 후생노동성: 치료용 스마트폰 애플리케이션에 의료보험 적용 승인('20)</li> <li>• 기업 중심 디지털치료제 도입 추진               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제약회사 시오기(Shionogi)를 중심으로 '일본 디지털치료제 컨소시엄' 설립('19)</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혁신의료기기의 개발 및 허가 장려</li> <li>• 자국 기업과 미국 기업과의 협약을 통한 디지털치료제 시장 진출 추진</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 디지털치료제 활성화 제도의 적극적 추진               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 의료기기산업 육성 및 혁신의료기기 지원법 시행('20)</li> <li>- 디지털치료기기 허가·심사 가이드라인 발표('20): 디지털치료기기 허가·심사 적용 범위와 판단기준 제시</li> <li>- 디지털 뉴딜('20): 디지털치료제 R&amp;D 지원</li> <li>- 바이오헬스 산업 혁신전략('19): 혁신적 디지털 헬스케어 기기 효과 검증 R&amp;D 투자 지원</li> <li>- 제12차 과학기술관계장관회의('19): 중점 유망기술 중 헬스케어 분야에 디지털치료제 포함</li> </ul> </li> <li>• 스타트업 중심의 R&amp;D 및 임상시험 추진</li> </ul>

자료 : 한국산업기술평가관리원(2020), 한국과학기술평가관리원(2020a, 2020b), KOTRA(2020) 참고하여 정리

## IV 디지털치료제의 지식생산, 영향, 협력, 주제 분석

본 장에서는 학술논문 출판과 인용에 대한 서지정보(bibliometric information)와 네트워크 분석(network analysis)을 바탕으로 디지털치료제에 대한 지식 구조와 협력 관계, 주제를 파악하였다.

이를 위해 학술전문 데이터베이스인 Scopus(<http://www.scopus.com>)를 활용하여 해당 논문을 검색하였다. 검색식을 결정하기 위해 관련 선행논문들을 파악하였으며 해당 분야 전문가 3인에게 자문을 받았다. 이에 디지털치료제의 관련어인 digital therapeutics, digital therapy, digital theraphies를 함께 검색할 수 있도록 “digital therap\*”를 검색식으로 최종적으로 사용하였다. 검색 범위로 본 장에서는 (1) 제목, 초록, 키워드에서 본 검색어가 등장하면 이를 검색하는 주제어 검색과, (2) 논문의 모든 필드에서 본 검색어가 등장하면 이를 검색하는 모든 필드 검색을 동시에 실시하였다. 디지털치료제가 2010년대 초반에 등장한 것을 감안하여, 2013년 이후 학술지(journal)에 게재된 아티클(article)과 리뷰 논문으로 한정하여 검색하였다. 검색은 2021년 5월 1일에 실시하였다. 주제어 검색결과와 모든 필드 검색결과는 각각 146개와 333개로 나타났다. 모든 필드 검색결과가 주제어 검색결과에 비해 2.28배가 많았다. 참고로 제목에서만 디지털치료제가 검색된 논문은 44편에 그쳤다.

### 1. 디지털치료제 지식생산 분석

전문 학술정보 데이터베이스를 활용하여 디지털치료제의 연도별 지식생산 현황을 분석하고 상위 국가를 분석하면 다음과 같이 나타났다.

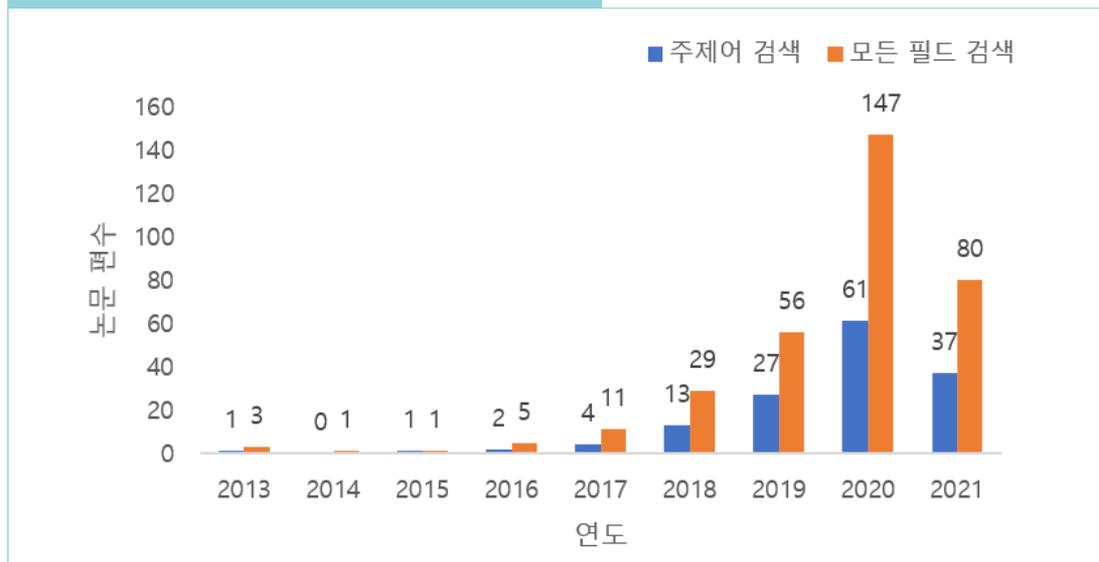
#### 1.1. 디지털치료제의 연도별 지식생산 분석

디지털치료제에 대한 연도별 지식생산 현황은 <그림 2>와 같았다. <그림 2>와 같이 디지털치료제에 대한 지식생산은 2018년 이후 본격적으로 등장하였으며 2020년에 큰 폭으로 증가하는 추세를 보였다. 2021년도에

이러한 추세가 지속되는 것으로 나타났다. 주제어 검색결과와 모든 필드 검색결과에서 디지털치료제는 모두 2018년 이후에 논문 출판이 급증하였다. 디지털치료제는 비교적 최근에 등장한 분야인 관계로 양적으로 지식생산이 많은 편은 아니지만 비교적 최근 크게 증가하는 추세를 보이는 것으로 요약된다. 따라서 향후 디지털치료제에 대한 지식생산은 J자형으로 급성장 패턴을 보일 것으로 전망된다.

디지털치료제에 대한 지식생산이 급증한 것은 AI와 헬스케어 기술 발달 및 확산의 영향이 강하게 반영된 결과로 해석할 수 있다. 특히 2000년대 후반 이후 빠른 진화를 보이는 AI와 빅데이터 기술의 발전은 정밀의료와 맞춤형 의료, 디지털 헬스케어 발전을 크게 동인하고 있어 디지털치료제 역시 이러한 영향을 강력하게 받은 것으로 해석할 수 있다. 향후 AI와 빅데이터, 디지털 헬스케어, 일반 보건의료 기술 사이의 상승적 발전관계(win-win relationship)가 강력하게 형성될 것으로 전망됨에 따라 디지털치료제 분야에서 지식생산 역시 빠른 성장이 기술개발 분야와 활용 분야를 중심으로 나타날 것으로 예상된다(한국산업기술평가관리원, 2020).

그림 2. 디지털치료제의 연도별 지식생산 현황



자료 : Scopus 데이터 베이스 검색결과를 바탕으로 저자구성

디지털치료제를 출판한 학술 분야를 살펴보면(분야 중복 가능), 주제어 검색결과로 검색된 디지털치료제 논문 대부분이 의학 분야로 나타났다. 총 146개 논문 가운데 83.6%에 해당하는 122개 논문이 의학(medicine) 분야의 저널에서 출판되었으며 컴퓨터 과학(computer science) 분야 저널이 15개(10.3%), 신경과학

(neuroscience)이 각각 14개(9.6%)로 나타났다. 심리학(psychology)이나 사회과학(social science)은 6편(4.1%), 4편(2.7%)으로 지식생산이 다소 미흡하였다. 모든 분야 검색결과에서는 총 333개 논문 가운데 262편(78.7%)이 의학 분야(medicine)였으며 컴퓨터 과학(computer science, 38편, 11.4%), 신경과학(neuroscience, 34편, 10.2%) 순으로 나타나, 주제 검색결과와 큰 차이가 없었다. 다만, 심리학(psychology) 분야에서 총 28편(8.4%)이 출판되어 상대적으로 높았으나 사회과학이나 경영학 분야에서는 출판 비중이 매우 적은 편이었다.

## 1.2. 디지털치료제의 주요 국가별 지식생산 분석

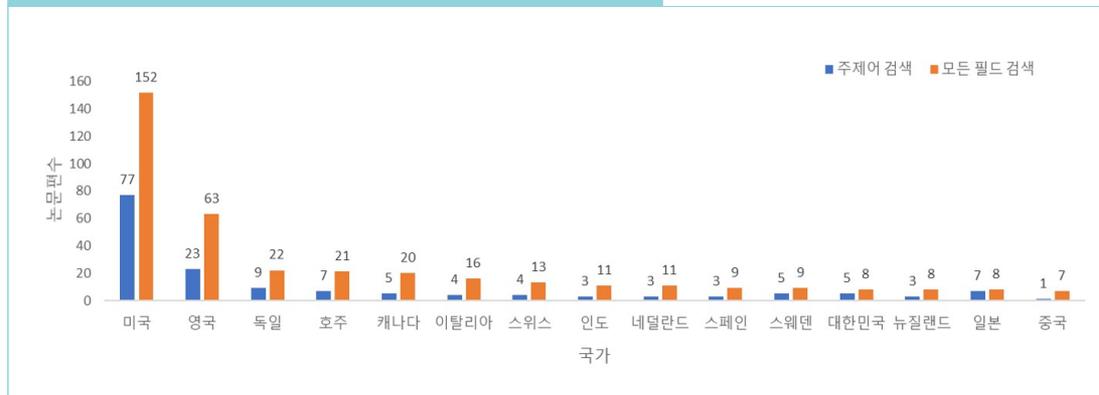
〈그림 3〉은 디지털치료제의 지식생산 상위 15개 국가의 현황을 보여준다. 모든 필드 검색결과 글로벌 국가 가운데 48개 국가가 1편 이상의 디지털치료제 논문을 저널에 게재하였으며 미국이 152편(전체 논문 가운데 45.6%)으로 압도적인 1위를 차지하였다. 그 다음으로 영국(63편, 18.9%, 2위), 독일(22편, 6.6%, 3위), 호주(21편, 6.3%, 4위), 캐나다(20편, 6.0%, 5위), 이탈리아(16편, 4.8%, 6위), 스위스(13편, 3.9%, 7위) 순으로 나타났다. 미국, 캐나다의 북미 국가와 영국, 독일, 이탈리아, 스위스 등 유럽 국가들의 지식생산이 상대적으로 높은 우위를 나타냈다. 반면에, 아시아에서는 인도(11편, 3.3%, 8위), 일본(8편, 2.4%, 12위), 중국(7편, 2.1%, 15위) 순으로 지식생산이 상대적으로 낮은 편이었다. 이는 주제어 검색결과에서도 거의 유사하게 나타나고 있다. 글로벌 국가 가운데 30개 국가가 1편 이상의 디지털치료제에 관한 논문을 저널에 게재한 가운데, 미국이 77편으로 52.7%를 차지하였으며 영국(23편, 15.8%), 독일(9편, 6.2%)이 최상위권을 차지하였다. 대부분의 연구에서 미국과 양강 구도를 형성하고 있는 중국이 디지털치료제 분야에서 매우 저조한 것은 다소 이례적인 현상으로 보인다.

우리나라는 모든 필드 검색에서는 8편(2.4%, 12위), 주제어 검색에서는 5편(3.4%, 6위)을 저널에 게재한 것으로 나타났다. 우리나라는 모든 필드 검색결과, 2019년에 3편, 2020년에 3편, 2021년에 2편이 게재된 것으로 나타났다. 대부분 논문을 2019년 이후에 출판하였으며 글로벌 지식생산 순위는 2019년~2021년으로 한정하면 9위로 나타났다. 주제어 검색결과로는 2019년에 2편, 2020년에 2편, 2021년에 1편의 지식을 생산하였으며 글로벌 국가 가운데 5위를 차지하였다. 디지털치료제 지식생산에서 미국의 압도적 독주 추세에서 우리나라는 상위 국가를 형성하고 있지만, 논문의 절대 편수가 부족하여 양적인 확대가 시급하게 요구된다. 참고로 우리나라는 주제어 검색결과와 모든 필드 검색결과에서 도출된 모든 디지털치료제 논문이 의학분야(medicine)에 집중적으로 출판된 것으로 나타났다. 디지털치료제가 대부분 의학 분야에서 편중되어 출판된

것을 고려해도 우리나라는 컴퓨터 과학, 심리학, 사회과학 분야에서 해당 지식이 거의 생산되지 않은 것은 학문의 영역확장과 디지털치료제의 활용을 고려할 때 상당한 개선이 필요해 보인다.

참고로 우리나라는 고려대학교가 3편으로 1위를 차지하였으며 성신여자대학교, 단국대학교, 연세대학교, 울산의과대학교, 충남대학교, 한국과학기술원(KAIST) 등이 각각 1편의 논문을 공동저자 형태로 출판하였다. 전체적으로 지식생산 편수가 적어서 고려대학교를 제외하고는 일부 연구기관에서 1편의 논문을 게재하는 상황이었다. 지식생산에 많은 연구기관의 참여가 요구되며 특히 민간기업이나 정부출연연구기관의 지식생산 확대가 필요함을 시사해준다.

그림 3. 디지털치료제의 주요 국가별 지식생산 현황



자료 : Scopus 데이터 베이스 검색결과를 바탕으로 저자구성

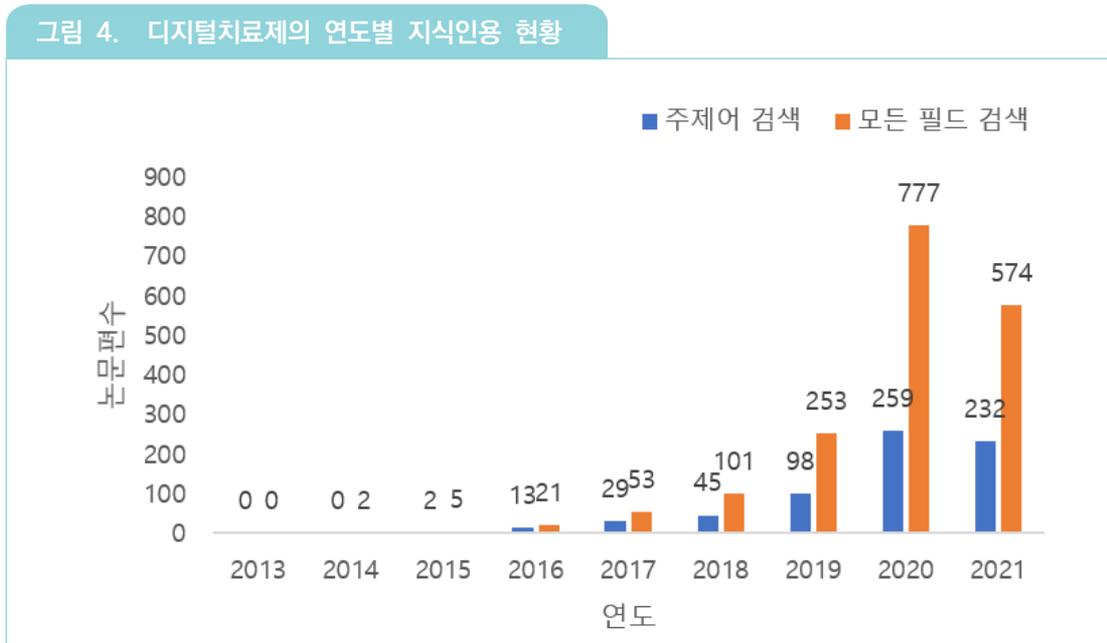
## 2. 디지털치료제 지식 영향 분석

전문 학술정보 데이터베이스를 활용하여 디지털치료제의 지식인용 현황을 파악하고 지식인용이 가장 많이 된 상위권 국가를 분석하였다.

### 2.1. 디지털치료제의 연도별 지식 영향 분석

디지털치료제를 연구한 논문들에 대해 다른 논문에서 인용한 연도별 현황은 <그림 4>와 같이 나타났다. 모든 필드로 검색된 333개 논문은 총 1,786번 피인용 되어 논문 1편당 5.4번 인용횟수를 기록하였다. <그림 4>와 같이 2020년 이후에 피인용이 상당히 증가하는 추세를 보였으며 2021년에도 574번 인용되어 이러한 추세를 지속하였다. 주제어를 중심으로 검색된 146개 논문은 총 678번 피인용 되었으며 논문당 4.6번이 다른 논문에 영향을

나타났다. 역시 2019년 이후에 지식 영향이 강력하게 나타났으며 2021년 5월까지 총 232번 인용되어 지식인용의 영향이 크게 증가할 것으로 전망된다. 디지털치료제 대한 연구와 지식생산이 증가할수록 생산된 지식의 영향력 역시 지수함수적으로 강력하게 증가할 것으로 보인다.



자료 : Scopus 데이터 베이스 검색결과를 바탕으로 저자구성

## 2.2. 디지털치료제의 국가별 지식 영향 분석

디지털치료제를 연구한 논문들에 대해 다른 논문에서 인용한 주요 국가별 현황은 <그림 5>와 같이 나타났다. 모든 필드 검색을 기준으로 미국이 총 966번 피인용 되어 전체 피인용 가운데 54.1%를 점유하여 지식 영향이 가장 높은 국가였다. 미국은 논문당 6.4번 피인용 되어 전체 논문 평균 피인용(5.4번)보다 상대적으로 지식 영향력이 높은 것으로 나타났다. 다음으로 영국(379번 피인용, 21.2% 점유, 2위), 네덜란드(212번, 11.9%, 3위), 뉴질랜드(140번, 7.8%, 4위), 호주(113번, 6.3%, 5위), 독일(109번, 6.1%, 6위), 스위스(79번, 4.4%, 7위), 싱가포르(73번, 4.1%, 8위), 스페인(59번, 3.3%, 9위), 캐나다(56번, 3.1%, 10위)의 순으로 나타났다. 지식생산과 마찬가지로 미국과 다른 국가들과의 지식인용에서도 편차가 상당히 존재하는 가운데, 네덜란드, 뉴질랜드가 지식생산과 비교하면 상대적으로 지식의 영향력이 큰 것으로 나타났다. 반면에 독일, 이탈리아 등은 지식의 영향력은 상대적으로 적게 나타났다. 이러한 경향은 주제어 검색에서도 거의 유사하게 나타났다.

미국이 362번 피인용 되어 전체 피인용 가운데 53.4%를 점유하여 1위를 차지하였다. 대부분 분야에서 글로벌 지식생산에서 미국에 준하는 중국은 디지털치료제 분야에서는 거의 인용되지 않는 것으로 나타났다. 중국은 디지털치료제의 지식생산과 지식 영향력이 모두 적었다.

우리나라는 총 52번 피인용 되어 전체 국가 가운데 11위를 차지하였으며 점유율은 2.9%에 해당되었다. 논문 1편당 6.5번 피인용 된 것으로 나타났다. 일본은 총 33번 피인용 되어 우리나라보다 상대적으로 적게 피인용 되었다. 다만, 주제어 검색어로 검색된 디지털치료제 논문들은 일본이 우리나라에 비해 상대적으로 많이 인용된 것으로 나타났다. 우리나라는 디지털치료제의 지식생산과 영향력에서 모두 글로벌 10위에서 15위권의 상위권을 차지하였으나 모두 3% 미만의 비중을 보여 지식생산과 마찬가지로 지식영향력을 강화하기 위한 학술적 노력이 필요함을 시사해준다.

그림 5. 디지털치료제의 주요 국가별 지식영향 현황



자료 : Scopus 데이터 베이스 검색결과를 바탕으로 저자구성

### 3. 디지털치료제 지식협력 관계 분석

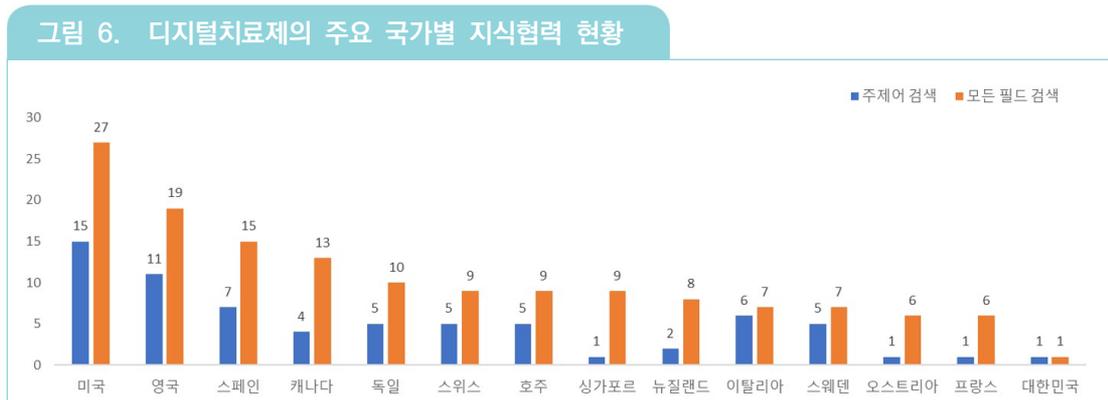
전문 학술정보 데이터베이스를 활용하여 디지털치료제 논문에 대한 글로벌 협력 관계를 파악하고 협력의 네트워크 구조를 시각화하였다. 이를 위해 지식 협력 관계 전문 소프트웨어인 VOSviewer(<https://www.vosviewer.com>)를 활용하였다.

#### 3.1. 디지털치료제 연구의 글로벌 협력 관계 분석

디지털치료제를 연구한 논문들에 대해 글로벌 협력 관계를 분석한 결과, <그림 6>과 같이 나타났다. 모든 필드 검색을 기준으로 미국이 총 27개 국가와 협력을 하여 전체 1위를 차지하였다. 다음으로 영국이 19개

국가와, 스페인은 15개 국가와, 캐나다는 13개 국가와, 독일은 10개 국가와, 스위스, 호주, 싱가포르를 모두 9개 국가와 지식생산을 위한 협력 관계를 형성하였다. 다음으로 뉴질랜드(8개 국가와 협력), 이탈리아(7개 국가와 협력), 오스트리아, 프랑스(6개 국가와 협력) 순으로 나타났다. 전체적으로 지식생산을 많이 한 국가들이 글로벌 협력도 많이 한 것으로 나타났다. 글로벌 협력 관계에서는 미국의 독주보다는 영국, 스페인, 캐나다, 독일 등 북미와 유럽 국가들이 활발한 지식생산을 위한 협력 활동을 하였다. 아시아 국가에서는 유일하게 싱가포르가 총 9개 국가와 협력을 하여 상위 국가를 형성하였다. 이를 종합하면 디지털치료제에서 글로벌 협력은 주로 서구권 국가들이 협력을 주도하였으며 중국, 인도, 홍콩, 일본과 같은 아시아 국가들은 지식생산에서도 부진한 가운데, 글로벌 협력도 거의 수행하지 못한 것으로 요약된다. 따라서 서구권 국가 외에 다른 지역의 국가들이 지식생산과 영향, 협력을 확대하기 위해서는 글로벌 연구협력과 협업 관계를 구축하는 것이 시급하게 요구된다.

우리나라는 1편의 논문에서 1개 국가(영국)와 글로벌 연구 협력을 수행한 것으로 나타났다. 미국을 비롯하여 서구권 국가들과 중국이나 아시아 등의 다른 지역의 국가들과 협업을 강화하는 것이 요구되었다.



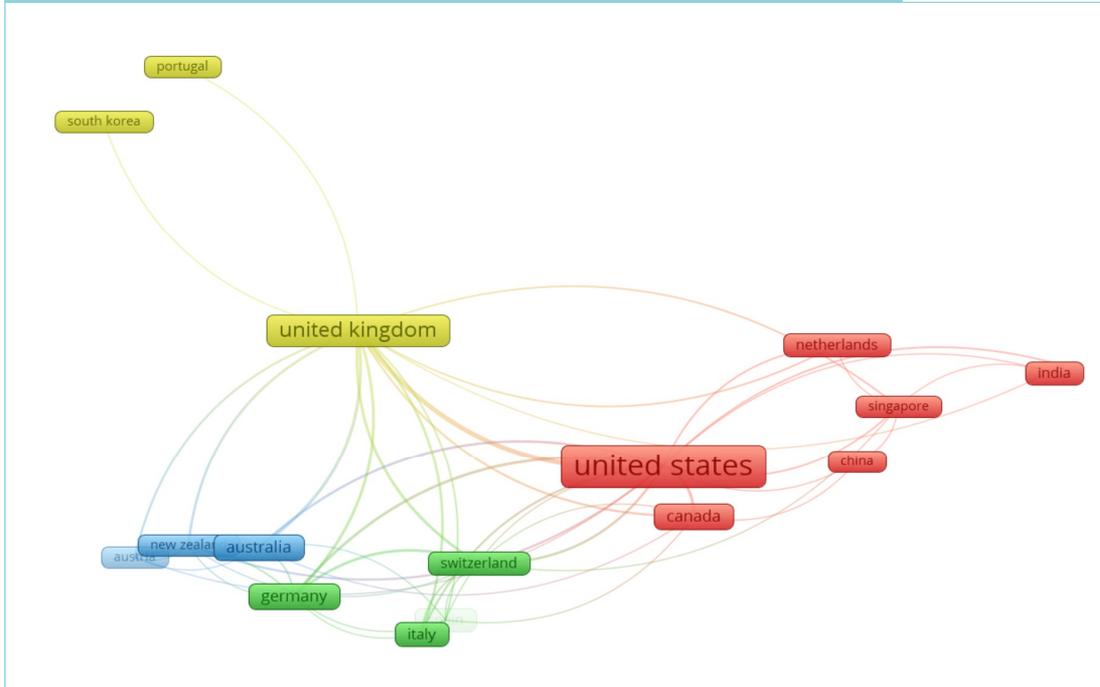
자료 : Scopus 데이터 베이스 검색결과를 바탕으로 저자구성

### 3.2. 디지털치료제 연구의 글로벌 협력 네트워크(클러스터링)

전문 프로그램인 VOSviewer를 활용하여 디지털치료제를 연구한 논문들의 글로벌 협력 네트워크를 <그림 7> 및 <그림 8>과 같이 시각화하였다.

우선 모든 필드 검색 기준으로 글로벌 협력 관계는 총 4개의 클러스터로 군집화하였다. 글로벌 협력 관계가 활발한 미국과 영국을 제외하고, 다음과 같은 특성을 보였다.

그림 7. 디지털치료제의 글로벌 연구 협력 네트워크(모든 필드 검색 기준)



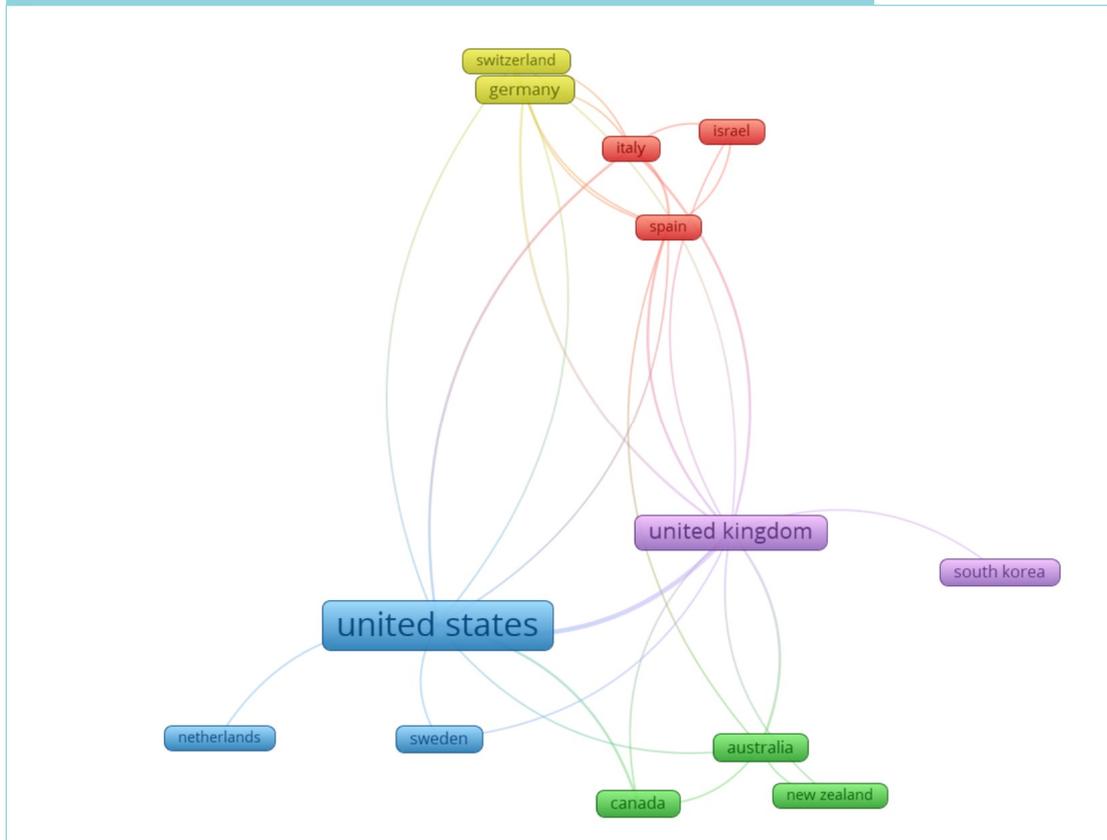
자료 : VOSViewer를 활용하여 저자구성

- 클러스터 1: 캐나다, 중국, 네덜란드, 싱가포르, 인도로 이루어진 붉은색 클러스터에 해당하는 국가들은 비교적 글로벌 협력이 강하게 나타나는 가운데, 해당 국가들과의 협력이 활발하다는 특징을 보임
- 클러스터 2: 대한민국, 포르투갈로 구성된 노란색 클러스터는 영국과 협력을 하는 가운데 글로벌 협력 관계는 크게 활성화되지 않은 특성을 보임
- 클러스터 3: 스위스, 이탈리아, 독일 등 유럽 국가로 구성된 녹색 클러스터는 이들 국가들 사이의 협력 관계가 다른 국가들에 비해 강력함을 보여줌
- 클러스터 4: 호주, 뉴질랜드, 오스트리아로 구성된 파란색 클러스터는 이들 내부의 협력보다는 영국이나 다른 유럽 국가들과 협력 관계가 강하게 형성됨을 보여줌

즉, 모든 필드 검색을 기준으로 할 때, 글로벌 협력 관계는 미국과 영국을 중핵으로 형성되어 있으며 북미와 일부 아시아 국가들 사이의 협력이 강력하게 나타났으며 유럽 국가들은 역내 국가들과의 협력이 특성적으로 나타난 것으로 종합된다.

다음으로 주제어 검색 기준으로 글로벌 협력관계를 파악하면 거의 유사한 특성이 나타났다. 역시 글로벌 협력 관계를 주도하는 미국과 영국을 제외하면 총 5개의 클러스터가 특징적으로 형성되었다.

그림 8. 디지털치료제의 글로벌 연구 협력 네트워크(주제어 검색 기준)



자료 : VOSviewer를 활용하여 저자구성

- 클러스터 1: 네덜란드와 스웨덴으로 구성된 파란색 클러스터로 이들은 주로 미국과의 연구 협력을 추구하는 국가들의 특성을 보임
- 클러스터 2: 캐나다, 호주, 뉴질랜드의 녹색 클러스터는 미국과 영국과 협력하면서 이들 클러스터에 해당하는 국가들과의 협력 관계가 나타나고 있음
- 클러스터 3: 한국으로 구성된 보라색 클러스터로 영국과 유일한 협력관계를 형성하고 있는 특징을 나타냄

- 클러스터 4: 스위스, 독일로 구성된 노란색 클러스터로 미국과 영국과 협업이 중심이 되고 있는 특성을 보이는 가운데, 붉은색 클러스터에 해당하는 국가와도 협력이 일부 나타나고 있음
- 클러스터 5: 이탈리아, 스페인, 이스라엘로 이루어진 붉은색 클러스터로 이스라엘과 협력관계가 강하게 나타나고 있음

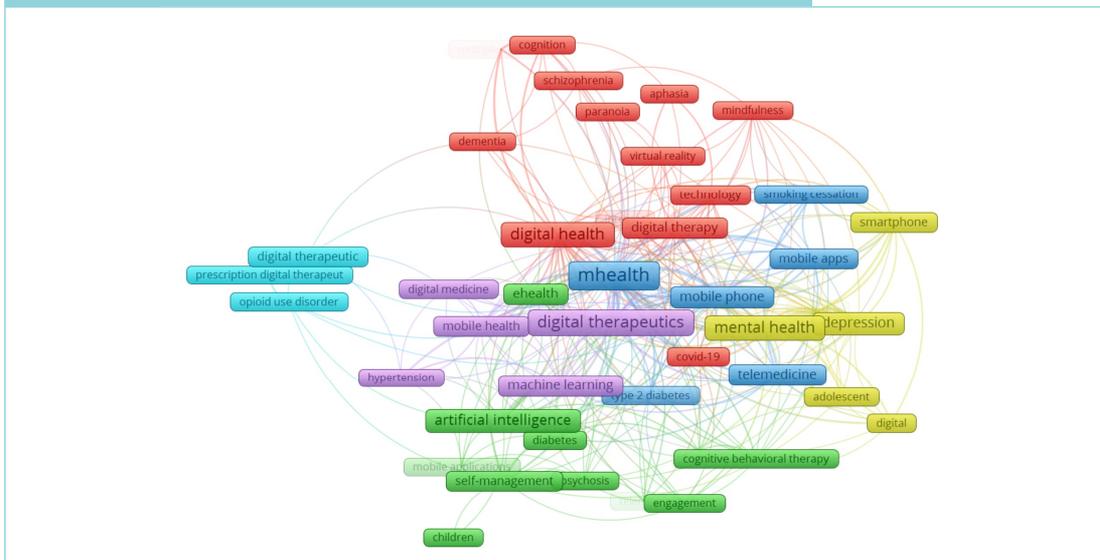
이를 종합하면, 역시 미국과 영국이 글로벌 협력 관계를 주도하는 가운데, 유럽국가, 북미권, 아시아권이 각각 협력하는 구조를 보여 글로벌 대륙 간 협력 관계는 크게 미흡한 것으로 나타났다.

#### 4. 디지털치료제 지식 주제 분석

전문 학술정보 데이터베이스를 활용하여 디지털치료제 논문에 대한 주제(topic)를 분석하였다. 전문 프로그램인 VOSviewer를 활용하여 디지털치료제를 연구한 논문들의 주제 네트워크를 <그림 9> 및 <그림 10>과 같이 시각화하였다.

우선 모든 필드 검색 기준으로 디지털치료제의 연구주제는 총 6개로 군집화하였으며 다음과 같은 특성이 나타나고 있다.

그림 9. 디지털치료제의 연구주제 네트워크(모든 필드 검색 기준)



자료 : VOSviewer를 활용하여 저자구성

- 클러스터 1: 디지털치료제, 모바일 헬스, 머신러닝, 디지털 의료, 고혈압으로 이루어진 보라색 클러스터로, 디지털치료제가 머신러닝을 활용하여 고혈압 분야의 디지털 치료에 활용됨을 보여줌
- 클러스터 2: 디지털치료제, 처방 디지털치료제, 오피오이드 사용장애 등으로 구성된 하늘색 클러스터로, 마약성 진통제 활용 등을 위해 디지털치료제를 활용하는 것을 보여줌
- 클러스터 3: 디지털 헬스, 디지털치료제, 명상, 가상 현실, 실어증, 치매, 편집증, 인지, 정신분열증으로 구성된 붉은색 클러스터로, 명상치료, VR 등을 활용하여 두뇌와 관련된 장애를 해결하기 위해 디지털치료제를 활용하는 것을 보여줌
- 클러스터 4: 인공지능, 모바일 애플리케이션, 인지행동 치료, 당뇨병, 소아, 자기관리, 정신증, 관계 등으로 이루어졌으며 다양한 병증에 인지행동 치료 등이 활용됨을 보여줌
- 클러스터 5: 정신건강, 디지털, 스마트폰, 우울증, 근심, 청소년기로 구성된 노란색 클러스터로 주로 우울증, 근심과 같은 불안이나 정신장애를 위한 디지털치료제 활용을 의미
- 클러스터 6: 모바일 헬스, 모바일앱, 원격의료, 금연, 제2형 당뇨병으로 구성된 파란색 클러스터로 주로 모바일 기기를 활용하여 생활과 관련된 병리를 다루는 것으로 이루어짐

이를 종합하면, 디지털치료제의 연구주제는 모바일 단말기, VR 기기, 스마트폰을 중심으로 정신장애, 생활관련 병리, 두뇌관련 병리 현상을 치료하는데 활용되는 것을 핵심 주제로 하고 있는 것으로 요약된다.

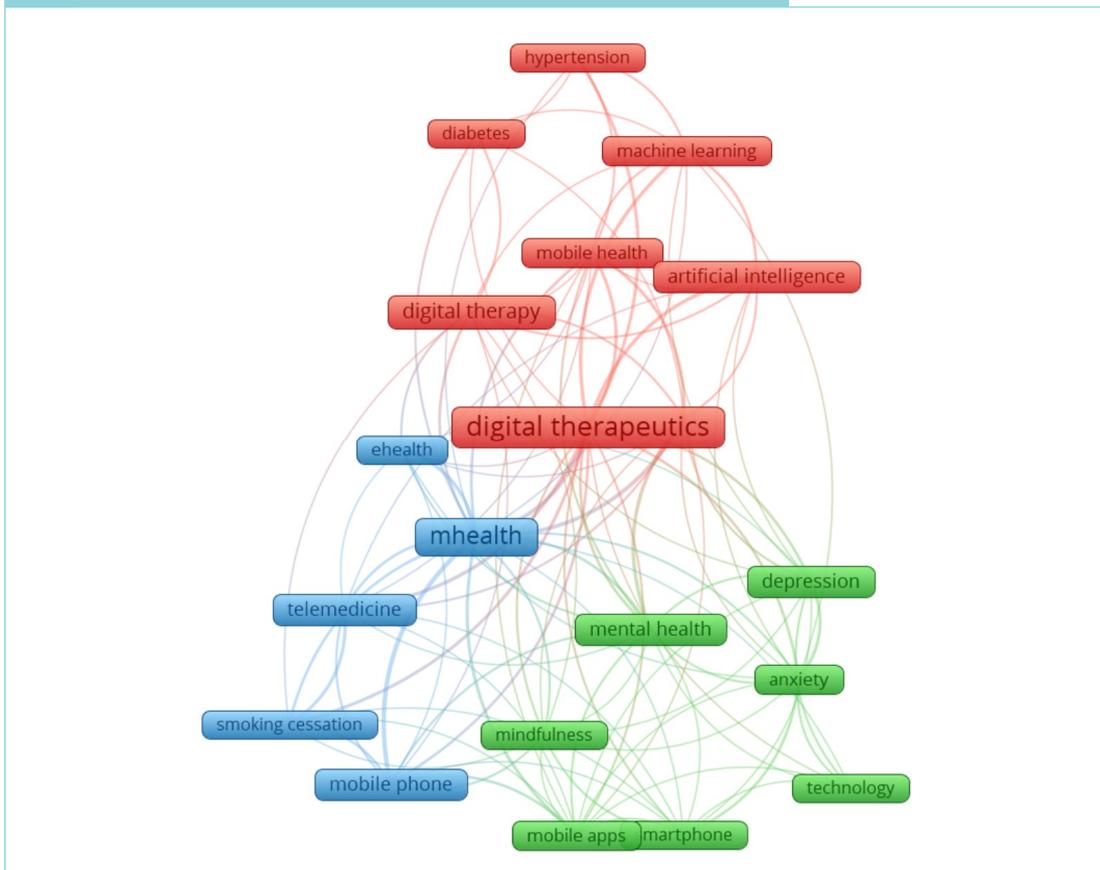
다음으로 주제어 검색 기준으로 디지털치료제의 연구주제는 총 3개로 군집화하였으며 다음과 같은 특성이 나타나고 있다.

- 클러스터 1: 디지털치료제, 모바일 헬스, 인공지능, 머신러닝, 당뇨, 고혈압으로 구성된 붉은색 클러스터로, 인공지능을 활용하여 생활관련 육체적 병리를 치료하는 데 활용됨을 보여줌
- 클러스터 2: 모바일 헬스, eHealth, 원격의료, 모바일 폰, 금연 등으로 구성된 파란색 클러스터로 생활관련 습관 등을 개선하기 위해 이동통신을 활용함을 보여줌
- 클러스터 3: 녹색 클러스터로 스마트폰, 모바일 앱, 모바일 헬스 등을 활용하여 명상 등을 통해 우울증, 근심 등의 치료에 이용됨을 보여줌

이를 종합하면, 디지털치료제의 연구주제는 이동통신 기기를 활용하여 생활병리현상, 생활습관, 정신적 질환을 활용하는 데 초점이 맞추어져 있는 것으로 요약된다.

국내 논문들의 연구주제를 살펴보면, 스마트폰을 활용하여 비만, 과식, 인지행동치료, 근심, 뇌졸중 치료에 활용되는 주제(모든 필드 검색, 주제어 검색 모두)에 초점이 맞추어져 있다. 외국 논문보다 주제의 범위가 다소 한정되어 있다는 특징을 보인다. 이는 지식생산이 수 편에 지나지 않은 근본적 한계에서 발생한 것으로 향후 활발한 지식생산 활동이 이루어진다면 연구주제 역시 크게 확대되고 다양해질 것으로 보인다.

그림 10. 디지털치료제의 연구주제 네트워크(주제어 검색 기준)



자료 : VOSViewer를 활용하여 저자구성

## 5. 소결: 디지털치료제 지식구조와 협력 관계 분석 종합

이상과 같이 본 장에서는 디지털치료제 지식구조와 협력 관계, 주제 등을 체계적으로 분석하였다. 본 장에서 도출된 연구결과를 요약하면 다음 <표 6>과 같았으며 이를 설명하면 다음과 같았다.

우선 지식생산에서 디지털치료제는 비교적 최근에 등장한 주제여서 양적으로 그 규모가 크게 부족한 실정이다. 미국을 중심으로 2018년 이후에 연구가 급증하고 있으나 일부 의료분야에 한정된 연구가 주를 이루고 있다. 지식생산에 참여하는 국가도 다소 제한된 상황이어서 중국, 일본, 홍콩, 대만 등 아시아 국가들의 활발한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 특히 우리나라는 절대적인 지식생산이 부족한 실정이어서 다양한 분야를 중심으로 양적인 확대가 필요하다.

다음 지식 영향에서는 최근에 논문의 피인용이 급증하고 있으나 미국과 영국의 지식 영향력이 강력하게 형성되어 있어 다른 국가들의 다변화된 지식 영향력이 필요한 실정이다. 우리나라는 글로벌 평균 이상의 논문 피인용 회수를 보이나 지식 영향력을 크게 강화하기 위해 우선 지식생산을 늘리는 것이 선결되어야 한다.

글로벌 협력 역시 지식생산이나 영향과 마찬가지로 미국과 영국을 중심으로 지역적 협력이 강한 추세로 나타나고 있다. 디지털 치료 연구 활성화를 위해 국가별, 지역별 협력이 요구되는 상황이다.

끝으로, 지식 주제에서는 디지털치료제가 일부 한정된 주제에서 활용되는 것으로 나타났다. 적용되는 기술범위를 디지털 트윈, 메타 버스 등으로 확대하고 적용 범위를 정신건강, 생활습관, 신체건강 등에서 다양하게 활용될 필요가 있음을 보여주었다.

구분	글로벌	대한민국
지식 생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교적 최근에 등장한 주제여서 지식생산의 양적 규모는 비교적 적음</li> <li>• 2018년 이후 연구가 크게 증가하고 있으며 저수렴속적 증가 추세를 보임</li> <li>• 대부분 의료분야에서 지식생산이 이루어지고 있으며 사회과학 분야에서는 최근 일부 논문이 등장함</li> <li>• 미국이 압도적으로 지식을 생산하고 있으며 서유럽 국가들과 일부 아시아 국가들이 지식생산에서 상위권을 형성하고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지식생산에서 세계 10위권 내외이나 절대적인 생산량이 적음</li> <li>• 의료분야에 집중된 출판이 이루어지고 있음</li> <li>• 일부 대학을 중심으로 지식생산 실적이 집중</li> </ul>
지식 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대부분 최근에 피인용이 급증하는 추세를 보이고 있음</li> <li>• 역시 미국과 영국을 중심으로 지식 영향력이 행사되고 있음</li> <li>• 중국은 디지털치료제 분야에서 지식 영향력이 매우 적음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지식영향에서 세계 10위권 정도임</li> <li>• 글로벌 평균보다 피인용도가 상대적으로 높은 편임</li> </ul>
지식 협력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 글로벌 협력은 주로 미국과 영국을 중심으로 형성되고 있음</li> <li>• 서유럽 일부 국가를 제외하고 다른 국가들의 글로벌 협력이 크게 미흡한 상황</li> <li>• 서유럽 국가, 아시아 국가 등 지역별 협력 추세가 나타나고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영국과 유일한 협업관계가 나타나고 있음</li> <li>• 지식생산이 부족하여 글로벌 협력도 부족한 실정</li> </ul>
지식 주제	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (기술) 인공지능과 VR 기술 활용</li> <li>• (단말기) 주로 이동통신 단말기 활용</li> <li>• (적용 분야) 당뇨, 금연, 뇌졸중, 우울증, 불안, 뇌졸중 등 생활관련 병리, 정신장애, 뇌질환 등에 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지식생산이 부족하여 연구주제로 다소 협소</li> <li>• 비만, 뇌졸중, 근심 등에 적용</li> </ul>

자료 : 저자 작성

# V 국내 디지털치료제 산업경쟁력 강화 방향

## 1. 개요

디지털치료제 산업은 전 세계적으로 초기 도입단계에 있으며, 미국을 선두로 국내외 주요국에서 디지털치료제 산업의 글로벌 산업경쟁력 확보를 위해 정부 차원의 적극적인 R&D 투자와 정책적 지원을 강화하고 있다.

하지만, 우리나라는 글로벌 최고 수준의 IT 인프라와 우수한 의료기술 및 의료진, 정부의 강력한 정책 드라이브 등에도 불구하고 디지털치료제 개발 및 사용 관련 원천기술 부족, 의료 데이터 공유·활용 미흡, 다양한 비즈니스 모델 부족, 벤처 및 스타트업 수준의 기업 참여와 디지털치료제 특성에 맞는 법·제도·규제 인프라 환경 부족 등의 제약점에 직면해 있다. 이로 인해 무한 성장 가능성이 큰 디지털치료제 글로벌 시장에서 우리나라가 뒤처지지 않으려면 산업경쟁력 확보를 위한 산업 진단과 해결방안 마련이 시급히 요구된다.

이에 본 장에서는 ‘다이아몬드 SWOT’ 분석을 적용하여 국내 디지털치료제 산업의 경쟁역량을 진단·평가하기 위해 다이아몬드 모형의 4가지 핵심요소인 수요조건, 요소조건, 전략·구조·경쟁, 관련·지원 분야 각각에 대한 SWOT 분석을 하였으며 이를 통해 국내 디지털치료제 산업의 경쟁력을 높이기 위한 전략적 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 분석방법 및 결과

### 2.1. 분석방법

국내 디지털치료제 산업의 글로벌 선도역량을 확보하는 방안을 분석하는 방법으로 마이클 포터(Michael Porter)의 다이아몬드 모델에 알버트 험프리(Albert Humphrey)가 고안한 SWOT 분석을 결합한 ‘다이아몬드 SWOT’ 분석을 적용하였다. 다이아몬드 모델은 기본적으로 국가 간 경쟁우위 역량을 분석하는 것에서 출발하였으나, 산업, 기업 등 다양한 단위의 경쟁역량을 분석하는 데 활용되고 있다(문휘창, 2011). 이러한 다이아몬드 모형은 수요조건, 요소조건, 전략·구조·경쟁, 그리고 관련 및 지원 분야의 4가지가 국가, 산업 및 기업 등의 경쟁력을 결정하는 핵심 요건이다(문휘창, 2009; Michael E. Porter, 1990). SWOT 분석은 내부적 요인으로 강점

(Strength)과 약점(Weakness), 외부적 요인으로 기회(Opportunity)와 위협(Threat)을 분석함으로써 자체 역량과 외부 환경을 한 눈에 파악하기 쉬운 분석방법이다. 상기 두 가지 분석방법을 결합한 ‘다이아몬드 SWOT’ 분석은 다이아몬드 모델의 수요조건, 요소조건, 전략·구조·경쟁, 그리고 관련 및 지원 분야의 4개 영역 각각에 SWOT를 따로 분석함으로써 보다 체계적이고 종합적인 분석이 가능하다.

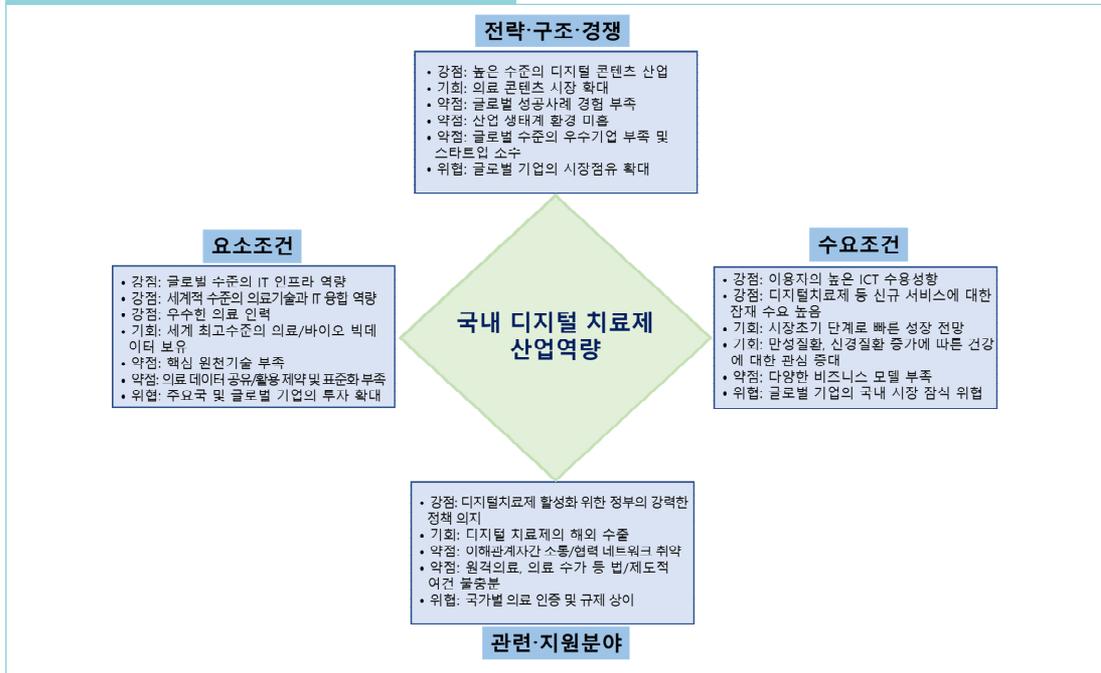
이에 국내 디지털치료제 산업의 4가지 요인별 강점과 약점, 기회와 위협을 분석하기 위해 한국산업기술평가원(2020), 한국과학기술기획평가원(2020), 대한무역투자진흥공사(2020a, 2020b), 식품의약품안전처(2020), 한국바이오경제연구센터(2020) 등의 자료를 분석, 종합하였다.

## 2.2. 분석결과

다이아몬드 SWOT 분석을 적용한 국내 디지털치료제 산업의 글로벌 경쟁력을 주요 문헌분석과 브레인스토밍을 통해 진단한 역량분석 결과는 아래 <그림 11>과 같다.

우선, 우리나라는 수요조건 분야에서 대부분의 국민이 ICT를 수용하고 활용하는 데 익숙한 성향을 가지고 있어 디지털치료제와 같은 새로운 서비스 등장에 대한 잠재수요가 높을 것으로 기대된다. 특히, 만성질환, 신경질환 등과 같은 질환·질병의 증가로 건강에 대한 높은 관심은 디지털치료제에 대한 수요 및 시장 창출의 기회로 이어질 것이다. 또한, 디지털치료제 시장은 전 세계적으로 서비스 개발 및 서비스 제공 초기 단계로 향후 빠른 성장이 기대되는 이머징 시장(emerging market)으로써의 잠재성이 높다. 그러나, 시장수요를 촉진하고 확대할 다양하고 매력적인 비즈니스 모델의 부족은 디지털치료제 시장이 성장하는데 주요한 약점이 될 수 있다. 한편, 디지털치료제 분야에서 글로벌 기업의 국내 시장 진출은 국내 시장을 잠식할 수 있는 위협적인 상황에 직면할 수 있다.

그림 11. 국내 디지털치료제 산업역량



자료 : 저자 작성

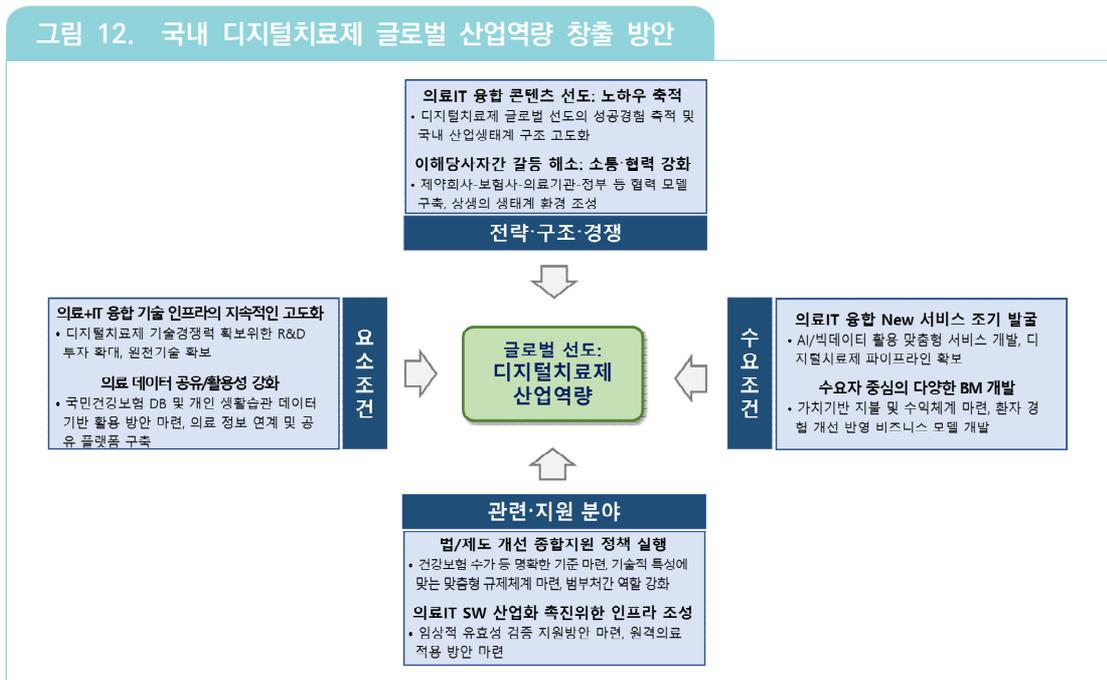
요소조건 분야에서는 글로벌 최고 수준의 IT 인프라 역량을 기반으로 세계적으로 우수한 의료 인력 및 의료기술과 IT 융합 역량의 강점이 있다. 세계 최고 수준의 의료 및 바이오 데이터를 보유하고 있어 빅데이터 기반의 디지털치료제 시장이 성장하는데 있어 기회 요인으로 작용할 것이다. 그러나, 많은 양의 의료데이터를 보유하고 있음에도 불구하고 의료데이터의 공유 및 활용에 제약이 많고 데이터 표준화가 미흡한 것은 디지털치료제의 국내 시장 활성화의 핵심 장애 요인이 되고 있다. 특히, 해외 주요국 및 글로벌 기업의 디지털치료제 분야에 대한 투자 확대는 국내 디지털치료제 산업의 위협요인이 될 것이다.

전략·구조·경쟁 분야에서 우리나라의 강점은 무엇보다도 디지털치료제로 활용되고 있는 VR/AR, 게임 등 디지털 콘텐츠 산업분야의 글로벌 경쟁력을 갖고있는 것이다. SW를 활용한 다양한 의료 콘텐츠 시장의 확대는 디지털치료제 산업 성장의 기회 요인이 될 것이다. 그러나, 글로벌 수준의 우수한 기업은 부족하고 소수의 스타트업만이 참여하고 있는 실정이다. 또한, 국내 민간 제약기업의 관심은 높지 않은 상황에서 디지털치료제 산업생태계 환경은 미흡한 수준으로 산업적 측면의 국내 또는 글로벌 수준의 성공 사례 경험을 창출하지 못하고 있다(한국과학기술평가원, 2020).

관련 및 지원분야에서는 디지털치료기기 허가심사 가이드라인 발표(2020년), 의료기기산업 육성 및 혁신의료기기 지원법(2020년), 제12차 과학기술장관회의(2020년) 등을 통해 디지털치료제 산업 활성화를 위한 정부 차원의 강력한 정책의지가 담겨있으며, 디지털치료제의 해외 시장 진출은 국내 디지털치료제 산업의 성장을 촉진할 기회가 될 것이다. 그러나, 디지털치료제를 둘러싼 이해관계자(의료기관-제약사-보험사-SW개발사-정부 등) 간 소통 및 협력의 네트워크 구축은 미흡한 상황이다. 식약처가 디지털치료제 규제를 신속히 정비하기 위한 노력에도 불구하고, 여전히 이용자에게 디지털치료제 서비스를 원활하게 제공하기 위해서는 원격의료, 의료수가 산정 여부 관련 규제 이슈가 주요 장애 요인으로 작용하고 있다. 한편, 국가별 상이한 인증체계 및 법/규제 등으로 인해 국내 디지털치료제의 해외 시장을 진출하는 데 있어 위협요인이 되고 있다.

### 3. 국내 디지털치료제 산업경쟁력 강화 방향

국내 디지털치료제 산업에 대한 ‘다이아몬드 SWOT’ 분석을 토대로 우리나라가 글로벌 디지털치료제 산업 경쟁력을 확보하기 위한 전략 방향을 제시하면 다음 <그림 12>와 같이 종합된다.



자료 : 저자 작성

우리나라는 수요조건에서 의료 IT 융합의 새로운 서비스를 조기 발굴하는 것이 필요하다. 특히, AI/빅데이터 등을 활용한 개인 맞춤형 서비스를 개발하는 것이 중요하며, 디지털치료제 분야의 연구-전임상-임상 등으로 이어지는 파이프라인을 확보하는 것이 신약개발의 핵심 관건이 될 것이다. 한편, 디지털치료제를 이용하는 수요자 중심의 다양한 비즈니스 모델을 개발하는 것이 중요하다. 디지털치료제에 대한 가치에 기반 한 지불 및 수익체계 시스템을 구축하는 것이 필요하며, 디지털치료제를 이용한 환자의 경험을 고려한 사용자 요구사항이 반영된 블루오션 창출의 다양한 비즈니스 모델을 발굴하는 것이 필요하다.

요소조건에서는 의료IT 융합 기술 인프라의 지속적인 고도화와 의료데이터의 공유·활용성을 강화하는 것이 필요하다. 국내 디지털치료제 기술경쟁력 확보를 위한 R&D에 대한 투자 확대가 중요하다. 과학기술정보통신부를 비롯한 산업통상자원부, 보건복지부 등의 정부부처 R&D 투자가 2015년부터 2019년까지 총 442억 원으로 연평균 25.3% 증가해왔으나, 연평균 투자액은 88억원으로 절대적인 투자 규모가 큰 편이 아니어서 지속적인 R&D 투자 확대 노력이 필요하다(한국과학기술기획평가원, 2020). 초기 성장 단계에 있는 디지털치료제 산업의 성장이 본격화되기 앞서 디지털치료제 관련 원천기술 확보를 위해 정부뿐만 아니라 민간에서도 적극적인 투자가 중요하다. 한편, 방대한 양의 국민건강보험 데이터베이스(DB, Database) 및 개인의 라이프 로그 데이터를 디지털치료제 서비스 개발에 활용할 수 있도록 데이터 공유 및 활용 방안을 시급히 마련하는 것이 중요하며, 의료데이터 연계 및 공유를 위한 민관 협력의 플랫폼을 구축함으로써 데이터 기반 디지털치료제 신약개발을 촉진하는 토대를 조성하는 것이 중요하다.

전략·구조·경쟁 분야에서는 의료 IT 융합의 콘텐츠를 개발과 디지털치료제를 둘러싼 다양한 이해관계자가 갈등을 해소할 수 있는 소통과 협력을 강화하는 것이 필요하다. 디지털치료제의 글로벌 선도를 위한 기술 및 서비스 개발과 사업화로 이어지는 성공 경험을 축적하는 것이 중요하며, 이를 통해 국내 디지털치료제 가치사슬 전반의 건강한 산업생태계를 고도화하는 것이 핵심 관건이 될 것이다. 또한, 제약사-보험사-의료기관-정부-개발사 등 이해관계자 간 논의될 여지가 높은 다양한 이슈를 공론화하고 상호 협력하여 해결책을 고민할 수 있는 상생 협력의 협력 체제 구축 기반의 활력 있는 생태계 환경을 조성하는 것이 중요하다.

관련 및 지원 분야에서는 디지털치료제 서비스 개발 및 산업 활성화에 제약으로 작용 가능한 법·제도적 개선을 위한 종합지원 정책을 조기에 실행하는 것이 필요하다. 디지털기기/SW를 활용한 새로운 개념의 의료서비스에 부합한 정책을 마련하는 것이 디지털치료제 서비스 확대의 근간이 될 것으로 예상함에 따라, 디지털치료제 서비스 제공 관련한 건강보험 수가 산정을 위한 명확한 기준을 마련하는 것이 시급히 요청된다. 또한, IT와 의료 융합의 기술적 특성을 지닌 디지털치료제에 적합한 맞춤형 규제체계를 마련하고, 범부처

간 역할의 조정 및 실행을 강화하는 것이 중요하다. 한편, 의료IT SW 산업화 촉진을 위한 인프라를 조기에 조성하는 것이 필요하다. 디지털치료제 신약개발 과정의 필수사항인 임상적 유효성 검증을 위한 정부 차원의 지원책을 마련하고 디지털치료제 서비스 제공 과정에서 의사와 환자 간 원격의료 도입의 필요성을 고려한 법·제도적 개선 방안 마련을 위한 지속적인 노력이 중요하다.

저자\_ 김문구(Moon-Koo Kim)

• 학력

한국과학기술원 기술경영 박사수료  
한국과학기술원 IT경영학 석사  
연세대학교 경영학 학사

• 경력

現) 한국전자통신연구원 경제사회연구실장  
現) 한국전자통신연구원 책임연구원

저자\_ 박종현(Jong-Hyun Park)

• 학력

성균관대학교 기술경영 박사  
한국과학기술원 IT경영학 석사  
고려대학교 경제학 학사

• 경력

現) 한국전자통신연구원 책임연구원

## 참고문헌

### 〈국내문헌 : 가나다순〉

- 1) 글로벌 경쟁력 강화를 위한 경쟁전략, 문휘창역, 21세기 북스, 2009.
- 2) 디지털치료기기 규제 선도국가로 도약한다, 식품의약품안전처, 2020.
- 3) 디지털치료제, 한국과학기술기획평가원, 2020.
- 4) 디지털치료제 기술동향과 산업전망, 한국산업기술평가관리원, 2020.
- 5) 디지털치료제 동향, 한국바이오경제연구센터, 2020.
- 6) 디지털헬스의 주도적 지위에 관한 예측, 편웅범, 서울대학교, 2019.
- 7) 모바일 의료용 앱 안전관리지침 개정, 식품의약품안전처, 2020.
- 8) 비대면 시대, 비대면 의료 국내외 현황과 발전방향, 한국과학기술기획평가원, 2020b.
- 9) 에코시스템 전쟁시대: 경쟁전략도 진화한다, Special Report, September Issue 1, 동아비즈니스 리뷰, 2011.
- 10) 주요국 비대면 산업동향 및 진출전략, KOTRA, 2020.
- 11) 헬스케어 산업동향, 정보통신산업진흥원, 2019.

### 〈국외문헌 : 알파벳순〉

- 12) The Competitive Advantage of Nations, Michael E. Porter, Harvard Business Review, 1990.
- 13) Digital Therapeutics Definition and Core Principles, DTA(Digital Therapeutics Alliance), 2019.
- 14) Digital Therapeutics Market by Application, Product Type, and Sales Channel: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026, Allied Market Research, 2020.

### 〈기타문헌 : 마지막순서(홈페이지주소 등)〉

- 15) 의학신문, [Http://www.bosa.co.kr/news/articleView.html?idxno=2139454](http://www.bosa.co.kr/news/articleView.html?idxno=2139454)
- 16) MEDIGATENEWS, <https://www.medigatenews.com/news/1132728738>

# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2021 June vol.7 no.6

이 보고서는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 사업임

(No. NRF-2012M3C1A1050726)