

New Mental Health Services in the Post-COVID-19 Era: Application of Technology-Based Approach to Autism Spectrum Disorders

Kyong-Mee Chung Eunsun Chung[†]

Department of Psychology, Yonsei University, Seoul, Korea

Social distancing as a measure to stop the spread of COVID-19 has drastically increased the need for technology-based mental health services. However, resources for the psychological assessment and treatment of the public are extremely limited. Over the past two decades, advances in information and communication technology (ICT) have facilitated technology-based-mental health services, which are deemed the most prominent alternative to traditional face-to-face service delivery amid the pandemic. Both digital phenotyping and digital therapeutics have recently been introduced and actively investigated. In this study, existing research in digital phenotyping and digital therapeutics for autism spectrum disorder was reviewed as a sample to clarify the status of its field applications. Although the development of digital phenotyping is in its early stages, digital therapeutics have been actively and successfully implemented in the treatment field. Given the increasing need for mental health services after the COVID-19 outbreak, change is no longer optional. Thus, preparation for a new technology-based assessment and treatment framework is necessary.

Keywords: Information and Communication Technology (ICT), digital phenotyping, digital therapeutics, Autism Spectrum Disorder (ASD), Post-COVID-19

서 론

COVID-19가 시작된 이후 우리 사회는 경제적, 사회적, 문화적으로 급격한 변화를 경험하고 있다. COVID-19 확산 방지를 위한 중앙안전대책본부의 가장 기본적인 대응지침인 사회적 거리두기¹⁾는 우리 사회가 기본적으로 사회적 상호작용을 기반으로 하여 작동하고 있음을 실감하게 하였다. COVID-19는 우리 삶의 기본적인 프레임의 대대적인 변화를 가져오고 있는데, 이 바이러스가 우리의 생존에 미치는 위협적인 영향력으로 인해 가장 직접적인 영향을 받

는 부분은 건강관리시스템이다(Deloitte, 2020; WHO, 2020). 이미 우리는 안심진료소(Oh, 2020)나 음압시스템(I. S. Choi, 2020) 등 새로운 용어에 익숙해지고 있으며, 전 세계는 새로운 백신과 치료제 발명에 엄청난 투자와 노력을 기울이고 있다(Nature, 2020). COVID-19로 인한 사회적 거리두기와 이로 인한 교육, 경제, 건강, 사회 등 모든 시스템의 급격한 변화는 모든 사람들의 정신 건강 측면에도 영향을 줄 것으로 예상된다. 실제로 최근 조사에서는 긴 투병 생활과 확진에 따른 사회적 낙인으로 고통 받는 확진자와 감염에 대한 공포 및 장기간 지속되는 사회적 격리에 지친 생존자 모두 우울 및 불안 등 심리적 문제를 경험하고 있음을 보고한다(Bai, 2020; Hrynowski, 2020). 이미 COVID-19 팬데믹은 6개월 이상 연장되고 있으며 전문가들은 확산 속도의 증가와 장기화²⁾를 예측하고 있는 바, 앞으로 심리적 문제는 보다 다양해지고 심각해질 가능성이 높다.

[†]Correspondence to Eunsun Chung, Department of Psychology, Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, Korea; E-mail: eun930320@gmail.com

Received Sep 14, 2020; Revised Oct 23, 2020; Accepted Oct 26, 2020

This research was supported by a grant from the ICT Industry & Technology Development Project through the Institute for Information & communication Technology Planning & evaluation (IITP), funded by the National Research Foundation of Korea (Grant number: 2020-0-01965).

1) <http://www.gidcc.or.kr/epvbr/코로나바이러스감염증-19covid-19/>.

2) <https://covid19.who.int>.

국내의 경우 심리학적 서비스를 제공하는 전문인력이 부족한 상태(You & Lee, 2018)에서, COVID-19로 인한 사회적 거리두기로 인해 면대면 의료 및 심리학적 서비스 사용이 제한됨에 따라 그 이용 비율은 급격히 감소하고 있다(Song, 2020). 더욱이, COVID-19는 이제까지 경험하지 못했던 양상의 사회재난으로, 일부 기관을 제외하면 비대면 형식의 심리학적 서비스는 극히 제한적이며 효과성 검증도 필요하다(Park, 2020). 비대면 형식의 서비스는 플랫폼 구축이나 프로그램 개발 등 기술적인 측면에서의 준비가 필요한데, 이를 위한 준비는 극히 제한적이다. 한편, 연구 측면에서도 COVID-19는 상당한 제약을 가져왔는데, 정신 건강에 대한 연구는 그 특성상 대면 연구가 불가피하여 많은 연구가 중단되거나 지연되고 있다. 국내의 경우, 연구재단을 포함한 주요 연구 지원처에서 진행중인 연구의 지속 어려움으로 연장 신청이 증가하였으며, 이에 과학기술정보통신부는 국가 R&D 사업에 대한 공식적인 연구 연장 지침을 내리기도 하였다(Yonhap News, 2020). 이러한 대면 연구의 감소는 COVID-19 사태의 지속으로 당분간 지속될 것으로 보인다.

COVID-19 사태 이후 우리 사회의 변화는 심리학적 평가와 치료에 대한 전통적인 대면 서비스를 대신하는 새로운 접근법의 필요성을 알려주는데, 기술 기반 접근은 최근 4차 산업혁명으로 인한 심리학적 서비스의 프레임 전환과 맞물리며, 대안으로써 가능성이 적극적으로 탐색되고 있다. 지난 10여 년간 온라인과 스마트폰 앱을 이용한 심리 평가 및 치료가 탐색되고 있는데, 특히 스마트폰 앱과 연동된 웨어러블 디바이스의 보급으로 정신 건강 평가나 개입이 접목된 디지털 표현형(Digital Phenotyping)과 디지털 치료제(Digital Therapeutics)로 명명되는 새로운 분야가 주목할 만하다. 디지털 표현형이란 개인의 디지털 기기(주로 스마트폰)의 데이터를 사용하여 개개인의 표현형을 개별적, 순간적으로 정량화하는 기술이며(Torous, Kiang, Lorme, & Onnela, 2016; Onnela & Rauch, 2016), 디지털 치료제는 질환의 추적, 관리, 치료를 목적으로 근거 기반 개입을 제공하는 모바일 앱, 가상현실, 챗봇, 인공지능을 포함하는 소프트웨어 기기를 칭한다(M. J. Choi et al., 2019; Riva et al., 2019). 이 새로운 기법들은 기기가 수집하는 대규모의 데이터와 머신러닝에 근거한 분석이 가능해짐에 따라, 정신건강에 대한 효과적인 평가, 진단, 예측, 그리고 치료를 가능하게 하였다. 각각의 영역은 다양한 사회적 요구와 지원 시스템과 결합하여 다양한 형태의 연구를 촉진시키고 있다.

디지털 표현형

평가 영역은 이미 2000년대부터 지능검사를 포함해 성격검사, 진단 검사 등 많은 전통적인 심리 평가가 전산화되어 표준화된 점수 및

해석이 가능해졌다(Koo & Bai, 2006). 그러나 본격적인 기술과의 접목은 최근 10년 사이에 활발해지기 시작한 디지털 표현형(Digital Phenotyping)의 출현으로 볼 수 있다(Jain, Powers, Hawkins, & Brownstein, 2015). 디지털 표현형은 스마트폰과 같은 개인용 디지털 기기를 사용하여 개인의 행동적, 생리적, 사회적, 환경적 정보를 매 순간마다 정량화하는 것을 뜻하는 것으로(Torous et al., 2016). 주로 모바일 및 웨어러블 기기에 내장된 여러 센서(sensor) (e.g., GPS, gyroscope, microphone, light, camera 등)를 통해 다양한 행동(e.g., 움직임 위치 및 거리, 걸음수, 체온, 심박수, 통화량, 앱 사용 정보 등)에 대한 자료를 수집한다(Huckvale, Venkatesh, & Cris-tensen, 2019). 디지털 표현형을 연구하는 연구자들은 다양한 행동, 생리, 환경적 지표들을 다차원적으로 수집함으로써 개인의 표현형을 구성하고 이를 통해 인간의 다양한 측면에 대한 측정과 예측이 가능하다고 가정한다(Cho et al., 2019).

디지털 표현형은 체온, 걸음 수, 심박수 등 신체활동에 대한 모니터링과 진단에 주로 적용되다가, 최근 5~6년 사이에 정신 과정에 대한 측정 시도가 활발해지고 있다. 이런 움직임은 심리학자나 정신 건강 전문가보다는 컴퓨터공학 등 기술 전문가들에 의해 주도되고 있는데(Mohr et al., 2017), 아직은 지극히 초보적인 단계이나, 지난 10년간 일부 연구자들은 심리학이나 정신과학 등 전문가를 포함한 다학제적 팀을 구성하여 우울장애(Ghandeharioun et al., 2017; Wang et al., 2018), 양극성장애(Beiwinkel et al., 2016; Faurholt-Jepsen et al., 2016), 조현병(Shin et al., 2016; Tron, Resheff, Bazhmin, Peled, & Weinshall, 2017), 외상후 스트레스 장애(Posttraumatic Stress Disorder; PTSD; McDonald, Ssangohar, Jatav, & Rao, 2019) 등 다양한 정신장애의 측정에 디지털 표현형을 조사하여 그 유용성을 확인해 왔다. 이들이 주로 사용하는 방법론은 기준의 자기보고 평가 결과를(예: Beck Depression Inventory, BDI 점수) 기준으로 놓고, 다양한 센서를 통해 얻은 자료가 이 기준 자료와 얼마나 관련이 있는지 상관이나 회귀를 통해 살펴보거나(Cho et al., 2019; Rohani, Fauholt-Jepsen, Kessing, & Bardram, 2018), 머신러닝을 이용해 일부 자료(예: 약 30%의 자료)의 패턴으로 다수의 자료(예: 나머지 70%의 자료)를 예측하는 형식을 취한다. 대다수의 연구에서 일관적인 상관이나(예: 우울한 사람들은 움직임이 적고, 움직이는 변산이 작다), 70~80% 수준의 행동 예측(예: 30% 참가자의 우울에 대한 분석 자료로 나머지 70%의 우울 패턴을 예측할 수 있다)을 보고하지만, 타당성의 문제, 특히 이런 센서의 패턴이나 조합이 과연 우울을 예측하는가에 대한 의문은 해결되지 못하고 있다(Barri-gon, Courtet, Oquendo, & Baca-Garcia, 2019).

하지만 개인의 일상생활에서 실시간 자료의 연속적인 대량 수집

이 용이하다는 점에서 진단(Zulueta et al., 2018), 모니터링 (Boukhechba et al., 2017; Mehrotra & Musolesi, 2017), 그리고 재발방지(Barnett et al., 2018; Palmius et al., 2017)에 대한 유용한 지표로써의 가능성이 적극적으로 탐색되고 있다. 국내의 경우, 정신건강에 대한 디지털 표현형 관련 연구는 극히 소수인데, 대표적으로 고려대학교 병원 정신건강의학과 연구팀이 55명의 우울 혹은 양극성 장애 집단을 대상으로, 스마트폰 앱과 웨어러블 디바이스를 통해 활동량, 수면, 빛 노출, 심박수의 디지털 로그 데이터를 2년간 수집하였다(Cho et al., 2019). 이 대규모 데이터에 대한 머신러닝을 통해 우울을 예측하는 알고리즘을 개발하였고, 증상 예측의 정확도는 평균 85% 이상이었다(Cho et al., 2019).

정신 건강에 대한 측정에 있어 디지털 표현형은 현재 정신과학이 직면한 어려움을 해결할 수 있는 방법으로써 그 가능성과 발전성이 기대되고 있다. 먼저, 새로운 진단체계에 대한 요구로 미국 정신건강센터(MINH)에서는 Research Domain Criteria (RDoC)라는 새로운 분류체계를 개발하고 이에 대한 연구를 전폭적으로 지원하고 있다(Insel et al., 2010). RDoC는 5개의 영역(Negative valence system, Positive valence system, Cognitive system, Systems for social processes, Arousal and regulatory systems)에 대해 유전자부터 자기보고식 검사에 이르는 8개 수준의 분석 단위(units of analysis)를 설정하고, 이를 위한 행동자료 수집을 강조한다(Cuthbert, 2014). 디지털 표현형은 RDoC에서 추구하는 다양하고 복잡한 수준의 행동자료 수집에 최적화된 방법으로 간주되며, 따라서 이 방법에 대한 지속적인 탐색과 발전은 당분간 지속될 것으로 예상된다. 둘째는 정신의학에서 대두되고 있는 정밀 의학(Precision Medicine)에 대한 필요성의 증대이다(Insel, 2017). 정밀의학이란, 각 개인의 유전적 요소, 생활환경 및 습관, 질병력 등을 고려하여 개인에 최적화된 진단 및 치료를 제공하고, 나아가 예측, 예방까지 포함하는 개념이다(Insel, 2014). 이는 기존에 주관적 보고에 의존하여 부정확한 의사결정으로 인해 환자에게 해로운 판단을 내릴 수 있음을 인정하고, 보다 객관적이고 다양한 자료에 의해 정확하고 종합적인 의사결정을 함으로써 환자를 보다 효과적으로 치료해야 한다는 움직임이다(Insel, 2014). 디지털 표현형은 환자들의 일상 자료를 환자의 노력 없이 수집 및 분석하게 해주고, 이를 전문가와의 진료 시 의사결정의 기준으로 사용할 수 있게 해주는 비용 효율적이고 편리한 도구로(Dawson & Sapiro, 2019), 전통적인 심리학적 평가에 보조적으로 사용되거나, 혹은 이를 대체할 도구로의 가능성이 타진되고 있다(Torous, Onnela, & Keshaven, 2017).

디지털 치료제

디지털 치료제는 디지털 표현형보다 일찍이 다양한 증상과 임상군을 대상으로 스마트폰 앱부터 가상현실, 챗봇까지 두루 개발되어 왔으며, 평가와 진단 이후 처방 하에 적용되고 있다. 디지털 치료 영역에서 가장 활성화된 치료기법은 전산화된 인지재활(de Joode, van Boxtel, Verhey, & van Heugten, 2012)과 인터넷 기반 인지행동 치료(i-Cognitive Behavioral Therapy; i-CBT)인데, 특히 i-CBT는 우울(Firth, Torous, Nicholas, Carney, Pratap, et al., 2017)과 불안(Firth, Torous, Nicholas, Carney, Rosenbaum, 2017)을 비롯해 양극성 장애(GLiddon, Barnes, Murray, & Michalak, 2017), 조현병 (Schlosser et al., 2018) 그리고 PTSD (Simon et al., 2019) 등에 효과적으로 적용되어 왔다. 최근에는 보다 다양한 시도가 진행되고 있는데 예로, 'Simsensei' (DeVault et al., 2014)는 가상 인물과의 챗봇 형태의 정신 건강 관리 프로그램으로 머신러닝 기법을 통해 우울, 불안, PTSD 증상을 탐지하여 필요한 개입을 제공한다. 또한, 성인 조현병 집단을 대상으로 한 'Pear-004' (Campellone, Smayda, & Maricich, 2019)는 인지행동치료와 사회기술훈련을 통한 증상 개선과 재발율 감소에 효과가 검증된 디지털 치료제이다.

특히, 'reSET-O (Christensen et al., 2014)'와 'EndeavorRx (Akili, 2020)'는 주목할만한데, 'reSET-O'는 약물 중독 치료를 위한 인지행동치료와 유관관리(Contingency Management)를 골자로 하는 앱 기반 디지털 치료제로, 디지털 치료제로서는 최초로 미 Food and Drug Administration (FDA) 승인을 받았다(FDA news, 2018). 이는 Pear Therapeutics사가 개발하고 효과성을 검증한 후, 다국적 제약사 Sandoz사와의 협업을 통해 현재 상업화되었다(Lovett, 2018). 'EndeavorRx'는 ADHD 아동의 인지기능 향상을 위한 컴퓨터 기반 프로그램으로 샌프란시스코 대학(University of San Francisco)의 Gazzaley 박사가 개발한 비디오 게임을 Akili라는 회사 창업을 통해 상업화를 성공적으로 달성한 후 미 FDA 승인(FDA news, 2020)을 받은 프로그램이다. 이 두 프로그램의 성공은 디지털 치료제 분야에서 큰 획을 긋는 성과로 추후 정신건강서비스의 방향 전환에 기폭제가 될 것으로 평가되며, 실제적으로 국내를 포함해 다양한 국가에서 연구팀과 및 산업체가 디지털 치료제의 개발에 본격적인 투자와 지원을 시작하고 있다(Global Newswire, 2020).

국내의 경우, 그 숫자나 규모 측면에서 해외보다 크게 부족하지만, 해외와 비슷하게 주로 치료 앱의 개발에 집중되고 있다. 구글이나 iOS 스토어에서 심리치료와 관련된 수많은 앱을 찾아볼 수 있으나, 이들은 유사치료 앱들로 이론적 틀이나 경험적 근거가 제한된 경우가 대부분이다(Torous & Roberts, 2017). 연구 프로젝트의 일환으로 개발된 몇몇 앱은 주목할 만한데, 이들은 주로, 이론에 근거

하여 개발되었고 효과성 검증 후 앱 시장에 업로드된 상태다. 예를 들어, 인지행동치료 앱 몇 개('마성의 토닥토닥'³⁾, '스프링'⁴⁾, '오늘 하루'⁵⁾, 'HYM'⁶⁾)와 자폐 스펙트럼 장애 아동 대상 사회성('룩앳미'⁷⁾, 'Yface'⁸⁾) 혹은 인지기능 훈련 앱('Ycog'⁹⁾, 'YESS'¹⁰⁾)과 성인 대상의 주의력 및 집중력 평가 앱('코콘'¹⁰⁾)이 근거에 기반하여 개발되어 효과성이 검증된 바 있다. 그러나 연구과제를 통해 개발된 이런 앱들은 관리 및 유지보수에 필요한 예산이나 관리자 지정의 어려움으로 일반인의 프로그램의 사용이 제한된다.

최근 이러한 흐름에 맞춰 ICT 기반 건강 관리 연구 및 실질적인 개발 사업 지원 역시 증대되고 있다. 구체적으로, 생명공학정책연구센터가 발표한 '디지털 치료제 개발 동향'에 따르면 미국 내 디지털 치료제 시장규모는 2017년 8억 9,000만 달러(1조 354억 원)에서 연평균 30.7%씩 성장해 2023년에는 44억 2,000만 달러(5조 1,422억 원)를 형성할 전망으로 보고된다(Biotech Policy Research Center, 2019). 또한, 과학기술정보통신부와 한국과학기술기획평가원(KISTEP, 2020)은 Post-COVID-19 시대의 건강관리 분야 유망 기술로 AI기반 실시간 질병 진단, 실시간 생체정보 측정 및 분석, 예측과 조기경보 등 디지털 기술 활용 가능성을 제시하였다. 특히, COVID-19 이후 미국 FDA는 잠재적 접촉을 줄이기 위해 정신 질환에 대한 디지털 치료제의 사용을 확장하고 사용을 촉진하는 새 정책을 발표하여(Food and Drug Administration, 2020), Post-COVID-19 시대에 디지털 기술을 이용한 심리학적 서비스 연구 및 사업 시장은 지속적으로 확대될 것으로 기대된다.

기술기반접근의 예: 자폐범주성장애

Post-COVID-19 시대의 심리학적 서비스는 새로운 국면을 맞이하고 있으며, 효과적이고 근거에 기반한 비대면 심리학적 평가 및 치료 개발을 위한 임상심리학의 중요성과 역할은 더욱 커질 것으로 기대된다. 본 논문에서는 아동 청소년은 물론 성인을 포함한 정신 장애 관련 다양한 형태의 기술기반접근이 가장 활발하게 접목되고 있는 자폐범주성장애(Autism Spectrum Disorder, ASD) (Grynszpan, Weiss, Perez-Diaz, & Gal, 2014)를 예로 기술기반접근이 실제

장애에 어떻게 적용되어 왔는지, 그리고 어떤 형태로 발전되어 가고 있는지 살펴보고자 한다. 비록 본 고찰이 한 장애에 국한되나, 기술기반접근의 발전 양상과 형태를 파악하는데 중요한 정보를 제공할 것이다.

자폐범주성장애는 신경발달장애 중 하나로, 사회적 상호작용 및 의사소통 능력의 질적 손상, 그리고 제한된 관심 및 상동 행동이 주요 특징이다(American Psychiatric Association, 2013). 가장 전통적인 치료적 접근은 응용행동분석(Applied Behavior Analysis, ABA) 원리에 근거한 불연속 개별시행 훈련(Discrete trial training, DTT; Lovaas, 1987)을 핵심적인 방법으로 인지, 의사소통, 사회 기술, 자조 행동 등 아동 발달 전반에 대해 면대면으로 구체적인 기술을 작은 단위로 나누어 일일이 가르치는 방식이다(Rao, Beidel, & Murray, 2008). 이는 아동부터 성인까지 증상 개선 및 사회성 향상에 효과적이나(Wong et al., 2015), 전문기관과 인력의 부족, 치료환경의 시공간적 제약, 그리고 고비용 등의 한계로 접근성이 제한된다(Whalen, Liden, Ingersoll, Dallaire, & Liden, 2006). 국내의 경우, 실제로 치료 서비스 혜택을 받는 자폐 인구는 약 17%에 불과하며, 전문가와 치료 기관이 제한된 지역에서의 접근성은 더욱 제한된다(Kim & Ju, 2007).

기술기반접근은 이러한 기존 치료의 한계를 보완하는 대안책으로 최근 자폐증에 활발히 적용되고 있다(Grynszpan et al., 2014). 이는 자폐증의 기술 습득에 가장 효과적으로 알려진 ABA의 치료 기법이 기기를 이용한 훈련 프로그램에 효과적으로 구현될 수 있음에 근거한다. 구체적으로, ABA에 근거한 개입 방법들은 반복되고 예측 가능한 지시 사용, 적은 사회적 요구, 맞춤식 나이도, 구조화된 절차, 복합적인 감각 자극의 사용이라는 요소를 포함하는데, 기술기반접근은 이를 보다 효율적으로 구현하여 자폐 아동에게 효과적이고 유용한 개입을 제공한다(Golan, LaCava, & Baron-Cohen, 2007; Smith & Sung, 2014). 더불어 자폐 아동이 전자기기에 대한 선호와 흥미도가 매우 높다는 점(Bernard-Opitz, Sriram, & Nakhoda-Sapuan, 2001; Xin & Leonard, 2015)도 기술기반접근의 사용과 확산을 촉진시키고 있다.

3) <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mhrnd.tdc&hl=ko&gl=US>.

4) <https://www.sogang.ac.kr/front/boardview.do?pkid=508124¤tPage=2&searchField=ALL&siteGubun=1&menuGubun=1&bbsConfigFK=104&searchLowItem=ALL&searchValue=>.

5) <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.haruaasd.app.harucombined&hl=ko&gl=US>.

6) <https://play.google.com/store/apps/details?id=goosl.hym.sleep&hl=ko>.

7) <https://news.samsung.com/kr/%EC%86%8C%ED%86%B5-%EB%8A%A5%EB%A0%A5%EC%9D%84-%ED%9B%88%EB%A0%A8%EC%8B%9C%ED%82%A4%EB%8A%94-%EC%95%A0%ED%94%8C%EB%A6%AC%EC%BC%80%EC%9D%B4%EC%85%98-%EB%A3%A9%EC%95%B3%EB%AF%88>.

8) <https://play.google.com/store/apps/details?id=yonseipsychology.yface&hl=ko&gl=US>.

9) <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.YessProject.Yess&hl=ko>.

10) <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.bcloud.cocon&hl=ko>.

자폐증을 대상으로 한 기술기반접근, 특히 기술기반개입의 치료 효과성은 메타분석 연구들을 통해 그 근거가 확립되고 있다. Odom 등(2015)은 1990년부터 2013년까지 자폐 청소년을 대상으로 가정, 학교, 지역사회 등 다양한 환경에서 기술 기반 개입을 시도한 연구 30개를 고찰하고, 학업, 적응 행동, 사회성 및 의사소통, 직업 등 다양한 목표 영역에 효과적임을 확인하였다. Barton, Pustejovsky, Maggin, 그리고 Reichow (2017)는 위 연구를 확장하여 2015년까지의 자폐 아동 대상 기술 기반 개입 문헌 35개를 메타분석하였는데, 집단 연구(12개)의 효과 크기는 $d = 0.66$ (95% CI = [0.41, 0.91], $p < .001$)였으며, 단일 사례 연구(23개)의 효과 크기는 $d = 1.97$ (95% CI = [0.73, 3.21], $p = .010$)였다.

본 논문에서는 가장 최신 기술인 디지털 표현형과 디지털 치료제가 자폐증의 평가와 치료에 적용되고 있는 현황을 분석하여 디지털 기반 정신 건강 개입의 혜주소를 알아보고, 이후 전반적인 정신 건강에의 적용을 위한 추후 방향성을 제공할 것이다.

본 문

자폐증 대상 디지털 표현형과 평가

자폐증은 주로 유전적 병인으로 인한 신경발달장애로 간주되나, 그 증상들에 있어서는 높은 이질성(Heterogeneity)을 보이며, 이는 평가와 치료의 어려움으로 이어진다(Doi, 2020). 최근에는 대규모

Table 1. Assessment using digital phenotyping and digital measurements in ASD

Author (Published Year)	Participants (n)	Platform	Sensor	Method	Result
Hswen et al. (2019)	User with ASD (152) TD user (182)	Smartphone app (Twitter)	Text	Conducted between-group comparative textual analysis of tweets about fear, anxiety, paranoia, and OCD theme.	Users with ASD posted higher frequency of tweets about fear, anxiety, paranoia and 4 OCD-related keywords (fixate, count, excessive, concern) than TD users.
Grossard et al. (2020)	Children with ASD (36) TD children (157)	Computer vision technology	Facial landmarks (ex, mouse and eye corner, nose tip, etc.)	Generated facial expression (FE) classifier using facial emotion (joy, sadness, anger, neutral) image dataset. Established model using childrens' FE classification data.	Children with ASD had more difficulty producing FEs than TD children. Classifiers needed more facial landmarks to achieve FE classification in children with ASD than in TD children.
Dawson et al. (2018)	Toddler with ASD (22) TD toddler (96)	Computer vision technology	Facial landmarks (ex, middle point of nose, etc)	Assessed midline head postural control using computer vision analysis, as reflected in the rate of spontaneous head movements while watching video clips (active attention).	Toddlers with ASD exhibited higher rate of head movement as compared to TD toddlers, suggesting difficulties in maintaining midline position of the head while engaging attentional systems.
Ardalan et al. (2019)	Adolescents with ASD (39) TD adoles- cents (23)	Kinect and Nintendo Wii sensors	joint dots (whole-body)	Collected kinematic (whole-body movement) and postural sway data during multiple sessions of videogame play.	Adolescents with ASD exhibited more variability and entropy in their movements. Machine learning analysis of the youths' motor patterns distinguished between the ASD and TD groups with high accuracy (up to 89%).
Anzulewicz et al. (2016)	Children with ASD (37) TD children (45)	Touchscreen Tablet PC	Inertial movement sensors, Touchscreen data	Recorded the spontaneous and goal-oriented movement kinematics and gesture forces during the game play through tablet PC.	Machine learning analysis of the children's motor patterns identified autism with up to 93% accuracy. Analysis revealed these patterns consisted of greater forces at contact and with a different distribution of forces within a gesture, and gesture kinematics were faster and larger, with more distal use of space.
Vargas- Cuentas et al. (2017)	Children with ASD (8) TD children (23)	Tablet PC	Eye movement using camera	Measured gaze preference of children for social scene compared to abstract scenes while watching video. Developed an eye-tracking algorithm that calculates the child's gaze preference for the social and abstract scenes.	Algorithm correctly differentiates visual preference for either social or abstract scenes of two groups and maintains high accuracy compared to the manual classification. (the error of the algorithm was 1.52%).

Note. ASD = Autism Spectrum Disorder; TD = Typically Developing.

데이터 수집에 기반하여 자폐증을 보다 동질적인 집단으로의 군집화하는 것이 평가와 치료는 물론, 병인 연구에도 유용한 접근이라는 움직임이 대두되면서(Asif et al., 2020), 자폐증을 대상으로 디지털 표현형을 적용하려는 시도가 활발해지고 있다(Washington et al., 2019). 자폐증에 대한 디지털 표현형의 적용은 아직 시작 단계로, 현재까지는 디지털 측정치(Digital Measurements)를 사용하여 목표 기술을 정량화하고, 그 평가를 시도한 연구들이 대부분이다. Table 1은 디지털 측정치를 포함한, 디지털 표현형에 기반한 자폐증 대상 평가 현황이다.

위와 같이 자폐증의 평가를 목표로 한 디지털 표현형 관련 연구는 현재까지 주로 운동학적 패턴(motor pattern), 얼굴 표정, 눈 움직임 측정을 대상으로 적용되고 있다. 이 연구들은 디바이스로 실시간 수집한 자료를 통해, 자폐 아동과 정상발달 아동 간 행동 패턴 혹은 증상의 차이를 유의하게 예측하고 변별하는지를 목적으로 하였다. 이 중 머신러닝 기법을 사용한 연구들(Ardalan Assadi, Surgent, & Travers, 2019; Anzulewicz, Sobota, & Delafield-Butt, 2016)은 증상에 대해 평균 80% 이상의 높은 정확도로 자폐 아동과 정상 발달 아동을 변별하였다. 집단 비교를 목적으로 한 연구들은 불안 및 공포에 대한 사고(Hswen, Gopaluni, Brownstein, & Hawkins, 2019), 얼굴 표정(Grossard et al., 2020), 눈 움직임(Vargas-Cuentas et al., 2017) 관련 디지털 측정치에 대한 집단 간 유의미한 차이를 보고하였다. 이는 자폐 아동을 대상으로 디지털 표현형에 기반한 평가가 자폐 집단을 변별하거나 증상을 평가하는 데에 효과적임을 의미한다. 또한, 아동이 영상을 시청하거나 게임을 하는 도중 데이터를 수집하여(Anzulewicz et al., 2016; Ardalan et al., 2019; Dawson et al., 2018; Vargas-Cuentas et al., 2017), 아동의 의식적이고 추가적인 노력 없이 평가가 가능하다는 점에서 높은 효율성을 가진다.

자폐증 대상 디지털 치료제와 개입

디지털 치료제로 일컬을 수 있는 기술기반 개입은 이미 자폐증을 대상으로 다양한 목표영역에 적용 중으로, 해당 파트에서는 현재까지 실시된 연구들을 고찰하였다. EBSCO, PsycINFO, MEDLINE, Google Scholar, DBpia에서 1990년부터 2019년까지 국내외에서 자폐 아동을 대상으로 실시된 기술기반개입 문헌 검색을 실시하였다. 기존 문헌과 고찰 목적을 근거로 검색어¹¹⁾를 결정하여, 검색을 통하여 3,613개의 논문을 찾았고, 1차적으로 논문의 제목 및 초록을 통하여, 2차적으로는 선정 기준에 근거하여 고찰에 포함될 논문을 선정 혹은 배제하였다. 선정 기준은 다음과 같다. (1) 1990년부터 2018년 까지 출판된 국내외 논문, (2) 연구 대상 전체 혹은 일부가 DSM상에서 자폐 스펙트럼 장애 진단을 받았거나, 주요 진단기준을 충족, (3) 집단 설계 혹은 최소 3명 이상의 참가자로 구성된 단일대상연구(Ray et al., 2010), (4) 기술기반 훈련을 실시한 경우. 포함된 기술 유형은 자폐 아동 대상 선행 고찰 문헌들에서 공통적으로 가장 빈번하게 확인된 기술 유형인 컴퓨터 소프트웨어, 웹기반, DVD, 모바일 앱, 가상현실(Virtual Reality, VR)의 5가지 형태(Barton et al., 2017; Grynszpan et al., 2014; Odom et al., 2015)를 포함한다. 배제 기준은 다음과 같다. (1) 다른 치료에 보조적인 훈련으로 이용되거나 지시(Instruction) 목적으로 사용, (2) Speech Generating Device (SGD) 이거나 Augmentative Alternative Communication (AAC) 목적으로 사용한 경우. 선정 조건을 만족하는 자폐 아동 대상 기술 기반 개입 연구는 총 102개로, 이 중 사회성을 목표로 한 연구가 47개(국외 44개, 국내 3개), 학업 기술을 목표로 한 연구가 28개(국외 27개, 국내 1개), 자조기술과 직업기술이 각각 17개(국외 16개, 국내 1개), 10개(국외 9개, 국내 1개)였다(Table 2).

분석 결과, 확인된 연구를 목표 영역에 따라 기술 유형별로 요약

Table 2. Technology used by categories of target skills¹²⁾

Target skills	Computer/Software	Online program	DVD	Mobile App	Virtual Reality (VR)	Total
Social Interaction						47
Social skills	5			3	3	11
Communication skills	4			1		5
Face Recognition skills	6			1		7
Emotion Recognition skills	18	1	3		2	24
Academic skills	20	1		7		28
Daily living skills	10		2	5		17
Vocational skills	3		1	2		10

11) 검색에 사용된 단어나 단어의 조합은 다음과 같다: 'Autism OR 'ASD' OR 'Autism Spectrum Disorder', AND ('technology' OR 'computer' OR 'internet' OR 'DVD' OR 'application' OR 'app' OR 'VR' OR 'ICT'), AND ('intervention' OR 'program' OR 'training'

12) 포함된 전체 문헌 목록은 필요 시 저자에게 요청 바람.

하면 다음과 같다.

사회성

사회성 영역에서 효과성이 가장 많이 검증된 영역은 정서 인식 영역으로, 얼굴 표정 사진, 만화, 동영상 등의 사회적 상황에서 정서를 인식하는 훈련으로 구성된다. 컴퓨터와 웹 프로그램을 이용한 총 19개 중 18개에서 정서 인식 능력 향상에 효과가 나타났으며, Emotion Trainer (Silver & Oakes, 2001), Mind Reading (Baron-Cohen et al., 2004), Junior Detective Training Program (Beaumont & Sofronoff, 2008), JeStimule (Serret et al., 2014), Emotiplay (Friden-son-Hauo et al., 2017)는 효과가 반복적으로 검증된 프로그램들이다. DVD 형식인 The transporter (Golan et al., 2010)를 이용한 3개 연구는 모두 정서 인식 능력 증진에 효과를 보고하였으며 최대 3개 월의 유지 효과가 있었다. VR 기반 2개 연구도 각각 효과를 보고하여 최신 기술 활용에 대한 기대를 높였다.

다음으로 기술이 활발히 적용된 영역은 구체적인 사회 기술(인사하기, 물건 공유하기, 놀이 참여, 칭찬과 같은 사회적 코멘트 등)을 가르치는 훈련이다. 컴퓨터 프로그램 기반 훈련(5개 중 4개)과 앱 기반 훈련(3개 중 2개)에서 훈련 후 사회적 상호작용의 양적, 질적 향상이 나타났다(Jo, 2008; Beaumont & Sofronoff, 2008; Bernard-Opitz et al., 2001; Escobedo et al., 2012; Grynszpan et al., 2007; Simpson, Langone, & Ayres, 2004). 4개는 가상현실의 교실, 놀이터, 식당 등 다양한 사회적 상황에서 적절한 행동을 훈련하는 형태로 적용되었는데, 모두 훈련 후 사회 기술의 향상이 나타났으며, 정서 인식(Didehbani, Allen, Kandalaft, Krawczyk, & Chapman, 2016; Ip et al., 2018; Kandalaft et al., 2013), 직업 기능(Kandalaft et al., 2013), 집행기능(Didehbani et al., 2016)의 추가적 향상도 보고되었다. 이는 다른 영역으로의 일반화에 있어서 VR 기반 훈련이 특히 효과적일 수 있음을 시사한다.

의사소통 기술 훈련은 총 5개 연구가 확인되었는데, 4개가 컴퓨터 프로그램을 통해 기능적 의사소통 및 수용 언어를 훈련하고 반향어 감소 및 맥락에 적절한 발화 증가(Hetzroni & Tannous, 2004), 수용 언어 향상(Coleman-Martin et al., 2005; Whalen et al., 2006; Whalen et al., 2010)에의 효과를 검증하였다. 1개의 연구는 모바일 앱으로 그림교환의사소통체계(PECS)를 구현하여 요구하기 및 수용 언어 향상에 대한 효과를 확인하였다(Ganz et al., 2013).

얼굴 인식 훈련은 자폐증 얼굴 인식 결함을 설명하는 대표적인 이론인 중앙응집약화(Weak Central Coherence) 이론(Frith,

1989)¹³⁾에 근거해, 시선 따라가기, 얼굴 재인 및 회상 등과 같이 눈을 중심으로 하여 얼굴을 전체적으로 처리하도록 유도하는 훈련으로 구성된다. 총 7개의 연구 중 6개가 컴퓨터 프로그램이며, 이 중 3개가 Hopkins 등(2007)의 FaceSay를 실시하여 얼굴 인식 능력에의 효과를 반복 검증 및 사회적 상호작용의 추가적인 향상을 보고하였다. 다른 3개 연구도 직접 개발한 얼굴 인식 훈련을 실시하고 눈맞춤 및 얼굴 인식 과제에서의 수행 향상을 보고하였다(Oh & Chung, 2017; Faja et al., 2007; Tanaka et al., 2010). 1개의 연구는 국내에서 앱으로 실시된 얼굴 인식 및 사회 기술 훈련 룩앳미(LookAtMe)로, 눈맞춤 및 사회성 향상을 확인했으나, 얼굴 인식 능력에는 제한된 효과를 보고하였다(Chung, Oh, & Seo, 2018).

학업 기술

학업 기술과 관련된 연구들은 읽기, 쓰기와 같은 기초적인 학습 능력을 훈련하거나, 수학, 과학, 지도 읽기 등 구체적 내용을 학습시키는 목적으로 기술을 이용하였으며, 주로 컴퓨터 프로그램 혹은 모바일 앱을 통해 실시되었다. 컴퓨터 프로그램 및 웹을 이용한 21개 연구 중 18개의 연구가 학업 기술 및 학습 내용 향상에 효과를 보고하였다. 대표적으로 수용 언어, 사회적 이해, 학습 기술, 주의 및 기억 향상을 종합적 목표로 하는 TeachTown (Whalen et al., 2006; Whalen et al., 2010), 기초 읽기, 단어 쓰기, 간단한 문장 완성 훈련 ALPHA (Heimann et al., 1995; Nelson & Prinz, 1991; Tjus et al., 2001), 문장 구조 만들기 훈련 Deltamessages (Basil & Reyes, 2003; Nelson & Heimann, 1995), 그리고 알파벳 및 수 개념 습득을 목표로 하는 Language Wizard/Player (Bosseler & Massaro, 2003; Massaro & Bosseler, 2006)는 반복적으로 그 효과가 검증된 프로그램이다.

iPad를 포함한 모바일 기기를 이용한 연구 7개 중 6개가 학업 기술 및 학습 내용 향상에 효과를 보고하였다. 컴퓨터 기반 훈련의 경우 일반화 및 유지를 확인한 연구가 20개 중 3개로 드문 반면, 앱 기반 훈련의 경우 6개 연구 모두에서 일반화와 최대 3주까지의 유지를 보고하였다(Burton et al., 2013; Mechling et al., 2002; Smith et al., 2013; Stromer et al., 1996; Travers et al., 2011; Yakubova et al., 2016). 구체적 개입법과 관련하여, 효과적인 훈련 프로그램들은 차별강화(Differential Reinforcement), 촉구(Prompting), 집중 시행 (Massed trials), 연쇄(Chaining), 모델링(Modeling)과 같은 응용행동분석의 기본 원리가 보다 적극적으로 이용되고 있는 것으로 나타났다.

13) 중앙응집이란 외부 자극을 지각할 때, 전체적인 맥락을 활용하여 정보를 처리하고 세부적인 정보는 상대적으로 무시하는 정보 처리를 의미한다. 자폐증의 얼굴 인식에 적용할 경우, 악화된 중앙응집이란 얼굴 인식 과정에서 얼굴을 하나의 표상으로 통합적으로 처리하기보다 세부적인 특징만을 처리하는 것을 의미한다(Happe & Booth, 2008).

자조 기술

사회성이나 학업기술보다는 덜 활발하나, 빨래, 테이블 정리, 설거지, 신발끈 묶기, 음식 준비하기와 같은 자조 기술 훈련에도 기술이 이용된다. 대부분의 자조 기술 훈련에 효과적으로 이용되는 개입은 비디오 촉구(Video Prompting, VP) 및 비디오 모델링(Video Modeling, VM)인데(Gardner & Wolfe, 2013), 본 고찰에서는 10개가 컴퓨터, 2개가 DVD, 5개가 모바일 앱을 이용하여 이를 실시한 것으로 나타났다. 컴퓨터를 이용한 10개의 연구와 DVD를 이용한 2개의 연구는 모두 다양한 자조 기술 습득에 효과가 검증되었으며, 모바일 앱을 이용한 5개 중에서는 4개가 그 효과를 보고하였다. 효과의 일반화 및 유지는 기술 유형에 상관없이 높은 비율로 보고되었다(컴퓨터 10개 중 6개, DVD 2개 중 2개, 앱 5개 중 3개).

직업 기술

기술이 직업 기술에 적용된 경우는 위 영역 중 가장 소수로 확인되었다. 가상현실을 이용한 4개 연구는 모두 직업 인터뷰 기술 훈련을 진행하였고, 인터뷰 내용 및 전달력 향상(Kandalaft et al., 2013; Strickland et al., 2013), 자신감 증가(Smith et al., 2014), 직업 제안 빈도 증가(Smith et al., 2015)에 그 효과가 검증되었다. 나머지 컴퓨터, DVD, 앱을 이용한 연구는 레시피 완성(Mechling et al., 2013), 재고 정리 및 물품 주문(Kellems & Morningstar, 2012), 도서 분류(Song & Han, 2014), 가게 홍보(Allen et al., 2010), 사무 기술(Mechling & Ayres, 2012; Van Laarhoven et al., 2012) 등 보다 구체적인 직업 기술 훈련을 실시하였으며 모두 정확한 단계적 수행에 대한 효과가 검증되었다.

요약

자폐증주성장애의 디지털 표현형에 대한 현재까지의 연구들은 아직 단일한 관찰 항목에 대한 소수의 센서를 통해 목표 행동을 예측하거나 정상 발달 집단과의 차이를 살펴보는 데에 국한되어 있으며, 다양한 센서의 조합을 통해 전반적인 증상을 평가하거나 통합적으로 진단하는 데에는 미치지 못하였다. 그러나 자폐증에 대해 디지털 표현형을 적용하려는 시도는 추후에도 활발할 것으로 보인다. 예를 들면, Strobl과 동료들(2019)은 추후 자폐증의 눈 회피에 대한 모니터링을 위한 파일럿 연구로, 스마트폰 기반 눈 운동 추적 알고리즘인 ‘iTracker’를 이용하여 눈과 입을 각각 향한 응시 간 구별 정확도를 평가하였다. 정상 발달 군을 대상으로 타당성을 확인하여, 스마트폰 기반 Quantitative Gaze-monitoring 도구의 추후 적용 가능성을 확인하기도 하였다. 또한, Dawson과 Sapiro (2019)는 자폐 아동 얼굴 표정 평가를 위한 근육 움직임의 지속 시간(duration),

지연 시간(latency), 빈도(frequency) 등을 디지털 측정치를 통해 자동적으로 수집할 수 있음을 강조하며, 자폐 아동을 대상으로 한 평가에 대한 디지털 표현형의 적용 가능성을 언급하였다. 자폐증의 경우, 주요 증상인 사회적 상호작용 및 의사소통의 손상 평가와 관련된 눈맞춤, 목소리 크기와 억양, 얼굴 인식 및 표정 인식은 매우 핵심적이며 임상적으로 유의미한 평가요소인데, 디지털 측정치 및 표현형을 통해 더욱 효과적인 측정이 가능할 것으로 기대된다.

자폐증을 대상으로 한 디지털 치료제의 적용이 가장 활발한 영역은 정서인식, 사회기술, 의사소통, 얼굴인식을 포함하는 사회적 상호작용 영역이며, 그 뒤로 학업기술, 자조기술, 직업기술 순이다. 현재까지의 연구들은 개입하고자 하는 단일한 목표 행동(예, 대화 개시 학습하기, 세탁하는 법 배우기 등)을 설정하고 이에 대한 집중적인 훈련을 시도하였다. 그러나 개입 내용과 관련하여 디지털 치료제는 추후 보완 개발될 여지가 많은데 예를 들면, 한 플랫폼에 사회성, 학업기술, 자조기술 모듈을 포함하는 통합적인 훈련 프로그램 개발을 통해 더욱 효과적인 개입을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 기술 유형을 살펴보면 영역마다 편차는 있지만 컴퓨터와 앱 기반 개입 프로그램의 효과성이 다수 축적되었다. 특히, 가상 현실(VR)을 이용한 개입은 아직 적으나, 이를 이용한 디지털 치료제의 확대 가능성을 확인하였다. 자폐증을 대상으로 한 VR 기반 디지털 치료제를 살펴본 결과, 사회 기술과 직업 기술과 같은 구체적인 기술 습득과 훈련에 적극 활용 중이며, 높은 현장감을 통해 일상 또는 다른 영역으로의 일반화에 효과적으로 나타났다(Didehbani et al., 2016; Ip et al., 2018). 추후 자폐증을 포함한 다양한 임상군의 기술 훈련(예, 조현병 대상 사회기술 훈련)을 목표로 VR 혹은 Augmented Reality (AR)을 활용한 디지털 치료제의 활발한 적용이 기대된다.

자폐증을 대상으로 한 디지털 표현형과 디지털 치료제에 대한 고찰은 이 접근이 상당히 활발하게 진행되고 있으며 효과성이 증명되어 Post-COVID-19 시대 자폐증주성장애의 심리학적 서비스에 대한 주요 서비스 제공 방법이 될 수 있음을 보여준다. 국내의 경우, 자폐증 전문치료기관이나 특수학교는 매우 소수인데, 그나마도 COVID-19 사회적 거리두기의 결과로 치료 서비스 이용이 상당히 제한되었다(Jung, 2020). 결과적으로 이들의 치료와 교육은 거의 단절되었고, 보호와 책임은 모두 부모와 가정의 몫으로 남겨졌다. 비록 전문적인 가이드라인이 제시되기는 하였으나(Lim, 2020), 이는 해결책이 되지 못하고 있으며 장애인부모연대를 포함한 관련 단체에서는 치료나 보호의 단절에 대한 추가적인 국가의 도움을 요청하였다(Moon, 2020). 이 현실적인 상황들은 대안적인 서비스 제공 방식에 대한 요구를 절실히 보여준다.

자폐증에 대한 기술 기반 개입은 여러 메타분석 연구에서 효과가 반복적으로 보고된 치료 유형 중 하나로(Barton et al., 2017; Wong et al., 2015), 무엇보다 치료 유용성이 높다. 본문에서도 자폐아동에 대한 디지털 치료제의 적용은 사회성, 학업 기술, 직업 기술, 자조 기술을 포함한 다양한 영역에서 효과를 보고하였다. 또한, 디지털 기술은 자폐증의 전통적인 치료의 원리인 학습 단계를 쪼개고 절차를 구조화하는 학습법과 반복 훈련을 구현하기 용이하며, 상대적으로 낮은 사회적 요구로 기존의 효과적인 원리만을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 디지털 치료제는 대면치료를 대신할 수는 없지만, 적어도 디지털 기기 사용이 용이한 하위 집단(예, 고기능 자폐증)이나 특정 영역(예, 인지재활, 사회성 훈련 등)에 대한 효과적인 치료방법이 될 수 있을 것이다. 또한 이 새로운 형태의 서비스 전달 방식은 체계적인 서비스가 닿지 않는 지역의 인구에게도 치료에 대한 접근성을 높일 수 있을 것이다.

그러나, 자폐증을 대상으로 한 디지털 표현형과 치료제의 실질적인 사용은 아직 제한적이다. 특히, 디지털 표현형은 다른 정신 장애와 마찬가지로 자폐증에도 시작 단계라 극복해야 할 점이 많은데, 가장 먼저 자폐증의 다양한 증상을 일관되고 신뢰롭게 예측하는 센서나 디지털 측정치를 아직 특정하지는 못했다. 자폐증 증상은 스펙트럼이 넓으며 이질성이 높아 타당한 디지털 측정치를 정의하는 것이 추후 중요한 과제이다. 추가적으로, 자폐증은 시각, 청각, 촉각 등 감각에 대한 과잉민감성을 보이며(Crane, Goddard, & Pring, 2009), 다양한 문제행동을 보이기에(Weiss, Cappadocia, MacMullin, Vieclili, & Lunsky, 2012), 안전하고 지속적인 자료 수집이 가능한 디바이스에 대한 고민도 필요하다. 디지털 치료제의 경우, 먼저 치료 영역의 확대가 절대적으로 필요하며, 치료 효과의 유지 및 일반화에 대한 대책이 필요하다. 유지와 일반화 관련 효과를 보고하는 몇몇 연구들도 있었으나, 일관적으로 한계를 보고한다(Bölte et al., 2002; Golan & Baron-Cohen, 2006; Thomeer et al., 2015). 이 연구자들은 디지털 치료제의 지속적이고 자발적인 사용을 가장 큰 문제로 지적하는데, 전문가의 주도하에 진행되는 대면 회기와는 달리 디지털 치료제는 사용자인 자폐성 장애로 진단받은 대상자가 자발적으로 기기에 접속해야 개입/치료가 진행된다. 이에 대한 대처방법으로 프로그램 자체에 내재된 보상과 유인물의 중요성이 매우 강조되고 있다(Deterding, Dixon, Khaled, & Nacke, 2011). 마지막으로, 자폐증주성장애가 보이는 증상이나 인지능력 측면의 넓은 스펙트럼 역시 디지털 치료제 개발 시 고려되어야 하는 사항인데, 각 범주에 합당한 치료 내용이 제공될 때 효과적일 가능성이 높다. 따라서 증상 및 인지능력 수준에 따른 개입 내용의 개발이 필수적이다.

논 의

심리학적 평가 및 치료의 추후 방향성

Post-COVID-19 시대의 심리학적 평가와 치료에서 디지털 표현형 및 디지털 치료제에 기반한 비대면 심리학적 서비스는 가능성 높은 대안으로 간주된다. 디지털 치료제는 자폐증, 우울/불안, 조현병, 외상후 스트레스 장애와 같은 다양한 임상군을 대상으로 이미 활발히 개발되어 왔으며, 해외의 경우 FDA의 공식적인 승인 이후 그 시장은 더욱 커지고 있다. 디지털 표현형은 최근 몇 년간 정신 건강 평가의 한 방법으로 관심이 높아지고 있는데(Spinazze, Rykov, Bottle, & Car, 2019), 발달 속도를 고려하면 조만간 자기보고 데이터, 의료기록, 생물학적 측정치들과의 통합적인 평가를 통해 보다 정확하고 효과적인 정신건강 추적, 예측, 진단에 대한 많은 시도가 있을 것으로 예측된다. 그러나, 대표로 자폐증의 예를 들어 살펴보았듯이 아직 연구가 축적되어가는 단계이며 임상 현장이나 일상 생활에서 비대면 심리학적 서비스를 제공 및 이용하기 위한 기반이 마련되어 있지 않아, 추후 활발한 연구가 요구된다.

안타깝게도 현재까지의 연구는 임상심리학자를 포함한 정신건강전문가가 주도하기보다는, 컴퓨터 공학자나 빅데이터 전문가, 혹은 커뮤니케이션이나 경영학 전문가들에 의해 주도되고 있다. 이 전문가들의 학문적 배경이나 방법들이 디지털 표현형의 기술적이고 디자인적, 상업적 측면에서 일조하는 것은 사실이지만, 내용적인 측면에서는 아쉬운 점이 없지 않다. 실제 임상현장에서 환자들에게 효과적으로 사용하기 위해선 정신건강 전문가가 개발 시점부터 이론적 또는 개념적으로 내용적인 측면에 대해 적극적으로 관여할 필요가 있다. 따라서 이 연구는 다학제적 연구팀의 구성이 필수적이다. 그리고 이 팀에서, 임상심리학자는 각 임상군의 평가와 개입에 대한 증상 파악, 전통적인 측정과 디지털 표현형 간 통합적인 평가, 나아가 수집한 디지털 표현형에서 심리학적 통찰을 제공하고 환자의 예후를 예측하는 데 핵심적이고 중요한 역할을 할 수 있다. 디지털 표현형 관련 다학제간 연구의 활성화를 위해서는, 국가 기관과 민간 기관에서 연구 지원 및 관련 사업에의 지원이 필수적이다. 2020년 보건복지부 연구개발(R&D) 보도자료에 따르면, 보건복지부는 빅데이터와 머신러닝에 기반한 4차 산업혁명 기술 개발과 정신 건강 문제 해결을 위한 R&D 개발을 중점적인 추진방향으로 설정하였다(Ministry of Health and Welfare, 2019). 임상심리학의 보다 적극적인 참여 및 기술 기반 정신 건강 평가와 개입에 관한 연구 지원이 지속적으로 필요한 시기이다.

또한, 연구 측면에서 디지털 표현형 관련 연구의 질을 높이기 위해 고려해야 할 이슈들이 있다. 첫째로, 아직 디지털 디바이스를 통

한 신뢰롭고 타당한 데이터 수집에는 현실적인 어려움이 있다. 스마트폰에 기본적으로 장착된 GPS, 카메라, 음성인식, 앱과 같은 센서에서 얻을 수 있는 정보 외에, 눈 운동, 얼굴 표정, 운동학적 데이터 등, 보다 미분화되고 특정적인 센서를 탐지할 기술은 보편화되지 않아 해당 주제의 연구는 추후 기술의 발전과 병행되어야 할 것으로 보인다. 또한, 대부분 연구가 실험실 환경의 작은 샘플 사이즈에 의존하고 있는 점(Dawson & Sapiro, 2019) 역시 신뢰로운 데이터 수집에 제한으로, 일상 생활 혹은 자연스러운 환경에서의 대규모 데이터 수집을 가능하도록 하는 것이 추후 해결해야 할 도전이 되겠다.

둘째로, 개개인의 디바이스에서 수동적으로 수집된 데이터가 어떻게 증상 혹은 치료 효과성과 같은 임상적으로 유의미한 지표로 해석될 수 있을지 그 타당성과 관련된 의문도 해결되어야 한다 (Hsuen, Naslund, Brownstein, & Hawkins, 2018). 현재까지의 연구는 디지털 측정치 혹은 표현형에 대해 임상군과 정상발달군 간 집단 비교를 하거나, 상관과 회귀를 통해 측정치가 증상을 예측하는지에 초점을 두었다. 추후에는 디지털 표현형을 구성하는 측정치들이 어떤 증상 혹은 상태를 의미할 수 있는지, 어떤 측정치들의 패턴과 조합이 어떠한 증상을 신뢰롭고 타당하게 예측하는지에 대한 연구가 지속되어야 한다.

마지막으로, 수집한 데이터의 해석과 처리 측면에서도 신중한 접근이 요구된다. 먼저 디지털 기기에서 수동적으로 수집된 정보의 정확성의 이슈가 있는데, 예를 들면, 소셜 네트워크 서비스(SNS) 앱의 기록물을 수집 및 분석할 경우, 사용자들의 인상 관리(Impression Management)로 인해 부정확한 정보를 수집하게 될 가능성도 배제할 수 없다(Fisher & Appelbaum, 2017). 또한, 개개인의 디바이스에서 자동적으로 수집되는 정보들에 기반하므로, 개인정보 보호 및 비밀유지(Confidentiality)의 이슈도 함께 고려되어야 할 것이다(Torous et al., 2017). 다양한 센서들에 의해 측정되는 여러 종류의 데이터 어디까지를 개인정보로 규정할 것인지부터, 향후 수집된 데이터를 어느 선까지 활용할 수 있을지까지 개인정보 처리 및 보안에 대한 전면 논의가 필요하다. 이와 관련하여 새로운 디지털 기술의 정신건강 적용에 대한 명확하고 합리적인 법적 규제 역시 마련되어야 하겠다(Y. S. Choi, 2015).

디지털 치료제의 경우에도, 더욱 효과적인 치료제의 개발을 위한 몇몇 고려점을 제안할 수 있다. 먼저, 자폐증을 예로 분석하였듯이 현재 컴퓨터나 모바일 앱 기반 개입은 관련 연구와 그 효과성에 대한 근거가 다수 축적되어 있다. 더욱 최근에는 챗봇, 로봇이나 가상현실(VR), 증강현실(AR) 등 보다 고도화된 기술을 이용한 개입이 적용되고 있는데, 아직 그 수가 적은 데다가 무선통제실험(Ran-

domized Controlled Trial) 등 엄격한 방법을 사용한 경우는 더욱 소수이다(Mesa-Gresa Gil-Gómez, Lozano-Quilis, & Gil-Gómez, 2018). 챗봇, 로봇, 그리고 VR은 최근 일상에서의 접근성이 더욱 높아지고 있을 뿐 아니라(Martín-Gutiérrez, Mora, Añorbe-Díaz, & González-Marrero, 2017), 개입 효과의 일반화와 유지에 효과적이라는 근거들이 보고되어(Didehbani et al., 2016; Ip et al., 2018) 근 미래에 활발한 연구를 통해 효과적인 디지털 치료제로 자리매김할 것으로 기대된다.

다음으로, 보다 효과성 높은 디지털 치료제의 적용을 위해 다양한 증상에 대한 고려가 필요하다. 현재까지의 디지털 치료제는 단일한 증상 혹은 기술을 목표로 개입을 고안하여 디지털 디바이스로 구현하였다(예, 우울 증상 완화를 위한 앱 기반 CBT 등). 그러나 같은 우울을 경험하는 집단이라도, 각각 우울감, 수면 문제, 통증과 같은 신체화 등, 더 중점적으로 겪는 증상은 다양할 수 있어(Salk, Hyde, & Abramson, 2017), 이를 통합적으로 다룰 수 있는 모듈 기반 치료가 요구된다. 예를 들면, Mohr과 동료들(2010)은 우울 집단에 총 6개 모듈로 구성된 인터넷 기반 다중모듈(Multimodal) 개입 프로그램을 적용하여 기존 기술기반치료보다 낮은 탈락률을 보고하였다.

마지막으로, 다양한 연령 및 특성을 가진 집단에 맞춤화된 디지털 치료제 개발이 필요하다. 진단을 통해 같은 임상군으로 묶인다고 가정하였어도, 단일한 개입 프로그램은 'One for All'이 될 수 없다. 한 임상군 내에서도 연령과 특성이 다양하며, 이로 인한 치료 반응(Treatment Response)과 치료 유용성(Feasibility)이 달라지므로 (Kornstein et al., 2000), 대상자에 맞춤화된 프로그램이 개발되어야 한다. 예를 들면, 우울한 청년층과 노인 간(Trouillet & Gana, 2008), 우울한 주부와 직장인 간(Dawood & Habib, 2018)에 각기 다른 치료 기법과 내용이 적용되어야 할 것이다. 근거 기반 치료 기법을 이용하되, 다양한 대상자를 고려한 맞춤형 개입을 고안한다면 디지털 치료제의 보다 타당한 효과성 측정은 물론, 서비스 확산에도 기여할 것으로 기대된다.

디지털 치료제도 국가와 민간기업 차원에서의 개발 지원이 활발해지고 있다. 예를 들어, 산업통상자원부는 올해 약 28억 원 규모의 '불면증 및 스트레스 개선 디지털 치료제 기술 개발' 과제를 발주하고 이의 수행기관으로 국내 디지털 헬스케어 기업인 '에임메드'를 선정하기도 하였다(Sung, 2020). 특히 개발되어 그 효과성을 검증한 이후에 실제 현장에 적용할 수 있도록 하는 연계 사업으로의 확대가 필요하다. 미국의 경우 병원 및 지역 센터에서 처방 혹은 권장을 통해 이용이 가능한 반면, 국내의 경우 개발된 디지털 치료제의 유지 및 보수가 되지 않아 사후 관리에 어려움이 있는 경우가 많다.

개입 프로그램의 보완과 플랫폼 관리를 위한 지원이 필수적이며, 이를 통해 임상 현장으로의 지속적인 연계가 이루어져야 한다. 이와 관련하여 디지털 치료제의 지속 사용성(Engagement)에 대한 이슈를 함께 고려하여야 하는데, 미국 컨설팅사 Endeavor Partners의 조사에 따르면, 웨어러블 디바이스 구매 후 6개월이 지나면 지속적으로 사용하는 사용자가 절반에 그치며 시간이 흐를수록 더 떨어진다(Pai, 2014). 따라서, 디지털 치료제의 지속 사용성을 높여 임상 현장 및 일상 생활에서 효과적인 개입을 제공할 수 있도록 관련 연구와 연계 사업이 보다 활발히 이루어져야 할 것이다.

Post-COVID-19 시대, 나아가 ‘언택트 시대’가 도래하면서 정신 건강에 대한 심리학적 평가와 치료는 새로운 국면을 맞고 있다. 보건복지부는 ‘심리 방역’이라는 용어를 사용하며 Post-COVID-19 시대의 정신 건강 문제를 조기에 진단하고 지원하는 재난정신건강 서비스를 구축하려는 노력을 기울이고 있다(Lee, 2020). 이에 디지털 표현형과 디지털 치료제를 통한 심리학적 평가와 치료는 더 이상 대안이 아닌 Post-COVID-19 시대에 적극 나아가야 할 이정표이며, 전폭적인 지원 하에 활발한 연구와 관련 사업이 요구된다.

임상심리학자들은 이러한 이슈들을 고려하여 디지털 기술이 정신 건강의 정확한 평가와 효과적인 치료에 기여할 수 있도록 가이드라인을 제시하는 역할로 자리매김 할 수 있다. 평가에 있어서 다양한 디지털 측정치에 대한 임상적 해석 혹은 증상을 예측할 수 있는 신뢰로운 수치에 대한 정의를 제공할 수 있다. 나아가, 디지털 표현형 정보는 정신 장애의 과정(process)에 대한 정보를 제공함으로써, 정신병리학적 관점에서 장애의 기제(mechanisms)와 내재된 행동들을 발견하게 해 줄 수 있는데(Huckvale et al., 2019), 이를 통합하는 것 역시 임상심리학의 중요한 역할이 되겠다. 개입에 대해서는, 근거기반(Evidence-based practice)이며 기술로 구현되기에 효율적인 개입 내용을 개발하고 제안하는 것이 가능하며, 이를 위해서는 기술 분야와의 협업을 통해 구현될 수 있도록 적극 참여가 필요하다. 또 개발된 치료의 효과와 안전성을 검증한 후 확산하고 보급하여 임상 현장에서 활용될 수 있도록 연구-임상 현장 간 적극적인 연계 사업에 적극 참여가 가능하다. 새로운 시대를 맞이하여 새로운 요구에 새로운 역할을 만들어 나갈 수 있는 기회에 적극적인 동참이 기대된다.

시사점

1. COVID-19 사태 이후, 전통적인 대면 서비스의 대안으로 비대면 심리학적 평가와 치료인 기술기반접근, 특히 디지털 표현형과 디지털 치료제의 활용 가능성이 높아지고 있다.
2. 현재 정신 건강 관련 디지털 표현형 연구는 개개인의 디바이스

에서 수집한 데이터를 통해 증상 간 집단 비교를 하거나, 머신러닝 기법으로 추후 증상을 예측하는 방식이 주를 이루고 있다. 그러나 아직은 초보 단계로 타당도와 분석기법 등 다양한 측면에서 발전이 요구된다.

3. 현재 정신 건강 문제 개입을 위한 디지털 치료제는 국내외 모두 앱 기반 개입 프로그램이 대다수로, 각 임상군마다 편차는 있으나 효과성에 대한 근거가 축적되고 있다. 해외의 경우 미 FDA 공식 승인 이후 이에 대한 개발과 확산 요구가 폭발적으로 증가하고 있다.

제언

1. Post-COVID-19 시대의 정신 건강에 대한 디지털 표현형 기반 평가가 증상에 대한 통합적이고 효율적인 진단, 예측, 평가를 가능하도록 지속적인 연구가 필요하다.
2. Post-COVID-19 시대에 디지털 치료제는 전통적인 면대면 방식의 대안 중 하나로 부각되고 있다. 이 서비스 형식이 적당한 장애와 대상으로 연구를 통해 검증된 효과적인 디지털 치료제의 개발과 확산이 요구된다.
3. Post-COVID-19 시대의 임상심리학자들이 근거기반 심리학적 서비스의 제공 및 확대를 위해, 다학제적 연구팀을 구성하여 디지털 표현형과 디지털 치료제 개발에 관한 연구 및 사업에 대한 적극적인 관심과 참여를 높일 것을 제안한다.

Author contributions statement

KMC, professor at Yonsei University, served as principal investigator of the research and supervised the research process. ESC, graduate student at Yonsei University, collected and analyzed data, and led manuscript preparation. Both authors wrote the manuscript, provided critical feedback, participated in revision of the manuscript, and approved the final submission.

References

- Akili. (2020, June 15). *Akili Announces FDA Clearance of EndeavorRx™ for Children with ADHD, the First Prescription Treatment Delivered Through a Video Game*. Akili. Retrieved from <https://www.akiliinteractive.com/news-collection/akili-announces-endevortm-attention-treatment-is-now-available-for-children-with-attention-deficit-hyperactivity-disorder-adhd-al3pw>.
- Alabdulakareem, E., & Jamjoom, M. (2020). Computer-assisted learning for improving ADHD individuals' executive functions through gamified interventions: A review. *Entertainment Com-*

- puting, 33, 100341.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (DSM-5). 5th ed. Washington, DC: American Psychiatric Publication.
- Anzulewicz, A., Soba, K., & Delafield-Butt, J. T. (2016). Toward the autism motor signature: Gesture patterns during smart tablet gameplay identify children with autism. *Scientific Reports*, 6, 1-13.
- Ardalan, A., Assadi, A. H., Surgent, O. J., & Travers, B. G. (2019). Whole-body movement during videogame play distinguishes youth with Autism from youth with typical development. *Scientific Reports*, 9, 1-11.
- Asif, M., Martiniano, H. F., Marques, A. R., Santos, J. X., Vilela, J., Rasga, C., . . . Vicente, A. M. (2020). Identification of biological mechanisms underlying a multidimensional ASD phenotype using machine learning. *Translational Psychiatry*, 10, 1-12.
- Bai, J. H. (2020. 7. 7). 코로나19 시대의 우울... '마음 거리두기'로 인한 병의 예방은? Mindpost. Retrieved from <http://www.mindpost.or.kr/news/articleView.html?idxno=3981>
- Barnett, I., Torous, J., Staples, P., Sandoval, L., Keshavan, M., & Onnela, J. P. (2018). Relapse prediction in schizophrenia through digital phenotyping: A pilot study. *Neuropsychopharmacology*, 43, 1660-1666.
- Barrigon, M. L., Courtet, P., Oquendo, M., & Baca-Garcia, E. (2019). Precision medicine and suicide: An opportunity for digital health. *Current Psychiatry Reports*, 21, 1-8.
- Barton, E. E., Pustejovsky, J. E., Maggin, D. M., & Reichow, B. (2017). Technology-aided instruction and intervention for students with ASD: A meta-analysis using novel methods of estimating effect sizes for single-case research. *Remedial and Special Education*, 38, 371-386.
- Beiwinkel, T., Kindermann, S., Maier, A., Kerl, C., Moock, J., Barbisan, G., & Rössler, W. (2016). Using smartphones to monitor bipolar disorder symptoms: A pilot study. *JMIR Mental Health*, 3, e2.
- Bernard-Opitz, V., Sriram, N., & Nakhoda-Sapuan, S. (2001). Enhancing social problem solving in children with autism and normal children through computer-assisted instruction. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 377-384.
- Biotech Policy Research Center (2019). 디지털 치료제(Digital Therapeutics) 개발 동향. Retrieved from <https://www.bioin.or.kr/board.do?cmd=view&bid=issue&num=291399>.
- Boukhechba, M., Huang, Y., Chow, P., Fua, K., Teachman, B. A., & Barnes, L. E. (2017). Monitoring social anxiety from mobility and communication patterns. In *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers* (pp. 749-753).
- Campellone, T. R., Smayda, K. E., & Maricich, Y. A. (2019). Agile development of a prescription digital therapeutic for patients with schizophrenia. Presented at the annual American Psychiatric Association. San Francisco, CA.
- Cho, C. H., Lee, T., Kim, M. G., In, H. P., Kim, L., & Lee, H. J. (2019). Mood prediction of patients with mood disorders by machine learning using passive digital phenotypes based on the circadian rhythm: Prospective observational cohort study. *Journal of Medical Internet Research*, 21, e11029.
- Choi, Y. S. (2015, October). 측정하고 통합하고 해석하고. 대변혁 부른 데이터, 인공지능으로 간다. Dong-A Business Review. Retrieved from http://211.215.22.45/article/view/1101/article_no/7250.
- Choi, I. S. (2020. 4. 12). 특별기고: 음압병실 이해와 시설 기준. Kharn. Retrieved from <https://www.kharn.kr/news/article.html?no=12426>.
- Choi, M. J., Kim, H., Nah, H. W., & Kang, D. W. (2019). Digital therapeutics: Emerging new therapy for neurologic deficits after stroke. *Journal of Stroke*, 21, 242-258.
- Christensen, D. R., Landes, R. D., Jackson, L., Marsch, L. A., Mancino, M. J., Chopra, M. P., & Bickel, W. K., (2014). Adding an Internet-delivered treatment to an efficacious treatment package for opioid dependence. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 82, 964-972.
- Crane, L., Goddard, L., & Pring, L. (2009). Sensory processing in adults with autism spectrum disorders. *Autism*, 13, 215-228.
- Cuthbert, B. N. (2014). The RDoC framework: Facilitating transition from ICD/DSM to dimensional approaches that integrate neuroscience and psychopathology. *World Psychiatry*, 13, 28-35.
- Dawson, G., Campbell, K., Hashemi, J., Lippmann, S. J., Smith, V., Carpenter, K., . . . Sapiro, G. (2018). Atypical postural control can be detected via computer vision analysis in toddlers with autism spectrum disorder. *Scientific Reports*, 8, 1-7.
- Dawson, G., & Sapiro, G. (2019). Potential for digital behavioral measurement tools to transform the detection and diagnosis of autism spectrum disorder. *JAMA Pediatrics*, 173, 305-306.
- Dawood, E., & Habib, F. (2018). Comparison of depression and anxiety between housewife and employed pregnant women. *International Journal of Nursing*, 5, 23-31.
- de Joode, E. A., van Boxtel, M. P., Verhey, F. R., & van Heugten, C. M. (2012). Use of assistive technology in cognitive rehabilitation: Exploratory studies of the opinions and expectations of healthcare professionals and potential users. *Brain Injury*, 26, 1257-1266.
- Deloitte. (2020). *What will be the impact of the Covid-19 pandemic on healthcare systems?* Retrieved from <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/covid-insights/articles/impact-covid19-healthcare-systems.html>.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011, September). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments* (pp. 9-15).

- DeVault, D., Artstein, R., Benn, G., Dey, T., Fast, E., Gainer, A., . . . Lucas, G. (2014, May). SimSensei Kiosk: A virtual human interviewer for healthcare decision support. In *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems* (pp. 1061-1068).
- Didehbani, N., Allen, T., Kandaft, M., Krawczyk, D., & Chapman, S. (2016). Virtual reality social cognition training for children with high functioning autism. *Computers in Human Behavior*, 62, 703-711.
- Faurholt-Jepsen, M., Vinberg, M., Frost, M., Debel, S., Margrethe Christensen, E., Bardram, J. E., & Kessing, L. V. (2016). Behavioral activities collected through smartphones and the association with illness activity in bipolar disorder. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 25, 309-323.
- FDA. (2020, April). *Enforcement Policy for Digital Health Devices For Treating Psychiatric Disorders During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Public Health Emergency Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff*. FDA. Retrieved from <https://www.fda.gov/media/136939/download>.
- FDA News. (2018, December 10). *FDA clears mobile medical app to help those with opioid use disorder stay in recovery programs*. FDA News. Retrieved from <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-clears-mobile-medical-app-help-those-opioid-use-disorder-stay-recovery-programs>.
- FDA News. (2020, June 15). *FDA Permits Marketing of First Game-Based Digital Therapeutic to Improve Attention Function in Children with ADHD*. FDA News. Retrieved from <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-first-game-based-digital-therapeutic-improve-attention-function-children-adhd>.
- Firth, J., Torous, J., Nicholas, J., Carney, R., Pratap, A., Rosenbaum, S., & Sarris, J. (2017). The efficacy of smartphone-based mental health interventions for depressive symptoms: A meta-analysis of randomized controlled trials. *World Psychiatry*, 16, 287-298.
- Firth, J., Torous, J., Nicholas, J., Carney, R., Rosenbaum, S., & Sarris, J. (2017). Can smartphone mental health interventions reduce symptoms of anxiety? A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Affective Disorders*, 218, 15-22.
- Fisher, C. E., & Appelbaum, P. S. (2017). Beyond Googling: The ethics of using patients' electronic footprints in psychiatric practice. *Harvard Review of Psychiatry*, 25, 170-179.
- Ghandeharioun, A., Fedor, S., Sangermano, L., Ionescu, D., Alpert, J., Dale, C., . . . Picard, R. (2017, October). Objective assessment of depressive symptoms with machine learning and wearable sensors data. In *2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)* (pp. 325-332).
- Gliddon, E., Barnes, S. J., Murray, G., & Michalak, E. E. (2017). Online and mobile technologies for self-management in bipolar disorder: A systematic review. *Psychiatric Rehabilitation Journal*, 40, 309-319.
- Global Newswire. (2020, February 25). *Digital Therapeutics Market to Reach \$9.64 Bn, Globally, by 2026: Allied Market Research*. Global Newswire. Retrieved from <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/02/25/1990165/0/en/Digital-Therapeutics-Market-to-Reach-9-64-Bn-Globally-by-2026-Allied-Market-Research.html>.
- Golan, O., LaCava, P. G., & Baron-Cohen, S. (2007). Assistive technology as an aid in reducing social impairment in autism. In R. L. Gabriels & D. E. Hill (Eds.), *Growing up with autism: Working with school-age children and adolescents* (pp. 124-142). New York, NY: Guilford Press.
- Grossard, C., Dapogny, A., Cohen, D., Bernheim, S., Juillet, E., Hamel, F., Hun, S., Bourgeois, J., Pellerin, H., Serret, S., Bailly, K., & Chaby, L. (2020). Children with autism spectrum disorder produce more ambiguous and less socially meaningful facial expressions: An experimental study using random forest classifiers. *Molecular Autism*, 11, 1-14.
- Grynszpan, O., Weiss, P. L. T., Perez-Diaz, F., & Gal, E. (2014). Innovative technology-based interventions for autism spectrum disorders: A meta-analysis. *Autism*, 18, 346-361.
- Hswen, Y., Gopaluni, A., Brownstein, J. S., & Hawkins, J. B. (2019). Using Twitter to detect psychological characteristics of self-identified persons with autism spectrum disorder: A feasibility study. *JMIR mHealth and uHealth*, 7, e12264.
- Hswen, Y., Naslund, J. A., Brownstein, J. S., & Hawkins, J. B. (2018). Online communication about depression and anxiety among twitter users with schizophrenia: Preliminary findings to inform a digital phenotype using social media. *Psychiatric Quarterly*, 89, 569-580.
- Hrynowski, Z. (2020, June 17). *66% of Americans Remain Worried About Exposure to COVID-19*. Gallup. Retrieved from <https://news.gallup.com/poll/312680/americans-remain-worried-exposure-covid.aspx>
- Huckvale, K., Venkatesh, S., & Christensen, H. (2019). Toward clinical digital phenotyping: A timely opportunity to consider purpose, quality, and safety. *NPJ Digital Medicine*, 2, 1-11.
- Insel, T. R. (2014). The NIMH research domain criteria (RDoC) project: Precision medicine for psychiatry. *American Journal of Psychiatry*, 171, 395-397.
- Insel, T. R. (2017). Digital phenotyping: Technology for a new science of behavior. *Journal of the American Medical Association*, 318, 1215-1216.
- Insel, T., Cuthbert, B., Garvey, M., Heinssen, R., Pine, D. S., Quinn, K., Sanislow, C., & Wang, P. (2010). Research domain criteria (RDoC): Toward a new classification framework for research on mental disorders. *American Journal of Psychiatry*, 167, 748-751.
- Ip, H. H., Wong, S. W., Chan, D. F., Byrne, J., Li, C., Yuan, V. S., Lau, K., & Wong, J. Y. (2018). Enhance emotional and social adapta-

- tion skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach. *Computers and Education*, 117, 1-15.
- Jain, S. H., Powers, B. W., Hawkins, J. B., & Brownstein, J. S. (2015). The digital phenotype. *Nature Biotechnology*, 33, 462-463.
- Jung, E. H. (2020). “시무룩하게 달려만 봐” 코로나에 갈 곳 없는 발달장애 아이들. Korea JoongAng Daily. Retrieved from <https://news.joins.com/article/23719344>.
- Kim, M. K., & Ju, S. R. (2007). A study on physical environment of child care centers for children with disability. *Journal of the Korean Housing Association*, 18, 121-131.
- KISTEP. (2020. 4. 29). 미래예측 브리프 1호_포스트 코로나 미래 전망 및 유망기술. KISTEP. Retrieved from https://www.kistep.re.kr/c3/sub2_2.jsp?brdType=R&bbIdx=13771.
- Koo, B. H., & Bai, D. S. (2006). Diagnostic availability of a computerized neurocognitive function test for children with ADHD. *Journal of Korean Society of Biological Therapies in Psychiatry*, 12, 39-49.
- Kornstein, S. G., Schatzberg, A. F., Thase, M. E., Yonkers, K. A., McCullough, J. P., Keitner, G. I., ... Keller, M. B. (2000). Gender differences in treatment response to sertraline versus imipramine in chronic depression. *American Journal of Psychiatry*, 157, 1445-1452.
- Lee, I. B. (2020). 심리방역, 용어는 어렵지만 별 거 아닙니다. Medical Times. Retrieved from <https://www.medicaltimes.com/Users/NewsView.html?ID=1133472>
- Lim, S. M. (2020). 코로나19 극복 ‘발달장애아동 및 가족 행동지침’ 발표. Daily Medi. Retrieved from <http://www.dailymedi.com/detail.php?number=855835>
- Lovaas, O. I. (1987). Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 55, 3-9.
- Lovett, L. (2018, December 10). Pear's digital therapeutic reSET-O FDA cleared to treat opioid use disorder. Mobile Health News. Retrieved from <https://www.mobihealthnews.com/content/pears-digital-therapeutic-reset-o-fda-cleared-treat-opioid-use-disorder?fbclid=IwAR1Clq9GkZla7hgEjbXkh67dFDE9pl3ZLrtEhQIChfIrrZzM3tthVOSF2t64>.
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Márero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13, 469-486.
- McDonald, A. D., Sasangohar, F., Jatav, A., & Rao, A. H. (2019). Continuous monitoring and detection of post-traumatic stress disorder (PTSD) triggers among veterans: A supervised machine learning approach. *IJSE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 9, 201-211.
- Mehrotra, A., & Musolesi, M. (2017, June). Designing effective movement digital biomarkers for unobtrusive emotional state mobile monitoring. In *Proceedings of the 1st Workshop on Digital Biomark-* ers (pp. 3-8).
- Mesa-Gresa, P., Gil-Gómez, H., Lozano-Quilis, J. A., & Gil-Gómez, J. A. (2018). Effectiveness of virtual reality for children and adolescents with autism spectrum disorder: An evidence-based systematic review. *Sensors*, 18, 2486-2497.
- Ministry of Health and Welfare. (2019). 2020년도 보건복지부 연구개발(R&D) 예산 5,278억 원 지원, 투자 방향 담은 통합시행 계획 확정. Ministry of Health and Welfare. Retrieved from http://www.mohw.go.kr/react/al/sal0301vw.jsp?PAR_MENU_ID=04&MENU_ID=0403&page=1&CONT_SEQ=351899.
- Mohr, D. C., Duffecy, J., Jin, L., Ludman, E. J., Lewis, A., Begale, M., & McCarthy Jr, M. (2010). Multimodal e-mental health treatment for depression: A feasibility trial. *Journal of Medical Internet Research*, 12, e48.
- Mohr, D. C., Lyon, A. R., Lattie, E. G., Reddy, M., & Schueller, S. M. (2017). Accelerating digital mental health research from early design and creation to successful implementation and sustainment. *Journal of Medical Internet Research*, 19, e153.
- Moon, D. Y. (2020. 6. 10.) 코로나로 닫힌 장애인 복지관… “발달장애 국가책임제 도입해라” Yonhap News. Retrieved from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200610098000004>.
- Nature (2020. September 4). *Coronavirus research updates: Powerful new evidence links steroid treatment to lower deaths*. Nature. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00502-w>.
- Odom, S. L., Thompson, J. L., Hedges, S., Boyd, B. A., Dykstra, J. R., Duda, M. A., ... Bord, A. (2015). Technology-aided interventions and instruction for adolescents with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45, 3805-3819.
- Oh, M. H. (2020). 새로운 ‘코로나19 안심진료소’ 모델 제시. KHAnews. Retrieved from <https://www.khanews.com/news/articleView.html?idxno=203010>.
- Onnela, J. P., & Rauch, S. L. (2016). Harnessing smartphone-based digital phenotyping to enhance behavioral and mental health. *Neuropsychopharmacology*, 41, 1691-1696.
- Pai, A. (2014). *Wearable device adoption is growing, but engagement still drops after six months*. Mobile Health News. Retrieved from <https://www.mobihealthnews.com/35697/wearable-device-adoption-is-growing-but-engagement-still-drops-after-six-months>.
- Palmius, N., Tsanas, A., Saunders, K. E. A., Bilderbeck, A. C., Geddes, J. R., Goodwin, G. M., & De Vos, M. (2016). Detecting bipolar depression from geographic location data. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64, 1761-1771.
- Park, J. U. (2020. 5. 27). 포항지진트라우마센터, 비대면 화상 심리상담 시범 운영. Mindpost. Retrieved from <http://www.mindpost.or.kr/news/articleView.html?idxno=3779>.
- Rao, P. A., Beidel, D. C., & Murray, M. J. (2008). Social skills interventions for children with Asperger's syndrome or high-functioning autism: A review and recommendations. *Journal of Au-*

- tism and Developmental Disorders*, 38, 353-361.
- Riva, G., Wiederhold, B. K., Di Lernia, D., Chirico, A., Riva, E. F. M., Mantovani, F., Cipresso, P., & Gaggioli, A. (2019). Virtual reality meets artificial intelligence: The emergence of advanced digital therapeutics and digital biomarkers. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, 18, 3-7.
- Rohani, D. A., Faurholt-Jepsen, M., Kessing, L. V., & Bardram, J. E. (2018). Correlations between objective behavioral features collected from mobile and wearable devices and depressive mood symptoms in patients with affective disorders: Systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 6, e165.
- Salk, R. H., Hyde, J. S., & Abramson, L. Y. (2017). Gender differences in depression in representative national samples: Meta-analyses of diagnoses and symptoms. *Psychological Bulletin*, 143, 783-822.
- Schlosser, D. A., Campellone, T. R., Truong, B., Etter, K., Vergani, S., Komaiko, K., & Vinogradov, S. (2018). Efficacy of PRIME, a mobile app intervention designed to improve motivation in young people with schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 44, 1010-1020.
- Shin, S., Yeom, C. W., Shin, C., Shin, J. H., Jeong, J. H., Shin, J. U., & Lee, Y. R. (2016). Activity monitoring using a mHealth device and correlations with psychopathology in patients with chronic schizophrenia. *Psychiatry Research*, 246, 712-718.
- Simon, N., McGillivray, L., Roberts, N. P., Barawi, K., Lewis, C. E., & Bisson, J. I. (2019). Acceptability of internet-based cognitive behavioural therapy (i-CBT) for post-traumatic stress disorder (PTSD): A systematic review. *European Journal of Psychotraumatology*, 10, 1646092.
- Smith, V., & Sung, A. (2014). Computer Interventions for ASD. In Patel V., Preedy V., Martin C. (Eds.), *Comprehensive guide to Autism* (pp. 2173-2189). New York, NY: Springer.
- Song, S. Y. (2020, 2. 11). 신종 코로나 여파로 내원 환자 감소한 병원들… 40%나 줄기도. 청년의사. Retrieved from <https://www.docdocdoc.co.kr/news/articleView.html?idxno=1077045>.
- Spinazze, P., Rykov, Y., Bottle, A., & Car, J. (2019). Digital phenotyping for assessment and prediction of mental health outcomes: A scoping review protocol. *BMJ open*, 9, e032255.
- Strobl, M. A., Lipsmeier, F., Demenescu, L. R., Gossens, C., Lindemann, M., & De Vos, M. (2019). Look me in the eye: Evaluating the accuracy of smartphone-based eye tracking for potential application in autism spectrum disorder research. *Biomedical Engineering Online*, 18, 1-12.
- Sung, S. J. (2020). 애임메드, 불면증 디지털 치료제 기술 개발 과제 최종 선정. Digital Times. Retrieved from http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2020071602109919029005.
- Torous, J., Kiang, M. V., Lorme, J., & Onnela, J. P. (2016). New tools for new research in psychiatry: A scalable and customizable platform to empower data driven smartphone research. *JMIR Men-*
tal Health, 3, e16.
- Torous, J., Onnela, J. P., & Keshavan, M. (2017). New dimensions and new tools to realize the potential of RDoC: Digital phenotyping via smartphones and connected devices. *Translational Psychiatry*, 7, e1053-e1053.
- Torous, J., & Roberts, L. W. (2017). Needed innovation in digital health and smartphone applications for mental health: Transparency and trust. *JAMA Psychiatry*, 74, 437-438.
- Tron, T., Resheff, Y. S., Bazhmin, M., Peled, A., & Weinshall, D. (2017). Real-time schizophrenia monitoring using wearable motion sensitive devices. In *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare* (pp. 242-249). Springer, Cham.
- Trouillet, R., & Gana, K. (2008). Age differences in temperament, character and depressive mood: A cross-sectional study. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, 15, 266-275.
- Vargas-Cuentas, N. I., Roman-Gonzalez, A., Gilman, R. H., Barrientos, F., Ting, J., Hidalgo, D., Jenson, K., & Zimic, M. (2017). Developing an eye-tracking algorithm as a potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children. *PloS one*, 12, e0188826.
- Wang, R., Wang, W., DaSilva, A., Huckins, J. F., Kelley, W. M., Heatherton, T. F., & Campbell, A. T. (2018). Tracking depression dynamics in college students using mobile phone and wearable sensing. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 2, 1-26.
- Washington, P., Park, N., Srivastava, P., Voss, C., Kline, A., Varma, M., . . . Wall, D. (2019). Data-driven diagnostics and the potential of mobile artificial intelligence for digital therapeutic phenotyping in computational psychiatry. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 5, 759-769.
- Weiss, J. A., Cappadocia, M. C., MacMullin, J. A., Viecili, M., & Lunsky, Y. (2012). The impact of child problem behaviors of children with ASD on parent mental health: The mediating role of acceptance and empowerment. *Autism*, 16, 261-274.
- Whalen, C., Liden, L., Ingersoll, B., Dallaire, E., & Liden, S. (2006). Behavioral improvements associated with computer-assisted instruction for children with developmental disabilities. *The Journal of Speech and Language Pathology-Applied Behavior Analysis*, 1, 11-26.
- WHO. (2020). COVID-19 significantly impacts health services for noncommunicable diseases. WHO. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/detail/01-06-2020-covid-19-significantly-impacts-health-services-for-noncommunicable-diseases>.
- Wong, C., Odom, S. L., Hume, K. A., Cox, A. W., Fettig, A., Kucharczyk, S., . . . Schultz, T. R. (2015). Evidence-based practices for children, youth, and young adults with autism spectrum disorder: A comprehensive review. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45, 1951-1966.

- Xin, J. F., & Leonard, D. A. (2015). Using iPads to teach communication skills of students with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45, 4154-4164.
- Sin, S. M. (2020). 코로나로 연구 지연됐다? "연구비 이월·연구 기간 연장 가능". Yonhap News. Retrieved from <https://www.yonhap.co.kr/view/AKR20200416105800017>.
- You, D. K., & Lee, Y. H. (2018). A comparison of mental health service systems in South Korea and US: Role of clinical psychologists in local community. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 37, S24-32.
- Zulueta, J., Piscitello, A., Rasic, M., Easter, R., Babu, P., Langenecker, S. A., . . . Leow, A. (2018). Predicting mood disturbance severity with mobile phone keystroke metadata: A biaffect digital phenotyping study. *Journal of Medical Internet Research*, 20, e241.

국문초록

Post-COVID-19 시대의 새로운 정신건강서비스: 자폐증주성장애에의 적용 현황

정경미·정은선

연세대학교 심리학과

4차 산업혁명으로 간주되는 정보통신기술의 발전은 단기간에 모든 분야에 걸쳐 큰 변화를 초래하였다. COVID-19로 인한 대면활동의 제한은 임상심리학의 기술기반접근에 대한 필요성과 수요를 급격히 증대시킴과 동시에 요구도에 비해 턱없이 부족한 준비상황에 대한 현실을 직면하게 하였다. 기술기반 평가와 치료는 더 이상 선택이 아니며, 이미 적극적인 개발과 시도가 활발하다. 평가 측면에서 가장 두드러진 접근은 디지털 표현형으로, 모바일 도구를 이용한 다양한 측면의 대규모 자료 수집과 머신러닝에 근거한 분석기법에 기반하여 정신건강에 대한 평가, 진단 및 예측이 가능해지고 있다. 치료 측면에서 디지털 치료제는 이미 상용화가 활발하며 특히 최근에는 효과적인 의료기법으로 인정받기 시작했다. 본 연구에서는 임상심리학 연구 영역에서 기술기반연구가 상대적으로 활성화된 자폐증장애의 디지털 표현형과 치료제를 고찰하면서 Post-COVID-19 시대에 임상심리학의 위치를 재조명하였다. 고찰 결과, 디지털 표현형 관련 연구는 극히 드물어 방향성에 대한 고민이 필요하지만, 디지털 치료제는 효과성이 측정되고 있을 뿐 아니라 새로운 치료서비스로서의 가능성을 확인할 수 있었다. 급격하게 변화하는 사회와 기술발달 속도를 감안할 때 변화는 더 이상 우리의 선택이 아니며, 기술기반 평가와 치료라는 새로운 프레임의 전환에 대한 준비가 필요하다.

주요어: 정보통신기술(ICT), 디지털 표현형, 디지털 치료제, 자폐 스펙트럼 장애(ASD), Post-COVID-19