

중 설

비만 관리를 위한 디지털 치료제

서유빈

원광대학교 산본병원 가정의학과

Digital Therapeutics for Obesity Care

Yoo Bin Seo

Department of Family Medicine, Wonkwang University Sanbon Hospital, Gunpo, Korea

Digital therapeutics (DTx) are emerging as a novel solution to improve lifestyle and prevent non-communicable diseases. Obesity is a complex, multi-factorial, chronic condition that requires patient-centered lifestyle modification. DTx, such as mobile applications and wearables, may offer easily accessible, efficient, and personalized care in the field of obesity and metabolic diseases. Yet, there is controversy over its clinical usefulness. This review will provide a comprehensive overview of DTx, including its potential role and current limitation in obesity care, based on recent literature.

Keywords: Digital therapeutics, Digital healthcare, Obesity, Management

Received September 14, 2022

Revised October 20, 2022

Accepted October 31, 2022

Corresponding author

Yoo Bin Seo

Department of Family Medicine, Wonkwang University Sanbon Hospital, 321 Sanbon-ro, Gunpo 15865, Korea.

Tel: +82-31-390-2216

E-mail: ybseo610@naver.com

서 론

4차 산업혁명 시대가 도래하면서 지난 10년간 전세계적으로 스마트폰 및 모바일 애플리케이션, 웨어러블 기기, 클라우드 기반 데이터 플랫폼 등이 일상생활에서 영역을 점차 확대해 나가고 있으며, 이러한 사회적 변화와 맞물려 의료 패러다임의 변화가 이루어지고 있다.¹ 최근 코로나바이러스감염증-19 유행으로 인한 공중보건 비상사태를 계기로 미국 식품의약품안전처(Food and Drug Administration, FDA)는 질병에 대한 원격 모니터링과 관리를 위한 디지털 건강 기기에 대한 규제를 완화하고 접근을 확대했다.²

디지털 치료제(digital therapeutics)는 만성질환의 예방, 관리, 치료에 대한 중재방법 중 하나로 부상하였다.³ 디지털 치료제에 대한 기준을 설정하고 의료로의 통합을 촉진하는 것을 목표로 하는 세계적 비영리 기구인 'Digital Therapeutics Alliance (DTA)'에 따르면 디지털 치료제는 '의학적 장애와 질병의 예방, 관리, 또는 치료를 위하여 고품질의 소프트웨어 프로그램을 사용한 근거 기반의 치료적 중재'로 정의

되며, 단독으로 사용되거나 의약품, 장비 등 다른 치료와 접목하여 사용될 수 있다.⁴

비만은 행동요법으로 교정이 가능한, 가장 중요한 건강의 위험인자 중 하나이며 각국 정부, 학술단체, 임상가들의 노력에도 불구하고 전 세계적으로 그 유병률이 증가하고 있다.^{5,6} 특히 코로나바이러스감염증-19 유행 이후, 비만과 그 합병증은 전보다 더욱 심각한 보건의료문제로 대두되었다.^{7,8} 사용자와 상호작용하고, 개별화된 중재를 제공할 수 있는 디지털 치료제는 비만과 대사질환 관리 영역에서 장기적, 지속적인 효과를 이루어 낼 수 있는 새로운 방법으로 주목을 받고 있으며, 그 효용성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 중설에서는 디지털 치료제의 개념, 현재까지의 연구결과를 바탕으로 한 비만치료 영역에서의 가능성과 한계에 대하여 살펴보고자 한다.



디지털 치료제

1. 디지털 치료제의 역사와 동향

1995년 미국 보스턴의 Joseph Kvedar 박사는 “one-to-many model”을 제안하면서 전통적인 병원이나 병원 시설 밖에서 치료를 제공하기 위한 기술의 개발과 적용을 배우는 프로그램을 선도하였다.⁹ 의료 서비스 전달에서 시간, 장소, 인력의 한계를 극복하고 접근성, 효율성, 편의성을 제공하여 한정된 자원으로 환자를 더욱 잘 돌보자는 취지였다. 이는 디지털 건강/디지털 치료 영역의 연구자들에 의해 만들어진 첫번째 시도 중 하나라고 할 수 있다.¹⁰

이후, 2002년 당뇨 전단계인 환자들을 대상으로 시행되었던 3년 간의 대규모 연구였던 Diabetes Prevention Program (DPP)에서, 적극적인 식이와 운동요법이 2형 당뇨병의 발생위험을 크게 낮추는 결과를 보여 행동 요법의 중요성이 대두된 바 있다.¹¹ 이를 계기로 이와 비슷한 생활습관변화 프로그램들이 개발되고 미국 질병통제센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)에 의해 승인되기도 하였다.¹² 디지털 산업계에서도 이에 큰 관심을 갖고 행동변화를 이끌어내기 위한 프로그램을 개발하여 왔으며, Omada Health Inc.에서는 디지털 기술을 활용한 생활습관 개선을 시도하였는데, 220명의 당뇨전단계 환자들에게 16주간의 디지털 기술 기반 중재를 하였고 1년 뒤 체중과 당화혈색소 감소의 결과를 보였다.¹³ Welldoc Inc.에서는 웹기반 데이터 분석시스템에 연동된 모바일폰 기반 당뇨관리 소프트웨어를 개발하여, 환자와 보건의료전문가가 실시간 정보와 분석자료를 교류할 수 있는 플랫폼을 제시하였다.¹⁴ 이외에도 현재 Noom, Livongo, Lark, Voluntis 등의 기업이 체중조절 및 대사질환 분야에서 활동하고 있다.³

만성질환의 증가와 의료 지출 상승으로 향후 디지털 치료제 시장의 규모는 2016년에서 2025년까지 16.7억 달러에서 89.4억 달러 규모로 증가할 것으로 전망된다.¹⁵ 미국, 영국, 캐나다에서는 디지털 치료제 시장의 본격적 진입에 대응하여 규제를 유연하게 적용하고 의료현장에서 적극적인 활용을 장려하는 등 정책적 지원을 추진 중이며, 영국의 국립보건임상연구소(National Institute for health and Care Excellence, NICE)의 디지털 헬스 기술에 대한 근거수준 프레임워크에서는 지침을 통해 디지털 헬스 영역에서의 다양한 규정을 제시하였다.¹⁶ 우리나라에서도 2020년 5월 의료기기산업 육성 및 혁신의료기기 지원법을 시행하고 디지털 치료기기 허가, 심사 가이드라인을 발표하였다.¹⁷

2. 용어와 개념

보건의료와 정보통신/디지털 기술이 융합한 것을 일컫는 용어로 디지털 헬스(digital health), 디지털 치료제(digital therapeutics)가 있는

데, 각 개념에는 차이가 존재한다.¹² 디지털 헬스는 가장 광범위한 용어로서, 소비자가 건강이나 웰빙 관련 데이터를 얻기 위한 목적으로 활용되는 기술이며, 의학적 근거와 규제가 불필요하다. 건강관리, 원격의료, 장비/센서/웨어러블, 건강관리(웰니스)제품 등의 다양한 영역의 기술을 포괄하며, 생활습관 관리 모바일 앱 이외 전자의무기록 시스템, 원격의료까지도 포함한다. 디지털 치료제는 디지털 헬스에 비하여 더 좁은 의미로, 앞서 정의되었듯이 질병의 예방, 관리, 치료를 위한 ‘근거 기반’의 중재이며, 일반적으로 위험성, 효과, 용도에 대한 허가 당국의 검증이 요구된다. 그 예로 의약품, 의료기기와 병용하거나 독립적으로 사용하는 모바일 앱, VR (virtual reality), 챗봇, 인공지능 등이 포함된다.

비만치료 영역에서 디지털 기반 중재 효과에 대한 임상연구

체중감소와 유지를 위해 가장 많이 연구되어 온 디지털 기반 중재방법으로는 모바일 앱, 웹기반 중재, 웨어러블 기기가 있으며, 기존의 대면중재와 독립적으로 사용되거나 병합한 형태로 사용되었다.¹⁸

1. 모바일 앱 및 웹 기반 중재

다양한 무작위 대조군 연구 및 이를 포함한 메타분석에서 디지털 기반 중재의 효능을 보여왔다. 2013년 Carter 등¹⁹의 연구에서는 식이와 신체활동에 대한 자가모니터링에 관련된 모바일 앱의 효용성을 알아보기 위해 128명의 환자를 대상으로 모바일 앱을 사용한 군, 상용화된 체중감량 웹사이트를 이용한 군, 식사일지를 작성하도록 한 군으로 나누어 6개월간의 체중변화를 평가하였으며, 모바일 앱 사용 군과 식사일지 작성 군은 비슷한 수준의 체질량지수 감소를 보였고(-1.6 kg/m² vs -1.0 kg/m²), 웹사이트 이용 군은 상대적으로 미미한 효과를 보였다(-0.5 kg/m²). 세 군 중 모바일 앱 사용 군에서의 순응도가 유의하게 가장 높았으며, 저자들은 위 결과의 주된 원인으로 자가 모니터링에 대한 순응도를 언급했다. Islam 등²⁰은 모바일 앱을 활용한 중재연구 12개를 메타분석 하였으며, 그 결과 유의미한 체중변화(-1.07 kg; 95% confidence interval, CI, -1.92 to -0.21, P = 0.01) 및 체질량지수의 변화(-0.45 kg/m²; 95% CI, -0.78 to -0.12, P = 0.008)를 보였다. 다만 포함된 연구에서 대조군의 설정 및 연구방법에 있어서의 이질성이 존재하여 해석에 주의가 필요하다.

Beleigoli 등²¹의 메타분석에서, 웹 기반 중재를 시행한 그룹에서 시행하지 않은 그룹에 비해 체중감량에 있어 유의한 효과가 있었다(-2.14 kg; 95% CI, -2.65 to -1.64). 이 연구에서 웹 기반 중재와 기존 오프라인 중재의 효과를 비교하였을 때는, 추적기간에 따라 그 결과가 상이하였는데, 6개월 이내의 추적관찰 기간을 가진 연구에

서는 웹 기반 중재가 오프라인 중재보다 더 효과적(-2.13 kg; 95% CI, -2.71 to -1.55)이었던 반면, 6개월 이상의 기간 동안 추적하였던 연구에서는 유의미한 체중감량 차이가 없었다(-0.17 kg; 95% CI, -2.10 to 1.76). Patel 등²²의 체계적 고찰에서는 자가 모니터링을 가 능하도록 하는 다양한 형태의 디지털 기반 중재연구에 대하여 기술하 였는데, 포함된 연구의 74%에서 자가모니터링의 빈도와 체중감량 효 과가 유의미한 연관성이 있음을 보고하였으며 이는 디지털 헬스 기기 방법에 따라 크게 다르지 않았다. 다만, 중재의 기간이 길어질수록 연 관성이 약해지는 경향을 보였다.

2. 웨어러블 기기

웨어러블 기기는 기존의 신체활동 중재를 대체할 새로운 기술로 대두 되었다. 만보기, 가속도계 등 신체활동을 평가하는 것뿐만 아니라 목표 신체 활동량을 자동설정하고 달성여부를 평가하며, 소셜 네트워크 플랫 폼을 제공하고, 수면패턴이나 건강관련 활동 모니터링에 대한 기능까지 갖춘 수준으로 발전하였다.²³ 최근 만성질환을 동반한 과체중/비만인구 에서 웨어러블 기기의 효과를 알아본 31개 연구들의 메타분석에서, 가 속도계/만보계와 상용화된 웨어러블 기기(Fitbit 등)는 각각 -4.44 kg, -2.76 kg의 체중 변화를 유도하였다.²⁴ 다만 식이에 대한 중재 여부, 대 면 피드백이 개입하였는지 여부는 포함된 연구마다 달랐다. 포함된 각 연구의 기간은 4-52주 범위로 다양했는데 12주 이상의 중재기간에서 더욱 효과적이었다. 웨어러블 장치에 대한 19개의 무작위 대조군 연구 에서 체중감량의 효과를 보고하였던 또 다른 메타분석에서도, 중재기간 을 기준으로 한 하위그룹 분석에서 12주 이상의 중재기간을 가진 그룹 에서 더 짧은 중재기간을 가진 그룹에서보다 체중 개선에 더욱 효과적 이었다.²⁵

3. 디지털 기반 중재와 대면 중재

디지털 기반 중재와 전통적인 대면 중재의 체중조절에 대한 효과를 서로 비교하거나, 단독 혹은 병합한 요법으로 효과를 비교한 선행연구 들의 결과는 혼재되어 있지만, 디지털 기반 중재가 단독으로 사용되었 을 때는 전통적인 대면 중재에 비하여 크게 우월하지 않은 것으로 보인다. Allen 등²⁶의 파일럿 연구에서 6개월간의 모바일 앱을 활용한 중재 를 한 군과 대면으로 집중적인 상담을 받은 군에서 체중감량은 유의한 차이가 없었다(smartphone: -1.8 ± 3.7 kg vs intensive counseling: -2.5 ± 4.1 kg, $P = 0.89$). Sullivan 등²⁷은 VR을 사용하였던 군 과, 대면교육과 상담을 시행한 군을 비교하였을 때, 3개월 후의 체중감 량 비율이 각각 7.6%, 10.8% ($P < 0.05$)로 대면요법에서 더 나은 효과 를 보였다. Kodama 등²⁸의 메타분석에서는 웹 기반 중재를 기존 대면

요법의 대체로 사용하는 것은 체중감량에 도움이 되지 않는 것(+1.27 kg, $P = 0.01$)으로 나타났으나, 대면요법에 병합하였을 때는 체중감량 에 부가적인 이득이 있는 것(-1.00 kg, $P < 0.001$)으로 나타났다.²⁸

2020년 발표된 무작위 대조군 연구에서, 840명의 고혈압 또는 2 형 당뇨병을 동반한 과체중 및 비만 환자를 대상으로 일반적인 관리를 받은 군, 온라인 프로그램을 사용한 군, 두 방법을 병합한 군으로 나누 어 12개월간 중재를 시행하였을 때, 체중 변화는 각각 -1.2 kg (95% CI, -2.1 to -0.3 kg), -1.9 kg (95% CI, -2.6 to -1.1 kg), -3.1 kg (95% CI, -3.7 to -2.5 kg)로 통계적으로 유의하게 병합요법군에서 가장 효과적이었다($P < 0.001$). 또한 이 연구에서 온라인 프로그램만 사용하였던 군은 중재 종료 6개월 후 감량된 체중을 유지하지 못하는 것으로 나타났다.²⁹ 국내의 한 무작위 대조군 연구에서, 실험군은 모바일 앱(Noom app.)을 사용하여 식사일지를 쓰고, 인지행동요법(cog-nitive behavioral therapy, CBT) 모듈에 기반한 심리학자의 피드백 을 매일 문자로 받도록 하였으며, 대조군은 같은 모바일 앱으로 자가관 리를 하도록 하였다. 8주 후, 실험군에서 유의하게 체중감량의 효과가 컸고($-3.1 \pm 4.5\%$ vs $-0.7 \pm 3.4\%$, $P = 0.04$), 렙틴 및 인슐린 저항 성, 감정적인 섭식행동, 간식섭취 열량 등의 지표에서도 유의한 차이를 보였다.³⁰ 2021년 발표된 메타분석에서도, 웹 기반 프로그램을 통해 보건 의료전문가로부터 개별화된 주1회 이상의 피드백이 주어진 그룹 에서, 웹 기반 프로그램만 사용한 그룹에 비하여 유의한 체중감량 결과 를 보여주었다(-4.31 kg; 95% CI, -5.22 to -3.41).³¹

고 찰

디지털 기반 중재는 많은 연구에서 체중 감소에 도움을 줄 수 있는 것으로 나타났으나, 그 효과의 크기가 크지 않았으며, 감소된 체중의 유지가 지속적으로 이루어질 수 있는지에 대한 근거는 아직 부족하다. 또한 디지털 기반 중재에 포함된 내용과 요소, 그리고 순응도와 같이 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인에서 각 연구가 시행된 시점 및 연구 디자인에 따른 이질성이 존재한다. 생활습관의 관리를 위한 전통적인 대면 요법과 비교하였을 때, 디지털 기반 중재는 적어도 단기간은 이와 비슷한 효과를 가져올 수 있지만, 전문가가 적극적으로 개입하였을 때 보다는 덜 효과적임을 몇몇 연구에서 보여주었다.^{30,32} 따라서 비만과 대사 질환을 더욱 효과적이고 장기적으로 관리하기 위해서는 디지털 기반 중재를 단독으로 활용하기보다, 전문가에 의해 개별화된 교육과 피드백이 동반되어야 할 것으로 보이며, 단독으로 디지털 기반 중재를 활용하는 것에 대해서는 그 효과를 극대화하고 이를 검증하기 위한 추 가적인 연구들이 필요하다.^{31,33}

비만과 식이 행동 문제에는 많은 요인이 복잡하게 관여하며, 생물학 적, 심리사회적 접근방법이 필요하다.³⁴ 비만치료에서 장기적인 체중

감소와 유지에 있어 흔한 실패요인 중 하나는 환자로 하여금 지속적으로 생활습관 관리를 하도록 유도하는 데 실패한다는 것이다.³⁵ CBT는 이를 개선하기 위하여 적용되는 근거기반의 방안으로, 문제행동과 도움이 되지 않는 인지왜곡을 변화시키고 감정적 조절과 문제해결 기술을 향상시킬 수 있는 중재방법이다.³⁶ 디지털 기술은 그 접근성과 용이성으로 환자 순응도를 높이고, 정확한 실시간 모니터링 및 치료자와의 상호작용이 가능하도록 함으로써 CBT의 효율성을 향상시킬 수 있다.³⁷ 디지털 기술과 CBT를 접목함에 있어, 앞서 언급하였듯 행동, 인지, 감정, 동기 등 체중조절에 관여하는 다양한 요인에 대한 이해와 관리가 필요하다.³⁰ 또한 식이, 신체활동, 체중에 대한 일률적이고 보편적인 내용을 담은 디지털 기반 중재보다는, 개인의 생물학적, 행동심리적, 사회경제적 차이를 고려한 개별화된 접근방법이 효과를 극대화할 수 있다.³ 그 밖에 디지털 치료제의 성공적인 체중관리에 관여하는 요인으로 수용성(acceptability) 및 인지되는 이득(perceived benefit), 사용 용이성, 해당 방법이 사회적 교류를 가능하게 하는지 여부, 비용 등이 고려되어야 한다.³³

디지털 치료제에 대한 향후 연구를 진행해 나감에 있어서 몇 가지 고려할 점이 존재한다. 첫째, 기존의 약물을 활용한 중재연구와 비교하였을 때, 디지털 치료제는 그 자체의 특성상 연구 방법의 한계를 가질 수 있다.³⁸ 즉, 현실적으로 바이어스가 존재하지 않는 무작위 배정이 어렵고, 완전한 의미의 맹검(double blind)이 가능할지에 대한 고려가 필요하며, 이중 맹검이 가능할 경우 대조군 설정 (예, 대조군으로서 소프트웨어-플라시보 제작 필요여부) 등의 문제가 있다. 둘째, 디지털 치료제의 정의상 그 효과뿐만 아니라 안전성에 대해서도 충분한 근거가 필요하다. 일부 산업계는 디지털 치료제가 거의 부작용을 갖고 있지 않다고 주장하지만, 위험성 또는 안전성에 대하여 결론을 내릴 만큼 충분한 임상적 근거가 아직 확보되지 않았다.³⁸ 셋째, 디지털 기반 치료 자체의 특성상 현재까지 대부분의 연구는 주로 고소득 국가에서, 일반 인구 집단보다는 교육 수준이 높고, 동기부여가 된 참여자들을 대상으로 이루어져 왔다.¹⁸ 따라서 디지털 치료제의 광범위하거나 효과적인 적용을 위해서는 다양한 인구집단 (낮은 사회경제적 계층, 노인인구, 개발도상국, 동반질환 여부 등)을 포함한 장기간의 연구가 필요하다.

결론

사회경제적 성장, 기술의 발전, 고령화, 의료비용의 증가와 같은 사회적 변화로 인해 디지털 헬스케어에 대한 수요가 촉진되고 시장규모가 확대될 것으로 전망되며, 이에 따라 보건의료전문가의 디지털 치료제에 대한 이해가 필요하다. 디지털 치료제는 특히 생활습관 관리와 행동요법으로 조절이 가능한 질환의 영역에서 새로운 치료방법으로 대두되었으며, 비만 및 관련 대사질환에서 활발히 연구되고 있다. 현재까지

는 디지털 치료제 단독으로는 약물 및 집중적인 생활중재요법 등 기존 치료에 비하여 임상적으로 만족할 만한 성과를 보여주지 못하였고, 대면 개입이 동반되거나 전문가의 관리를 보조하는 수단으로 활용되었을 때 부가적인 이득이 있음을 보여주었다. 추후 디지털 치료제가 효과와 안전성에 대한 충분한 근거를 확보하고 임상현장에서 받아들여지기 위해서는 비용 효과 측면까지 아우르는, 장기간의 대규모 중재 연구가 필요하다.

이해충돌

이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 수혜

없음.

ORCID

Yoo Bin Seo <https://orcid.org/0000-0001-8116-1110>

참고문헌

- Dang A, Dang D, Rane P. The expanding role of digital therapeutics in the post-COVID-19 era. *Open COVID J* 2021;1:32-7.
- Patel NA, Butte AJ. Characteristics and challenges of the clinical pipeline of digital therapeutics. *NPJ Digit Med* 2020;3:159.
- Kim M, Choi HJ. Digital therapeutics for obesity and eating-related problems. *Endocrinol Metab (Seoul)* 2021;36:220-8.
- Digital Therapeutics Alliance. A new category of medicine [Internet]. Digital Therapeutics Alliance. 2020 [cited 2022 Sep 12]; Available from: <https://dtxalliance.org/understanding-dtx/>
- Lyn R, Heath E, Dubhashi J. Global implementation of obesity prevention policies: a review of progress, politics, and the path forward. *Curr Obes Rep* 2019;8:504-16.
- Choi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. *Metabolism* 2019;92:6-10.
- Ko HJ, Cho YJ, Kim KK, et al. COVID-19 and related social distancing measures induce significant metabolic complications without prominent weight gain in Korean adults. *Front Med (Lausanne)* 2022;9:951793.
- Senthilingam M. COVID-19 has made the obesity epidemic worse, but failed to ignite enough action. *BMJ* 2021;372:n411.
- Menn ER, Kvedar JC. Tele dermatology in a changing health

- care environment. *Telemed J* 1995;1:303–8.
10. Makin S. The emerging world of digital therapeutics. *Nature* 2019;573:S106–9.
 11. Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler SE, et al. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N Engl J Med* 2002;346:393–403.
 12. Dang A, Arora D, Rane P. Role of digital therapeutics and the changing future of healthcare. *J Family Med Prim Care* 2020;9:2207–13.
 13. Sepah SC, Jiang L, Peters AL. Long-term outcomes of a Web-based diabetes prevention program: 2-year results of a single-arm longitudinal study. *J Med Internet Res* 2015;17:e92.
 14. Quinn CC, Shardell MD, Terrin ML, Barr EA, Ballew SH, Gruber-Baldini AL. Cluster-randomized trial of a mobile phone personalized behavioral intervention for blood glucose control. *Diabetes Care* 2011;34:1934–42. Erratum in: *Diabetes Care* 2013;36:3850.
 15. Statista. Projected size of the digital therapeutics market worldwide from 2016 to 2025 [Internet]. Statista. 2021 [cited 2022 Sep 12]; Available from: <https://www.statista.com/statistics/997974/worldwide-digital-therapeutics-market-size/>
 16. NICE. Evidence standards framework for digital health technologies: user guide [Internet]. NICE. 2019 [cited 2022 Sep 12]; Available from: <https://www.nice.org.uk/Media/Default/About/what-we-do/our-programmes/evidence-standards-framework/user-guide.pdf>
 17. Kim JW, Jang KJ, Hwang EW. Digital therapeutics [Internet]. Korea Institute of S&T Evaluation and Planning. 2020 [cited 2022 Sep 12]; Available from: https://www.kistep.re.kr/board.es?mid=a10306010000&bid=0031&list_no=34994&act=view
 18. Afshin A, Babalola D, Mclean M, et al. Information technology and lifestyle: a systematic evaluation of Internet and mobile interventions for improving diet, physical activity, obesity, tobacco, and alcohol use. *J Am Heart Assoc* 2016;5:e003058.
 19. Carter MC, Burley VJ, Nykjaer C, Cade JE. Adherence to a smartphone application for weight loss compared to website and paper diary: pilot randomized controlled trial. *J Med Internet Res* 2013;15:e32.
 20. Islam MM, Poly TN, Walther BA, Jack Li YC. Use of mobile phone app interventions to promote weight loss: meta-analysis. *JMIR Mhealth Uhealth* 2020;8:e17039.
 21. Beleigoli AM, Andrade AQ, Cançado AG, Paulo MN, Diniz MFH, Ribeiro AL. Web-based digital health interventions for weight loss and lifestyle habit changes in overweight and obese adults: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res* 2019;21:e298.
 22. Patel ML, Wakayama LN, Bennett GG. Self-monitoring via digital health in weight loss interventions: a systematic review among adults with overweight or obesity. *Obesity (Silver Spring)* 2021;29:478–99.
 23. Almalki M, Gray K, Sanchez FM. The use of self-quantification systems for personal health information: big data management activities and prospects. *Health Inf Sci Syst* 2015;3(Suppl 1 HISA Big Data in Biomedicine and Healthcare 2013 Con):S1.
 24. McDonough DJ, Su X, Gao Z. Health wearable devices for weight and BMI reduction in individuals with overweight/obesity and chronic comorbidities: systematic review and network meta-analysis. *Br J Sports Med* 2021;55:917–25.
 25. Yen HY, Chiu HL. The effectiveness of wearable technologies as physical activity interventions in weight control: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Obes Rev* 2019;20:1485–93.
 26. Allen JK, Stephens J, Dennison Himmelfarb CR, Stewart KJ, Hauck S. Randomized controlled pilot study testing use of smartphone technology for obesity treatment. *J Obes* 2013;2013:151597.
 27. Sullivan DK, Goetz JR, Gibson CA, et al. Improving weight maintenance using virtual reality (Second Life). *J Nutr Educ Behav* 2013;45:264–8.
 28. Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al. Effect of Web-based lifestyle modification on weight control: a meta-analysis. *Int J Obes (Lond)* 2012;36:675–85.
 29. Baer HJ, Rozenblum R, De La Cruz BA, et al. Effect of an online weight management program integrated with population health management on weight change: a randomized clinical trial. *JAMA* 2020;324:1737–46.
 30. Kim M, Kim Y, Go Y, et al. Multidimensional cognitive behavioral therapy for obesity applied by psychologists using a digital platform: open-label randomized controlled trial. *JMIR Mhealth Uhealth* 2020;8:e14817.
 31. Varela C, Oda-Montecinos C, Andrés A, Saldaña C. Effectiveness of web-based feedback interventions for people with overweight and obesity: systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *J Eat Disord* 2021;9:75.
 32. Podina IR, Fodor LA. Critical review and meta-analysis of multicomponent behavioral e-health interventions for weight loss. *Health Psychol* 2018;37:501–15.
 33. Ghelani DP, Moran LJ, Johnson C, Mousa A, Naderpoor N. Mobile apps for weight management: a review of the latest evidence to inform practice. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2020;11:412.
 34. Castelnuovo G, Pietrabissa G, Manzoni GM, et al. Cognitive

- behavioral therapy to aid weight loss in obese patients: current perspectives. *Psychol Res Behav Manag* 2017;10:165–73.
35. Cooper Z, Fairburn CG, Hawker DM. *Cognitive-behavioral treatment of obesity: a clinician's guide*. New York: Guilford Press; 2003.
36. Dalle Grave R, Sartirana M, Calugi S. Personalized cognitive-behavioural therapy for obesity (CBT-OB): theory, strategies and procedures. *Biopsychosoc Med* 2020;14:5.
37. Wilhelm S, Weingarden H, Ladis I, Braddick V, Shin J, Jacobson NC. Cognitive-behavioral therapy in the digital age: presidential address. *Behav Ther* 2020;51:1–14.
38. Kim HS. Apprehensions about excessive belief in digital therapeutics: points of concern excluding merits. *J Korean Med Sci* 2020;35:e373.