

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2023. 12. Vol. 30, No 4, pp.92-110

디지털 치료제가 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 효과 : 체계적 고찰

김정현

신한대학교 통합대체의학과

Effect of digital therapies on balance and gait in children with cerebral palsy:

A systematic review

Jung-Hyun Kim, Ph.D., P.T.

Department of Integrated Alternative Medicine, Shinhan University, Korea

Abstract

Background: Digital therapeutics are software medical devices that provide evidence-based treatments to prevent, manage, and treat disease. Digital therapies have recently been shown to be effective in motivating children with cerebral palsy as a tool in neuropsychological therapy. Digital therapies improve postural control, balance and gait in children with cerebral palsy. Therefore, this study aims to investigate the effects of digital therapies on balance and gait in children with cerebral palsy and to provide guidelines for prescribing digital therapies for children with cerebral palsy.

Design: A Systematic Review

Methods: This study searched for English-language articles published in medical journals from January 2000 to July 2023 using PubMed and MEDLINE based on the year of initiation of the digital therapy. The search terms used in the study were 'digital technology' OR 'digital therapeutic' OR 'mobile application' OR 'mobile health' OR 'virtual reality' OR 'game' AND 'cerebral palsy', 'balance' 'gait' as the main keywords. The final article was assigned an evidence level and a Physiotherapy Evidence Database (PEDro)

score to assess the quality of clinical trials studies.

Results: The digital therapies applied to improve balance and gait in children with cerebral palsy are game-based virtual reality training and the Nintendo Wii Fit program. Both digital therapy interventions had a significant effect on improving balance in children with cerebral palsy, and virtual reality training significantly improved balance and gait. However, there were no significant improvements in balance and gait within two weeks of treatment, regardless of the type of digital intervention.

Conclusion: The study suggests that this data will be important in building the evidence base for the effectiveness of digital therapies on balance and gait in children with cerebral palsy and in advancing clinical protocols.

Key words: Cerebral Palsy, Digital, Gait, Postural Balance, Therapy

교신저자

김정현

경기도의정부시호암로 95, 신한대학교 통합대체의학과(11644)

T: 031-870-3652, E: kjh@shinhan.ac.kr

I. 서론

디지털 치료제는 ‘질병을 예방, 관리 및 치료를 위해 제공하는 소프트웨어 의료기기로 근거 기반 치료를 시행한다’라고 하였다(Digital Therapeutics Alliance, 2018). 국내 디지털 치료제에 대한 정의는 치료 중재가 필요한 환자가 근거 기반 치료 중재를 위해 소프트웨어 디지털 기기를 이용하여, 질병과 장애를 예방, 관리, 치료하는 것이다(식품안전처, 2020). 재활치료 현장에서 디지털 치료제로 적용된 도구는 증강·가상현실(Augmented·Virtual reality; AR·VR), 인공지능(Artificial Intelligence; AI), 메타버스(Metaverse), 어플리케이션(Mobile Application; App), 가상 증강 전산화 인지 재활 프로그램(Computer-based cognitive rehabilitation; CBCR)등 이 있으며, 디지털 치료제의 사용 빈도는 AR·VR, CBCR, App이 높았다(심태용 등, 2022).

이 중 가상현실은 컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어로 만든 대화형 시뮬레이션을 사용하여 사용자에게 실제 사물 및 이벤트와 유사하게 보이고 느껴지는 환경에 참여할 수 있는 기회를 제공한다(Weiss 등, 2004). 일반적으로 사용자는 표시된 이미지와 상호작용, 가상 캐릭터의 이동 및 조작, 시뮬레이션 환경에 몰입하는 방식으로 가상 세계에서 주관적인 존재감을 느낄 수 있다(Sharan 등, 2012). 가상현실을 포함한 디지털 치료제는 최근 신경심리 치료의 도구로 사용되기 시작하며(Riva, 2005), 운동기능과 자세 조절을 개선할 수 있는 잠재력이 있어 뇌성마비 아동의 근력, 균형, 자세 조절 및 보행 측면에서 총체적 운동 개선이 나타난다(Fehlings, 2013). 디지털 치료제는 연습의 지속 시간, 강도, 빈도 강화와 과제 특이성, 피드백의 양과 정도, 게임 또는 과제 시도 시간 등 사용자의 필요에 따라 개별화된 치료 프로그램을 구성할 수 있다(Huber 등, 2010). 따라서 디지털 치료제는 뇌성마비 아동에게 시·청각 피드백을 제공하고, 피질 활동을 증가시켜 재활 치료에 효과적이다(Wille 등, 2009)

뇌성마비 아동의 재활은 일반적으로 물리 치료, 작업 치료, 언어 치료가 포함된 기존 치료 프로그램으로 고정된 프로그램이 아니며 아동의 특정 요구를 해결하는 데 목적이 있다(Sajan 등, 2017). 지난 몇 년 동안 디지털 치료제 중 하나인 가상현실 기반 인터랙티브 게임은 뇌성마비 아동을 위한 새로운 재활 치료 방식으로 대두되었고(Parsons 등, 2009), 재활 치료의 가상현실은 가상 현실 시스템에 상용화된 게임이 결합된 형태이다(Deutsch 등, 2008). 가상현실 기반 인터랙티브 게임은 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어에서 생성된 인터랙티브 시뮬레이션을 활용하여 아동이 실제처럼 보이는 환경에 참여하고(Ren과 Wu, 2019), 운동 활동 능력과 자신감 향상, 동기 부여, 순응도를 높인다(Harris와 Reid 2005). 이러한 인터랙티브 게임은 사용자의 기술 수준에 따라 조정할 수 있으며, 아동의 실력이 향상되면 다음 단계의 난이도로 업그레이드하여 참신함과 지속성을 제공할 수 있다(Sajan 등, 2017). 이렇듯 가상현실 기반 재활 치료는 뇌성마비 아동이 안전하게 놀고, 배우고, 기술을 습득할 수 있는 기회를 제공하고, 동기를 부여하는데 효과적이다(Harris와 Reid, 2005). 뇌성마비 아동에게 가상현실 훈련을 하였을 때 근력과 시지각 능력 증가(Bilde 등, 2011), 균형 능력, 보행 지구력이 향상된다(Brien과 Sveistrup, 2011). 뇌성마비 아동은 움직임과 자세 조절뿐만 아니라 감각, 지각, 인지 및 행동 장애를 동반하며(Lohse 등, 2013), 이는 뇌성마비 아동의 움직임의 질을 저하를 유발하기 때문에 뇌성마비의 균형 훈련은 재활에 중요한 부분이다(Kachmar, 2021). 균형은 앉고 서기부터 걷기까지 다양한 작업에서 자세 또는 수직 방향을 유지하는 능력이다(Kachmar, 2021). 중추 신경계, 근육, 근력, 고유 수용성 감각, 위치 파악, 시각 및 전정 시스템의 복잡한 상호 작용은 균형 능력에 따라 달라지며(Kachmar, 2021), 뇌성마비 아동은 앉거나 서 있을 때 자세 조절에 문제로 인해 아동의 기능과 일상생활 참여에 어려움이 있다(Pin과 Butler, 2019). 자세 조절 장애는 뇌성마비 아동이 걸거나 물건을 잡기 위해 손을 뺀 기능적 활동을 어렵게 만들기 때문에(Pin과 Butler, 2019) 정적 및 동적 균형 조절 향상은 뇌성마비 아동 재활 프로그램의 가장 중요한 목표이다(Fehlings 등, 2013). 디지털 치료제인 인터랙티브 게임은 뇌성마비

아동의 자세 조절 및 균형을 개선을 위해 사용되는 재활 치료이다(Bonnechere 등, 2016). 아동기의 중추 신경계는 신경 가소성이 뛰어나므로 이 시기의 고강도 물리치료 개입은 재활에 효과적이다(Sakzewski 등, 2014). 자세 균형 제어를 담당하는 감각 시스템의 신경 성숙은 15~16세에 완전히 성숙하므로(Steindl 등, 2006), 중추신경계가 다각각 자극 환경에 반응하여 높은 가소성을 보이는 시기인 아동 및 청소년기에 자세 균형 재활 프로그램을 제공해야 한다(Gatica-Rojas 등, 2017). 따라서 디지털 치료제가 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 효과는 재활 치료에서 중요한 이슈로 다방면으로 요인들을 살펴보아야 한다. 먼저 다양한 종류의 디지털 치료제가 뇌성마비 아동의 균형과 보행에 미치는 효과에 대한 논의가 필요하며, 더불어 디지털 치료제의 종류, 대상자, 빈도수, 중재 기간, 추후 효과에 따라 뇌성마비 아동의 균형과 보행에 대한 분석이 필요하다. 따라서 본 연구는 뇌성마비 아동에서 디지털 치료제가 균형과 보행에 미치는 효과를 조사하고 뇌성마비 아동의 디지털 치료제 처방 가이드라인을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 검색 방법 및 분석

본 연구는 디지털 치료제가 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 효과를 검토하기 위해 디지털 치료제 시작 연도를 기반으로(지은규 등, 2023), 2000년 01월부터 2023년 07월까지 의학회지에 게재된 영어 논문을 PubMed와 MEDLINE 웹 데이터 베이스를 사용하여 검색하였다. 연구에 사용된 검색 용어는 ‘digital technology’ OR ‘digital therapeutic’ OR ‘mobile application’ OR ‘mobile health’ OR ‘virtual reality’ OR ‘game’ AND ‘cerebral palsy’, ‘balance’ ‘gait’를 주요 키워드로 적용하였다. 연구의 선정기준은 비 무작위 실험연구와 무작위 대조군 실험 연구로 연구 설계된 논문으로, 연구 대상자는 뇌성마비 아동, 사용 언어가 영어인 연구, 디지털 치료제에 대한 중재 방법의 연구, 원문 서비스를 받을 수 있는 논문으로 2000년 01월부터 최근까지 진행된 연구로 검색하였다. 연구 제외기준은 개별 실험 연구, 포스터 연구, 학위논문, 사례연구 및 체계적 고찰 또는 메타분석은 제외하였다. 주요 키워드를 통해 검색하여 총 523개의 논문 중 비 무작위 실험연구와 무작위 실험연구 설계가 아닌 465개의 논문을 제외한 58개 논문으로 스크리닝 검사를 시행하였다. 초록을 토대로 중복 연구, 디지털 치료제가 아닌 경우, 균형 및 보행을 평가한 연구가 아닌 연구를 제외한 16개 논문의 원본을 찾았다. 원본을 찾기 위해 PubMed와 Google 검색엔진을 사용하여 논문 원본을 찾았으며, 원문 중 초록만 포함 한 연구 5개 논문을 제외하고, 최종 분석대상 논문 11개를 선정하였다. 연구의 정확성을 위해 최종 분석 논문 선정은 선정기준 및 제외기준을 바탕으로 물리치료학과를 졸업한 대학원생 1명과 저자가 각각 독립적으로 web database에서 검색하여 검색 결과를 비교 분석하여, 최종 분석대상 논문 11개를 선정하였다(Figure 1).

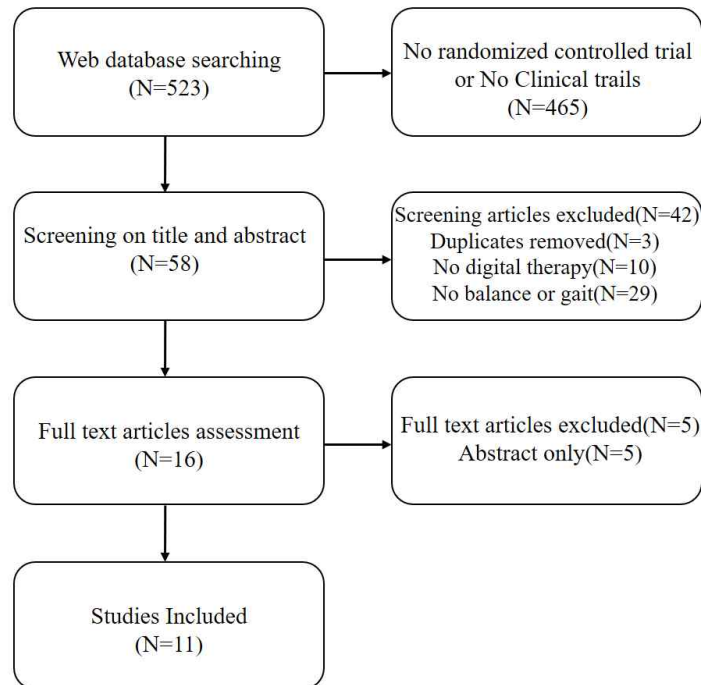


Figure 1. Flowchart of the effects of digital therapy on balance and gait in children with cerebral palsy

2. 질적 평가

최종 논문의 질적 수준은 Arbesman 등(2008)의 근거 기반으로 평가하였으며, 연구의 질을 평가하는 Physiotherapy Evidence Database (PEDro) 점수도 기술하였다(Bhagal 등, 2005). PEDro 점수는 각 문항은 1점으로 ‘예’ 또는 ‘아니오’로 평가하고, 총 10문항으로 구성된다. PEDro 점수는 연구의 질적 수준을 평가하며, PEDro 점수가 0~3점은 ‘나쁨’, 4~5점은 ‘보통’, 6~8점은 ‘ 좋음’, 9~10점은 ‘아주 좋음’이다(Moseley 등, 2002). 질적 평가를 위해 15년 이상 물리치료사 재직 중이며, 체계적 고찰 연구 경험이 있는 대학원 졸업생이 PEDro 분석과 논문 검색을 독립적으로 시행하였다. 저자와 대학원 졸업생의 질적 평가 결과 차이가 발생한 경우 서로 의논하여 질적 수준 평가를 최종 결정하였다.

PEDro 점수는 9점이 1개(9.1%), 8점이 5개(45.4%), 7점이 3개(27.3%), 6점이 2개(18.2%)를 차지하였으며 평균 7.45점으로 나타났다(Table 1). 분석 논문의 질적 수준은 I 단계에 해당하는 논문 8개(72.7%), II단계 3개(27.3%)이다<Table 2>.

Table 1. Analysis of papers

Author	Title	The level of quality	PE德罗 Score
Saussez et al. (2023)	Efficacy of integrating a semi-immersive virtual device in the HABIT-ILE intervention for children with unilateral cerebral palsy: a non-inferiority randomized controlled trial	II	6
Szturm et al. (2022)	Game-Based Dual-Task Exercise Program for Children with Cerebral Palsy: Blending Balance, Visuomotor and Cognitive Training: Feasibility Randomized Control Trial	I	7
Jha et al.(2021)	Randomised trial of virtual reality gaming and physiotherapy on balance, gross motor performance and daily functions among children with bilateral spastic cerebral palsy	I	8
Jung et al.(2021)	Effects of Kinect Video Game Training on Lower Extremity Motor Function, Balance, and Gait in Adolescents with Spastic Diplegia Cerebral Palsy: A Pilot Randomized Controlled Trial	I	8
Kachmar et al. (2021)	Personalized balance games for children with cerebral palsy: A pilot study	I	8
Pin & Butler (2019)	The effect of interactive computer play on balance and functional abilities in children with moderate cerebral palsy: a pilot randomized study	II	7
Gatica-Rojas et al. (2017)	Does Nintendo Wii Balance Board improve standing balance? A randomized controlled trial in children with cerebral palsy	II	8
Sajan et al. (2017)	Wii-based interactive video games as a supplement to conventional therapy for rehabilitation of children with cerebral palsy: A pilot, randomized controlled trial	I	9
Cho et al. (2016)	Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy	I	8
Tarakci et al. (2016)	Effects of Nintendo Wii-Fit video games on balance in children with mild cerebral palsy	I	7
Sharan et al. (2012)	Virtual reality based therapy for post operative rehabilitation of children with cerebral palsy	I	6

3. 연구 분석

최종 분석 논문의 연도, 저자, 제목, 연구의 질적 수준 및 PEDro 점수는 다음과 같다<Table 1>. 최종 분석 논문의 결과는 최근 연도순으로 서술하였으며, 저자와 연도, 연구대상자, 중재방법과 측정도구 및 결과로 작성하였으며, 디지털 치료제에 대한 중재 방법이 균형 또는 보행에 미치는 결과로 자세히 기술하였다. 대상자는 대상자 수와 연령, 진단기준을 서술하였으며, 중재방법은 실험군과 대조군의 처치 내용과 디지털 치료제 적용 방법에 대한 내용, 치료 시간을 작성하였고, 연구 결과는 균형 또는 보행에 관한 측정도구와 결과, 통계적 유의성을 기술하였다(Table 2).

Table 2. Levels of Evidence in Analytical Articles

Evidence level	Classification	Frequency	Percentage(%)
I	Systematic reviews, Meta-analyses, Randomized controlled trials	8	72.7
II	Two-group non-randomized study (Cohort study, Two-group before-and-after comparison)	3	27.3
III	Single-cohort non-randomized study	0	0.0
IV	Individual experimental studies, Surveys	0	0.0
V	Case studies, Expert opinion, Qualitative research	0	0.0
Total		11	100.0

III. 결 과

1. 뇌성마비 아동의 디지털 치료제 연구의 대상자, 측정 도구 및 중재 방법

뇌성마비 아동의 디지털 치료제 연구의 대상자, 측정 도구, 중재 방법의 11개 연구를 분석한 결과 대상자는 뇌성마비 7개(63.64%), 경직성 뇌성마비 4개(36.36%)이다. 뇌성마비 아동의 대동작 기능 분류 시스템(Gross Motor Function Classification System; GMFCS)이 있는 연구는 9개(81.82%)이며, GMFCS I-II는 3개(27.27%), GMFCS I-III은 4개(36.37%), GMFCS II-III은 1개(9.09%), GMFCS III-IV 1개(9.09%)이다. 중등도 뇌성마비 연구 1개(9.09%)를 제외한 대부분의 연구에서는 GMFCS I-III(72.73%)인 뇌성마비 아동을 대상으로 연구를 진행하였다. 대상자의 Modified Ashworth Scale이 있는 연구는 3개(27.27%)이며, 모두 MAS 2 미만으로 뇌성마비 아동의 경직은 가동범위의 1/2 이하에서 약간의 저항이 느껴지거나 가동범위 끝부분에서 약간의 저항이 느껴지는 아동들을 대상으로 하였다. 디지털 치료제 사용을 위해 대상자의 손 기능 분류 체계(Manual Ability Classification System) 2개(18.18%)와 간이정신상태검사(Mini Mental State Examination) 1개(9.09%)를 선정기준에 포함하고 있다. 대상자 연령은 대상자의 연령을 기술하지 않은 연구 1개(9.09%)를 제외하고, 대부분 4~20세가 10개(90.91%)이다.

측정 도구는 모든 연구에서 균형 또는 보행과 관련된 측정 도구만 평가하였으며, 균형 평가는 아동균형척도(Pediatric Balance Scale; PBS) 6개(54.55%), 일어서서 걷기 검사(Timed Up & Go Test; TUG) 2개(18.18%), 아동 뻗기 검사(Pediatric Reach Test; PRT) 2개(18.18%)이며, 동적 균형 검사(Dynamic Balance Test: DBT), 앉았다 일어서기 검사(Sit-to-Stand test; STS), Kids-Mini Balance Evaluation System Test(Kids-Mini BESTest), Modified Clinical Test of Sensory Integration in Balance (MCTSIB)를 측정도구로 사용하였다. 동요 거리 및 동요 속도를 평가하기 위해 Computerized dual-task(DT) balance assessment, Nintendo Wii Fit balance, Center of Pressure Path Length(COP-PL), Center of Pressure Sway(CoPSway), Sway velocity, Distance Center of Pressure를 이용하여 평가하였으며, 대동작 기능 평가(Gross Motor Function Measure; GMFM)는 4개(36.36%)이며, 서기 등의 기능 평가로 사용되었다. 보행 측정은 속도 및 거리 측정을 위해 GAITRite 또는 보행속도와 보행거리 2개(18.18%), 10미터 보행검사 2개(18.18%), 지구력 측정에는 2분 보행 검사 2개(18.18%), 6분 보행 검사이며, 10-stair climb test, A Rasch Built 10-Item Questionnaire for Assessing Locomotion Ability in Children with Cerebral Palsy(ABILOCO-kids)도 사용되었다.

중재 방법은 게임 기반 가상 현실 훈련 프로그램 7개(63.64%)와 Nintendo Wii Fit 게임 4개(36.36%)이며, 이 중

게임 기반 가상현실 훈련 프로그램과 대조군 비교는 4개(36.36%), Nintendo Wii Fit 게임과 대조군 비교는 4개(36.36%), 가상현실 훈련 프로그램과 실제 활동과 비교한 연구는 2개(18.18%), 게임 기반 가상현실 훈련 프로그램과 Nintendo Wii Fit 게임 비교는 1개(9.09%)이다. 디지털 치료제에 대한 중재 기간은 2주부터 12주까지이며, 2주 2개(18.18%), 3주 2개(18.18%), 6주 4개(36.37%), 8주 1개(9.09%), 12주 2개(18.18%)로 진행되었으며, 후속 검사는 4개로 사후 1개월부터 3개월까지 시행하였다(Table 3).

2. 뇌성마비 아동의 디지털 치료제가 균형 및 보행에 미치는 효과

첫째, 게임 기반 가상현실 훈련 프로그램과 대조군을 비교하였을 때 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 영향에 대한 비교이다. 게임 기반 가상 현실 훈련 프로그램과 대조군을 비교한 연구는 전체 연구 중 4개(36.36%)이다. 게임 기반 가상현실 훈련 프로그램이 사후에 대조군보다 균형이 향상되었다는 연구는 4개 중 2개(50%)이며, 대부분(75%)의 연구에서 균형훈련에 대한 일반적 치료(대조군)와 게임기반 가상현실 프로그램 모두 사전보다 사후에 아동균형척도, Kids-Mini Balance Evaluation System Test, 대동작 기능 평가의 서기, 걸기, 달리기, 점프에서 유의한 향상이 있었다. 더불어 실험군에서는 COP(Center of foot Pressure) TPL(Total Path Length)과 step length, stride length, single limb support time의 보행 향상이 있었으며, 추적 검사는 4개 연구 중 1개(25%)로 대조군과 실험군 모두 대동작 기능 평가와 아동균형척도에서 2개월 추적 기간에 유의한 향상이 있었다. 이는 게임기반 가상 현실 훈련 프로그램은 일반적 물리치료와 더불어 균형에 대한 효과성이 있음을 시사한다.

둘째, Nintendo Wii Fit과 대조군을 비교하였을 때 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 영향에 대한 비교이다. Nintendo Wii Fit과 대조군을 비교한 연구는 전체 연구 중 4개(36.36%)이다. Nintendo Wii Fit이 사후에 대조군보다 eye open condition에서 CoPSway(Center of Pressure Sway), SDAP(Standard Deviation in Anterior Posterior), 아동균형척도가 유의한 차이가 있었다는 연구는 4개 중 2개(50%)이다. 모든 연구에서 균형훈련에 대한 일반적 치료(대조군)와 Nintendo Wii Fit 모두 사전보다 사후에 균형 평가(CoPSway(Center of Pressure Sway), 아동균형척도, 일어서서 걷기 검사, 아동 뺨기 검사, 앉았다 일어서기 검사)에 유의한 향상이 있었으며, 보행 속도, 보행 거리, 10미터 보행 검사, 10-stair climb test의 보행도 유의한 차이가 있었다. 이는 뇌성마비 아동에서 Nintendo Wii Fit은 뇌성마비 아동의 균형 향상에 효과적으로 나타났다.

셋째, 가상현실 훈련 프로그램과 실제 활동과 비교하였을 때 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 영향에 대한 비교이다. 가상현실 훈련 프로그램과 실제 활동을 비교한 연구는 전체 연구 중 2개(18.18%)이다. 첫째, 가상현실 훈련 프로그램은 Hand Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities(HABIT-ILE)와 REAtouch® 가상현실을 사용한 HABIT-ILE를 비교한 연구로 두 그룹 모두 사전보다 사후에서 6분 보행검사가 유의하게 향상되었으나 그룹간 차이는 없었다. 둘째, Nintendo Wii 기계와 Nintendo Wii Fit Plus 조깅 프로그램을 적용한 가상현실 트레드밀 보행훈련군과 트레드밀 보행훈련군을 비교한 연구로 가상현실 트레드밀 보행훈련군이 사전-사후 변화량에서 대동작 기능평가의 서 있는 자세, 아동균형척도, 10미터 보행검사와 2분 보행검사에서 그룹 간 유의한 차이가 있었다. 이는 첫째 연구의 경우 두 그룹 모두 보행이 향상되었지만 두 그룹의 유의한 차이가 없는 것은 2주 중재로 짧은 훈련 기간의 영향이 있었던 것으로 보이며, 두 번째 연구의 경우 가상 현실 트레드밀의 경우 8주 중재로 균형과 보행 능력 모두 트레드밀 군에 비해 효과적인 것으로 보인다. 2주 중재는 총 2개(18.18%)로 중재 방법과 관계없이 대조군과 실험군의 유의한 차이는 없었다. 따라서 가상 현실 훈련 프로그램의 종류뿐만 아니라 중재 기간도 균형과 보행에 영향을 미칠 것으로 사료 된다.

마지막으로 게임 기반 가상 현실 훈련 프로그램과 Nintendo Wii Fit 게임과 비교하였을 때 뇌성마비 아동의

균형 및 보행에 미치는 영향에 대한 비교이다. 게임 기반 가상 현실 훈련프로그램과 Nintendo Wii Fit 게임을 비교한 연구는 전체 연구 중 1개(9.09%)이다. 실험군은 동적균형검사에서 사후가 사전보다 유의한 향상이 있었으나, 두 그룹의 군간 차이는 없었다. 더불어 두 그룹 모두 일어서서 걷기 검사에서 사전보다 사후에 유의한 향상이 없었다. 본 연구도 2주 중재로 이는 뇌성마비 아동에서 균형 및 보행 훈련의 중재 기간이 중요하다는 것을 시사한다(Table 3).

IV. 논 의

본 연구는 디지털 치료제가 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 효과를 알아보기 위해 2000년 01월부터 2023년 07까지 선정기준과 제외기준을 바탕으로 PubMed와 MEDLINE에서 검색하여, 총 11개의 논문으로 체계적 고찰을 하였다.

먼저, 게임 기반 가상현실 훈련군과 기존 재활치료군은 아동균형척도, Kids-Mini Balance Evaluation System Test, 대동작 기능 평가의 서기, 걷기, 달리기, 점프에서 사전보다 사후에 유의한 향상이 있었고, 관련 연구의 50%는 가상현실 훈련군이 기존 재활 치료군 보다 사후에 균형과 보행에서 유의한 차이가 있었다. 약화 및 경직과 같은 하지의 근골격계 문제와 자세 제어 전략에 대한 신경전달의 지연은 뇌성마비 아동의 균형 능력에 영향을 미친다(Woollacott과 Shumway-Cook, 2005; Girolami 등, 2011). 게임 기반 가상현실과 몸통 움직임의 반복운동은 균형 능력을 강화시키고(Pavao 등, 2013), 게임 기반 가상현실 프로그램(장애물 코스 걷기 및 기능적 이동성)은 난이도에 따라 뇌성마비 아동에게 보행 및 균형 능력을 재학습할 수 있다(Pavao 등, 2013). 본 연구에서 사용된 게임 기반 가상현실 프로그램은 시각적 주의, 시각적 탐색, 무작위로 움직이는 게임 목표 및 방해 요소의 공간 처리(인지 억제)와 같이 시각 처리 실행 인지능력이 필요하고, 이런 이중 과제 수행은 뇌성마비 아동의 전전두엽 피질을 강하게 활성화한다(Surkar 등, 2021).

가상 현실 게임의 지속적인 시청각 피드백은 뇌성마비 아동에게 매력적이고 경쟁적이어서 반복 연습에 대한 동기를 부여하고 적극적으로 참여하게 하여 게임 환경과 아동의 감각 운동의 상호 작용 및 상황별 숙련된 운동 학습을 촉진하며(Tieri 등, 2018), 뇌성마비 아동에서 운동 기능 향상을 위해서는 운동 학습 시 적절한 시청각 피드백이 중요하다(김정현, 2021). 이를 통해 가상 현실 게임은 뇌성마비 아동에게 흥미 유발, 치료 순응도, 동기를 제공 등 기존 재활 치료보다 몰입감 있는 환경에서 균형 과제를 수행하는 가장 흥미로운 방법이다(Bonnechere 등, 2017). 아동은 가상 게임 과제에서 성공적으로 점수를 획득하는 데 주의를 집중하고 성취감을 경험함으로써 지루함과 낮은 균형 자신감을 극복할 수 있다(Cano Porras 등, 2018). 아동의 부모들은 화려한 배경과 매력적인 캐릭터가 있는 게임 과제가 자녀의 집중력을 높이고 집중적인 균형 게임 과제에 대한 자녀의 순응도를 향상시킨다고 하였다. 이는 비디오 게임과 기존 재활 치료를 비교한 과거 연구에서도 비슷한 결과가 나타났다(Kelders 등, 2018). 더불어 가상 현실 게임은 잠재적으로 신경 가소성을 유발하는 신체 움직임의 가변성으로 대뇌 피질 재구성 및 긍정적인 연관성이 있다(Ravi 등, 2017). 뇌성마비 아동이 가상현실 게임에 적극적으로 참여할 때 일차 운동 피질과 우측 측두회로의 혈액 관류가 증가하여 활동 의존적 피질 재구성을 촉진하며(Karim 등, 2012), 풍부한 가상 게임 환경은 균형 안정성의 한계 내에서 훨씬 더 큰 압력 중심 이탈을 허용하고 지지 기반에 대한 새로운 기준을 확보함으로써 아동의 피드 포워드 예측 및 반응성 자세 제어 전략을 촉진한다(Adamovich 등, 2009). 이를 통해 게임 기반 가상 현실 훈련 프로그램은 일반적 물리치료와 더불어 균형 향상 효과가 있음을 시사한다.

Table 3. Effects of Digital Therapy on Balance and Gait in Children with Cerebral Palsy

Authors	Number/Age/Diagnosis	Design			Results
		Experimental/Control Group	Intervention	Measurement Tools	
Saussez et al. (2023)	N=40 (5-18세) - Unilateral CP - GMFCS level I-II - MACS I-III	1. 실험군(N=20) REAtouch®를 사용한 HABIT-ILE 중재 2. 대조군(N=20) HABIT-ILE 중재	2주 중재(10~12일 /총 90시간) (평가=사전, 사후, 3개월) 1. 실험군: REAtouch®를 사용하여 HABIT-ILE를 수행함. REAtouch® 세션은 총 90시간 중 약 37시간(41%)로 진행함. REAtouch® 치료 시간을 두 세션(오전과 정오이후/2회)으로 나누어 각각 90분~120분 동안 수행함 2. 대조군: 규칙적인 사회/건물/ 조작 게임과 야외활동(일반적인 HABIT-ILE)를 수행함	1. 6분 보행 2. ABILOCO-kids	1. 대조군(HABIT-ILE)에서만 6분 보행과 ABILOCO-Kids에서 유의한 향상이 있음 2. 실험군(REAtouch®)은 6분 보행의 경우 사후와 사전에는 유의미한 비열등성이 나타났으나(p=0.042), 후속평가(3개월)에서 유의미한 비열등성은 나타나지 않음(p=0.26)
Szturm et al. (2022)	N=20 (4-8세) - CP - GMFCS level -I-III - MAS 0-1+	1. 실험군(N=10) (game-based dual-task balance exercise program) 2. 대조군(N=10) (conventional balance training group)	12주 중재(3회/주) (평가=사전, 사후) 1. 실험군: game-based DT balance training program (게임 기반 이중과제 균형 프로그램) - 다양한 컴퓨터 비디오 게임을 하는 동안 불안정한 표면에서 서서 균형 조절 2. 대조군: 일반적 물리치료 균형 프로그램	1. 아동균형척도 2. 대동작 기능 평가-88 3. MCTSIB 4. Computerized dual-task(DT) balance assessment (TPL, VMT, VCG)	1. 실험군과 대조군 모두 사후 아동균형척도와 GMFM 하위 점수가 유의미한 향상(시간효과)이 나타나며, 효과 크기는 0.2에서 0.6 사이로 중간크기임 2. 사후 실험군은 아동균형척도에서 5점, 대조군은 0.8점 증가하였고, 대동작 기능 평가의 서기는 실험군에서 10.4점, 대조군에서 5.8점 증가했으며, 걷기 달리기, 점프에서 실험군은 5.5점, 대조군은 1.2점 증가함 3. VCG 조건의 경우 두 그룹 모두에서 TPL이 유의미하게 감소했으며, 효과 크기는 0.5로 큼 4. 실험군은 사후에 COP TPL이 유의하게 감소하지만 대조군은 유의한 감소가 없음 5. 대조군은 VCG 상태에서 TPL이 유의미하게 증가하지만, 실험군은 유의한 변화가 없음

CP=Cerebral Palsy; GMFCS=Gross Motor Function Classification System; MACS=Manual Ability Classification System; HABIT-ILE=Hand Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities; ABILOCO-Kids=A Rasch Built 10-Item Questionnaire for Assessing Locomotion Ability in Children with Cerebral Palsy; MAS=Modified Ashworth's scale; MCTSIB=Modified Clinical Test of Sensory Integration in Balance; VCG=Visual Cognitive Game; VMT=Visuomotor Tracking, TPL=Total Path Length; COP=Center of foot Pressure

Table 3. Effects of Digital Therapy on Balance and Gait in Children with Cerebral Palsy

Authors	Number/Age/Diagnosis	Design			Results
		Experimental/Control Group	Intervention	Measurement Tools	
Jha et al. (2021)	N=38 (6-12세) - Bilateral Spastic CP - GMFCS level II-III - MACS level I-II	1. 실험군(N=19) - 가상현실게임 + 물리치료 2. 대조군(N=19) - 물리치료	6주 중재(60분/회, 주 4회) (평가=사전, 사후(6주), 2개월) 1. 실험군 - Kinetic 기반 가상현실게임(60분) (super saver game에서 폴키피, leaks game에서 새는 구멍 막기, 투명 비누 방울 터트리기- 팔, 다리, 머리 이용) +균형감각 물리치료(60분) 2. 대조군: 물리치료(60분) (균형 및 이동성 훈련: 앉았다 일어서기, 한 다리로 서기, 한 발로 서기, 공차기, 앞, 뒤, 옆으로 걷기, 땅 위 걷기, 계단 오르고 내리기, 작은 블록 밟기, 장애물 가로질러 걷기, 하지 근육 스트레칭)	1. 아동균형척도 2. Kids-Mini BESTest 3. 대동작기능평가-88	1. 실험군의 Kids-Mini BESTest에서 그룹 간 시간별 상호작용 효과가 유의하게 나타남(p<0.05) 2. 실험군의 아동균형척도는 시간 경과에 따라 통계적으로 유의하지만(p<0.05), 그룹 간 상호작용은 유의하지 않음 3. 실험군의 bilateral CP의 아동균형척도는 사후와 2개월 추적 기간 유의미한 차이를 보임(p<0.05) 4. 대조군도 사후와 2개월 추적 기간에 아동균형척도와 Kids-Mini BESTest의 유의한 향상이 나타남(p<0.05) 5. 두 그룹 모두 대동작기능평가의 사후 및 2개월 추적 기간의 유의한 향상이 있음(p<0.05)
Jung et al. (2021)	N=10 (11-17세) - Spastic Diplegic CP - GMFCS level I-II - MMSE>24 - 10m 이상 독립보행이 됨	1. 실험군(N=5) (KVG+물리치료) 2. 대조군(N=5) (물리치료)	6주 중재(3회/주, 18회) (평가=사전, 사후(6주)) 1. 실험군: Xbox Kinect을 이용한 KVG(40분)(Xbox Kinect 360 게임을 사용하여 사용자의 동작 오류 시 시각 및 청각 피드백 제공. Kinect Sport 게임 프로그램 중 비치발리볼(20분)과 축구 게임(20분)을 시행 + 물리치료(40분) 2. 대조군: 물리치료(40분) (관절가동범위 운동, 스트레칭, 근력 강화, 체중 이동, 체중 부하, 균형, 보행 훈련)	1. 아동균형척도 2. GAITRite	1. 실험군은 대조군보다 아동균형척도에서 유의한 차이가 있음(p<0.05) 2. 실험군은 step length, stride length, single limb support time에서 사전보다 사후에 유의한 향상이 있었으며(p<0.05), 대조군에서는 step length만 사전보다 사후에 유의한 향상이 나타남(p<0.05). 그러나 두 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않음

CP=Cerebral Palsy; GMFCS=Gross Motor Function Classification System; MACS=Manual Ability Classification System; Kids-Mini BESTest=Kids-Mini Balance Evaluation System Test; WeeFIM=Wee-Functional Independence Measure; KVG=Kinetic video game; SCALE>Selective Control Assessment of the Lower Extremity; MMSE=Mini Mental State Examination

Table 3. Effects of Digital Therapy on Balance and Gait in Children with Cerebral Palsy

Authors	Number/Age/Diagnosis	Design			Results
		Experimental/Control Group	Intervention	Measurement Tools	
Kachmar et al. (2021)	N=25 (5-18세) - CP - GMFCS level I-III	1. 실험군(N=13) 개인 맞춤형 균형 게임 + 재활 치료	2주 중재 (15~20분/회, 8~9회(총 150~160분)) (평가=사전, 사후)	1. 일어서서 걷기 검사 2. COP-PL 3. 동적 균형 검사	1. 실험군은 사후에 동적 균형 검사가 유의하게 향상하였으나(p<0.05), 대조군은 유의한 변화가 없음. 실험군과 대조군의 동적 균형 검사 사전 사후의 차이 변화는 유의한 차이가 없음 2. 두 그룹 모두 일어서서 걷기 검사, COP-PL은 유의한 향상이 없음
		2. 대조군(N=12) Nintendo Wii 게임 + 재활 치료 (물리치료(40분)+작업치료(20분)+전신마사지(60분)+척추수기치료(5분)+보행훈련(15분)+진동치료(10분))	1. 실험군 : GAmification for Better Life(온라인 게임 플랫폼)에서 제공하는 개인 맞춤형 균형 게임(시각-운동 협응력 게임으로 아동의 성과에 따라 적절한 난이도 제공, 게임 시 자세는 CP 아동이 편한 자세로 진행함. “Paddle Waddle”(패들로 공 킵기) “Woo’s Wonderful World Adventure”(색상별로 떨어지는 블록 맞추기), “Hungry Woo”(먹이 잡고, 장애물 피하기))(15~20분)+재활치료(150분) 2. 대조군 : Nintendo Wii Sports와 Wii Sports Resort 게임(테니스, 볼링, 골프) (15~20분)+재활치료(150분)		
Pin & Butler (2019)	N=18 (6-14세) - Moderate CP - GMFCS level III-IV	1. 실험군(N=9) :앉은 자세에서 interactive computer play + 물리치료 2. 대조군(N=9) : 물리치료	6주 중재(4회/주) (평가=사전, 3주, 사후(6주), 12주) 1. 실험군: TYMO를 사용하여, 앉은 자세에서 몸통조절을 위한 interactive computer play를 수행(몸통을 움직여 앞, 뒤, 좌, 우로 떨어지는 사과를 바구니로 받기)(20분)+물리치료 2. 대조군: 물리치료	1. 아동 뺑기 검사 2. 대동작기능평가-66 3. 2분 보행 검사	1. 모든 평가에서 두 그룹 사이의 유의한 차이는 없음 2. 두 그룹 모두 3주와 사후(6주) 평가에서 대동작 기능 평가의 유의한 향상이 있음(p<0.05)

CP=Cerebral Palsy; GMFCS=Gross Motor Function Classification System; COP-PL=Center of Pressure Path Length;

Table 3. Effects of Digital Therapy on Balance and Gait in Children with Cerebral Palsy

Authors	Number/Age/Diagnosis	Design			Results
		Experimental/Control Group	Intervention	Measurement Tools	
Gatica-Rojas et al. (2017)	N=32 (7-14세) - Spastic diplegia, Spastic hemiplegia CP - GMFCS levels I-II	1. 실험군 (N=16) : Wii 치료 2. 대조군(N=16) : standard physiotherapy	6주 중재(3회/주) (평가=사전, 2주, 4주, 6주(사후), 8주, 10주) 1. 실험군(30분): Wii Fit plus와 Nintendo Wii 밸런스 보드 사용함. 처음 2개 시리즈는 스노우보드, 펑귄 슬라이드, 슈퍼홀라후 프 게임 사용하며, 운동 사이에 1-2분 휴 식제공함. 3번째는 시리즈는 눈을 뜨고 감고 하는 요가 게임을 사용(모든 게임은 지속적인 체중 이동이 필요함) 2. 대조군(40분): standard physiotherapy (스트레칭, 근력 강화, 균형운동)	1. CoPSway 2. SDML 3. SDAP 4. VML 5. VAP	1. 실험군은 대조군보다 eye open condition에서 CoPSway와 SDAP가 유의하게 감소됨(p<0.05) 2. 실험군의 eye closed condition에서 사후(6주) CoPSway는 4주, 8주, 10주보다 유의한 차이가 있음 (p<0.05) 3. 실험군의 eye open condition에서 사후(6주) CoPSway는 사전, 2주, 10주에서 유의한 차이가 있었으며(p<0.05), 8주와 10주의 CoPSway도 유의한 차이가 있음(p<0.05) 4. eye closed condition에서 실험군은 SDAP와 VAP에서 평가 시기에 따른 유의한 차이가 있음(p<0.05) 5. 실험군의 Spastic hemiplegia만 eye open & close condition에서 CoPSway가 시간이 지남에 따라 유의한 차이가 나타남(p<0.05)
Sajan et al. (2017)	N=18 (5세-20세) - CP(Wii를 play하기 위해 서거나 앉은 자세를 충분히 유지할 수 있고, Wii 리모컨을 잡는 기능적 손 기술과 인지적 능력이 되어야 함)	1. 실험군(N=9) : Wii를 사용한 interactive video gaming + 기존 치료 2. 대조군(N=9) : 기존 치료	3주 중재(45분/회, 6회/주(총 18회)) (평가=사전, 사후) 1. 실험군: 매일 무작위로 기존 치료 세션 중 하나가 Wii를 사용한 interactive video gaming(복싱(5분)과 테니스(20분))으로 대체 됨) + 기존 치료 2. 대조군: 기존 치료 (36시간/주) - 물리치료(근력 향상, 균형(스위스 볼 운동), 단계별 이동 훈련), 작업치료(상지기능개선 (스케이트보드, 페그보드 운동), 균형 및 시 지각 운동(공 던지고 받기))	1. Sway velocity 2. distance CoP 3. 아동균형척도 4. 보행 속도 5. 보행 거리(지구력)	1. 눈을 감거나 뜬 상태에서 실험군의 Sway velocity는 사후가 사전보다 향상되었으나, 통계적으로 유의하지 않음 2. 두 그룹 모두 아동균형척도는 사후가 사전보다 유의한 향상이 나타남 (p<0.05) 3. 두 그룹 모두 보행속도와 보행거리는 사후가 사전보다 유의한 향상이 나타남(p<0.05) 4. 균형과 기능적 이동에서 대조군과 실험군 사이의 유의한 차이는 없음

CP=Cerebral Palsy; GMFCS=Gross Motor Function Classification System; CoPSway=Center of Pressure Sway; SDML=Standard Deviation in Medial Lateral; SDAP=Standard Deviation in Anterior Posterior; VML=Velocity in Medial Lateral; VAP= Velocity in Anterior Posterior; CoP=Center of Pressure

Table 3. Effects of Digital Therapy on Balance and Gait in Children with Cerebral Palsy

Authors	Number/Age/Diagnosis	Design			Results
		Experimental/Control Group	Intervention	Measurement Tools	
Cho et al. (2016)	N=18 (4-16세) - Spastic CP - MAS < 2 - GMFCS level I-III	1. VRTT(N=9) : 가상장치를 사용한 트레드밀 보행 훈련 2. TT(N=9) : 트레드밀 보행 훈련	8주 중재(30분(준비운동 5분, 운동 10분, 휴식 5분 운동 10분)/회, 3회/주) (평가=사전, 사후) 1. VRTT: 가상장치(Nintendo Wii 기계 + Nintendo Wii Fit Plus 조깅 프로그램을 사용한 트레드밀 보행 훈련) 2. TT: 사전 10MWT로 평균 보행속도를 계산한 후 목표 심박수(maxHR- resting HR)의 60%에 해당하는 걷기 속도로 시작함. 심박수가 목표 심박수를 초과하지 않은 경우 보행속도는 5분마다 0.1mph씩 증가하며, 심박수가 목표 심박수를 초과하면 이전 속도로 운동을 수행함	1. 대동작 기능 평가 2. 아동균형척도 3. 10미터 보행 검사 4. 2분 보행 검사	1. VRTT그룹은 TT그룹보다 사후와 변화량에서 대동작 기능 평가(서있는 자세), 아동균형척도, 10미터 보행 검사, 2분 보행 검사 모두 유의하게 향상되었으며(p<0.05), 그룹 간 유의한 차이가 있음(p<0.05)
Tarakci et al. (2016)	N=30 (5세-18세) - CP(diplegic, hemiplegic, dyskinetic type) - GMFCS level I-III - MAS < 2	1. 실험군(N=15) : Wii-Fit 균형기반 비디오 게임 훈련(4종류)+NDT 2. 대조군(N=15) : 전통적 균형 훈련+NDT	12주 중재(50분/회, 2회/주) (평가=사전, 사후) 1. 실험군: Nintendo Wii Fit games(20분)(밸런스 보드 위에서 스키 회전, 줄타기, 틸트 테이블 밸런스 보드, 축구 헤딩)+NDT(30분) 2. 대조군: 전통적 균형 훈련(밸런스 보드에서 균형운동, 매트 운동, 트램폴린 운동, 체중이동 운동, 걷기 훈련)(20분)+NDT(30분)	1. 기능적 팔 뻗기 검사 2. 앉았다 일어서기 검사 3. 일어서서 걷기 검사 4. Nintendo Wii Fit balance 5. 10미터 보행 검사 6. 10-stair climb test	1. 두 그룹 모두 기능적 팔 뻗기 검사, 앉았다 일어서기 검사, 일어서서 걷기 검사, 10미터 보행 검사, 10-stair climb test 사후가 사전보다 유의하게 향상됨(p<0.05) 2. 실험군은 Nintendo Wii Fit balance 점수 모두 사전보다 사후에서 유의하게 향상됨(p<0.05) 3. 사후 모든 균형(기능적 팔 뻗기 검사, 앉았다 일어서기 검사, 일어서서 걷기 검사, 10미터 보행 검사, Nintendo Wii Fit balance)에서 실험군과 대조군은 유의한 차이가 있음(p<0.05)

CP=Cerebral Palsy; GMFCS=Gross Motor Function Classification System; MAS=Modified Ashworth Scale; VRTT=Virtual Reality Treadmill Training; TT=Treadmill Training; HR=Heart Rate; NDT=Neuro-Developmental Therapy;

Table 3. Effects of Digital Therapy on Balance and Gait in Children with Cerebral Palsy

Authors	Number/Age/Diagnosis	Design			Results
		Experimental/Control Group	Intervention	Measurement Tools	
Sharan et al. (2012)	N=16 - Postoperative CP	1. 실험군(N=8) : 가상현실 기반훈련 (VRBT) 2. 대조군(N=8) : 기존 재활 치료	3주(3회/주) (평가=사전, 사후) 1. 실험군: Wii-Fit과 Nintendo Wii sports를 사용한 가상현실 기반 훈련(테니스, 야구, 골프, 볼링, 복싱, 근력운동, 에어로빅, 요가, 밸런스) 중 아동에 맞게 훈련 배경 2. 대조군: 기존 재활 치료 (스트레칭, 근력강화, mobilization, 다양한 활동)	1. 아동균형척도	1. 실험군과 대조군 모두 사후가 사전보다 균형에서 유의하게 향상됨(p<0.05) 2. 실험군이 대조군보다 사후 아동균형척도에서 유의한 차이가 있음(p<0.05)

CP=Cerebral Palsy; GMFCS=Gross Motor Function Classification System; VRBT=Virtual Reality Based Training; MAS=Modified Ashworth Scale

둘째, Nintendo Wii Fit과 기존 재활 치료군 모두 전보다 사후에 균형 평가(CoPSway(Center of Pressure Sway), 아동균형척도, 일어서서 걷기 검사, 아동 뺨기 검사, 앉았다 일어서기 검사)에 유의한 향상이 있었으며, 보행속도와 보행 거리, 10미터 보행 검사, 10-stair climb test의 보행도 유의한 차이가 있었다. 또한 관련 연구의 50%는 Nintendo Wii Fit이 사후에 기존 재활 치료 보다 eye open condition에서 CoPSway(Center of Pressure Sway), SDAP(Standard Deviation in Anterior Posterior), 아동균형척도가 유의한 차이가 있었다. 6주간의 Wii 치료는 기존 재활 치료 보다 더 효과적이었는데(Gatica-Rojas 등, 2017), 이는 뇌성마비 아동의 기립 균형 능력 향상되었기 때문이다. 뇌성마비 아동은 다양한 감각, 운동 감각과 시각적 상호작용을 통해 기립 균형 능력이 향상되는데(Gatica-Rojas 등, 2017), 본 연구에 활용된 프로그램은 아바타를 움직이기 위해 무게 이동 전략을 유도하여 내측 외측 및 전후 균형 이동이 있으며(Sharan 등, 2012), 이로 인해 발에 체중의 변위가 발생하고, 고유 수용기를 트리거하여 기계적 자극을 생성한다(Gatica-Rojas 등, 2017). 또한 Wii 시스템은 사용자가 각 세션 동안 시각적 피드백을 제공하고, 시각적 피드백은 비디오 게임이 더 복잡한 활동을 수행할 수 있다는 인식을 만들어 내기 때문에 참가자의 균형을 개선할 수 있다(Dewar 등, 2015).

Wii 치료는 추후 효과로서 있는 균형이 향상되었다(Gatica-Rojas 등, 2017). 이는 반복, 감각 피드백, 동기 부여 등의 생리학적 근거와 임상 증거가 효과를 뒷받침한다(Gatica-Rojas 등, 2017). 가상 게임은 세션마다 다른 운동 평면에서 운동을 연속적으로 반복한다(Gatica-Rojas V와 Mendez-Rebolledo G, 2014). 반복은 신경 가소성의 기초이며(Gatica-Rojas 등, 2017), 가상현실 프로그램의 4주 중재는 편마비 뇌성마비 아동의 환측의 일차 감각 운동 피질에서 신경 활성화와 재구성이 나타나고 이는 기능적 움직임과 관련 있다(You 등, 2005). 신경 활성화는 가상 환경이 만든 거울 효과로 다른 사람이 유사 과제를 수행하는 것을 관찰함으로써 자극받은 거울 뉴런의 존재에 기반한다(Rizzolatti G와 Craighero L, 2004). 감각 피드백은 고유 수용성, 시각, 전정 및 청각 시스템이 활성화될 때 나타나며, 자세 균형 조절과 직접적으로 연관되어 있다(Gatica-Rojas V와 Mendez-Rebolledo G, 2014). 치료 종료 후 2주와 4주 후에 CoPSway의 감소가 약화되었으며(Gatica-Rojas 등, 2017), 이는 Wii 치료가 길지 않은 기간 동안 반복되어야 한다. 따라서 Wii-Fit은 대상자의 균형감, 자신감, 안정성이 향상되었으며(Sharan 등, 2012), 신경 장애 청소년을 대상으로 11회 훈련 세션 동안 Wii 훈련을 실시한 후 자세 제어가 개선되었다(Deutsch J 등, 2008). 사후 흔들림 감소는 자세 안정성이 증가했다는 신호이며 이는 균형 훈련이 뇌성마비 아동의 압력 중심 흔들림을 감소시켰다는 Shumway 등(2003)의 연구와 일치한다. 이는 뇌성마비 아동에서 Nintendo Wii Fit은 뇌성마비 아동의 균형 향상에 효과적으로 나타났다.

마지막으로 가상현실 훈련 프로그램과 실제 활동 비교에서 Nintendo Wii 조깅 프로그램을 적용한 가상현실 트레드밀 보행훈련군과 트레드밀 보행훈련군을 비교하였다. 가상현실 트레드밀 보행훈련군은 사전-사후 변화량에서 트레드밀 보행군 보다 대동작 기능평가의 서있는 자세, 아동균형척도, 10미터 보행 검사, 2분 보행 검사에서 그룹 간 유의한 차이가 있었다. 가상현실은 안전하고 즐겁고 교육적인 치료 프로그램이며, 강력한 동기를 부여하고 참가자의 집중력을 향상 시킨다(Cho 등, 2016). 또한 가상 현실 프로그램은 뇌성마비 아동을 위한 시뮬레이션과 흥미를 유발한다(Harris와 Reid, 2005). 뇌성마비 아동의 뇌 가소성과 행동 변화는 문제 해결 능력이 필요한 과제 제공 시 향상된다(Ketelaar 등, 2001). 따라서 본 연구에서는 가상 캐릭터와의 경쟁을 유도하는 가상현실 프로그램을 사용했기 때문에 가상현실 조깅 프로그램이 뇌성마비 아동의 적극적 참여를 유도하고(Cho 등, 2016), 과제 중심 보행 훈련을 통해 신경학적 장애가 있는 환자의 운동기능을 개선했다(Cho 등, 2016). 가상 현실 치료는 일상 생활에서 걷는 것처럼 역동적이며 환자에게 보다 집중적인 과제 중심의 실시간 활동을 제공한다(Cho 등, 2016). 이는 뇌성마비 아동에게 적용한 가상현실 훈련 프로그램은 실제 활동과 비교하였을 때 균형과 보행 향상에 효과적이다.

반면 Hand Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities(HABIT-ILE)와 REAtouch® 가상현실을 사용한 HABIT-ILE를 비교한 연구는 두 그룹 모두 사전보다 사후에서 6분 보행 검사가 유의하게 향상되었으나 그룹 간 차이는 없었다. 더불어 게임 기반 가상 현실 훈련 프로그램과 Nintendo Wii Fit 게임 비교에서도 가상현실 훈련프로그램이 동적 균형 검사에서 사후가 사전보다 유의한 향상이 있었으나, 두 그룹 간 차이는 없었다. 두 연구 모두 2주 중재가 적용되었으며, 김정현 (2022)의 연구에서도 뇌성마비 아동의 대동작 기능향상을 위한 트레드밀 가정중심 치료는 최소 12회기 이상 시행하는 것이 효과적이라고 하였다. 이는 뇌성마비 아동에서 균형 및 보행 훈련의 중재 기간이 중요하다는 것을 시사한다. 이를 통해 본 연구는 뇌성마비 아동의 디지털 치료제에 대한 임상 적용의 근거를 통해 재활 가이드라인 마련에 의의가 있다.

본 연구의 제한점으로 뇌성마비 아동의 디지털 치료제 중 어플리케이션을 활용한 균형과 보행에 적용되는 논문은 체계적 고찰이 어려웠으며, 최종 선정된 논문이 11편으로 적은 수의 논문으로 뇌성마비 아동의 디지털 치료제의 임상적 가이드라인을 제공하는 것은 한계가 있다. 추후 연구는 국외·내 뇌성마비 아동에서 대동작 기능, 균형 및 보행에 대한 디지털 치료제의 임상 가이드라인에 대한 연구가 필요할 것이다.

V. 결론

본 연구는 디지털 치료제가 뇌성마비 아동의 균형 및 보행에 미치는 효과를 체계적 분석하여, 뇌성마비 아동의 디지털 치료 적용 시 임상적 가이드라인을 제공하고자 한다. 선정 및 제외기준에 적합한 연구는 총 11개로 결과는 다음과 같다.

첫째, 게임 기반 가상현실 훈련과 기존 재활 치료는 균형과 보행에서 사전보다 사후에 유의한 향상이 있었고, 사후에 균형과 보행에서 두 그룹 간 유의한 차이가 있었다. 이를 통해 게임 기반 가상 현실 훈련 프로그램은 일반적 물리치료와 더불어 균형 향상 효과가 있음을 시사한다.

둘째, Nintendo Wii Fit과 기존 재활 치료 모두 전보다 사후에 균형 평가와 보행에서 유의한 차이가 있었고, Nintendo Wii Fit은 사후에 기존 재활 치료 보다 균형에 유의한 차이가 있었다. 이는 뇌성마비 아동에서 Nintendo Wii Fit은 뇌성마비 아동의 균형 향상에 효과적으로 나타났다.

셋째, 가상현실 트레드밀 보행 훈련은 사전·사후 변화량에서 트레드밀 보행보다 균형과 보행에서 그룹 간 유의한 차이가 있었다. 이는 뇌성마비 아동에게 적용한 가상현실 훈련 프로그램은 실제 활동과 비교하였을 때 균형과 보행 향상에 효과적이다.

마지막으로 디지털 치료제의 종류와 관계없이 2주 중재를 적용한 연구는 그룹 간 차이가 나타나지 않았다. 이는 뇌성마비 아동에서 균형 및 보행 훈련의 중재 기간이 중요하다는 것을 시사한다. 본 연구에서는 임상가들에게 뇌성마비 아동의 균형과 보행 향상을 위한 재활 훈련에서 근거를 마련과 디지털 치료제 가이드라인 제시할 수 있다.

참고문헌

김정현. 뇌성마비 아동의 운동학습 효과: 체계적 고찰. 대한물리치료과학회지. 2021;28(1):33-45.

- 김정현. 뇌성마비 아동의 대동작 기능에 대한 가정중심치료 효과. 대한물리치료과학회지. 2022;29(4):27-42.
식품의약품안전처. 디지털 치료기기 허가 심사 가이드라인. 2020.
- 심태용, 권재성, 손상원, 지은규. 국내 작업치료 현장의 디지털 치료도구 사용 현황 조사. 대한인지재활학회지. 2022;11(2), 27-46.
- 지은규, 손상원, 권재성. 국내 뇌졸중 환자의 인지기능에 대한 디지털 치료 도구의 효과: 메타분석. 대한인지재활학회지. 2023;12(1):45-68.
- Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, et al. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabil.* 2009;25(1):29-44.
- Arbesman M, Scheer J, Lieberman D. Using AOTA's critically appraised topic (CAT) and critically appraised paper (CAP) series to link evidence to practice. *OT practice.* 2008;13(12):18-22.
- Bhogal SK, Teasell RW, Foley NC, et al. The PEDro scale provides a more comprehensive measure of methodological quality than the Jadad scale in stroke rehabilitation literature. *J Clin Epidemiol.* 2005;58(7):668-73.
- Bilde PE, Kliim-Due M., Rasmussen B, et al. Individualized, home-based interactive training of cerebral palsy children delivered through the Internet. *BMC Neurol.* 2011;11:32.
- Brien M, Sveistrup H. An intensive virtual reality program improves functional balance and mobility of adolescents with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther.* 2011;23(3):258-266.
- Bonnechere B, Jansen B, Omelina L, et al. The use of commercial video games in rehabilitation: a systematic review. *Int J Rehabil Res.* 2016;39(4):277-290.
- Bonnechere B, Omelina L, Jansen B, et al. Balance improvement after physical therapy training using specially developed serious games for cerebral palsy children: preliminary results. *Disabil Rehabil.* 2017;39(4):403-406.
- Cano Porras D, Siemonsma P, Inzelberg R, et al. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review. *Neurology.* 2018;90(22):1017-1025.
- Cho CH, Hwang WJ, Hwang SJ, et al. Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy. *Tohoku J Exp Med.* 2016;238(3):213-8.
- Digital Therapeutics Alliance. *Digital Therapeutics: Combining Technology and Evidence based Medicine to Transform Personalized Patient Care.* 2018.
- Deutsch JE, Borbely M, Filler J, et al. Use of a low-cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Phys. Ther.* 2008;88(10):1196-1207.
- Dewar R, Love S, Johnston LM. Exercise interventions improve postural control in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2015;57(6):504-20.
- Fehlings D, Switzer L, Findlay B, et al. Interactive computer play as "motor therapy" for individuals with cerebral palsy. *Semin Pediatr Neurol.* 2013;20(2):127-38.
- Gatica-Rojas V, Méndez-Rebolledo G. Virtual reality interface devices in the reorganization of neural networks in the brain of patients with neurological diseases. *Neural Regen Res.* 2014;9(8):888-896.
- Gatica-Rojas V, Méndez-Rebolledo G, Guzman-Muñoz E, et al. Does Nintendo Wii Balance Board improve standing balance? A randomized controlled trial in children with cerebral palsy. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2017;53(4):535-544.
- Girolami GL, Shiratori T, Aruin AS. Anticipatory postural adjustments in children with hemiplegia and diplegia. *J*
-

- Electromyogr Kinesiol. 2011;21(6):988-997.
- Harris K, Reid D. The influence of virtual reality play on children's motivation. *Can J Occup Ther.* 2005;72(1):21-29.
- Huber M, Rabin B, Docan C, et al. Feasibility of modified remotely monitored in-home gaming technology for improving hand function in adolescents with cerebral palsy. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2010;14(2):526-34.
- Jha KK, Karunanithi GB, Sahana A, et al. Randomised trial of virtual reality gaming and physiotherapy on balance, gross motor performance and daily functions among children with bilateral spastic cerebral palsy. *Somatosens Mot Res.* 2021;38(2):117-126.
- Jung SH, Song SH, Lee DG, et al. Effects of Kinect Video Game Training on Lower Extremity Motor Function, Balance, and Gait in Adolescents with Spastic Diplegia Cerebral Palsy: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Dev Neurorehabil.* 2021;24(3):159-165.
- Kachmar O, Kushnir A, Fdechyshyn B, et al. Personalized balance games for children with cerebral palsy: A pilot study. *J Pediatr Rehabil Med.* 2021;1(2):237-245.
- Karim H, Schmidt B, Dart D et al. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) of brain function during active balancing using a video game system. *Gait Posture.* 2012;35(3):367-372.
- Kelders SM., Sommers-Spijkerman M., Goldberg J. Investigating the Direct Impact of a Gamified Versus Nongamified Well-Being Intervention: An Exploratory Experiment. *J Med Internet Res.* 2018;20(7):e247.
- Ketelaar M, Vermeer A, Hart H, et al. Effects of a functional therapy program on motor abilities of children with cerebral palsy. *Phys Ther.* 2001;81(9):1534-1545.
- Lohse K, Shirzad N, Verster A, et al. Video games and rehabilitation: using design principles to enhance engagement in physical therapy. *J Neurol Phys Ther.* 2013;37(4):166-75.
- Moseley AM, Herbert RD, Sherrington C, et al. Evidence for physiotherapy practice: A survey of the Physiotherapy Evidence Database (PEDro). *Aust J Physiother.* 2002;48(1):43-49.
- Parsons TD, Rizzo AA, Rogers S, et al. Virtual reality in paediatric rehabilitation: a review. *Dev Neurorehabil.* 2009;12(4):224-238.
- Pavao SL, dos Santos AN, Woollacott MH, et al. Assessment of postural control in children with cerebral palsy: a review. *Res Dev Disabil.* 2013;34(5):1367-1375.
- Ravi DK, Kumar N, Singhi P. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review. *Physiotherapy.* 2017;103(3):245-258.
- Pin TW, Butler PB. The effect of interactive computer play on balance and functional abilities in children with moderate cerebral palsy: a pilot randomized study. *Clin Rehabil.* 2019;33(4):704-710.
- Ren Z, Wu J. The effect of virtual reality games on the gross motor skills of children with cerebral palsy: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(20):3885.
- Riva G. Virtual Reality in Psychotherapy: Review. *Cyberpsychol Behav.* 2005; 8(3):220-230.
- Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci.* 2004;27:169-192.
- Sajan JE, John JA, Grace P, et al. Wii-based interactive video games as a supplement to conventional therapy for rehabilitation of children with cerebral palsy: A pilot, randomized controlled trial. *Dev Neurorehabil.* 2017;20(6):361-367.

- Sakzewski L, Provan K, Ziviani J, et al. Comparison of dosage of intensive upper limb therapy for children with unilateral cerebral palsy: how big should the therapy pill be?. *Res Dev Disabil.* 2015;37:9-16.
- Saussez G, Bailly R, Araneda R, et al. Efficacy of integrating a semi-immersive virtual device in the HABIT-ILE intervention for children with unilateral cerebral palsy: a non-inferiority randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2023;20(1):98-113.
- Sharan D, Ajeesh PS, Rameshkumar R, et al. Virtual reality based therapy for post operative rehabilitation of children with cerebral palsy. *Work.* 2012;41(1):3612-3615.
- Shumway-Cook A, Hutchinson S, Kartin D, et al. Effect of balance training on recovery of stability in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2003;45(9):591-602.
- Steindl R, Kunz K, Schrott-Fischer A, et al. Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. *Dev Med Child Neurol.* 2006;48(6):477-82.
- Surkar SM, Hoffman RM, Harbourne R, et al. Cognitive-Motor Interference Heightens the Prefrontal Cortical Activation and Deteriorates the Task Performance in Children with Hemiplegic Cerebral Palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021;102(2):225-232.
- Szturm T, Parmar ST, Mehta K, et al. Game-Based Dual-Task Exercise Program for Children with Cerebral Palsy: Blending Balance, Visuomotor and Cognitive Training: Feasibility Randomized Control Trial. *Sensors(basel).* 2022;22(3):761-776.
- Tarakci D, Huseyinsinoglu BE, Taraki E, et al. Effects of Nintendo Wii-Fit® video games on balance in children with mild cerebral palsy. *Pediatr Int.* 2016;58(10):1048-1050.
- Tieri G, Morone G, Paolucci S, et al. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Rev Med Devices.* 2018;15(2):107-117.
- Weiss P, Rand D, Katz N, et al. Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *J Neuroeng Rehabil.* 2004;1(1):12.
- Wille D, Eng K, Holper L et al. Virtual reality-based paediatric interactive therapy system (PITS) for improvement of arm and hand function in children with motor impairment: A pilot study. *Dev Neurorehabil.* 2009;12(1):44-52.
- Woollacott MH, Shumway-Cook A. Postural dysfunction during standing and walking in children with cerebral palsy: what are the underlying problems and what new therapies might improve balance?. *Neural Plast.* 2005;12(2-3):211-219.
- You SH, Jang SH, Kim YH et al. Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2005;47(9):628-635.
-