한국심리학회지: 건강
The Korean Journal of Health Psychology
2024. Vol. 29, No. 6, 951 - 975

기능성 게임을 활용한 경도인지장애 선별 도구에 대한 체계적 고찰†

전봄이	이경주	노수림	심예린	윤대현	조성근‡
충남대학교	충남대학교	충남대학교	충남대학교	충남대학교	충남대학교
심리학과	심리학과	심리학과	심리학과	스포츠과학과	심리학과
박사과정	박사과정	교수	교수	교수	교수

본 연구는 기능성 게임을 이용한 경도인지장애(Mild Cognitive Impairment: MCI) 선별 도구의 타당성과 진단적 유용성을 평가하기 위해 체계적 문헌 고찰을 수행했다. 2014년부터 2024년까지 출판된 관련 문헌을 대상으로 분석한 결과, 기능성 게임 기반 선별 도구들은 MCI를 진단하는 데 있어 넓은 범위의 민감도(64.3%-96.5%)와 특이도(50%-96.1%)를 보여주었으며, 전통적인 인지기능 검사와 비교하여 유사하거나 더 우수한 진단 성능을 보였다. 이러한 결과는 기능성 게임이 노인의 인지기능 저하를 조기에 감지하고, 치매로의 진행을 지연시키기 위한 효과적인 도구로 활용될 가능성을 제시한다. MCI를 조기에 선별하는 것은 치매로의 진행을 지연시키고 예방할 수 있는 중요한 개입 창구를 제공하기 때문에 그 중요성이 크다. 연구 결과는 또한, 게임 기반 인지기능 평가의 사용자 인터페이스 개선 및 다양한 신경인지 영역을 포괄하는 다차원적 평가 도구 개발의 필요성을 강조한다. 본 연구는 MCI 조기 선별을 위한 디지털 도구의 발전 방향을 탐색함으로써 치매 예방 및 조기 치료의 가능성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

주요어: 경도인지장애, 기능성 게임, 치매 조기 진단, 인지기능 평가, 디지털 헬스 케어

† 이 논문은 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(No. 2022R1A5A7085156)
‡ 교신저자(Corresponding author): 조성근, (34134) 대전시 유성구 대학로 99 충남대학교 사회과학대학 심리학과 교수, Tel: 042-821-6366, E-mail: sungkunc@cnu.ac.kr

세계보건기구에 따르면 전 세계 인구의 약 5%가 치매를 앓고 있으며, 고령화로 인해 치매 환자 수가 급격히 증가할 것으로 예상된다(World Health Organization, 2021). 중앙치매센터의 2016년 보고서는 2050년까지 국내 치매 환자 수가 4.2배 증가할 것으로 예측하고 있으며, 이는 전세계 평균 증가율보다 빠른 속도이다(중앙치매센터, 2016). Alzheimer's Disease International의 2023년 보고서에 따르면, 전 세계적으로 치매 환자 수가 2050년까지 3배 이상 증가하여 이에 따른 사회적·경제적 부담이 커질 것으로 예상된다. 실제로 2019년 60세 이상 치매 환자 수는 약 81만 명이었으나, 2023년에는 101만 명을 초과했다(중앙치매센터, 2024). 이로 인해 2023년 치매 관리 비용은 23조 2,401억 원에 달할 것으로 추정된다(중앙치매센터, 2024). 이러한 상황은 치매 관리의 시급성을 부각시키고 있으며, 이를 해결하기 위해 전 세계적으로 다양한 정책이 논의되고 있다. 이에 따라, 치매 예방과 조기 진단이 국가적으로 중요한 과제가 되었다(이성우, 2019).

한국 정부는 2008년 「치매종합관리 대책(2008~2014)」을 시작으로 2017년에 '치매 국가책임제'를 도입하여 치매의 조기 진단과 예방, 상담·사례관리, 의료 지원에 이르는 종합적인 치매지원체계를 구축해왔다(유재언, 2019). 이러한 노력에도 불구하고 21개 센터의 치매 선별검사 수검률은 평균 8.3%에 그쳤으며, 가장 높은 수검률은 15.1%, 가장 낮은 수검률은 1.6%로 나타났다(보건복지부, 2018). 장성옥 등(2021)의 연구에 따르면, 지역사회 거주 노인이 치매 선별검사를 받지 않은 이유 중 가장 많은 비율을 차지한 것은 '검사의 필요성을 느끼지 못해서'(48.1%)였다. 이어 '치매 선별검사에 대한 인지 부족', '시행 장소에 대한 인지 부족', '시간 부족', '비용 문제', '치매 진단에 대한 불안감', '검사에 대한 정확도 의심', '거리의 문제' 등이 뒤따랐다. 성수정, 이강준, 김우정, 김기원, 이동우(2021)는 지역 인프라 부족과 비용 문제로 인해 검사 접근성이 떨어지는 경우, 치매안심센터에서 직접 검사를 받는 것이 유용하다고 보았다. 그러나 많은 센터에서 전문인력인 임상심리사가 부족한 상황이다. 또한, 검사 질 관리체계가 미비하여 오진의 우려가 있음을 지적했다. 이는 인지기능 검사의 접근성과 신뢰성을 개선하고, 치매 선별검사의 필요성에 대한 인식을 높일 필요가 있음을 시사한다.

COVID-19로 인해 의료기관 방문이 어려운 상황에서 여러 국가에서 비대면 치매진단 도입 가능성을 검토하는 움직임이 있었다(중앙치매센터, 2022). 국내에서도 COVID-19 이후 치매안심센터의 운영이 위축되면서 조기검진 이용률이 급격히 감소했고, 2022년 치매 조기검진률은 2019년 대비 51.8% 수준으로 떨어졌다(최영희 의원실, 2023). 이와 같은 상황에서 디지털 진단 도구는 시간, 장소, 비용의 제약을 받지 않으면서 사용자가 직접 수행할 수 있는 유용한 대안이 될 수 있다(Bloniecki, Hagman, Ryden, & Kivipelto, 2021; Piau, Wild, Mattek, & Kaye, 2019; Sabbagh et al., 2020). 총 46가지의 디지털 인지 테스트를 체계적으로 리뷰한 선행연구에 따르면, 30가지 디지털 테스트가 경도인지장애(Mild Cognitive Impairment: MCI) 또는 치매를 감지하는 데에 민감도와 특이도가 80% 이상으로 신뢰할 만한 진단 성능을 보였고, 전통적인 종이와 연필을 사용한 테스트와 비교했을 때, 유사하거나 더 나은 진단

성능을 보여주었다(Chan, Yau, Kwok, & Tsoi, 2021). 가상현실과 기능성 게임(serious game)을 기반으로 한 디지털 솔루션의 개발과 관련된 41건의 연구를 체계적으로 리뷰한 선행 연구에서도 디지털 선별도구의 민감도는 74%에서 87%까지, 특이도는 73%에서 95%까지 나타나, 기존의 검증된 전통적인 도구와 비교해도 신뢰할 수 있는 성능을 보였다(Rocha, Bastardo, Pavao, & Gago, 2023). 이러한 디지털 진단 도구들은 고령 인구와 같이 이동이 어려운 사람들에게 인지기능 검사에 대한 접근성을 높여줄 수 있어, 치매의 조기 진단과 관리에 중요한 역할을 할 수 있다.

특히 게임적인 요소를 인지 훈련 및 평가 목적으로 사용할 경우, 노인이나 아이와 같이 평가받는 것을 싫어하는 집단의 수행에 대한 불안을 줄이고, 수행 동기를 증진시키는 것으로 알려져 있다(Lumsden, Edwards, Lawrence, Coyle, & Munafo, 2016). 기능성 게임이란 주로 교육, 훈련, 건강관리 등의 목적으로 설계된 게임을 말하며, 일반적인 엔터테인먼트 게임과 달리 사용자에게 재미를 제공하는 동시에 특정한 학습 목표나 행동 변화를 유도하기 위해 설계된다(Vlachopoulos & Makri, 2017). 기능성 게임은 기존의 평가 도구와 비교하여 더 빈번하고 접근성이 높은 평가를 가능하게 하며, 환자에게 더 즐거운 경험을 제공할 수 있다(Neto, Cerejeira, & Roque, 2018). 슈퍼마켓 쇼핑이나 운전 같은 일상적인 작업 시뮬레이션을 디지털 진단 도구에 접목하면, 익숙한 상황을 모방하여 실생활에 부합하는 인지 경험을 제공하고 생태학적 타당성을 높일 수 있다(Bruni et al., 2022; Jang et al., 2022: Rocha et al., 2023에서 재인용). 국내에서도 고령자의 인지기능 강화를 목적으로 한 기능성 게임이 상용화되어 있으며(Lee et al., 2018; Youn et al., 2020), 여러 바이오마커를 활용하여 치매를 조기에 선별하려는 연구가 진행되고 있다(Kim et al., 2023).

그러나, 기능성 게임이 50대 이상의 인구에서 MCI를 선별하는 데 유용하고 타당한지에 대한 연구는 아직 충분하지 않다. MCI는 건강한 노화와 치매 사이의 선행적이고 과도기적인 단계로서, 치매로의 진행을 지연시킬 수 있는 중요한 개입 창구로 여겨진다(Anderson, 2019; Zhuang, Yang, & Gao, 2021). 초기에는 MCI가 기억력 저하를 중심으로 한 단일 질환으로 정의되었으나, 이후 연구를 통해 기억력뿐만 아니라 다양한 인지 영역의 기능 저하를 포함하는 이질적인 집단으로 밝혀지면서, 비기억 영역을 포함한 세부 유형으로 분류되었다(권오대, 2021; Petersen, 2004). Petersen이 제시한 MCI 진단 기준은 현재 가장 널리 사용되는 기준으로, MCI는 인지기능이 정상적인 노화보다 저하되었지만 일상생활에 큰 지장을 주지 않는 상태로 정의되며, 치매로 분류되기에는 심각하지 않다(Ganguli, 2013). 50세 이상의 지역사회 거주 성인을 대상으로 한 전 세계의 역학 데이터를 메타 분석한 연구에서 MCI의 전체 유병률은 약 15.56%로 나타났다(Bai et al., 2022). 정상 인지 상태에서 MCI로 인한 알츠하이머병(Alzheimer's Disease: AD) 및 치매로의 진행 확률을 추정한 종단 연구에 따르면, 65세 시점에서 치매로의 이환 확률은 정상 인지 집단에서 8%로 추정된다. 반면, MCI 집단에서는 이 확률이 22%로 추정되며, 이는 MCI 집단이 정상 인지 집단보다 치매로의 이환 위험이 높다는 것을 시사한다(Davis et al., 2018). MCI의 진행 경로는 다양하여, MCI 상

태에서 정상 인지 상태로 돌아가는 경우도 있지만(Pandya, Clem, Silva, & Woon, 2016) 그렇지 않은 경우에는 이후 치매로 진행될 위험이 높은 것으로 알려져 있다(Roberts et al., 2014).

MCI의 다양한 진행 경로와 복합적인 인지기능 변화를 고려할 때, 기능성 게임은 단순한 엔터테인먼트 도구를 넘어 MCI 선별을 위한 맞춤형 평가 도구로서 독자적인 가치를 지닌다. 전통적인 신경심리평가 도구들이 개별 인지 영역을 독립적으로 평가하는 데 반해, 기능성 게임은 하나의 과제 내에서 여러 인지 영역을 통합적으로 평가하여 각 영역 간의 상호작용을 종합적으로 파악할 수 있다. 예를 들어, Jang 등(2022)은 12가지 인지 과제를 일상적인 손자 돌보기 상황을 바탕으로 설계하여, 동일한 맥락에서 인지 영역 간의 상호작용을 평가했다. Zhang 등(2017)은 실시간으로 사용자 행동 데이터를 수집하고 이를 무선 네트워크를 통해 서버로 전송한 후, 자동화된 분석을 통해 시각적 피드백을 제공하는 시스템을 개발하여, 반복적이고 지속적인 모니터링에 적합한 평가 방식을 제시했다. 이러한 자동화된 방식은 검사자의 주관적 편향을 줄이고 평가의 신뢰성과 일관성을 높이며, 장기적인 인지 변화 추적에도 유리하다. 또한, 학습 기반 사용자 맞춤형 인지 모델을 구축하여 개별 환자의 과거 인지 상태와 비교해 평가 난이도를 조정하고, 지속적인 평가를 통해 인지 상태의 미세한 변화를 더욱 정밀하게 모니터링할 수 있다. Chi 등(2017)의 제안과 같이 인공지능 기술을 결합하여 시간에 따라 변화하는 위험 요인을 반영한 알고리즘을 개발한다면, 기능성 게임의 활용 범위를 더욱 확대할 수 있을 것이다. 이러한 접근은 MCI 환자의 인지적 강점과 약점을 구체적으로 파악하는 데 도움을 주어, 맞춤형 진단과 개입을 가능하게 할 것이다.

최근 치매 중재의 패러다임이 시설보호 및 치료적 관점에서 경증 환자 관리와 지역사회 참여 중심의 사전 예방 관점으로 변화하고 있는 추세이다(한정원, 2022; Yoo & Baik, 2017). 이러한 변화 속에서 인지기능 저하를 조기에 감지하고 효과적으로 관리하는 것은 노년기 건강관리의 중요한 과제이다(Chen, 2024). 다양한 연구들은 MCI 단계에서 중등도 신체활동이나 식이요법 개선과 같은 조기 개입을 통해 인지기능을 개선하거나 저하 속도를 늦출 수 있음을 입증했다(Fung, Lee, Ma, & Lam, 2024; Galle et al., 2023). 또한, 노인복지관 프로그램 참여와 같은 사회적 활동이 정신적 자극을 제공하고 우울증을 완화하여 MCI 및 초기 치매 환자의 인지기능 유지에 도움이 된다는 연구 결과도 있다(임경춘, 김명숙, 고하나, 2021). 이러한 연구들은 치매 예방에 있어 MCI 단계에서의 조기 개입이 중요함을 강조한다. 이에, 본 연구는 2014년부터 최근까지 출판된 연구들을 고찰하여, 기능성 게임이 50대 이상의 인구에서 MCI를 선별하는 데 있어 타당하고 진단적으로 유용한지 확인하고, 이를 바탕으로 기능성 게임을 이용한 MCI 선별 도구의 개발 방향을 탐색하고자 한다.

방 법

본 연구는 기능성 게임을 활용한 MCI 선별 연구를 개관하여 종합적으로 결과를 살펴보고자 체계적 문헌 고찰의 절차를 따랐다. 체계적 문헌 고

찰은 특정 주제나 연구 질문에 대해 기존의 연구 결과를 체계적이고 종합적으로 검토하는 연구 방법으로(Torraco, 2005), 본 연구에서는 체계적 문헌 검토 및 메타 분석 보고 지침(Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses: PRISMA)을 따랐다(Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Prisma Group, 2010). 검토 프로토콜의 주요 내용은 다음과 같다: (1) 연구 질문 (2) 검색 전략 (3) 포함 및 제외 기준 (4) 선별 절차 (5) 자료 추출 (6) 연구의 질 평가 (7) 종합 및 보고.

연구 질문

본 체계적 문헌 고찰의 목적은 기능성 게임을 기반으로 한 최신 MCI 선별 디지털 도구를 분석하는 것이다. 이를 통해 이러한 도구가 노인들의 주거 또는 지역사회 환경에서 MCI를 선별하는 도구로 실제 사용될 수 있는지 여부를 검토했다. 연구 질문은 다음과 같은 질문들로 구성했다.

(1) 기능성 게임을 이용한 MCI 선별 도구의 타당성과 신뢰성은 어떻게 평가되었는가?
(2) 평가된 인지 영역은 무엇인가?
(3) 사용된 장치는 무엇인가?
(4) 진행 방식은 무엇인가?
(5) 실시 시간은 얼마나 소요되었는가?

검색 전략

문헌검색은 2014년 1월부터 2024년 5월까지 PubMed, Scopus, Web of Science의 논문 데이터베이스를 통해 이루어졌다. 논문의 제목, 초록, 그리고 키워드를 검색하기 위해 다음과 같은 부울식(Boolean expression)을 작성했다: ("cognitive screening" OR "cognitive test" OR "cognitive tests" OR "cognitive assessment" OR "neuropsychological assessment" OR "neuropsychological screening" OR "neuropsychological test" OR "neuropsychological tests") AND ("gaming" OR "serious game" OR "game") AND ("older" OR "elderly").

포함 및 제외 기준

이와 같은 방법으로 검색한 결과, 총 596편(PubMed 132편, Scopus 321편, Web of Science 143편)의 문헌이 검색되었다. 이후 포함 및 제외 기준(표 1 참조)에 해당하지 않는 논문과 중복문헌을 제외하여 총 240편의 논문이 선별되었다.

표 1. 포함 및 제외 기준

포함 기준	제외 기준
2014년 이후 출판된 논문	2014년 이전 출판된 논문
영어로 작성된 논문	영어 외의 언어로 작성된 논문
완전한 논문	초록, 포스터 등 완전한 논문이 아닌 문헌
새로운 데이터를 수집하거나 분석하여 새로운 결과를 도출한 일차적 연구	문헌 고찰 등 일차적 연구가 아닌 문헌

선정 절차

본 연구의 분석대상 논문 선정기준은 임상질문양식인 PICOS(Participants, Intervention, Comparison, Outcomes, Study design)에 따라 이루어졌다(Methley, Campbell, Chew-Graham, McNally, & Cheraghi-Sohi, 2014). 대상자(P)는 만 50세 이상의 일반인과 MCI군을 대상으로 했다. 중재(I)는 온라인, 모바일 애플리케이션, 가상현실치료 등 다양한 방법으로 제공된 모든 유형의 기능적 게임을 이용하여 인지기능 저하 또는 손상을 검사(선별)하는 목적으로 실시된 처치를 포함했다. 비교(C)는 기능적 게임 수행 결과가 전통적 인지기능 평가 도구의 수행 결과만큼 정상노화 집단과 MCI군를 구분할 수 있는지 비교하는 것이다. 결과(O)는 기능적 게임의 진단적 성능 또는 사용 가능성이다. 연구유형(S)은 특정 진단 검사의 정확성과 유효성을 평가하는 진단 연구(diagnostic study) 또는 특정 아이디어가 실현 가능한지 여부를 확인하는 타당성 연구(feasibility study)이다. 위와 같은 방법에 따라 1차적으로 선별된 논문 240편에 대하여 문헌 선정 절차를 실시했다. 우선 제목과 초록을 검토하여 주제에서 벗어난 문헌을 일차적으로 제외했다. 이 과정에서 195편이 배제되었다. 다음으로 원문을 확인하는 과정을 통해 26편이 배제되어 최종적으로 19편이 분석에 포함되었다(그림 1 참조). 이 과정 전반에 걸쳐서, 모든 참고자료는 최소한 2명의 저자에 의해 분석되었고, 저자들 간의 의견 차이는 토론을 통해 합의로 해결했다.

자료 추출

자료 추출과 관련하여, 각 연구의 다음 내용이

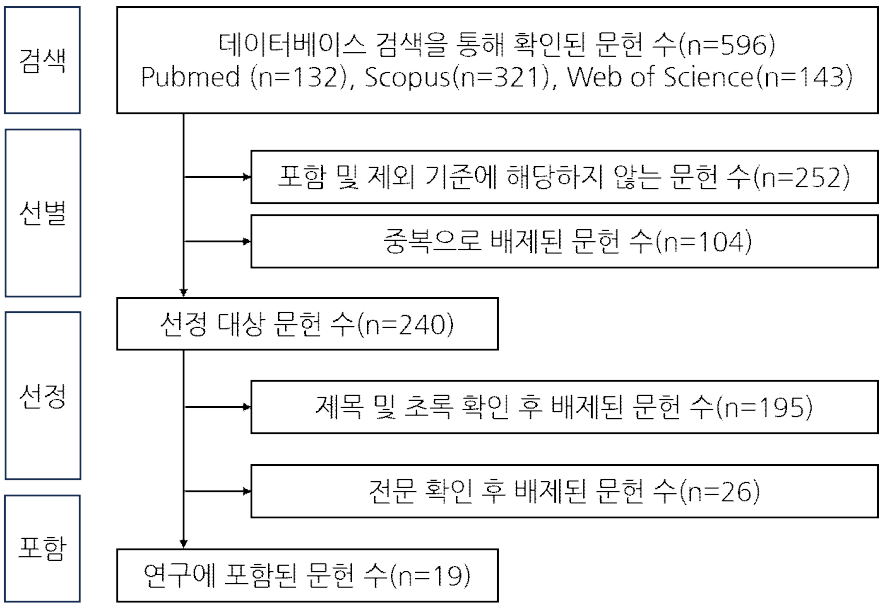

그림 1. 논문 선정 과정

저자들에 의해 기록되었다. (1) 연구의 일반적 특성(저자, 발표 연도 및 출처); (2) 연구의 목적과 목표; (3) 연구의 실시 세부사항, 해당 연구 방법; (4) 연구 결과; (5) 연구의 한계.

연구의 질 평가

일반적인 포함 및 제외 기준 외에도, 포함된 연구들은 다음의 6가지 질문으로 평가되었고, 이 질문들은 Diagnostic Test Study Checklist의 Section A에서 채택되고 본 연구의 목적에 맞게 수정되었다(Critical Appraisal Skills Programme, 2018).

(1) 연구에서 해결하려는 명확한 질문이 있었는가?

(2) 적절한 참조 표준(reference standard)과의 비교가 이루어졌는가?

(3) 모든 대상자에게 기능적 게임과 참조 표준 검사가 모두 시행되었는가?

(4) 기능적 게임 검사 결과가 참조 표준 결과에 의해 영향을 받을 가능성이 있었는가? (즉, 검사 절차상 2가지 검사가 독립적으로 수행되었는가?)

(5) 대상자의 인지기능 상태가 명확하게 기술되었는가?

(6) 기능적 게임을 수행하는 방법이 충분한 세부사항으로 설명되었는가?

종합 및 보고

포함된 연구의 특성을 종합하기 위해 다음과 같이 체계화했다.

1. 연구의 일반적 특성
2. 연구의 질 평가
3. 연구유형
4. 평가된 인지 영역
5. 사용된 장치(개인용 컴퓨터, 스마트폰, 태블릿, 웨어러블 기기, 또는 가상현실 장비 등)
6. 적용된 상호작용 패러다임
7. 실시 시간

결 과

연구의 일반적 특성

본 연구의 선정기준을 충족한 논문은 최종 19편이었다. 19편은 모두 과학 학술지에 출판되었다(표 2 참조). 출판 연도를 고려할 때, 2015년부터 2023년 사이에 1편 이상 지속적으로 출판되어, 이는 기능성 게임을 이용한 MCI 선별 가능성에 대한 학계의 지속적인 관심을 나타낸다.

연구 집단을 두 집단으로 구성한 연구는 11건이고, 세 집단으로 구성한 연구는 7건, 네 집단으로 구성한 연구는 1건이었다. 연구 집단을 두 종류로 구분한 연구는 집단을 MCI와 건강한 노인(healthy control: HC)으로 구성했다. 세 집단으로 구성한 7건의 연구 중 6건이 집단을 MCI, HC, 그리고 치매(dementia: DM) 집단으로 구성했고, 유일하게 1건의 연구에서 20대의 젊은 성인 집단(young adult: YA)을 포함하여 HC, MCI, 그리고 YA로 구성했다. 네 집단으로 구성한 1건의 연구는 MCI 집단을 아형에 따라 amnestic MCI, parkinson's MCI, Alzheimer's MCI로 분류하고, HC 집단과 대조했다.

연구에 참여한 대상자의 나이는 51세에서 94세 사이이며, 젊은 성인 집단은 연령 범위에서 배제했다. 참가자의 연령 평균을 밝힌 연구들에서 정상 대조군의 평균 연령은 72.6세, 경도인지장애 집단의 평균 연령은 75.3세 정도로 추정된다. 모든 연구에서 명시적인 연령 하한선을 밝히지는 않았으나 대부분의 노인 참가자가 60세 이상으로 추정된다.

표 2. 분석 논문의 목록

출처	제목
Fukui et al., 2015	Computerized touch-panel screening tests for detecting mild cognitive impairment and alzheimer's disease
Siraly et al., 2015	Monitoring the Early Signs of Cognitive Decline in Elderly by Computer Games: An MRI Study
Tarmanas et al., 2015	Reliability of a Novel Serious Game Using Dual-Task Gait Profiles to Early Characterize aMCI
House et al., 2016	A serious gaming alternative to pen-and-paper cognitive scoring: A pilot study of BrightScreener™
Zhang et al., 2017	Fun cube based brain gym cognitive function assessment system
Bonnechère et al., 2018	The Use of Mobile Games to Assess Cognitive Function of Elderly with and without Cognitive Impairment
Chua et al., 2019	Virtual reality for screening of cognitive function in older persons: Comparative study
Valladares-Rodriguez et al., 2019	Touchscreen games to detect cognitive impairment in senior adults. A user-interaction pilot study
Eraslan Boz et al., 2020	A new tool to assess amnestic mild cognitive impairment in Turkish older adults: virtual supermarket (VSM)
Zygouris et al., 2020	Detection of Mild Cognitive Impairment in an At-Risk Group of Older Adults: Can a Novel Self-Administered Serious Game-Based Screening Test Improve Diagnostic Accuracy?
Bottiroli et al., 2021	The Smart Aging Platform for Assessing Early Phases of Cognitive Impairment in Patients With Neurodegenerative Diseases
Gielis et al., 2021	Detecting Mild Cognitive Impairment via Digital Biomarkers of Cognitive Performance Found in Klondike Solitaire: A Machine-Learning Study
Karapapas, et al., 2021	Mild Cognitive Impairment Detection Using Machine Learning Models Trained on Data Collected from Serious Games
Konstantinidis et al., 2021	Physical Training In-Game Metrics for Cognitive Assessment: Evidence from Extended Trials with the Fitforall Exergaming Platform
Lin et al., 2021	A Novel Game-Based Intelligent Test for Detecting Elderly Cognitive Function Impairment
Yan et al., 2021	A Virtual SupermarketProgram for the Screening of Mild Cognitive Impairment in Older Adults: Diagnostic Accuracy Study
Ghorbani et al., 2022	Towards an intelligent assistive system based on augmented reality and serious games
Oliva & Losa, 2022	Validation of the Computerized Cognitive Assessment Test: NNCT
Danousis & Goumopoulos, 2023	A Machine-Learning-Based Motor and Cognitive Assessment Tool Using In-Game Data from the GAME2AWE Platform

표 3. 분석 논문의 일반적 특성

출처	참가자	연령 평균(*M*)	범위(Range)
Fukui et al., 2015	MCI=41, HC=75, DM=124	HC=75.1±6.1 MCI=75.3±6.5 DM=75.6±5.9	-
Siraly et al., 2015	MCI=12, HC=34	-	50-80
Tarmanas et al., 2015	MCI=65, HC=76, DM=86	MCI=74.1 HC=72.6 DM=76.5	-
House et al., 2016	MCI=7, HC=3, DM=1	73.6	61-90
Zhang et al., 2017	MCI=65, HC=42	HC=72.64±9.08 MCI=77.26±8.37	-
Bonnechère et al., 2018	MCI=29, HC=27 YA=20	HC=74 MCI=80 YD=26	Age≥64
Chua et al., 2019	MCI=23, HC=37	-	65-85
Valladares-Rodriguez et al., 2019	MCI=16, HC=28, DM=20	77.03	57-95
Eraslan Boz et al., 2020	MCI=37, HC=52	-	53-83
Zygouris et al., 2020	MCI=47, HC=48	-	54-75
Bottiroli et al., 2021	MCI=68, HC=23	70.29±7.70	-
Gielis et al., 2021	MCI=23, HC=23	MCI=70 HC=80	Age≥65
Karapapas, et al., 2021	MCI=6, HC=4	76.1±7.05	60-89
Konstantinidis et al., 2021	MCI=64, HC=38, DM=14	-	Age≥55
Lin et al., 2021	MCI=25, HC=26	79.92±8.68	Age≥65
Yan et al., 2021	MCI=62, HC=64	73.5	61-94
Ghorbani et al., 2022	MCI=11, HC=26	HC=60.07 MCI=65.73	51-81
Oliva & Losa, 2022	MCI=44, HC=70, DM=33	-	Age≥65
Danousis & Goumopoulos, 2023	MCI=4, HC=11	-	65-94

주. MCI=mild cognitive impairment, HC=healthy control, DM=dementia, YA=young adult.

연구의 질 평가

연구의 질을 평가하기 위한 6가지 질문 중 다음 4가지 질문에 대해서는 모든 연구가 평가 기준을 충족했다: 연구에서 해결하려는 명확한 질문이 있었는가?; 적절한 참조 표준과의 비교가 이루어졌는가?; 모든 대상자에게 기능적 게임과 참조 표준 검사가 모두 시행되었는가?; 대상자의 인지 기능 상태가 명확하게 기술되었는가?. '기능적 게임을 수행하는 방법이 충분한 세부사항으로 설명

되었는가?'의 질문에 대해서는 Olivia와 Losa (2022)의 연구에서 기능적 게임을 수행하는 방법의 세부사항이 재현 가능한 수준으로 충분히 설명되지 않았다.

한편 '기능적 게임 검사 결과가 참조 표준 결과에 의해 영향을 받을 가능성이 있었는가? (즉, 검사 절차상 2가지 검사가 독립적으로 수행되었는가?)'의 기준과 관련하여, 단 2개의 논문에서만 블라인드 처리를 명확히 언급하여 기능적 게임 검사와 참조 표준 결과가 독립적으로 실시되었음을 밝혔다.

일부 연구에서는 참조 표준 검사를 먼저 실시하고 이후에 기능적 게임 검사를 수행하는 방식으로 진행되었다. 참조 표준 검사를 먼저 실시함으로써 연구 대상자 기준에 맞지 않는 사람을 배제해야 하기 때문에 검사 순서에 따른 결과 편향을 막기 위한 연구 설계가 어려웠을 것으로 사료된다.

또한 기능적 게임 검사와 참조 표준 검사를 완전히 독립적으로 수행하려면, 복잡한 연구 프로토콜이 필요할 수 있다. 이는 실험 설계를 복잡하게 하고, 연구 비용을 증가시키며, 연구 진행 속도를 늦출 수 있다. 현실적이고 실용적인 이유로 블라인드 처리를 생략하거나 적절히 수행하지 못했을 가능성이 있다.

연구유형

기능성 게임이 MCI 노인과 건강한 노인을 분류하는 데 얼마나 유용한지 확인한 연구는 진단 연구(diagnostic study)로 분류, 기능성 게임의 적용 가능성을 탐색한 연구는 타당성 연구(feasibility study)로 분류했다. 19건의 연구 중 13건이 진단 연구로, 6건이 타당성 연구로 분류되었다. 진단 연구 중 판별분석을 실시한 연구는 총 13건이며, 그 중 ROC 분석 4건, ML(Machine learning) model의 성능을 평가한 연구 4건, logistic 분석 2건, k-medoids algorithms 분석 1건, Fisher's linear discriminant function analysis 분석 1건, linear discriminant analysis(LDA) 분석 1건이다. 또한, 진단 연구에서 판별분석 외에 추가적으로 수렴타당도를 분석한 연구는 7건, 집단 간 차이를 분석한 연구는 1건으로 나타났다. 6건의 타당성 연구 중 5건의 연구에서 차이 분석을 이용해 집단 간 기능성 게임 수행에 있어 유의한 차이가 있음을 검증했고, 그 중 3건의 연구가 추가적으로 상관분석을 이용해 수렴타당도를 검증했으며, 단 1건의 연구만이 사용성/수용성 분석에 그쳤다.

결론적으로, 가장 많은 연구 형태는 진단 연구이며, 가장 많이 사용된 분석 방법은 판별분석이다. 판별분석 내에서는 ROC 분석과 ML model 분석이 가장 많이 사용되었다. 타당성 연구에서는 차이 분석이 주로 사용되었고, 수렴타당도와 사용성/수용성 분석도 일부 연구에서 수행되었다.

연구 결과

본 체계적 고찰의 목표는 기능성 게임이 MCI를 선별하는 데 있어 유용하고 타당한지 확인하는 데 있다. 따라서 연구 결과를 기술할 때 MCI 노인과 건강한 노인을 제외한 다른 집단(예: 치매 환자나 젊은 성인)을 포함한 연구 결과는 배제했다. 이는 MCI와 정상 노인 집단 간의 구분에만 초점을 맞추기 위함이다. 민감도는 64.3%에서

표 4. 진단 연구의 주요 결과

출처	참조 표준	결과
Fukui et al., 2015	MMSE HDS-R ABS	민감도=76.9% 특이도=70.7% 집단 간 유의한 차이
Siraly et al., 2015	ACE-R RAVLT TMT PAL test	민감도≥82% 특이도≥62% 일부 상관관계
Bonnechère et al., 2018	MMSE ACE-R	민감도=96.5% 특이도=60.7% 정확도=78.9% 강한 상관관계
Chua et al., 2019	MMSE MoCA AMT	민감도=78.2% 특이도=75.7% AUC=0.821 중간 정도의 상관관계
Eraslan Boz et al., 2020	VMPT WMS-R (시각 재생 소검사) Stroop Test Digit Span CFT CDT 단어유창성 BNT WAIS-III (공통성 소검사) Luria sequence	민감도=79% 특이도=86% 정확도=81% 강한 상관관계
Zygouris et al., 2020	MoCA MMSE	민감도=76.27% 특이도=91.43% 정확도=81.91%
Gielis et al., 2021	MMSE CDR MoCA	F1 score≥0.811 AUC>0.877
Karapapas, et al., 2021	MoCA	민감도=93.20% 특이도=90% 정확도=91.79% AUC≥0.97
Konstantinidis et al., 2021	MMSE MoCA TMT	민감도=64.3% 특이도=96.1% AUC=0.875 중간 정도의 상관관계
Lin et al., 2021	MMSE	민감도=84.00% 특이도=92.30% 정확도=88.20%
Yan et al., 2021	MMSE CDR MoCA	민감도=85.9% 특이도=79.0% 중간 정도 이상의 상관관계
Oliva & Losa, 2022	MMSE CAMCOG-R CDT	민감도=83% 특이도=50% 중간 정도 이상의 상관관계

Danousis & Goumopoulos, 2023	MoCA	민감도≥81.94% 특이도≥80.94% 정확도≥87.12% F1 Score≥86.42%

주. MMSE=Mini-Mental State Examination, HDS-R=Hasegawa's Dementia Scale-Revised, ACE-R=Addenbrooke's Cognitive Examination-Revised, RAVLT=Rey Auditory Verbal Learning Test, TMT=Trail Making Test, PAL test=Paired Associate Learning test, VMPT=Visual Memory Span Test, WMS-R=Wechsler Memory Scale-Revised, CFT=Complex Figure Test, CDT=Clock Drawing Test, BNT=Boston Naming Test, WAIS-III=Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition, MoCA=Montreal Cognitive Assessment, CDR=Clinical Dementia Rating, CAMCOG-R=Cambridge Cognitive Examination-Revised, AMT=Abbreviated Mental Test

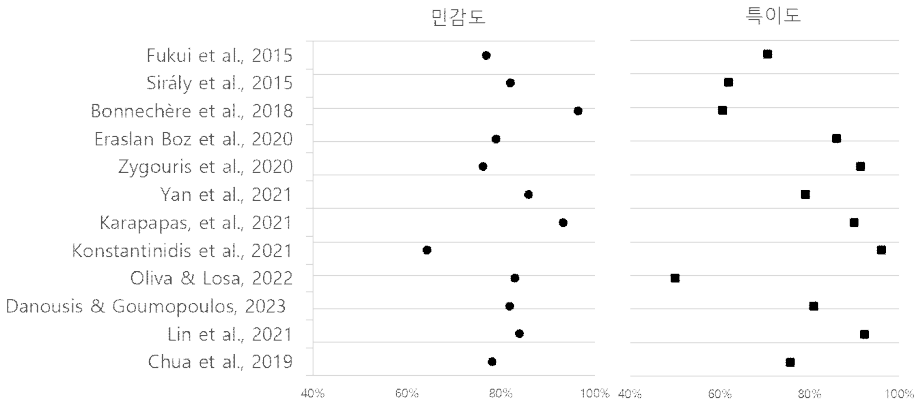

그림 2. 연구별 민감도와 특이도 비교(좌: 민감도, 우: 특이도)

표 5. 타당성 연구의 주요 결과

출처	참조 표준	결과
Tarmanas et al., 2015	MMSE Grober-Buschke test Digit span 단어 유창성 Stroop test TMT RAVLT	집단 간 유의한 차이
House et al., 2016	MMSE	강한 상관관계
Zhang et al., 2017	MoCA	강한 상관관계
Valladares-Rodriguez et al., 2019	MMSE CVLT	사용성과 수용성 확인
Bottiroli et al., 2021	MMSE MoCA	집단 간 유의한 차이 중간 정도 이상의 상관관계
Ghorbani et al., 2022	MoCA	강한 상관관계

주. MMSE=Mini-Mental State Examination, TMT=Trail Making Test, RAVLT=Rey Auditory Verbal Learning Test, MoCA=Montreal Cognitive Assessment, CVLT=California Verbal Learning Test

96.5%까지, 특이도는 50%에서 96.1%까지, 정확도는 78.9%에서 91.79%까지 범위를 보였다(그림 2 참조). Gielis 등(2021)의 연구는 민감도와 특이도에 대한 정보를 제공하지 않아 그림에서 제외되었다. 상관관계는 일부 상관관계에서 강한 상관관계까지 다양하게 나타났다. 상관관계에 대한 결과값은 선행연구를 참조하여(Park, 2001), 상관계수의 절대값이 0.8 이상일 때 '강한 상관관계', 0.8에서 0.4 사이이면 '중간 정도의 상관관계', 0.4 이하일 때 '약한 상관관계'로 제시했다. 대부분의 연구에서 높은 수준의 민감도, 특이도, 정확도가 나타나며, 기능성 게임이 경도의 인지 저하 상태를 효과적으로 구분할 수 있음을 시사한다(표 4, 표 5 참조).

평가된 인지 영역

인지 영역은 DSM-5(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition)에서 제시하는 신경인지 영역의 예를 따라 주의, 학습과 기억, 지각-운동, 언어, 집행기능, 사회인지로 분류했다(American Psychiatric Association, 2015). 10건의 연구는 단일한 인지 영역을 측정할 수 있는 여러 종류의 과제를 이용하여, 결과적으로 다양한 인지 영역을 평가했다(Bonnechere et al., 2018; Chua et al., 2019; Fukui et al., 2015; House et al., 2016; Karapapas et al., 2021; Lin et al., 2021; Oliva & Losa, 2022; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Yan et al., 2021; Zhang et al., 2017). 대부분의 연구에서 3가지 이상의 평가 영역을 포함했고, 하나의 단일한 인지 영역을 측정한 연구는 1건에 그쳤다(Siraly et al., 2015).

5건의 연구는 하나의 과제가 특정 인지 영역을 평가하지는 않지만 과제를 수행하려면 복합적으로 여러 인지 영역을 사용하여야 한다고 명시했

표 6. 평가된 인지영역

인지 영역	연구의 수	출처
주의	8	House et al., 2016; Zhang et al., 2017; Bonnechère et al., 2018; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Lin et al., 2021; Yan et al., 2021; Karapapas, et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
기억력	11	Fukui et al., 2015; Siraly et al., 2015; House et al., 2016; Zhang et al., 2017; Bonnechère et al., 2018; Chua et al., 2019; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Lin et al., 2021; Karapapas, et al., 2021; Yan et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
지각-운동	8	Fukui et al., 2015; House et al., 2016; Bonnechère et al., 2018; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Chua et al., 2019; Karapapas, et al., 2021; Lin et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
언어	4	Bonnechère et al., 2018; Karapapas, et al., 2021; Yan et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
집행기능	9	Fukui et al., 2015; House et al., 2016; Zhang et al., 2017; Bonnechère et al., 2018; Chua et al., 2019; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Karapapas, et al., 2021; Yan et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
사회인지	0	
기타기능 (지남력)	4	Zhang et al., 2017; Karapapas, et al., 2021; Yan et al., 2021; Oliva & Losa, 2022

다. 일상생활 활동을 모방한 연구들에서 흔하게 볼 수 있었는데, 시나리오 기반 게임에는 슈퍼마켓에서 물건을 구입하는 시나리오를 제공한 연구가 2건(Eraslan Boz et al., 2020; Zygouris et al., 2020), 소방훈련 및 길찾기 시나리오를 제공한 연구가 1건(Tarmanas et al., 2015) 이었고, 이 외에 전화 걸기, 부엌에서 냄비 찾기와 같이 일상생활에서 발생할 수 있는 다양한 상황을 모방한 여러 종류의 미니 게임을 제공하는 연구가 2건 있었다(Bottiroli et al., 2021; Ghorbani et al., 2022).

3건의 연구는 측정하고자 하는 특정 인지 영역을 명시하지 않고, 전반적인 인지기능을 측정했다(Danousis & Goumopoulos, 2023; Gielis et al., 2021; Konstantinidis et al., 2021). 이 중 2건의 연구는 노인의 신체 움직임을 개선하기 위한 목적으로 개발된 게임(exergame)이 인지기능을 평가하기 위한 도구로 사용될 수 있는지 확인했고(Danousis & Goumopoulos, 2023; Konstantinidis et al., 2021), 1건의 연구는 기존에 널리 알려진 재미를 목적으로 개발된 유명한 카드 게임(Klondike Solitaire)으로 MCI를 탐지할 수 있는지 여부를 확인했다(Gielis et al., 2021).

결론적으로, 대부분의 연구가 여러 과제를 이용하여 다양한 인지 영역을 평가했다. 단일한 과제를 사용하더라도 단일한 인지 영역이 아닌 복합적인 인지기능을 평가했다. 인지 영역별로 분류하면, 기억력을 평가한 연구가 11건으로 가장 많았고, 집행기능을 평가한 연구가 9건, 주의를 평가한 연구가 8건, 지각-운동을 평가한 연구가 8건, 언어를 평가한 연구가 4건이었다. 사회인지를 평가한 연구는 없었다. 기타 기능으로 지남력을 평가한 연구가 4건 있었다(표 6 참조).

사용된 장치

특수장치를 이용하여 수행된 연구가 총 10건으로 가장 높은 비중을 차지했다. 특수 장치는 가상현실 구현을 위한 장치, 터치스크린 패널, 게임을 위해 특수 제작된 장치(game interface), 사용자의 움직임을 감지하기 위한 모션 센서 등으로 다양했다. 개인용 타블렛이나 스마트폰을 이용한 연구가 7건으로 두 번째로 많았고, 개인용 컴퓨터를 이용한 연구는 4건으로 가장 적었다. 2건의 연구는 PC와 개인용 컴퓨터 모두에서 작동 가능하다고 밝혔다(Eraslan Boz et al., 2020; Oliva & Losa, 2022). 결론적으로, 인지기능 평가를 위해

표 7. 사용된 장치

장치	연구의 수	출처
개인용 컴퓨터	4	Siraly et al., 2015; Eraslan Boz et al., 2020; Yan et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
개인용 타블렛/스마트폰	7	Bonnechère et al., 2018; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Eraslan Boz et al., 2020 ; Zygouris et al., 2020; Gielis et al., 2021; Karapapas, et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
특수장치	10	Fukui et al., 2015; Tarmanas et al., 2015; House et al., 2016; Zhang et al., 2017; Chua et al., 2019; Bottiroli et al., 2021; Konstantinidis et al., 2021; Lin et al., 2021; Ghorbani et al., 2022; Danousis & Goumopoulos, 2023

다양한 특수장치가 많이 활용되고 있다(표 7 참조).

적용된 상호작용 패러다임

총 16건의 연구에서 관리감독자가 사전에 게임 수행 방법에 대한 설명과 튜토리얼을 제공하고, 실험 참여가 이루어지는 동안 보조하되, 게임 자체는 참가자가 자율적으로 수행하도록 했다(assisted self-administrated). 5분의 표준화된 설명을 제공한 후 실제 게임 수행 시 관리감독자 없이 진행하는 방식(self-administrated)은 1건에 그쳤다. 모든 게임 수행 절차를 연구자의 감독하에 진행하는 방식(supervised)을 채택한 1건의 연구에서도 논의에서 향후 자가관리 형태로의 전환이 가능할 수 있음을 시사했다. 결론적으로, 본 체계적 고찰에 포함된 19건의 연구가 모두 자율적으로 수행하는 방식을 염두에 두고 게임을 개발했다(표 8 참조).

실시 시간

5건의 연구는 구체적인 소요 시간을 명시하지 않았다. 소요 시간을 밝힌 14개의 연구에서 실시 시간은 최소 10분에서 최대 60분까지 소요되었고, 대부분의 연구는 10분 이상 30분 미만의 시간이

표 8. 적용된 상호작용 패러다임

실시 방식	연구의 수	출처
assisted self-administrated	17	Fukui et al., 2015; Siraly et al., 2015; Tarmanas et al., 2015; House et al., 2016; Zhang et al., 2017; Bonnechère et al., 2018; Chua et al., 2019; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Eraslan Boz et al., 2020; Zygouris et al., 2020; Bottiroli et al., 2021; Karapapas, et al., 2021; Lin et al., 2021; Yan et al., 2021; Ghorbani et al., 2022; Oliva & Losa, 2022; Danousis & Goumopoulos, 2023
self-administrated	1	Gielis et al., 2021
supervised	1	Konstantinidis et al., 2021

표 9. 실시 시간

실시 시간	연구의 수	출처
명시되지 않음	5	Fukui et al., 2015; Siraly et al., 2015; Tarmanas et al., 2015; Gielis et al., 2021; Yan et al., 2021
10분 미만	1	Ghorbani et al., 2022
10분 이상-20분 미만	4	Zhang et al., 2017; Bonnechère et al., 2018; Lin et al., 2021; Oliva & Losa, 2022
20분 이상-30분 미만	4	Chua et al., 2019; Eraslan Boz et al., 2020; Bottiroli et al., 2021; Karapapas, et al., 2021
30분 이상-40분 미만	2	Zygouris et al., 2020; Danousis & Goumopoulos, 2023;
40분 이상	3	House et al., 2016; Valladares-Rodriguez et al., 2019; Konstantinidis et al., 2021

소요되었다(표 9 참조).

논 의

본 연구의 목적은 기능성 게임이 MCI 선별에 유용한 도구로 사용될 가능성을 평가하는 것이다. 2014년부터 2024년까지 출판된 19편의 논문을 분석한 결과, 기능성 게임을 이용한 선별 도구들이 MCI 진단에서 넓은 범위의 민감도(64.3%에서 96.5%)와 특이도(50%에서 96.1%)를 보여줬다. 본 연구에 포함된 문헌들에서 비교 준거로 사용된 전통적인 인지기능 검사 중 가장 많이 활용된 검사는 MoCA와 MMSE였으며, MCI 집단에 대한 진단적 성능에서 MoCA는 민감도 81.2%, 특이도 73.5%를, MMSE는 민감도 66.4%, 특이도 73.5%를 나타낸 것으로 알려져 있다(Breton, Casey, & Arnaoutoglou, 2019). 기능성 게임 기반 인지기능 평가 도구들은 대체로 이와 유사하거나 더 우수한 진단적 성능을 보여, 전통적 검사와 비교하여도 효과적인 진단 도구로서의 가능성을 입증했다. 이러한 결과는 기능성 게임이 정상적인 노화에 따른 인지기능 감소와 치매 전 단계에 해당하는 MCI를 효과적으로 구별할 수 있음을 시사한다. MCI는 치매로 발전할 수 있는 초기 단계로, 이 시점에서 적절한 조치를 취하면 치매로의 진행을 늦추거나 예방할 수 있다(Langa & Levine, 2014). 따라서, 기능성 게임을 활용하여 MCI를 조기에 선별하는 것은 치매 발병 위험을 예측하는 것을 넘어, 명확한 치매 증상이 나타나기 전에 효과적으로 개입할 수 있는 중요한 기회를 제공한다.

2023년, 미국 식품의약국(FDA)은 엘리 릴리의 도나네맙(상품명: 키순라)을 초기 증상 알츠하이머 병에 대한 치료제로 승인했다(Philippidis, 2024). 도나네맙은 뇌 내 아밀로이드 플라크를 제거하도록 설계된 항체로, 초기 증상 알츠하이머 병 환자에서 질병의 진행을 유의미하게 늦춘다고 알려져 있다(Sims et al., 2023). 이러한 새로운 치료제의 등장과 함께 기능성 게임과 디지털 바이오마커를 활용하여 치매를 진단하는 연구는 최근 몇 년 동안 크게 발전했으며, 이에 따라 조기 진단 및 개입의 가능성도 크게 확대됐다(Alzheimer's Disease International, 2023). 그러나 일반적인 인지기능 검사는 치매 진단을 목적으로 개발되었기에 MCI를 선별하는 데 있어 충분히 민감하지 않을 수 있고, 이에 MCI 진단에 특화된 도구 개발이 필요하다고 주장하는 연구도 있다(O'Caoimh, Timmons, & Molloy, 2016). 본 연구는 기능성 게임을 이용한 MCI 진단의 타당성과 유용성을 확인하였고, 이를 통해 기능성 게임이 치매 예방 및 조기 치료에 중요한 도구로 자리 잡을 수 있는 잠재력을 제시한다.

본 연구는 위와 같은 실용적 유용성뿐만 아니라, 기존 이론에 기반한 인지 평가 방식의 한계를 보완하고 새로운 이론적 방향성을 제시했다는 점에서 중요한 학술적 의의를 지닌다. 초기의 MCI 진단 체계는 기억력 저하를 중심으로 한 단일한 기준을 적용했으나, 이후 다양한 인지 영역을 포함하는 복합적인 진단 체계로 발전해 왔다(권오대, 2021; Petersen, 2004). 그러나 기존의 지필검사는 이러한 이론적 변화에 발맞춰 적절히 대응하지 못했다(오승석, 이애영, 2016). 반면, 기능성 게임은 다양한 인지 영역을 통합적으로 평가하고, 실시간 데이터 수집 및 분석을 통해 인지기능의 다차원적 변화를 신속히 반영할 수 있다는 점에

서 새로운 평가 모델을 제시한다. 기능성 게임 기반의 평가 도구는 변화된 이론적 틀을 반영하여 MCI 하위 유형을 더 정밀하게 평가할 수 있으며, 기존의 단편적 평가 방식이 아닌, 인지 영역 간 상호작용과 변화를 중심으로 진단하고 중재할 수 있는 가능성을 제시한다(Jang et al., 2022; Zhang et al., 2017). 또한, 인공지능 및 머신러닝 기술을 접목한다면 개별 사용자에 맞춘 평가와 치료가 가능해지며, 이는 MCI의 발달 경로와 예후를 예측하는 새로운 이론적 모델을 구축할 수 있는 가능성을 제공한다(Chi et al., 2017). 이러한 접근은 기존 평가 도구들이 다루지 못한 인지 간 상호작용을 반영하여, MCI 연구 및 중재 모델에 있어 중요한 학문적 전환점을 제시할 수 있다.

또한, 본 연구는 향후 MCI 감별을 위한 디지털 기능성 게임이 나아가야 할 방향을 제시하는 데 있어 중요한 단서를 제공한다. 본 연구에 포함된 문헌에서 다룬 인지 영역은 주로 기억력, 집행기능, 주의에 집중됐다. 이들은 MCI를 조기에 진단하는 데 중요한 역할을 하지만, DSM-5에서 신경인지장애 진단 시 고려하는 신경인지 영역은 복합적 주의, 집행기능, 학습 및 기억, 언어, 지각-운동 기능, 사회인지의 6가지를 포함하는 다차원적 접근을 통해 더 넓게 다뤄진다(American Psychiatric Association, 2013). Howieson 등(2008)에 따르면, MCI의 발달은 단순한 기억력 저하로만 나타나는 것이 아니며, 시공간 구성 및 범주 유창성과 같은 비기억력 영역에서도 가속화된 인지 저하가 발생할 수 있다. 이러한 다양한 인지적 변화 양상은 MCI의 발달 경로가 개인마다 매우 다를 수 있음을 시사한다. Yuan 등(2024)의 연구에서도 기억력 이외의 인지 영역(시공간 기능, 언어, 처리 속도, 집행기능)에서 손상이 함께 발생하는 경우, 전반적인 인지기능 및 일상 기능이 더 심각하게 저하된다는 결과가 도출됐다. 이와 같이 MCI의 발달 경로가 다양하기 때문에, DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013)에서 강조하는 주요 신경인지 영역을 포괄하는 평가 도구의 개발이 필요하다.

사용자 인터페이스의 개선도 중요한 과제다. 본 연구에 포함된 문헌에 따르면, 기능성 게임을 이용한 인지기능 평가의 소요 시간은 최소 5분에서 최대 60분까지 다양하며, 대체로 10분에서 30분 사이였다. 정상적인 노화에 따른 지속적 주의력의 변화에 대한 연구 결과는 상반된 경우가 많으며, 노년층이 젊은 성인과 비슷한 성과를 보이거나 때로는 더 나은 성과를 보인다는 보고도 존재한다(Staub, Doignon-Camus, Despres, & Bonnefond, 2013; Vallesi, Tronelli, Lomi, & Pezzetta, 2021). 18세부터 91세까지의 연령대를 포함한 참가자들이 62분 동안 진행되는 감각적 주의력 과제인 Mackworth Clock Test를 수행한 연구에 따르면, 지속적 주의력 능력에서 연령과 관련된 감소 증거가 거의 발견되지 않았으며 (Giambra & Quilter, 1988), 이에 60분 이하는 합리적인 실시 시간으로 보인다. 그러나 다른 연구 결과에 따르면, 건강한 노인은 젊은 성인보다 더 높은 인지적 부담을 경험하며, MCI 집단도 건강한 노인보다 더 높은 인지적 부담감을 경험한다 (Ranchet, Morgan, Akinwuntan, & Devos, 2017). 또한, Bunce와 Sisa(2002)는 작업의 성과가 동일할 때에도 젊은 성인에 비해 노인이 더 많은 인지적 부담감을 경험한다고 보고했다. 노인이 경험하는 인지적 부담을 줄이고 피로감을 완화하기

위해, 기능성 게임을 이용한 인지기능 평가의 실시 시간을 가능한 한 짧게 설정하는 것이 향후 연구에서 개선되어야 할 중요한 사항이다.

대부분의 기능성 게임은 개인용 컴퓨터 및 모바일 기기를 기반으로 개발됐으며, 이는 기기를 최대한 활용하여 장소에 구애받지 않고 사용할 수 있게 하려는 경향을 시사한다. 그러나 본 연구에 포함된 기능성 게임들은 자율적 수행을 염두에 두고 개발되었음에도 불구하고, 19건의 연구 중 단 1건을 제외한 모든 연구에서 연구자의 보조가 필요했다(Gielis et al., 2021). 이는 기술적 이해도가 낮은 노인들이 자율적으로 게임을 수행하는 데 어려움을 겪을 수 있음을 시사한다. Boot 등(2016)은 노인들이 디지털 게임을 통해 인지 기능을 훈련하는 과정에서 전통적인 퍼즐 게임보다 더 낮은 만족도와 높은 좌절감을 경험했다고 보고했다(Boot et al., 2016: Koivisto & Malik, 2021에서 재인용). 또한 Savulich 등(2017)은 디지털 인지 훈련 게임이 긍정적인 효과를 가져오지만, 효과를 극대화하기 위해서는 직관적이고 사용자 친화적인 인터페이스가 필요하다고 주장했다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 더 직관적이고 노인 친화적인 인터페이스를 개발할 필요가 있다. Iancu와 Iancu(2020)는 노인을 위한 모바일 기술 디자인에 대해 큰 화면, 물리적 버튼, 큰 버튼, 버튼 간 큰 간격, 큰 글씨, 높은 색상 대비, 음성 인식, 음성 명령, 음성 응답, 최소한의 화면 항목, 간단하고 직관적인 내비게이션 과정, 내비게이션 지원 등을 제안했다. 이러한 조치는 게임 수행의 자율성을 높이고, 연구자 개입을 최소화하여 비용 절감과 접근성 향상이라는 기능성 게임의 본래 목적을 달성하는 데 기여할 것이다. 만약 기능성 게임을 통한 인지기능 평가에 보조적인 도움이 계속 필요하다면, 이러한 장점이 크게 훼손될 수 있다.

끝으로, 본 연구의 한계를 밝히고 후속 연구를 위한 제언을 하고자 한다. 본 연구에서 다룬 19개의 문헌에 대한 연구의 질 평가 관련하여, 오직 2개의 문헌에서만 블라인드 처리를 명확히 언급하여 기능적 게임 검사와 참조 표준 결과가 독립적으로 실시되었음을 밝혔다. 검사 간 독립성은 연구의 질을 평가하는 중요한 요소로, 결과 왜곡을 방지하기 위해 필수적이다(Ma et al., 2020). 향후 연구에서는 참조 표준 검사와 기능성 게임을 엄격히 독립적으로 수행하는 절차적 개선이 필요하다. 또한 포함된 연구들은 대부분 영어로 작성된 논문들로 한정되었으며, 이는 비영어권 연구의 배제라는 한계를 가지고 있다. 향후 연구에서 비영어권에서 수행된 연구도 포함한다면, 연구 결과의 일반화 가능성을 높이고, 다양한 인구 집단에 대한 기능성 게임의 적용 가능성을 보다 폭넓게 평가할 수 있을 것이다. 이와 함께, 연구에 포함된 문헌들이 대부분 실험실 환경에서 수행되었기에, 지역사회 및 가정과 같이 노인이 실제 생활하는 환경에서의 적용 가능성을 추가적으로 검증할 필요가 있다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 세팅에서의 장기 추적 연구를 통해 기능성 게임의 효과를 검증하고, 이를 통해 임상 현장에서의 실질적인 적용 가능성을 높여야 할 것이다.

한편, 본 연구에 포함된 문헌들 대부분이 MCI 하위 유형을 명확히 구분하지 않았고, 연구들이 사용한 참조 표준도 달랐다. 이러한 이질성 때문에, 특정 MCI 아형 및 기존 진단 도구의 종류에 관계 없이 기능성 게임이 MCI 진단에서 기존 신

경심리검사를 대체할 수 있는지 평가하기가 어렵다. 이러한 연구 이질성을 극복하기 위해서는 기존 MCI 진단 도구의 한계를 파악하고, 이를 보완할 수 있는 방법을 논의해야 한다. 기존의 MCI 진단 도구(MoCA, MMSE 등)는 모든 MCI 하위 유형을 동일하게 반영하기 어렵고, 진단 정확도 또한 환자군이나 평가 상황에 따라 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다(Albert et al., 2013; Langa & Levine, 2014). 이는 기존의 신경심리평가 도구들이 MCI의 이질적 특성과 다양한 임상적 표현형을 충분히 포착하지 못할 수 있다는 점을 시사한다. 향후 연구에서는 일관된 평가 기준을 적용하여 MCI 진단의 동질성을 확보하고 집단 구성의 명확성을 높여야 하며, MCI 하위 유형을 세분화하고, 일상생활수행능력이나 주관적 기능 상태 평가와 같은 다양한 준거 변인을 함께 고려하여 기능성 게임의 진단적 유용성을 종합적으로 평가할 필요가 있다.

아울러, 디지털 솔루션을 실제 임상 현장에 적용하려면 다양한 규제와 인증 절차를 통과해야 하며, 임상 문서화와 안전성 검증이 필수적이다. 식품의약품안전처(2020)에 따르면, 이러한 솔루션이 의료기기로 분류될 경우, 식품의약품안전처로부터 의료기기 품목허가를 받아야 한다. 이 과정에서 제품의 안전성과 유효성을 입증하는 임상시험 자료와 기술 문서, 제조 품질 관리 시스템 평가가 요구된다. 또한, 디지털 헬스케어 솔루션이 개인정보를 처리하는 경우, 한국의 개인정보 보호법에 따라 엄격한 보호 조치를 준수해야 한다. 더불어, 구영덕(2022)은 디지털 치료제가 임상 시험을 통한 효과 검증과 규제 당국의 심사를 통해 기존 의료 시스템과의 통합이 이루어진다면, 환자 맞춤형 치료와 효율적인 환자 관리에 중요한 역할을 할 수 있다고 강조한다. 이러한 통합은 MCI의 조기 진단과 치매 예방, 그리고 환자 맞춤형 치료 계획 수립에 기여할 수 있으며, 임상가 환자 간 상호작용을 개선하고, 전반적인 치료 결과를 향상시키는 데 중요한 역할을 할 것이다.

참 고 문 헌

구영덕 (2022). ASTI MARKET INSIGHT 95: 디지털 치료제. 대전: 한국과학기술정보연구원.

권오대 (2021) 경도인지장애의 아형분류와 치료. 임상노인의학회지, 22(2), 61-66.

김선희, 이현주, 손연정, 김다영 (2021). 지역사회 거주 성인의 치매선별검사행위 영향 요인: 2018 년 지역사회건강조사 자료 활용. *Korean Journal of Health Promotion, 21*(4), 158-166.

성수정, 이강준, 김우정, 김기원, 이동우 (2021). 국가치매정책 효과성 제고를 위한 보완점 연구: 의료 서비스를 중심으로. *Journal of Korean Neuropsychiatric Association, 60*(4), 396-405.

식품의약품안전처 (2020). 디지털치료기기 허가·심사 가이드라인(민원인 안내서). 식품의약품안전평가원. Retrieved from: https://www.mfds.go.kr/medicaldevice

오응석, 이애영 (2016). 경도인지장애. 대한신경과학회지, 34(3), 167-175.

유재언 (2019). 치매관리정책의 현황과 향후 과제. *Health and Welfare Policy Forum, 2019*(10), 6-18.

이성우 (2019). 치매환자의 의료이용 분석. 한국보건사회연구원.

임경춘, 김명숙, 고하나 (2021). 노인복지관 이용 노인의 치매예방행위에 미치는 영향요인. 한국간호교육학

회지, 27(1), 39-48.

장성옥, 이영휘, 공은숙, 김춘길, 김희경, 조명옥, 채경숙 (2020). 지역사회 거주 노인의 치매선별검사 수행 영향요인. *Korean Journal of Adult Nursing, 32*(2), 134-144.

중앙치매센터. (2016). 「대한민국 치매현황 2016」. 서울: 중앙치매센터.

중앙치매센터 (2018). 치매안심센터 운영 모니터링 및 성과평가를 위한 연구(과제번호 NIDR-1803-0024). 서울: 중앙치매센터.

중앙치매센터 (2020). 「2019 중앙치매센터 연차보고서」. 서울: 중앙치매센터.

중앙치매센터 (2022). 「국제 치매정책동향 2022」. 서울: 중앙치매센터.

중앙치매센터 (2024). 「2023 중앙치매센터 연차보고서」. 서울: 중앙치매센터.

최영희 의원실 (2023). "치매조기검진률, 코로나19 이전의 51.8%에 불과". 국민의힘. Retrieved from: https://www.peoplepowerparty.kr/news/lawmaker_inspection_view/98622

한정원 (2022). 지역사회기반 디지털 헬스케어 발전방향. 한국정보통신학회논문지, 26(12), 1826-1831.

Albert, M. S., DeKosky, S. T., Dickson, D., Dubois, B., Feldman, H. H., Fox, N. C., ... Phelps, C. H. (2013). The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Focus, 11*(1), 96-106.

Alzheimer's Disease International. (2023). World Alzheimer Report 2023: Reducing dementia risk: Never too early, never too late. Retrieved from: https://www.alzint.org/resource/world-alzheimer-report-2023/

Anderson, N. D. (2019). State of the science on mild cognitive impairment (MCI). *CNS Spectrums, 24*(1), 78-87.

American Psychiatric Association. (2015). DSM-5 정신질환의 진단 및 통계 편람 [Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)]. (권준수 등 역). 서울: 학지사 (원전은 2013년에 출판).

Bai, W., Chen, P., Cai, H., Zhang, Q., Su, Z., Cheung, T., & Xiang, Y. T. (2022). Worldwide prevalence of mild cognitive impairment among community dwellers aged 50 years and older: a meta-analysis and systematic review of epidemiology studies. *Age and Ageing, 51*(8), afac173. doi: 10.1093/ageing/afac173

Bloniecki, V., Hagman, G., Ryden, M., & Kivipelto, M. (2021). Digital Screening for Cognitive Impairment? A Proof of Concept Study. *The Journal of Prevention of Alzheimer's Disease, 8*, 127-134.

Boot, W.R., Souders, D., Charness, N., Blocker, K., Roque, N., Vitale, T. (2016). The Gamification of Cognitive Training: Older Adults' Perceptions of and Attitudes Toward Digital Game-Based Interventions. Zhou, J., Salvendy, G. (eds) *Human aspects of IT for the aged population. Design for aging. ITAP 2016. Lecture notes in computer science(), vol 9754.* Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-39943-0_28

Breton, A., Casey, D., & Arnaoutoglou, N. A. (2019). Cognitive tests for the detection of mild cognitive impairment (MCI), the prodromal stage of dementia: Meta-analysis of diagnostic accuracy studies. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 34*(2), 233-242.

Bruni, F., Mancuso, V., Stramba-Badiale, C., Greci, L., Cavallo, M., Borghesi, F., Riva, G., Cipresso, P., Stramba-Badiale, M., & Pedroli, E. (2022). ObReco-2: Two-step validation of a tool to assess memory deficits using 360° videos. *Frontiers in Aging Neuroscience, 14*, 875748. doi: 10.3389/fnagi.2022.875748

Bunce, D., & Sisa, L. (2002). Age differences in perceived workload across a short vigil. *Ergonomics, 45*(13), 949-960.

Chan, J. Y., Yau, S. T., Kwok, T. C., & Tsoi, K. K. (2021). Diagnostic performance of digital cognitive tests for the identification of MCI and dementia: a systematic review. *Ageing Research Reviews, 72*, 101506. doi: 10.1016/j.arr.2021.101506

Chen, G. T. (2024). Prediction Of Mild Cognitive Impairment to Alzheimer's Disease Conversion Via Machine Learning. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 85*, 464-470.

Chi, C. L., Zeng, W., Oh, W., Borson, S., Lenskaia, T., Shen, X., & Tonellato, P. J. (2017). Personalized long-term prediction of cognitive function: Using sequential assessments to improve model performance. *Journal of Biomedical Informatics, 76*, 78-86.

Critical Appraisal Skills Programme. (2018). CASP Diagnostic Test Study Checklist. [online] Retrieved from: https://casp-uk.net/casp-tools-checklists/

Davis, M., O'Connell, T., Johnson, S., Cline, S., Merikle, E., Martenyi, F., & Simpson, K. (2018). Estimating Alzheimer's disease progression rates from normal cognition through mild cognitive impairment and stages of dementia. *Current Alzheimer Research, 15*(8), 777-788.

Eraslan Boz, H., Limoncu, H., Zygouris, S., Tsolaki, M., Giakoumis, D., Votis, K., & Yener, G. G. (2020). A new tool to assess amnestic mild cognitive impairment in Turkish older adults: virtual supermarket (VSM). *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 27*(5), 639-653.

Fukui, Y., Yamashita, T., Hishikawa, N., Kurata, T., Sato, K., Omote, Y., ... & Abe, K. (2015). Computerized touch-panel screening tests for detecting mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Internal Medicine, 54*(8), 895-902.

Fung, A. W. T., Lee, A. T. C., Ma, S. L., & Lam, L. C. W. (2024). Development and validation of cognitive ageing risk score (CARS) for early detection of subtle cognitive deficits in older people. *BMC Geriatrics, 24*, 277. doi: 10.1186/s12877-024-04879-5

Galle, S. A., Deijen, J. B., Milders, M. V., De Greef, M. H., Scherder, E. J., van Duijn, C. M., & Drent, M. L. (2023). The effects of a moderate physical activity intervention on physical fitness and cognition in healthy elderly with low levels of physical activity: a randomized controlled trial. *Alzheimer's Research & Therapy, 15*, 12. doi: 10.1186/s13195-022-01123-3

Ganguli, M. (2013). Can the DSM-5 framework enhance the diagnosis of MCI?. *Neurology, 81*(23), 2045-2050.

Giambra, L. M., & Quilter, R. E. (1988). Sustained attention in adulthood: A unique, large-sample, longitudinal and multicohort analysis using the Mackworth Clock-Test. *Psychology and Aging, 3*(1), 75-83.

House, G., Burdea, G., Polistico, K., Ross, J., & Leibick, M. (2016). A serious gaming alternative to pen-and-paper cognitive scoring: A pilot study of BrightScreener™. *Journal of Pain Management, 9*(3). 255-264.

Howieson, D. B., Carlson, N. E., Moore, M. M., Wasserman, D., Abendroth, C. D., Payne-Murphy, J., & Kaye, J. A. (2008). Trajectory of mild cognitive impairment onset. *Journal of the International Neuropsychological Society, 14*(2), 192-198.

Iancu, I., & Iancu, B. (2020). Designing mobile technology for elderly. A theoretical overview. *Technological Forecasting and Social Change,*

155, 119977. doi: 10.1016/j.techfore.2020.119977

Jang, S., Choi, S.-W., Son, S. J., Oh, J., Ha, J., Kim, W. J., ... Seok, J.-H. (2022). Virtual reality-based monitoring test for MCI: A multicenter feasibility study. *Frontiers in Psychiatry, 13*, 1057513. doi: 10.3389/fpsyt.2022.1057513

Koivisto, J., & Malik, A. (2021). Gamification for Older Adults: A Systematic Literature Review. *The Gerontologist, 61*(7), e345-e357. doi: 10.1093/geront/gnaa047

Kim, W., Kim, J. S., Ko, H. J., Yun, B. H., Kim, Y. Y., Kim, D. H., & Kim, J. W. (2023). A Preliminary Feasibility Study on Screening Cognitive Impairment based on Multi-Modal Biomarkers and Stacking Ensemble AI Approach. *Alzheimer's & Dementia, 19*, e082466. doi: 10.1002/alz.082466

Langa, K. M., & Levine, D. A. (2014). The diagnosis and management of mild cognitive impairment: a clinical review. *Jama, 312*(23), 2551-2561.

Lee, G. J., Bang, H. J., Lee, K. M., Kong, H. H., Seo, H. S., Oh, M., & Bang, M. (2018). A comparison of the effects between 2 computerized cognitive training programs, Bettercog and COMCOG, on elderly patients with MCI and mild dementia: A single-blind randomized controlled study. *Medicine, 97*(45), e13007. doi: 10.1097/MD.0000000000013007

Lumsden, J., Edwards, E. A., Lawrence, N. S., Coyle, D., & Munafo, M. R. (2016). Gamification of cognitive assessment and cognitive training: a systematic review of applications and efficacy. *JMIR Serious Games, 4*(2), e11. doi: 10.2196/games.5888

Ma, L. L., Wang, Y. Y., Yang, Z. H., Huang, D., Weng, H., & Zeng, X. T. (2020). Methodological quality (risk of bias) assessment tools for primary and secondary medical studies: what are they and which is better?. *Military Medical Research, 7*, 1-11.

Methley, A. M., Campbell, S., Chew-Graham, C., McNally, R., & Cheraghi-Sohi, S. (2014). PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Services Research, 14*(1), 1-10.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International Journal of Surgery, 8*(5), 336-341.

Neto, H. S., Cerejeira, J., & Roque, L. (2018). Cognitive screening of older adults using serious games: an empirical study. *Entertainment Comput., 28*, 11-20.

O'Caoimh, R., Timmons, S., & Molloy, D. W. (2016). Screening for mild cognitive impairment: comparison of "MCI specific" screening instruments. *Journal of Alzheimer's Disease, 51*(2), 619-629.

Pandya, S. Y., Clem, M. A., Silva, L. M., & Woon, F. L. (2016). Does mild cognitive impairment always lead to dementia? A review. *Journal of the Neurological Sciences, 369*, 57-62.

Park, Y. G. (2001). Correlation and Regression analysis. *Journal of the Korean Academy of Family Medicine, 22*(1), 43-51.

Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. Journal of Internal Medicine, 256(3), 183-194.

Piau, A., Wild, K., Mattek, N., & Kaye, J. (2019). Current state of digital biomarker technologies for real-life, home-based monitoring of cognitive function for mild cognitive impairment to mild Alzheimer disease and implications for clinical care: systematic review. *Journal of Medical*

Internet Research, 21(8), e12785. doi: 10.2196/12785

Philippidis, A. (2024). FDA Approves Lilly's Amyloid-Targeting Kisunla for Early Alzheimer's. *GEN Edge, 6*(1), 608-611.

Ranchet, M., Morgan, J. C., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Cognitive workload across the spectrum of cognitive impairments: *A systematic review of physiological measures. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 80*, 516-537.

Roberts, R. O., Knopman, D. S., Mielke, M. M., Cha, R. H., Pankratz, V. S., Christianson, T. J., & Petersen, R. C. (2014). Higher risk of progression to dementia in mild cognitive impairment cases who revert to normal. *Neurology, 82*(4), 317-325.

Rocha, N. P., Bastardo, R., Pavao, J., & Gago, B. (2023). Virtual Reality and Serious Games Digital Solutions for Remote Cognitive Screening of Older Adults: A Systematic Review. *Handbook of Research on Decision-Making Capabilities Improvement With Serious Games,* 311-342.

Sabbagh, M. N., Boada, M., Borson, S., Chilukuri, M., Doraiswamy, P. M., Dubois, B., & Hampel, H. (2020). Rationale for early diagnosis of mild cognitive impairment (MCI) supported by emerging digital technologies. *The Journal of Prevention of Alzheimer's Disease, 7,* 158-164.

Savulich, G., Piercy, T., Fox, C., Suckling, J., Rowe, J. B., O'Brien, J. T., & Sahakian, B. J. (2017). Cognitive training using a novel memory game on an iPad in patients with amnestic mild cognitive impairment (aMCI). *International Journal of Neuropsychopharmacology, 20*(8), 624-633.

Siraly, E., Szabo, A., Szita, B., Kovacs, V., Fodor, Z., Marosi, C., ... Csukly, G. (2015). Monitoring the early signs of cognitive decline in elderly by computer games: an MRI study. *Plos One, 10*(2), e0117918. doi: 10.1371/journal.pone.0117918

Sims, J. R., Zimmer, J. A., Evans, C. D., Lu, M., Ardayfio, P., Sparks, J., & Kaul, S. (2023). Donanemab in early symptomatic Alzheimer disease: the TRAILBLAZER-ALZ 2 randomized clinical trial. *Jama, 330*(6), 512-527.

Staub, B., Doignon-Camus, N., Despres, O., & Bonnefond, A. (2013). Sustained attention in the elderly: What do we know and what does it tell us about cognitive aging? *Ageing Research Reviews, 12*(2), 459-468.

Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review, 4*(3), 356-367.

Valladares-Rodriguez, S., Fernández-Iglesias, M. J., Anido-Rifón, L., Facal, D., Rivas-Costa, C., & Pérez-Rodríguez, R. (2019). Touchscreen games to detect cognitive impairment in senior adults: A user-interaction pilot study. *International Journal of Medical Informatics, 127*, 52-62.

Vallesi, A., Tronelli, V., Lomi, F., & Pezzetta, R. (2021). Age differences in sustained attention tasks: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review,* 1-21.

Vlachopoulos, D., & Makri, A. (2017). The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 14,* 1-33.

World Health Organization. (2021). *Global status report on the public health response to dementia.* Geneva: World Health Organization.

Yoo, S., & Baik, M. (2017). Analysis of domestic dementia research trend for integrated study. *Journal of Convergence for Information Technology,* 7(3), 1-12.

Youn, J. H., Park, S., Lee, J. Y., Cho, S. J., Kim, J., & Ryu, S. H. (2020). Cognitive improvement in

older adults with mild cognitive impairment: evidence from a multi-strategic metamemory training. *Journal of Clinical Medicine, 9*(2), 362. doi: 10.3390/jcm9020362

Yuan, M., Long, X., Zhang, Z., Rong, M., Lian, S., ... Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI). (2024). Longitudinal trajectory effects of different MCI subtypes on general cognitive and daily functions in a population-based cohort of older adults. *Journal of Psychiatric Research, 171,* 296-305.

Zhang, T., Lin, C. C., Yu, T. C., Sun, J., Hsu, W. C., & Wong, A. M. K. (2017). Fun cube based brain gym cognitive function assessment system. *Computers in Biology and Medicine, 84,* 1-8.

Zhuang, L., Yang, Y., & Gao, J. (2021). Cognitive assessment tools for mild cognitive impairment screening. *Journal of Neurology, 268*(5), 1615-1622.

원고접수일: 2024년 9월 2일
논문심사일: 2024년 9월 23일
게재결정일: 2024년 9월 23일

한국심리학회지: 건강
The Korean Journal of Health Psychology
2024. Vol. 29, No. 6, 951 - 975

Systematic Review of Digital Screening Tools for Mild Cognitive Impairment Using Serious Games

Bomyi Jeon[1)] Kyongjoo Lee[1)] Soo Rim Noh[1)]
Yerin Shim[1)] Dae-Hyun Yun[2)] Sungkun Cho[1)]
[1)]Department of Psychology, Chungnam National University
[2)]Department of Sports Science, Chungnam National University

This study conducted a systematic review to evaluate the validity and diagnostic utility of digital games as screening tools for Mild Cognitive Impairment (MCI). The analysis was focused on literature published between 2014 and 2024, revealing that game-based screening tools demonstrated wide range of sensitivity (64.3%-96.5%) and specificity (50%-96.1%) in diagnosing MCI, with performance comparable to or better than traditional cognitive function tests. Early detection of MCI is crucial as it provides a critical intervention window to delay and prevent the progression to dementia. This study suggests that digital games can be effectively utilized to detect cognitive decline in older adults and delay the progression of dementia. Results of this study also highlight the need to improve user interfaces and develop multidimensional assessment tools that encompass various neurocognitive domains. This study contributes to the exploration of digital tools for early MCI screening, enhancing the potential for dementia prevention and early treatment.

Keywords: mild cognitive impairment, serious game, early dementia diagnosis, cognitive function assessment, digital healthcare