

병원 기반 심장재활을 보완하는 디지털 기술의 활용

김 원 석

서울대학교 의과대학 재활의학교실, 분당서울대학교병원 재활의학과

Digital Technologies in Cardiac Rehabilitation as a Complement to Center-Based Programs

Won-Seok Kim, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam 13620, Republic of Korea

Abstract

Cardiovascular disease remains a leading cause of morbidity and mortality worldwide, and despite advances in acute-phase management and improved survival, long-term secondary prevention, functional recovery, and prevention of recurrent events remain critical components of care. Exercise-based cardiac rehabilitation (CR) is a well-established, evidence-based intervention that improves cardiorespiratory fitness, cardiovascular risk factor control, functional capacity, and quality of life, and is strongly recommended by major international and domestic clinical guidelines. However, participation in center-based cardiac rehabilitation (CBCR) remains suboptimal globally and in Korea, largely due to structural barriers such as limited accessibility, travel distance, time constraints, and competing work or caregiving responsibilities. National health insurance-based studies have demonstrated persistently low CR participation rates in Korea even after reimbursement coverage was introduced, and international audits have shown that cardiac rehabilitation density remains insufficient relative to population needs. In this context, digital technology-enabled cardiac rehabilitation—including home-based CR, telehealth-based CR, mobile health (mHealth), and other digital CR models—has emerged as a promising approach to complement CBCR by addressing participation barriers and resource limitations while enhancing accessibility and continuity of care. Accumulating evidence suggests that digital CR improves treatment adherence, cardiorespiratory fitness, and physical activity compared with usual care, and demonstrates clinical outcomes comparable to CBCR for major cardiovascular risk factors and events when appropriately applied. This review summarizes the conceptual framework, key components, implementation technologies, and clinical evidence for digital CR, and discusses important considerations for its adoption and integration into the Korean healthcare system.

Key Words

Cardiac rehabilitation, Digital technology, Virtual rehabilitation, Telerehabilitation, Remote rehabilitation, Hybrid, Heart disease

Received : December 17, 2025 | Accepted : December 24, 2025

<https://doi.org/10.53476/acpr.2025.5.2.51>

Corresponding author : Won-Seok Kim, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, 82, Gumi-ro 173beon-gil, Bundang-gu, Seongnam 13620, Korea

Tel: +82-31-787-7735, Fax: +82-31-787-4051, E-mail: wondol77@gmail.com

서 론

심혈관질환은 전 세계적으로 주요한 이환(morbidity)과 사망의 원인이며, 급성기 치료 성적의 향상과 생존율 증가에 따라 장기적인 2차 예방과 기능 회복, 재발 방지를 위한 관리의 중요성은 지속적으로 강조되고 있다[1]. 운동 기반 심장재활(exercise-based cardiac rehabilitation [CR])은 약물 치료 및 중재적 시술 이후 환자의 심폐 체력 향상, 심혈관 위험인자 조절, 기능 회복 및 삶의 질 개선을 통해 장기 예후를 향상시키는 핵심적인 2차 예방 전략으로 임상적 근거가 확립되어 있다[2,3]. 이에 미국심장학회/미국심장협회(American College of Cardiology/American Heart Association), 유럽심장학회(European Society of Cardiology) 등 주요 국제학회 및 국내 진료지침에서는 관상동맥질환 환자에서 운동 기반 심장재활을 Class I 권고로 제시하고 있다[3-5].

이러한 확립된 근거에도 불구하고, 실제 임상에서 심장재활의 참여율은 전 세계적으로 충분히 높지 않은 실정이다. 센터 기반 심장재활(center-based cardiac rehabilitation [CBCR])은 다학제 팀에 의한 구조화된 프로그램과 안전성 측면에서 강점을 가지지만, 병원 접근성, 이동 거리, 시간적 제약, 직장 및 가족 돌봄 문제 등 구조적 장벽으로 인해 많은 환자들이 심장재활에 참여하지 못하고 있다[6]. 국내 상황 역시 이러한 한계를 명확히 보여준다. 2017년 심장재활에 대한 건강보험 급여가 도입된 이후에도, 국민건강보험공단 자료를 이용한 전국 단위 연구들에 따르면 급성심근경색 환자의 퇴원 후 심장재활 참여율은 여전히 낮은 수준에 머물러 있으며, 시간 경과에 따른 참여율 증가도 제한적인 것으로 보고되어, 접근성 측면에서의 구조적 문제가 지속되고 있음을 시사한다[7,8].

국내 급성관상동맥증후군 환자를 대상으로 한 연구들에서, 심장재활 참여를 제한하는 주요 요인으로 병원까지의 거리, 교통 및 시간 부담과 같은 logistical barriers, 동반 질환 및 기능 저하와 같은 임상적 요인, 그리고 심장재활에 대한 환자 및 의료진의 인식 부족이 보고되었다[9]. 이러한 장벽은 외래 방문을 전제로 하는 센터 기반 심장재활 모델에서 특히 두드러지며, 고령 환자나 직업 활동을 유지하는 환자에서 장기적인 참여를 어렵게 만드는 요인으로 작용한다. 또한 국제 심장재활 글로벌 오딧(Global Cardiac Rehabilitation Audit)에 따르면, 국가별 심장재활 시설 수 및 인구 대비 심장재활 밀도(cardiac rehabilitation density)에는 큰 차이가 존재하며, 우

리나라는 심장재활 수요에 비해 제공 가능한 프로그램 수가 상대적으로 부족한 국가로 분류되었다[10]. 국내의 건강보험 기반 연구들에서도 심상재활의 보험급여 적용 후에도 기대한 만큼 심장재활 실시 기간 수가 증가하지 않았음이 확인되었고, 이는 제도적 급여 도입만으로는 심장재활 접근성 문제를 충분히 해결하기 어렵고, 기존 센터 기반 심장재활을 보완할 수 있는 새로운 전달 모델이 필요함을 시사한다[7,8].

이러한 배경에서 가정 기반 심장재활(home-based CR), 원격 심장재활(telehealth-based CR), 모바일 헬스(mobile health-based [mHealth-based] CR), 그리고 디지털 심장재활(digital CR) 등으로 불리는 다양한 형태의 디지털 기술 기반 심장재활이 기존 센터 기반 심장재활에서 반복적으로 지적되어 온 참여 장벽과 자원 제한 문제를 구조적으로 완화할 수 있는 잠재력을 지니며, 심장재활의 접근성과 지속성을 동시에 개선할 수 있는 전략으로 주목받고 있다[6].

이에 본 종설에서는 심장재활에서의 디지털 기술 적용의 개념과 구성 요소, 구현 기술, 임상적 근거, 국내 도입 시 고려 사항을 중심으로 고찰하고자 한다.

본 론

1) 심장재활에서의 디지털 기술: 용어 정의와 적용 범위

심장재활에서 활용되는 디지털 기술은 기존의 센터 기반 심장재활을 대체하기보다는, 접근성과 전달 범위를 확장하기 위한 보완적 수단으로 활용되는 것을 목표로 한다. 이러한 디지털 기술에는 인터넷 기반 플랫폼, 웨어러블 기기, 모바일 애플리케이션뿐 아니라 인공지능(artificial intelligence) 및 빅데이터(big data)와 같은 계산 기반 기술(computational methods)까지 포함된다[6,11]. 반면, 단순 전화 통화만을 이용한 종재는 일반적으로 디지털 심장재활의 범주에서는 제외된다[11,12].

디지털 기술은 심장재활의 전달 방식에 따라 단독으로 활용되거나, 보다 포괄적인 원격의료(telehealth) 패키지의 일부로 통합되어 사용될 수 있다. 현재 심장재활 분야에서 디지털 기술의 활용 방식은 크게 세 가지로 구분할 수 있다 (Table 1). 첫째, 대면 기반 심장재활을 보조하는 형태로 디지털 기술을 활용하는 경우, 둘째, 실시간 양방향 시청각 통신을 통해 의료진과 환자가 동시에 상호작용하는 가상 심장재

Table 1. Key Terminology and Models of Digital Cardiac Rehabilitation Delivery

Terminology	Definition
Synchronous in-person cardiac rehabilitation	A traditional cardiac rehabilitation delivery model in which patients and healthcare professionals interact directly at the same location and time to perform exercise training and comprehensive cardiac rehabilitation interventions. This model includes the concept of center-based cardiac rehabilitation.
Digital technology-enabled cardiac rehabilitation	A comprehensive concept that provides the core components of cardiac rehabilitation using internet-based platforms, mobile devices, wearable sensors, and data analytics technologies.
Virtual cardiac rehabilitation	A cardiac rehabilitation delivery model in which patients and healthcare professionals interact in real time through synchronous audio-visual communication while being in different settings.
Asynchronous/remote cardiac rehabilitation	A delivery model in which patients and healthcare professionals are not connected simultaneously; exercise and health-related data generated by patients are stored and transmitted for subsequent review and feedback by healthcare professionals.
Hybrid cardiac rehabilitation	A delivery model that combines synchronous, in-person cardiac rehabilitation with virtual or asynchronous telerehabilitation modalities, tailored according to the patient's clinical status and preferences.

활(virtual CR), 셋째, 의료진과 환자가 동일한 시간에 연결되지 않고 데이터가 저장, 공유되는 비동기적 원격 심장재활(asynchronous or remote CR)이다[11,13]. 최근에는 환자의 임상 상태와 개인적 선호를 반영하여 대면 심장재활과 virtual CR 또는 remote CR을 병행하는 환자 맞춤형 하이브리드 심장재활(hybrid CR) 모델이 점차 주된 전달 방식으로 자리잡고 있다[14].

2) 디지털 기술 기반 심장재활의 구성 요소 및 기술

2021년에 발표된 체계적 문헌고찰에 따르면, 디지털 심장재활 연구에서 가장 흔히 활용된 기술은 스마트폰 또는 모바일 기기였으며, 전체 연구의 약 60% 이상에서 사용되었다[12]. 그다음으로는 웹 기반 포털과 문자 메시지 또는 이메일과 같은 비동기적 의사소통 도구가 빈번하게 활용되었다. 스마트폰 애플리케이션을 이용한 심장재활 중재의 임상 효과는 기능적 지표 개선 측면에서 연구 간 결과의 이질성이 존재하였으나, 상대적으로 긍정적인 환자 결과와 연관된 중재의 경우 운동 중 자동 데이터 기록 및 동기화, 실시간 피드백 제공, 그리고 개인별 목표 설정 및 조정 기능을 공통적으로 포함하고 있었다[12].

디지털 기술 기반 심장재활은 단일 기술이나 단일 중재로 구성되기보다는, 기존 센터 기반 심장재활에서 제시된 핵심

구성 요소들을 디지털 환경에서 부분적으로 구현하거나 조합하는 방식으로 발전해 왔다(Table 2). 특히 운동 훈련과 신체활동 모니터링은 가장 먼저 디지털 기술이 적용된 영역이며, 이후 원격 생체 신호 모니터링, 환자 교육 및 자기관리 지원, 위험인자 관리, 심리사회적 중재 등으로 점차 적용 범위가 확장되어 왔다[11,15]. 이러한 구성 요소들은 사용되는 기술의 종류와 전달 방식에 따라 구현 수준과 범위에 차이를 보이며, 현재까지 보고된 디지털 심장재활 프로그램 간에도 상당한 이질성이 존재한다[12,15].

3) 임상적 근거

관상동맥질환(coronary artery disease [CAD]) 및 심혈관질환(cardiovascular disease [CVD]) 환자를 대상으로 한 최근 체계적 문헌고찰 및 메타분석에서, 디지털 기술 기반 심장재활은 접근성과 지속성을 확장하는 보완적 전달 모델로서 임상적 근거가 점차 축적되고 있다(Table 3) [16-20]. CAD 환자를 대상으로 mHealth가 통합된 질병관리 프로그램(disease management program [DMP])의 효과를 mHealth가 포함되지 않은 DMP와 비교 분석한 Braver 등의 메타분석에서는[16] 모든 원인에 의한 재입원 및 심장 관련 재입원과(RR: 0.68; 95% CI: 0.50-0.91, RR: 0.55; 95% CI: 0.44-0.68), 응급 실 방문(RR: 0.37; 95% CI: 0.26-0.54)이 감소하였다. 반면 사

Table 2. Core Components, Applied Technologies, and Future Directions in Digital Cardiac Rehabilitation

Core components	Applied technologies	Currently utilized functions	Future development direction
Patient assessment	Mobile devices, web-based platforms	Medical history review, physical status assessment, quality-of-life questionnaires	Integrated analysis of clinical and digital health data
Nutritional counseling	Mobile applications, online education platforms	Dietary logging, nutrition education, counseling	Automated, analytics-based personalized nutritional management
Risk factor management	Wearables, remote monitoring systems	Monitoring of blood pressure, body weight, blood glucose, lipid profiles	AI-based risk prediction and early warning systems
Psychosocial management	Tele-counseling, digital questionnaires	Assessment of depression and anxiety, emotional support	Integration of behavioral and mental health data
Physical activity counseling	Mobile applications, activity sensors	Activity tracking, goal setting	Optimization of physical activity based on living environment and context
Exercise training	Wearables, virtual platforms	Heart rate monitoring, exercise duration, distance tracking	Automated, personalized exercise prescription
Medication adherence	Smart pillboxes, mobile reminder systems	Medication logging, dosing reminders, adherence monitoring	Integration of digital therapeutics and devices for personalized medication management

망(RR: 1.72; 95% CI: 0.64–4.64)과 주요 심혈관 사건(major adverse cardiovascular events [MACE])은 유의한 차이를 보이지 않았다(RR: 0.68; 95% CI: 0.40–1.15). CAD 환자를 대상으로 디지털 심장재활과 전통적 심장재활을 비교한 Ansari 등의 메타분석에서는[17] 재입원(RR: 0.86; 95% CI: 0.66–1.11)과 MACE (RR: 0.67; 95% CI 0.42–1.07)에서 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

스마트폰 보조 심장재활에 대한 Zhou 등의 메타분석에서는[18] 고식적인 심장재활/기존 치료와 비교해 최대산소섭취량의 유의한 개선(WMD: 1.32; 95% CI 0.82–1.81)과 치료 순응도 향상(RR: 1.62; 95% CI: 1.21–2.17)이 확인되었으나, 6 분 보행거리, 체질량지수, 삶의 질 및 심리 지표 등에서는 전반적으로 유의한 개선이 관찰되지 않았다. Yu 등의 메타분석 연구에서는[19] eHealth 중재가 심장재활 참여 환자에서 중등도-고강도 신체 활동(moderate-to-vigorous physical activity [MVPA])을 유의하게 증가시켰으며(SMD: 0.18, 95% CI: 0.07–0.28), 특히 웨어러블 기기, 웹 기반 플랫폼, 양방향 소통을 포함한 중재에서 효과가 두드러졌다. 하지만 심혈관 질환 관련 결과의 차이는 없었다. 심장재활 종료 이후 신체 활

동 유지(maintenance)에 대한 디지털 헬스 중재의 효과를 기존 치료(usual care)와 비교하여 평가한 Luijk 등의 메타분석에서는[20] 객관적 측정에 기반한 신체 활동 지표에서는 기존 치료 대비 유의한 효과가 확인되지 않았으며(SMD: 0.85; 95% CI: -0.07–1.77), 자기 보고 방식으로 평가한 신체 활동에서는 기존 치료 대비 소폭의 개선이 관찰되었다(SMD: 0.37; 95% CI: 0.05–0.69). 기술 보조 심장재활과 센터 기반 심장재활을 비교한 Chong 등의 메타분석에서는[21] 혈압, 지질 수치, 불안 및 우울 점수 등 위험인자 및 심리 지표에서 유의미한 차이가 관찰되지 않았다.

종합하면, 디지털 기술 기반 심장재활은 센터 기반 심장재활과 비교하여 치료 순응도, 심폐 능력(cardiorespiratory fitness), 신체 활동 유지와 같은 행동 및 기능적 지표에서는 다소 우월한 효과가 기대되며, 접근성과 지속성 측면에서 의미 있는 장점을 지닌 전달 모델로 평가된다. 혈압, 지질 이상, 체중 조절과 같은 주요 심혈관 위험인자 관리 및 재입원, 주요 심혈관 사건(MACE), 사망과 같은 핵심 임상 결과에 대해서는 기존 센터 기반 심장재활과 대체로 유사한(non-inferior) 효과가 보고되고 있지만, 이러한 결과는 대부분 중, 저위험 환

Table 3. Summary of Meta-analyses on Digital Technology-Enabled Cardiac Rehabilitation

Study	Study population	Intervention	Control	Number of study/ sample size	Key clinical outcomes
Braver et al., 2023 [16]	CAD	mHealth-integrated disease management programs	Usual care or non-digital programs	18 studies; N = 1,009-1,514	All-cause readmission: RR 0.68 (0.50-0.91); cardiac readmission: RR 0.55 (0.44-0.68); ED visit: RR 0.37 (0.26-0.54); mortality/MACE: NS
Ansari et al., 2025 [17]	CAD	Digital cardiac rehabilitation	Traditional center-based cardiac rehabilitation	13 studies; N = 1,850	QoL: Mean deviation 0.10 (0.05-0.15); rehospitalization: RR 0.86 (0.66-1.11); MACE RR: 0.67 (0.42-1.07)
Zhou et al., 2024 [18]	CVD	Smartphone-assisted cardiac rehabilitation	Usual care or conventional CR	14 RCTs; N = 1,962	VO ₂ peak: WMD 1.32 (0.82-1.81); adherence: RR 1.62 (1.21-2.17); other outcomes: NS
Xu et al., 2019 [22]	CR participants	Mobile application-based CR support	Standard CR or usual care	4 RCTs; N = 185	CR completion/adherence: RR 1.38 (1.16-1.65); functional and QoL outcomes" mixed
Yu et al., 2023 [19]	CR participants	eHealth interventions (wearables, web, apps)	Usual care or no digital intervention	18 studies	MVPA: SMD 0.18 (0.07-0.28); cardiovascular outcomes NS
Luijk et al., 2024 [20]	Post-CR patients	Digital interventions for PA maintenance	Usual care / no structured maintenance	20 RCTs; N = 1,801	Objective PA: NS; subjective PA: SMD 0.37 (0.05-0.69)
Chong et al., 2021 [21]	CAD/CVD	Technology-assisted CR	Conventional center-based CR	9 RCTs	Risk factors and psychological outcomes: comparable between technology-assisted CR and CBCR
Popovici et al., 2023 [23]	CVD	Smartphones and digital methods in CR	Conventional CR or usual care	7 studies; N = 802	VO ₂ peak and 6MWT favored intervention
Kenny et al., 2024 [24]	CVD	Digital CR incorporating behavior change techniques (BCT)	Varied / usual care	25 RCTs	Digital CR demonstrated significant improvements in daily step counts, light-intensity physical activity, medication adherence, functional capacity, and LDL-cholesterol compared with usual care, while showing clinical effects largely comparable to those of CBCR.

CAD: coronary artery disease, CR: cardiac rehabilitation, CVD: cardiovascular disease, ED: emergency department, MA: meta-analysis, MACE: major adverse cardiovascular events, mHealth: mobile health, MVPA: moderate-to-vigorous physical activity, NS: not significant, PA: physical activity, QoL: quality of life, RCT: randomized controlled trial.

자를 대상으로 한 비교적 짧은 추적 관찰 기간의 연구에 기반하고 있으며, 중재에 포함된 디지털 기술의 구성 요소, 강도, 개입 방식의 차이와 대상 환자군의 임상적 이질성에 따라 임

상적 효과가 달라질 수 있다. 따라서 CBCR과 비교해 디지털 기술 기반 심장재활의 비열등성(non-inferiority)을 주요 임상 사건에 대해 보다 명확히 검증하고, 고위험 환자군 및 장기 추

적 결과를 포함한 추가적인 무작위 대조 연구와 실제 임상 환경(real-world setting)을 반영한 연구가 필요하다. 아울러 임상 현장에서의 적용 시에는 환자의 위험도, 질환 단계, 의료 자원 및 모니터링 가능성을 종합적으로 고려한 신중한 임상적 판단이 요구된다.

결 론

디지털 기술 기반 심장재활은 모든 환자군에 동일하게 적용되기보다는, 환자의 임상적 위험도와 질환 단계에 따라 선택적으로 적용되거나 병행되어야 한다. 기존 근거를 종합하면, 심혈관 사건 발생 위험이 높은 환자, 급성기 또는 임상적으로 불안정한 상태에 있는 환자에서는 센터 기반 심장재활이 우선적으로 권장되며, 직접적인 의료진 감독과 즉각적인 대응이 가능한 환경에서 재활이 시행되는 것이 안전하다. 반면, 중·저위험 환자, 심장재활 종료 이후 유지기(maintenance phase)에 있는 환자, 또는 기존 센터 기반 심장재활 과정에서 순응도 저하가 관찰된 환자에서는 디지털 기술 기반 심장재활이 접근성과 지속성을 개선할 수 있는 적절한 대안 또는 보완 수단이 될 수 있다. 임상 연구들에서 디지털 기술 기반 심장재활은 재입원이나 주요 심혈관 사건과 같은 핵심 임상 결과 측면에서 기존 센터 기반 심장재활과 비열등성을 보이는 결과가 보고되고 있으나, 이는 디지털 심장재활이 센터 기반 프로그램을 무분별하게 대체할 수 있음을 의미하는 것은 아니다. 대부분의 연구가 중·저위험 환자를 대상으로 비교적 짧은 추적 관찰 기간 동안 수행되었고, 중재에 포함된 디지털 기술의 구성 요소와 강도 역시 연구마다 상이하다는 점을 고려할 때, 실제 임상 현장에서는 환자의 위험도, 모니터링 가능성, 의료 접근성 등을 종합적으로 고려한 신중한 임상적 판단이 필요하다. 또한 디지털 기술 활용의 전제 조건으로 환자 및 의료진의 디지털 리터러시(digital literacy)가 중요한 요소로 작용한다. 고령 환자나 정보 접근성이 낮은 환자에서는 디지털 기기 사용 자체가 장벽이 될 수 있으므로, 사용자 친화적인 인터페이스 설계와 함께 초기 교육 및 지속적인 지원 체계가 병행되어야 한다. 의료진 역시 디지털 플랫폼을 활용한 환자 모니터링, 데이터 해석, 원격 의사소통에 대한 충분한 이해와 경험을 갖출 필요가 있다. 안전성 측면에서는 디지털 기술 기반 심장재활이 표준화된 프로토콜과 명확한 시행 규칙에서 운영되는 것이 필수적이다. 해외에서는 환자 선정 기준,

위험도 분류, 응급 상황 대응 절차, 중재 강도 조절 기준 등을 포함한 체크리스트(checklist), 임상 프로토콜(protocol), 운영 매뉴얼(manual)이 제시되고 있으며, 이러한 사례를 참고하여 국내 의료 환경과 건강보험 제도에 적합한 표준 운영 지침을 개발할 필요가 있다. 마지막으로, 국내에서 디지털 기술 기반 심장재활을 도입, 확산하기 위해서는 현재 건강보험 급여 체계로의 단계적 편입이 중요한 과제로 남아 있다. 국내 심장재활은 센터 기반 프로그램을 중심으로 급여가 설계되어 있어, 디지털 기술을 활용한 원격 또는 혼합형(hybrid) 심장재활 모델을 즉각적으로 적용하기에는 제도적 한계가 존재한다. 따라서 디지털 기술 기반 심장재활은 기존 병원 기반 심장재활을 대체하기보다는 보완하는 형태로 단계적으로 도입하는 접근이 현실적이다. 국내에서도 추가적인 임상 근거 축적을 위한 다기관 연구가 필요하겠으나, 현재까지 상당한 근거가 축적되어 있고 기술적 준비 역시 이루어져 있는 상황을 고려할 때, 국가 주도의 디지털 심장재활 플랫폼 개발과 이를 기반으로 한 시범사업 시행 등 보다 적극적이고 전향적인 검토가 요구되는 시점이라 할 수 있다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant of Patient-Centered Clinical Research Coordinating Center (PACEN) funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number: RS-2025-25414341).

REFERENCES

1. Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, Addolorato G, Ammirati E, Baddour LM, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990–2019: update from the GBD 2019 study. *J Am Coll Cardiol* 2020;76:2982-3021.
2. Dibben GO, Faulkner J, Oldridge N, Rees K, Thompson DR, Zwisler AD, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: a meta-analysis. *Eur Heart J* 2023;44:452-69.
3. Long L, Mordi IR, Bridges C, Sagar VA, Davies EJ, Coats AJ, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for adults with heart failure. *Cochrane Database Syst Rev*

2019;1:CD003331.

4. Visseren FL, Mach F, Smulders YM, Carballo D, Koskinas KC, Bäck M, et al. 2021 ESC guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the task force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies with the special contribution of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur Heart J* 2021;42:3227-337.
5. Kim C, Sung J, Lee JH, Kim WS, Lee GJ, Jee S, et al. Clinical practice guideline for cardiac rehabilitation in Korea. *Ann Rehabil Med* 2019;43:355-443.
6. Thomas RJ, Beatty AL, Beckie TM, Brewer LC, Brown TM, Forman DE, et al. Home-based cardiac rehabilitation: a scientific statement from the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, the American Heart Association, and the American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:133-53.
7. Kim SH, Ro JS, Kim Y, Leigh JH, Kim WS. Underutilization of hospital-based cardiac rehabilitation after acute myocardial infarction in Korea. *J Korean Med Sci* 2020;35:e262.
8. Kim H, Yun RY, Kim C, Shin YI, Bang HJ, Uhm KE, et al. Trends in cardiac rehabilitation participation in patients with acute myocardial infarction: a 5-year nationwide study in Korea. *J Korean Med Sci* 2025;41:e41.
9. Im HW, Baek S, Jee S, Ahn JM, Park MW, Kim WS. Barriers to outpatient hospital-based cardiac rehabilitation in Korean patients with acute coronary syndrome. *Ann Rehabil Med* 2018;42:154-65.
10. Turk-Adawi K, Supervia M, Lopez-Jimenez F, Pesah E, Ding R, Britto RR, et al. Cardiac rehabilitation availability and density around the globe. *EClinicalMedicine* 2019;13:31-45.
11. Golbus JR, Lopez-Jimenez F, Barac A, Cornwell III WK, Dunn P, Forman DE, et al. Digital technologies in cardiac rehabilitation: a science advisory from the American Heart Association. *Circulation* 2023;148:95-107.
12. Wongvibulsin S, Habeos EE, Huynh PP, Xun H, Shan R, Porosnicu Rodriguez KA, et al. Digital health interventions for cardiac rehabilitation: systematic literature review. *J Med Internet Res* 2021;23:e18773.
13. Beatty AL, Brown TM, Corbett M, Diersing D, Keteyian SJ, Mola A, et al. Million hearts cardiac rehabilitation think tank: accelerating new care models. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2021;14:e008215.
14. Beatty AL, Beckie TM, Dodson J, Goldstein CM, Hughes JW, Kraus WE, et al. A new era in cardiac rehabilitation delivery: research gaps, questions, strategies, and priorities. *Circulation* 2023;147:254-66.
15. Lee KC, Breznen B, Ukhova A, Koehler F, Martin SS. Virtual healthcare solutions for cardiac rehabilitation: a literature review. *Eur Heart J Digit Health* 2023;4:99-111.
16. Braver J, Marwick TH, Oldenburg B, Issaka A, Carrington MJ. Digital health programs to reduce readmissions in coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *JACC Adv* 2023;2:100591.
17. Ansari S, Nadar BG, Estêvão MD, Aguiar DR, Ejeh J, Khan Z. Comparing the outcomes of digital and traditional cardiac rehabilitation practices: a systematic review and meta-analysis. *Cureus* 2025;17:e77757.
18. Zhou M, Xu Y, Zhang L, Yang Y, Zheng J. Effectiveness of smartphone-assisted cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Disabil Rehabil* 2024;46:3256-65.
19. Yu T, Xu H, Sui X, Zhang X, Pang Y, Yu T, et al. Effectiveness of eHealth interventions on moderate-to-vigorous intensity physical activity among patients in cardiac rehabilitation: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res* 2023;25:e42845.
20. Luijk A, Mortensen SR, Hamborg TG, Zanger G, Ahler JR, Christensen J, et al. The effectiveness of digital health interventions for the maintenance of physical activity following cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Digit Health*

2024;10:20552076241286641.

21. Chong MS, Sit JWH, Karthikesu K, Chair SY. Effectiveness of technology-assisted cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud* 2021;124:104087.

22. Xu L, Li F, Zhou C, Li J, Hong C, Tong Q. The effect of mobile applications for improving adherence in cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cardiovasc Disord* 2019;19:166.

23. Popovici M, Ursoniu S, Feier H, Mocan M, Tomulescu OMG, Kundnani NR, et al. Benefits of using smartphones and other digital methods in achieving better cardiac rehabilitation goals: a systematic review and meta-analysis. *Med Sci Monit* 2023;29:e939132.

24. Kenny E, Coyne R, McEvoy JW, McSharry J, Taylor RS, Byrne M. Behaviour change techniques and intervention characteristics in digital cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Health Psychol Rev* 2024;18:189-228.