

Review Article



심뇌혈관 질환 예방을 위한 정보통신기술의 발달

Jisan Lee , RN, PhD¹, Hun-Sung Kim , MD, PhD^{2,3}, Dai-Jin Kim , MD, PhD^{2,4}

¹Department of Nursing Science, College of Life & Health Sciences, Hoseo University, Asan, Korea

²Department of Medical Informatics, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

³Department of Endocrinology and Metabolism, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

⁴Department of Psychiatry, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

OPEN ACCESS

Received: Aug 29, 2019

Accepted: Oct 9, 2019

Correspondence to

Hun-Sung Kim, MD, PhD

Department of Medical Informatics, College of Medicine, The Catholic University of Korea, 222 Banpo-daero, Seocho-gu, Seoul 06591, Korea.
E-mail: 01cadiz@hanmail.net

Dai-Jin Kim, MD, PhD

Department of Psychiatry, College of Medicine, The Catholic University of Korea, 222 Banpo-daero, Seocho-gu, Seoul 06591, Korea.
E-mail: kdj922@catholic.ac.kr

Copyright © 2019. Korean Society of Cardiovascular Disease Prevention; International Society of Cardiovascular Pharmacotherapy, Korea Chapter.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID iDs

Jisan Lee

<https://orcid.org/0000-0002-9039-7448>

Hun-Sung Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7002-7300>

Dai-Jin Kim

<https://orcid.org/0000-0001-9408-5639>

ABSTRACT

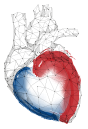
Recent dramatic developments in information and communication technologies have been widely applied to medicine and healthcare. In particular, biometric sensors in wearable devices linked to smartphones are collecting vast amounts of personal health data. To best use these accumulated data, personalized healthcare services are emerging, and digital platforms are being developed and studied to enable data integration and analysis. The implementation of biometric sensors and smartphones for cardiovascular and cerebrovascular healthcare emerged from the research on the feasibility and efficacy of the devices in the clinical environment. It is important to understand the recent research trends in data generation, integration, and application to prevent and treat cardiovascular and cerebrovascular diseases. This paper describes these recent developments in treating cardiovascular diseases.

Keywords: Cardiovascular disease; Cerebrovascular disease; Digital healthcare; Mobile healthcare; Patient-generated health data

INTRODUCTION

세계보건기구 (World Health Organization, WHO)에서는 2016년 기준으로 약 1천 7백만명의 사람이 심혈관질환으로 사망한 것으로 추정하고 있다.¹⁾ 이처럼 심혈관질환은 전세계적으로 사망률이 가장 높은 질환이며, 국내에서도 심뇌혈관 질환의 사망률은 인구 10만명당 119.6명으로 암 질환 다음으로 높게 조사되었다.²⁾ 심뇌혈관 질환의 발생을 막기 위해서는 사전에 그 위험요인을 예방하는 것이 중요하기에 일상에서 스스로 생활습관을 관리하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다.³⁾

최근 정보통신기술 (information and communications technology)이 획기적으로 발달하고, 이 기술이 의료계에 다양하게 접목됨에 따라, 환자가 자기주도적으로 생활습관을 관리하려는 새로운 패러다임이 대두되고 있다.⁴⁾ 특히 다양한 생체 측정 센서(웨어러블 디바이스)와 이 센서가 장착된 스마트폰이 개발되고 상용화됨에 따라 방대한 양의 개인 건강 데이터가 생성되



Funding

본 연구는 2019년도 중소벤처기업부의 창업성장기술개발사업 - 혁신형 창업과제 지원에 대한 연구임 (S2726209). 이 사업은 2018년 정부의 재원으로 한국연구재단(National Research Foundation of Korea, NRF)의 생애초기연구 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2018R1C1B5030802).

Conflict of Interest

The authors have no financial conflicts of interest.

Author Contributions

Conceptualization: Lee J, Kim HS, Kim DJ. Supervision: Kim HS, Kim DJ. Writing - original draft: Lee J. Writing - review & editing: Kim HS, Kim DJ.

고 있다.⁵⁾⁶⁾ 축적된 데이터를 개인별 맞춤형 건강 서비스와 같은 실질적인 활용을 위하여 데이터의 통합과 분석이 가능하도록 다양한 플랫폼 또한 개발 및 연구되고 있다.⁷⁾⁸⁾ 환자 스스로 생활습관을 교정함으로써 건강 관리 및 질환 예방을 할 수 있는 다양한 방안이 제시되고 있는 것이다. 나아가 이는 환자와 의료서비스 제공자가 환자의 건강 관리라는 공동의 목표를 달성하기 위하여 데이터와 최신정보기술을 사용하며 다양한 건강 정보의 공유를 가능케 할 것이라는 점에서 그 의미가 크다.⁹⁾

결국 환자로부터 생성되는 방대한 양의 데이터에 관심을 가질 수밖에 없다. 이것이 의료계에서 이슈가 되고 있는 빅데이터의 개념이다. 빅데이터는 ‘가치로 전환하기 위해 특정 기술 및 분석 방법이 요구되는 대용량, 높은 생성 속도 및 다양성이라는 특징을 가지는 정보 자산’이라고 정의되며,¹⁰⁾ 의료계에서는 빅데이터라는 단어보다 리얼 월드 데이터(United States Real World Data, RWD)라는 단어가 더 익숙하게 사용된다.¹¹⁾¹²⁾ RWD란, 미국 식품의약국(Food and Drug Administration, FDA)이 의약품의 안전성 및 부작용을 모니터링하고 규제 결정을 내리기 위하여, 또는 임상 실무에 의약품을 사용하기 위한 지침 및 의사 결정 지원 도구를 개발하기 위하여 활용하는 데이터로 정의된다.¹³⁾ 우리나라의 대표적인 4가지의 RWD는 국민건강보험공단과 건강보험심사평가원에서 제공해주는 공공데이터, 병원에서 사용되는 전자의무기록 (electronic medical records, EMR) 데이터가 대표적이며, 그 이외에도 유전체 데이터, 그리고 라이프로그 (Life log) 기반의 환자유래 데이터 (patient-generated health data, PGHD)이다. PGHD란 환자로 인하여 생성, 수집, 기록, 추론되는 데이터로 정의되며, 이는 채택에서 측정이 가능한 혈압계, 혈당계, 만보기 등 다양한 기기를 사용하여 사용자 스스로 측정하여 축적된 건강 관련 데이터를 포함한다.¹⁴⁾¹⁵⁾ 디지털 헬스케어로 대표되는 의료계 4차 산업혁명과 최근 이슈가 되고 있는 원격의료의 개념에서는 개인 맞춤형 건강관리를 가능케 할 PGHD가 가장 중요하다고 할 수 있다. 즉, PGHD를 활용한 맞춤형 건강관리를 위해서는 데이터의 생성과 측정이 우선적으로 시행된 후 생성된 데이터의 통합과 분석, 그리고 분석된 데이터를 임상적으로 올바르게 활용하기 위한 서비스가 유기적으로 잘 조화되어야 성공적인 환자 관리가 가능하고 할 수 있다.

DATA GENERATION AND MEASUREMENT

스마트폰 및 다양한 웨어러블 디바이스들의 발달로 환자들로부터 직간접적으로 생성되는 데이터의 확보가 가능해졌다. 물론 이러한 방법으로 수집된 PGHD는 병원 밖에서 생성되는 데이터이므로, 다양한 상황에서 다수의 대상자들을 대상으로 검증될 필요가 있다. 이를 위하여 환자들로부터 생성되는 다양한 데이터를 측정하는 방법을 설계 및 개발하고, 그 실현 가능성을 확인하는 다양한 연구들이 선보이고 있다.¹⁶⁾¹⁷⁾ 실제 스마트폰 어플리케이션(앱)에 관한 디지털 헬스케어 관련 연구의 50%는 사용자의 PGHD를 수집하는 ‘데이터의 생성’과 관련된 연구였다. **Table 1**은 심뇌혈관 진단, 예방 및 관리를 데이터의 생성과 모니터링에 대한 연구들이다.

스마트폰 및 다양한 웨어러블 디바이스들을 심뇌혈관 질환의 건강 관리에 이용하고자 하는 시도는, 단순히 가능성 측면에서 벗어나 임상적으로 긍정적인 효과 여부를 증명하는 단계로 발전되었다.¹⁸⁾¹⁹⁾ 이미 심뇌혈관 질환의 관리를 위해 이러한 기기들을 활용하여 생활습관 행

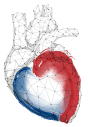


Table 1. A sample of studies on patient-generated health data for the prevention and management of cardiovascular diseases

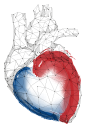
Study	Data	Research purpose/method	Findings	Limitations/future work
Lee et al. ¹⁸⁾	Blood pressure	Proposed blood pressure estimation algorithm using the relationship between blood flow and electrocardiogram results	Pulse wave velocity was strongly correlated with blood pressure	Stronger correlation with diastolic blood pressure than systolic blood pressure, which directly related to pulse wave
Prokhorov et al. ¹⁹⁾	Low-frequency oscillation of the pulse and blood flow (index [which may worsen during acute myocardial infarction and hypertension])	Developed a mobile app to measure 24-hour pulse and blood flow data to assess cardiovascular status in real time, continuously record photoplethysmogram signals from the finger, and monitor synchronization of pulse and vibration of blood flow	The difference between the index s value calculated only using the photoplethysmogram and the index s value calculated on the electrocardiogram as well was less than 2%	Earlobe data for photoplethysmograms will be added
Ahn and Cho ²⁰⁾	Heart sounds	Machine learning technique assessed cardiovascular disease using heart sounds obtained via smartphone	Age negatively related to the ease of the analysis of heart murmur	Results confirmed only on android devices using limited data (no atrial fibrillation and diastolic murmur)
Lee and Jung ²¹⁾	Heartrate	Photoplethysmogram sensor measured heartrate and transmitted the RR interval* to a personal computer	Statistically significant correlation with heartrate measurement equipment	Further miniaturization and measurement on smartphone
Fang et al. ²²⁾	Electrocardiogram, heartrate, blood pressure, globin insulin, electroencephalogram, and so on	Device measurement and patient self-measurement	Designed a mobile early warning system that immediately alerts the patient's guardian, medical staff, and/or nearby hospital	After collecting data, it is necessary to identify anomalies to further develop and implement the system
Lee et al. ²³⁾	Electrocardiogram, arterial pulse wave, pulse wave velocity, accelerated arterial pulse wave	Monitored cardiovascular system via wrist device with data sent to smartphone via Bluetooth in real time	Arterial pulse wave measurement error less than 1%	Needs future verification with many other patients
Villamil et al. ²⁴⁾	Mobile electrocardiogram	Calculated cardiovascular risk with electrocardiogram data transmitted to electronic medical records	Cardiovascular risk assessed on android devices in low- and middle-income countries	Needs verification with electrocardiogram measured using 3 leads
Shyamkumar et al. ²⁵⁾	Electrocardiogram, heartrate, blood pressure	- Shirt sensor (e-bro) for men and bra sensor (e-bra) for women - Transmits electrocardiogram, heartrate, and blood pressure data to personal computer and smartphone	- Tracked chronic conditions related to autonomous nervous regulation of cardiac activity - Detected t-wave inversion	Needs an app to check the data using a wearable sensor that monitors breathing and blood oxygen levels
Kim ²⁶⁾	Aging index	Detect and evaluate vascular stiffness in real time using a smartphone	Vascular stiffness monitoring provided a preventive approach	Needs verification by many other patients in more diverse environments

*The time elapsed between 2 successive R-waves of the QRS signal on the electrocardiogram and its reciprocal, the heartrate; a function of intrinsic properties of the sinus node as well as autonomic influences.

동 및 질환 관리 자체를 개선하고자 하는 연구에서 긍정적인 결과들이 다수 발표되었다.¹⁶⁾¹⁷⁾ 이러한 방법은 원거리에서도 지속적으로 환자를 관리할 수 있었기에 건강 관리 비용을 절감하는 효과적인 솔루션으로 제공될 수 있었다.²⁰⁾

특히 PGHD가 다른 데이터들보다 더 관심을 받는 이유는 PGHD가 병원 내에서 측정된 데이터뿐만 아니라 환자가 대부분의 시간을 보내는 병원 밖 환자의 데이터로 구성되기 때문이다. 병원 밖 일상생활에서 얻어질 수 있는 가장 단순한 항목인 걸음 수 측정만으로도 임상적 효과가 검증되었으며,²¹⁾ 최근에는 심전도, 맥박, 체온, 부분 근전도 및 땀의 pH 등 다양한 건강 데이터를 측정할 수 있는 웨어러블 기기가 개발되고 있다.²²⁻²⁶⁾ 실제로 이러한 기기를 활용한 연구들은 심뇌혈관 질환의 1차 예방뿐만 아니라 심장 재활 분야에서도 활용되어 임상에서의 PGHD의 활용 가능성을 보여주고 있다.

이러한 데이터를 측정하는 시계, 셔츠 형태의 웨어러블 기기가 데이터 생성 및 측정에서는 가능성을 보여주고 있으나 대부분 실생활에서 활용되기에는 사용성과 편의성을 갖추지 못하고 있으며, 임상적 실효성에 대한 검증이 부족한 것이 현실이다. 더욱이 의료진이 수집된



데이터를 기반으로 환자에게 피드백을 제공하는 서비스가 실현된다면 가장 이상적일 것으로 보이지만, 현재의 법률적, 임상적 상황으로는 시기 상조인 듯하다.

DATA INTEGRATION

다양한 방법으로 수집된 데이터를 분석하기 위해서는 데이터가 통합되어야 하고, 이를 위해서는 플랫폼이 필요하다. 심뇌혈관 분야 이외에서도 이미 다양한 플랫폼에 대한 연구가 진행되고 있다. 연구 포털, 모바일 앱, 데이터베이스, 데이터 모델링 및 분석 도구가 포함된 통합형 플랫폼 ‘Beiwe’이 개발되었으며, 일상생활에서 질병의 증상 및 행동 징후를 포착하고, 그 데이터를 순간적으로 정상화하는 플랫폼 등이 제공되고 있다.³⁶⁾ 플랫폼은 최대한 단순하고 직관적이며 쉽게 작동이 가능해야 한다. 국내에서는 심혈관 질환 예방을 위하여 운동, 고혈압/당뇨 복약 관리, 혈압/혈당 관리, 금연을 보조하는 통합형 모바일 플랫폼 “Heartbeat” 디자인 연구가 진행되었다.³⁷⁾ 추후에는 디자인 연구의 발전된 형태인 심뇌혈관 건강 예방 및 관리를 위한 플랫폼의 실현 및 효과 검증 연구가 필요할 것이다.

PRACTICAL USES OF PGHD DATA

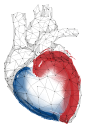
PGHD는 환자들로부터 실시간으로, 그리고 지속적으로 측정된다는 강력한 장점을 가진다. 이는 환자를 실시간으로 모니터링 하는 것이 가능하다는 의미이다. 추가적으로 의료진의 직접적인 모니터링과 피드백이 실시간으로 적용된다면 좋겠지만, 이는 현실적으로 불가능해 보인다. 하지만 다양한 양질의 데이터가 축적되고, 그에 대한 방법론적인 분석 기술이 향상되면서, 환자들에게 서비스가 가능한 데이터 중심의 피드백이 주를 이루고 있다.

PGHD for providing services

생성된 데이터를 수집하고 통합하여 최종적으로 이루고자 하는 것은, 환자의 심뇌혈관 질환의 예방과 관리가 가능한 서비스의 실현일 것이다. 실제로 심혈관 질환 고위험군에게 다양한 서비스를 통해 생활습관 개선을 시도한 결과, 복부둘레 및 이상지질혈증 수치가 긍정적으로 변화하였다.³⁸⁾ 향후에는 모션 인식 센서와 같은 다양한 센서를 통한 건강 데이터의 분석 그리고 의료진의 정밀하고 직접적인 피드백이 가능해질 것이다.³⁹⁾ 실제로 미국정신의학회 (The American Psychiatric Association)의 스마트폰 앱 평가 워크그룹과 매사추세츠 정신과 학회의 건강정보 기술 위원회는 모바일 앱 평가 모델을 개발하여 정신건강 관리를 위하여 적절히 활용될 수 있는 앱 평가 기준 및 온라인 양식을 협회 홈페이지에 게시하고 있다.⁴⁰⁾ 하지만 국내의 경우 의료진이 모바일 앱을 평가한다 하더라도 실질적으로 그것을 환자 치료에 활용하는 것은 쉽지 않다. 그러다 보니 앱을 통해 수집된 데이터를 치료에 활용하는 서비스는 불가능에 가깝다. 이러한 이유로 국내에서는 임상 데이터를 기반으로 한 임상 의사 결정 지원 시스템 (Clinical decision support system, CDSS)에 관심을 가지게 되었다.

PGHD to support clinical decisions

디지털 헬스케어의 근본적인 목적 중 하나는 의료진과 의료 소비자 간의 데이터 공유이다. 건강관리를 위한 원격 의료의 수요가 매우 높음에도 불구하고, 국내에서는 질병 관리와 예방

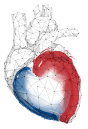


을 위한 데이터 공유가 규제대상인 원격진료의 일부로 분류되어 난항을 겪고 있다.⁴¹⁾ 결국 디지털 헬스케어의 활성화를 위해서는 환자 스스로가 건강정보에 대한 습득 능력이 높아져야 한다는 것이다. 그 습득 능력을 높이기 위해서는 환자 본인이 스스로의 상황에 대해서 알아야 한다. 본인의 상태가 어떠 한지 스스로 해석할 수 있어야 본인의 건강 데이터를 관리할 수 있는 수준이 되는 것이다. 이를 위해서는 다양한 피드백이 환자들에게 지속적으로 제공되어야 한다. 의료진의 직접적이고 실시간 개입이 없이도, 환자 스스로 데이터 중심의 상태 분석 및 해석이 가능할 수 있도록 알고리즘 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 모바일 센서를 통하여 수집된 심박수를 스마트폰으로 전송하여 심혈관질환의 진단에 도움을 주는 모바일 임상 의사결정 시스템이 개발되고 효과가 검증되었다.⁴²⁾ 미 국립심장폐혈액연구소 (National Heart, Lung, and Blood Institute, NHLBI)에서는 10년간의 약 4000명의 데이터를 훈련하여 개발된 모바일 기반 심혈관질환 예측 및 예방 시스템으로 단순 진단뿐만 아니라 스코어 알고리즘을 활용하기도 하였다. 이를 이용하여 환자의 심혈관 질환의 위험요소를 감소시키고, 생활 습관을 변화시키기 위한 건강관리 가이드 정보까지 제공하였다고 한다.⁴³⁾ 2016년 유럽 지역의 의사들을 대상으로 시행된 설문 조사 결과에 따르면 대부분의 의사가 심혈관 질환 예방에 대한 가이드라인을 알지만 실제로는 시간부족, 지식부족 등의 이유로 36-57%의 의사만이 가이드라인을 실제로 준수하고 있었다. 가이드라인의 실제적인 활용도를 높이기 위하여 앞선 연구들과 같이 모바일 기술을 통하여 이러한 상황을 극복할 수 있을 것이다.⁴⁴⁾ 앞으로 기술이 더욱 빠르게 발전하면서 미래의 스마트폰 앱에는 대화가 가능한 챗봇(chatbot)과 증강 현실(augmented reality, AR), 가상현실(virtual reality, VR)과 같은 기술을 활용할 수 있을 것이기에, 앱의 잠재적 추천자로서 의료진은 실무에서 적절한 임상 의사 결정을 하기 위해 이러한 기술에 친숙해질 필요가 있을 것이다.⁴⁵⁾

CONCLUSION

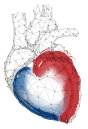
본 연구에서는 심뇌혈관질환의 치료와 예방을 위하여 데이터의 수집, 통합 및 활용의 관점으로 시행된 최근의 연구 트렌드를 살펴보았다. 그 결과 데이터의 수집은 실효성 및 임상에서의 그 효과성이 검증되고 있는 단계이지만, 통합 및 활용은 아직 설계 단계이거나 제한된 상황에서의 검증만이 이루어진 연구들이 주를 이루었다. 이러한 현상은 국외에 비하여 국내에 더욱 뚜렷하게 나타났다.

지속적으로 언급한 바와 같이 건강관리 서비스에 의료진의 적극적인 피드백이 없는 현 상황에서 데이터 중심의 건강관리 서비스는 당분간 지속될 것으로 보인다. 하지만 궁극적으로, 환자들로부터 생성되는 데이터의 해석에 있어서 가장 중요한 부분은, 과연 이 데이터의 분석 결과가 의학적으로 타당하고 실현 가능성이 있느냐라는 것이다. 심뇌혈관 질환 예방의 도구로서 스마트폰 앱과 웨어러블 기기와 같은 모바일 기술의 역할들이 강조되었지만, 아직까지는 그 가능성 및 제한된 환경에서의 임상적 효과를 증명한 것에 불과하다. 실제 임상적으로 유용한 결과를 얻어내기 위하여 혹은 현실적으로 적용 가능하게 하기 위해서는 데이터의 분석을 통한 알고리즘만으로는 부족할 것이다. 의학적인 개념이 도입되어야 실제적으로 활용 가능한 지식으로 발전이 가능하기에, 향후 지속적인 의료진들의 관심이 필요하다.

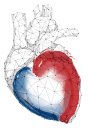


REFERENCES

1. World Health Organization (WHO). Cardiovascular diseases (CVDs) [Internet]. Geneva: WHO; 2017 May [cited 2019 August 27]. Available from [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)).
2. Statistics Korea. Cause of mortality for 2017 [Internet]. Daejeon: Statistics Korea; 2018 September [cited 2019 August 27]. Available from http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/3/index.board?bmode=read&aSeq=370711&pageNo=8&rowNum=10&amSeq=&sTarget=&sTxt=.
3. Division of Chronic Disease Prevention, Korea Centers for Disease Control & Prevention (KCDC). National health proposal for the effective prevention of cardiovascular diseases [Internet]. Cheongju: KCDC; 2018 October [cited 2019 August 27]. Available from http://www.cdc.go.kr/CDC/cms/content/mobile/14/140914_view.html.
4. World Health Organization (WHO). Preventing noncommunicable diseases [Internet]. Geneva: WHO; 2018 October [cited 2019 August 27]. Available from <https://www.who.int/ncds/prevention/introduction/en/>.
5. Dimitrov DV. Medical internet of things and big data in healthcare. *Healthc Inform Res* 2016;22:156-63.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
6. Harari GM, Lane ND, Wang R, Crosier BS, Campbell AT, Gosling SD. Using smartphones to collect behavioral data in psychological science: opportunities, practical considerations, and challenges. *Perspect Psychol Sci* 2016;11:838-54.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
7. Bisio I, Lavagetto F, Marchese M, Sciarone A. A smartphone-centric platform for remote health monitoring of heart failure. *Int J Commun Syst* 2015;28:1753-71.
[CROSSREF](#)
8. Correia AC, Marques A, Pereira J. IoT platform: contribution to the promotion of mental health and wellbeing. *Proceedings (MDPI)* 2019;21:13.
[CROSSREF](#)
9. Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS). mHealth app essentials: patient engagement, considerations, and implementation [Internet]. Chicago, IL: HIMSS; 2015 February [cited 2019 August 27]. Available from <https://www.himss.org/mhealth-app-essentials-patient-engagement-considerations-and-implementation>.
10. De Mauro A. What is big data? A consensual definition and a review of key research topics. *AIP Conf Proc* 2015;1664:97.
[CROSSREF](#)
11. Kim HS, Lee S, Kim JH. Real-world evidence versus randomized controlled trial: clinical research based on electronic medical records. *J Korean Med Sci* 2018;33:e213.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
12. Kim HS, Kim JH. Proceed with caution when using real world data and real world evidence. *J Korean Med Sci* 2019;34:e28.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
13. U.S. Food and Drug Administration (FDA). Real-world evidence [Internet]. Silver Spring, MD: FDA; 2019 March [cited 2019 August 27]. Available from <https://www.fda.gov/science-research/science-and-research-special-topics/real-world-evidence>.
14. Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS). Value of patient-generated health data (PGHD) [Internet]. Chicago, IL: HIMSS; 2014 [cited 2019 August 27]. Available from <https://www.himss.org/file/1262901/download?token=ByOEIht>.
15. Kim HS, Choi W, Baek EK, Kim YA, Yang SJ, Choi IY, Yoon KH, Cho JH. Efficacy of the smartphone-based glucose management application stratified by user satisfaction. *Diabetes Metab J* 2014;38:204-10.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
16. Kim HS, Lee KH, Kim H, Kim JH. Using mobile phones in healthcare management for the elderly. *Maturitas* 2014;79:381-8.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
17. Kim HS, Hwang Y, Lee JH, Oh HY, Kim YJ, Kwon HY, Kang H, Kim H, Park RW, Kim JH. Future prospects of health management systems using cellular phones. *Telemed J E Health* 2014;20:544-51.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
18. Lee SS, Lee KH, Kim SM, Lee HJ, Lee BH, Kim KS, Lee JW. A study on the estimation of blood pressure based on the magneto-plethysmography for smart healthcare. *Trans Korean Inst Elect Eng* 2018;67:917-27.
[CROSSREF](#)



19. Prokhorov MD, Kulminskiy DD, Borovkova EI, Karavaev AS, Ponomarenko VI, Kiselev AR, Bezruchko BP. Mobile device for monitoring of cardiovascular system state based on assessment of synchronization of its low-frequency Rhythms. *Open Hypertens J* 2018;10:46-51.
[CROSSREF](#)
20. Ahn JY, Cho BG. Smart phone auscultation for early diagnosis of cardiovascular disease. *KIISE 2017 Korea Software Congress*; 2017 December 20–22; Busan. Seoul: KIISE; 2017.
21. Lee WS, Jung GK. Implementation of heart rate monitoring system using PPG sensor. *J Inst Electron Eng Korea* 2017;54:138-42.
22. Fang Y, Li C, Sun L. Design of an early warning system for patients with cardiovascular diseases under mobile environment. *Procedia Comput Sci* 2016;96:819-25.
[CROSSREF](#)
23. Lee KJ, Song KS, Roh TH, Yoo HJ. A wrist watch-type cardiovascular monitoring system using concurrent ECG and APW measurement. *J Semicond Technol Sci* 2016;16:702-12.
[CROSSREF](#)
24. Villamil CA, Landínez SF, López DM, Blobel B. A mobile ECG system for the evaluation of cardiovascular risk. *Stud Health Technol Inform* 2016;228:210-4.
[PUBMED](#)
25. Shyamkumar P, Rai P, Oh S, Ramasamy M, Harbaugh R, Varadan V. Wearable wireless cardiovascular monitoring using textile-based nanosensor and nanomaterial systems. *Electronics (Basel)* 2014;3:504-20.
[CROSSREF](#)
26. Kim MY. Evaluation of blood vessel stiffness index using optical recording with a smart phone [master's thesis]. Seoul: Yonsei University; 2012.
27. Kim HS, Cho JH, Yoon KH. New directions in chronic disease management. *Endocrinol Metab (Seoul)* 2015;30:159-66.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
28. Kim HS, Kim H, Lee S, Lee KH, Kim JH. Current clinical status of telehealth in Korea: categories, scientific basis, and obstacles. *Healthc Inform Res* 2015;21:244-50.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
29. Piette JD, List J, Rana GK, Townsend W, Striplin D, Heisler M. Mobile health devices as tools for worldwide cardiovascular risk reduction and disease management. *Circulation* 2015;132:2012-27.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
30. Wang JB, Cadmus-Bertram LA, Natarajan L, White MM, Madanat H, Nichols JF, Ayala GX, Pierce JP. Wearable sensor/device (Fitbit One) and SMS text-messaging prompts to increase physical activity in overweight and obese adults: a randomized controlled trial. *Telemed J E Health* 2015;21:782-92.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
31. Kroll RR, Boyd JG, Maslove DM. Accuracy of a wrist-worn wearable device for monitoring heart rates in hospital inpatients: a prospective observational study. *J Med Internet Res* 2016;18:e253.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
32. Steinhubl SR, Waalen J, Edwards AM, Ariniello LM, Mehta RR, Ebner GS, Carter C, Baca-Motes K, Felicione E, Sarich T, Topol EJ. Effect of a home-based wearable continuous ECG monitoring patch on detection of undiagnosed atrial fibrillation: the mSToPS randomized clinical trial. *JAMA* 2018;320:146-55.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
33. Nakata S, Arie T, Akita S, Takei K. Wearable, flexible, and multifunctional healthcare device with an ISFET chemical sensor for simultaneous sweat pH and skin temperature monitoring. *ACS Sens* 2017;2:443-8.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
34. Urrea B, Misra S, Plante TB, Kelli HM, Misra S, Blaha MJ, Martin SS. Mobile health initiatives to improve outcomes in primary prevention of cardiovascular disease. *Curr Treat Options Cardiovasc Med* 2015;17:59.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
35. Maddison R, Rawstorn JC, Rolleston A, Whittaker R, Stewart R, Benatar J, Warren I, Jiang Y, Gant N. The remote exercise monitoring trial for exercise-based cardiac rehabilitation (REMOTE-CR): a randomised controlled trial protocol. *BMC Public Health* 2014;14:1236.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
36. Torous J, Kiang MV, Lorme J, Onnela JP. New tools for new research in psychiatry: a scalable and customizable platform to empower data driven smartphone research. *JMIR Ment Health* 2016;3:e16.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
37. Lee JH. Mobile healthcare service application "Heartbeat": focusing on cardiovascular disease risk factor [master's thesis]. Seoul: Hongik University; 2016.



38. Woo SH. Development and assessment of social network service (SNS)-based lifestyle modification program for workers at high risk of developing cardiovascular diseases [master's thesis]. Seoul: Yonsei University; 2013.
39. Seok CH, Kim HP. Remote diet system using kinect motion recognition and heart rate and body fat value. ICEE Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers; 2016 July 3-7; Okinawa. Seoul: The Korean Institute of Electrical Engineers; 2016.
40. American Psychiatric Association (APA). A new system to help you evaluate mental health apps [Internet]. Washington, D.C.: APA; 2016 November [cited 2019 August 27]. Available from <https://www.psychiatry.org/news-room/apa-blogs/apa-blog/2016/11/a-new-system-to-help-you-evaluate-mental-health-apps>.
41. Kim HK, Lee MS. A study on the regulation status and improvement method of telemedicine - focusing on user perception survey -. J Korean Assoc Reg Inf Soc 2019;22:27-51.
42. Chae HS. A study of mobile CDSS for cardiovascular disease diagnosis [master's thesis]. Cheongju: Chungbuk National University, 2015.
43. Ban V. Patient monitoring system based on smart healthcare environment for predicting cardiovascular disease [master's thesis]. Iksan: Wonkwang University, 2016.
44. Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, Cooney MT, Corrà U, Cosyns B, Deaton C, Graham I, Hall MS, Hobbs FD, Løchen ML, Löllgen H, Marques-Vidal P, Perk J, Prescott E, Redon J, Richter DJ, Sattar N, Smulders Y, Tiberi M, van der Worp HB, van Dis I, Verschuren WM, Binno S; ESC Scientific Document Group. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). Eur Heart J 2016;37:2315-81.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
45. Perry K, Shearer E, Sylvers P, Carlile J, Felker B. mHealth 101: an introductory guide for mobile apps in clinical practice. J Technol Behav Sci 2019;4:162-9.
[CROSSREF](#)