

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2023.01.14

Адреса для листування:

вул. Освицька 15/12, м. Львів, Україна

Е-пошта: zoryanabilous@gmail.com

Надійшла до редакції: 12.03.2023

Прийнята до друку: 22.05.2023

Опублікована: 30.06.2023

ORCID IDs

Олексій Башкірцев:

<https://orcid.org/0000-0002-0558-7555>

Віра Гаєвська:

<https://orcid.org/0000-0002-6861-1970>

Зоряна Білоус:

<https://orcid.org/0000-0002-8301-2474>

Лілія Лиса:

<https://orcid.org/0009-0003-0192-642X>

Олена Зімба:

<https://orcid.org/0000-0002-4188-8486>

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Особистий внесок авторів:

Створення концепції: Олексій Башкірцев, Олена Зімба;

Результати дослідження: Олексій Башкірцев, Віра Гаєвська, Олена Зімба, Зоряна Білоус, Лілія Лиса;

Написання: Віра Гаєвська, Олена Зімба, Зоряна Білоус, Лілія Лиса;

Редагування та затвердження остаточного варіанту: Олена Зімба.

Дозвіл комісії з питань біоетики: для даного дослідження не потрібне схвалення комісії з питань біоетики.

Фінансування: автори не отримали жодної фінансової підтримки свого дослідження.



© Всі автори, 2023

Дистанційний моніторинг серцево-судинних хвороб 5P (Predictive, Preventive, Participatory, Personalized і Precision): прогрес під час пандемії COVID-19

Олексій Башкірцев¹, Віра Гаєвська^{1,3}, Зоряна Білоус³,
Лілія Лиса², Олена Зімба^{1, 3}

¹Відділ пошуку і інновацій, медичний центр Едем, Стрілки, Україна

²Київський медичний університет, Київ, Україна

³Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, Львів, Україна

COVID-19 став глобальною пандемією, яка вплинула на життя мільярдів людей. Клінічні дослідження показали зв'язок між COVID-19 і серцевими захворюваннями. Спостереження за пацієнтом на відстані за допомогою переносних датчиків впливає на медичне обслуговування, дозволяючи контролювати стан здоров'я за межами клініки. Такі переносні пристрої можуть забезпечити неінвазивну та безперервну багатопараметричну оцінку ЕКГ, варіабельності серцевого ритму, артеріального тиску, сатурації кисню та частоти дихання. Такий моніторинг може допомогти передбачити та запобігти серцево-судинним подіям, пов'язаним з COVID-19, і відповідає зростаючій потребі у новому підході до медицини 5P (Predictive, Preventive, Participatory, Personalized і Precision). Ця стаття мала на меті розглянути досягнення та перспективу переносних пристроїв для моніторингу серцевої діяльності та їх клінічне застосування під час пандемії COVID-19. Ми провели бібліометричний аналіз за допомогою Scopus, найбільшої та добре організованої бази даних і проаналізували найбільш цитовані статті за цією тематикою. Наш аналіз включає огляд найпоширеніших практичних методів віддаленого моніторингу пацієнтів, орієнтованих на серцево-судинні захворювання, пов'язаних з переносними персоналізованими пристроями. Недавні дослідження показали, що серцеві аномалії присутні у 19,7-27,8 % госпіталізованих пацієнтів із COVID-19. Часто виникають асоційовані з COVID-19 міокардити та порушення серцевого ритму. Дані кількох досліджень виявили фібриляцію передсердь як найпоширенішу форму аритмії у пацієнтів з COVID-19. Погіршення вже наявної фібриляції передсердь у пацієнтів з COVID-19 також викликає серйозне клінічне занепокоєння. Використання переносних ЕКГ-пристроїв для дистанційного моніторингу може покращити ведення пацієнтів з фібриляцією передсердь та осіб із високим ризиком її розвитку.

Телекардіологія, яка базується на переносних пристроях і дистанційному моніторингу дозволяє у позалікарняних умовах контролювати пацієнтів з COVID-19 і пацієнтів з хронічними захворюваннями з високим ризиком гострих серцево-судинних подій, забезпечуючи їх раннє виявлення та відстеження.

Телекардіологія, яка базується на переносних пристроях і дистанційному моніторингу дозволяє у позалікарняних умовах контролювати пацієнтів з COVID-19 і пацієнтів з хронічними захворюваннями з високим ризиком гострих серцево-судинних подій, забезпечуючи їх раннє виявлення та відстеження.

Ключові слова: персоналізована медицина, COVID-19, віддалений моніторинг, переносні пристрої, телемедицина, цифрове здоров'я, аритмії, серцево-судинні захворювання, міокардит.

Remote Monitoring for 5P (Predictive, Preventive, Participatory, Personalized, and Precision) cardiovascular medicine: Progress Amidst COVID-19 Pandemic

Oleksiy Bashkirtsev¹, Vira Gaevska^{1,3}, Zoriana Bilous³,
Lysa Liliia², Olena Zimba^{1,3}

¹Department of Research and Innovation, Edem Medical Center, Strilky, Ukraine

²Kyiv Medical University, Kyiv, Ukraine

³Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine

The novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) has emerged as a global pandemic that has affected the lives of billions of people. Clinical studies have reported an association between COVID-19 and cardiac diseases. Remote monitoring powered by wearable sensors impacts medical care by enabling health monitoring outside of the clinic. Wearable devices can provide a noninvasive and continuous multi-parameter assessment of ECG, Heart Rate Variability, arterial blood pressure, oxygen saturation and respiratory rate evaluation. Such monitoring may help predict and prevent cardiovascular events related to COVID-19 addresses the growing demand for a novel 5P (Predictive, Preventive, Participatory, Personalized, and Precision) medicine approach. This article aimed to review current and prospective advances in wearable devices for cardiac monitoring and their progress toward clinical application during the COVID-19 pandemic. We performed bibliometric analysis by Scopus, the largest and well organized bibliographic database and analyzed the top-cited articles in this field. Our analysis includes an overview of the most widespread practical implications of CVD-focused remote patient monitoring techniques based on wearable personalized devices. Assessment for both COVID-related conditions and general cases is included in the analysis. Recent studies have reported that cardiac abnormalities present in 19.7-27.8 % of hospitalized patients with COVID-19. COVID-19 associated myocarditis and heart rate abnormalities frequently occur. Additionally, patients with pre-existing CVD and hypertension are at high risk of worse outcomes. Data from several studies have identified atrial fibrillation as the most common form of arrhythmias in COVID-19 patients. Worsening of existing atrial fibrillation in COVID-19 patients is also a serious clinical concern. Implementation of wearable ECG devices for remote monitoring can improve the management of patients with atrial fibrillation and those at high risk for its development. Telecardiology based on wearable devices and remote monitoring allow out-of-hospital control of COVID-19 patients and patients suffering from chronic diseases at high risk of acute cardiovascular events, ensuring their early detection and tracking.

Keywords: Personalized medicine, COVID-19, remote monitoring, wearable devices, telemedicine, digital health, arrhythmias, cardiovascular diseases, myocarditis.

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2023.01.14

For correspondence: Lviv, Osvytska str. 15/12, 79010

E-mail: zoryanabilous@gmail.com

Received: 12 Mar, 2023

Accepted: 22 May, 2023

Published: 30 June, 2023

ORCID IDs

Oleksiy Bashkirtsev:

<https://orcid.org/0000-0002-0558-7555>

Vira Gaevska:

<https://orcid.org/0000-0002-6861-1970>

Zoriana Bilous:

<https://orcid.org/0000-0002-8301-2474>

Liliia Lysa:

<https://orcid.org/0009-0003-0192-642X>

Olena Zimba:

<https://orcid.org/0000-0002-4188-8486>

Disclosures: The authors declared no conflict of interest.

Author contributions:

Conceptualization: Oleksiy Bashkirtsev, Olena Zimba;

Results of study: Oleksiy Bashkirtsev, Vira Gaevska, Zoriana Bilous, Lysa Liliia, Olena Zimba;

Writing: Vira Gaevska, Zoriana Bilous, Lysa Liliia, Olena Zimba;

Review & editing: Olena Zimba.

Ethical approval: This study did not require ethical approval.

Funding: The authors received no financial support for their study.



© All authors, 2023

Вступ

Нова коронавірусна хвороба 2019 (COVID-19) стала глобальною пандемією, яка вплинула на життя мільярдів людей. Клінічні дослідження показали зв'язок між COVID-19 і серцевими захворюваннями [1]. Пацієнти з уже існуючими супутніми захворюваннями, такими як серцево-судинні захворювання (ССЗ) і гіпертонія, мають підвищений ризик несприятливих результатів, включаючи смерть. COVID-19 може викликати міокардит, аритмію, інфаркт міокарда та венозну тромбоемболію [2, 3]. Потенційні побічні ефекти лікування COVID-19, наприклад подовження інтервалу QT також може бути серйозною проблемою [4].

Дистанційне спостереження за допомогою приладів, що носяться на тілі, впливає на якість надання медичної допомоги, дозволяючи контролювати стан здоров'я за межами клініки. Переносні пристрої можуть забезпечити неінвазивну та безперервну багатопараметричну оцінку ЕКГ, варіабельності серцевого ритму, артеріального кров'яного тиску, сатурації кисню та частоти дихання [5]. Такий моніторинг може допомогти передбачити та запобігти серцево-судинним подіям, пов'язаним з COVID-19, задовольняючи зростаючий попит на новий підхід до медицини 5P (Predictive, Preventive, Participatory, Personalized, and Precision) [6]. Крім того, розширення використання методів дистанційного моніторингу пацієнтів виходить далеко за рамки випадків пов'язаних з COVID-19. Прилади, використання яких набуває все більшого поширення під час пандемії, впливають на глобальну громадську охорону здоров'я. Ця зміна допоможе медичним працівникам, які працюють із серцево-судинними захворюваннями – головною причиною смерті в усьому світі.

Ця стаття мала на меті розглянути поточні та перспективні досягнення в галузі переносних пристроїв для моніторингу серцевої діяльності та їх клінічну потребу у застосуванні під час пандемії COVID-19. Також обговорюються поточні невирішені проблеми та наявні прогалини.

Матеріали та методи

Ми провели бібліометричний аналіз за допомогою Scopus, найбільшої та добре ор-

ганізованої бібліографічної бази даних, і проаналізували найбільш цитовані статті в цій галузі. Для пошуку літератури ми використовували терміни Національної медичної бібліотеки медицини (NLM) Medical Subject Headings (MeSH): («пристрої, які можна носити», «технології, що носяться», «дистанційне спостереження», COVID-19, «ЕКГ», «аритмія», «інфаркт міокарда», «гострий коронарний синдром», «серцева недостатність»).

Вимірювання соціального впливу статей проводилося за допомогою даних Altmetric (<https://www.altmetric.com/>). Вплив статей на суспільство оцінювали з огляду на альтернативні показники, доступні на Altmetric.com. Крім того, ми створили візуалізаційні карти спільного використання авторів і ключових слів за допомогою програмного засобу VOSviewer версії 1.6.15. Ми обмежили кількість ключових слів і авторів для створення мережі візуалізації та використали найвпливовіших. Мінімальний поріг для ключового слова було встановлено на рівні шість і п'ять для авторів.

Наш аналіз включає огляд найпоширеніших практичних наслідків технік дистанційного моніторингу пацієнтів, орієнтованих на серцево-судинні захворювання, на основі персоналізованих пристроїв, які можна носити. В аналіз включено оцінювання як захворювань, пов'язаних із COVID-19.

Результати

Станом на 27 листопада 2021 року було 271 статей, позначених вищезазначеними термінами MeSH у назві, анотації чи ключових словах. Відновлені рукописи були вручну проаналізовані на предмет їх відповідності та зв'язку з проблемою моніторингу серцево-судинної системи.

Обмежена кількість дослідників бере участь у дослідженнях дистанційного моніторингу серцево-судинної системи під час пандемії COVID-19. Деякі з цих дослідників є авторами однакових робіт (Рис. 1). США є провідною країною в цій галузі досліджень (88 статей), за ними йдуть Італія (45) і Велика Британія (27). За кількістю статей до п'ятірки лідерів увійшли журнали Sensors Switzerland, Sensors, Electronics Switzerland, IEEE Access

Introduction

The novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) has emerged as a global pandemic that has affected the lives of billions of people. Clinical studies have reported an association between COVID-19 and cardiac diseases [1]. Patients with pre-existing comorbidities such as cardiovascular disease (CVD) and hypertension have an increased risk of poor outcomes, including death. COVID-19 may induce myocarditis, arrhythmia, myocardial infarction, and venous thromboembolism [2, 3]. Potential adverse effects of COVID-19 treatment, e.g. QT prolongation, are also becoming a serious concern [4].

Remote monitoring powered by wearable sensors impacts medical care by enabling health monitoring outside the clinic. Wearable devices can provide a noninvasive and continuous multi-parameter assessment of ECG, Heart Rate Variability (HRV), arterial blood pressure (BP), oxygen saturation and respiratory rate evaluation [5]. Such monitoring may help predict and prevent cardiovascular events related to COVID-19, addressing the growing demand for a novel 5P (Predictive, Preventive, Participatory, Personalized, and Precision) medicine approach [6]. Furthermore, the increased use of remote patient monitoring techniques goes far beyond the COVID-19 cases. Techniques that are becoming more widespread during the pandemic affect global public health. This shift will aid healthcare professionals working with cardiovascular diseases, the leading cause of death globally.

This article aimed to review current and prospective advances in wearable devices for cardiac monitoring and their progress toward clinical application during the COVID-19 pandemic. Current unmet challenges and existing gaps are also discussed.

Methods

We performed bibliometric analysis by Scopus, the largest and well-organized bibliographic database and analyzed the top-cited articles in this field. For literature retrieval, we used the following National Library of Medicine (NLM) Medical Subject Headings (MeSH) terms: (TITLE-ABS-KEY "wearable devices"

OR "wearable technology" OR "remote monitoring" AND COVID-19 AND "ECG" OR "heart attack" OR "arrhythmia" OR "myocardial infarction" OR "acute coronary syndrome" OR "heart failure").

The measurement of the social impact of articles was made using Altmetric data (<https://www.altmetric.com/>). The societal impact of articles was evaluated in view of alternative metrics available on Altmetric.com. Additionally, we have created visualization maps of authors and keywords co-occurrence using the VOSviewer version 1.6.15 software tool. We limited the number of keywords and authors to create a visualization network and used the most influential one. The minimum threshold for keyword occurrence was set at six and five for authors.

Our analysis includes an overview of the most widespread practical implications of CVD-focused remote patient monitoring techniques based on wearable personalized devices. Assessment for both COVID-related conditions and general cases is included in the analysis.

Results

As of November 27, 2021, there were 271 articles tagged with the above-mentioned MeSH terms in the title, abstract, or keywords. The retrieved manuscripts were manually analyzed for their relevance and their relation to the issue of cardiovascular monitoring.

A limited number of researchers are involved in remote cardiovascular monitoring studies amidst the COVID-19 pandemic. Some of these researchers author the same works (Figure 1). The US is the leading country in this area of research (88 articles), followed by Italy (45) and the UK (27). According to the number of articles, the top five journals were *Sensors Switzerland*, *Sensors*, *Electronics Switzerland*, *IEEE Access*, and *Europace*. Cleveland Clinic Foundation, Harvard Medical School and David Geffen School of Medicine at UCLA affiliations are associated with the highest number of articles. National Institutes of Health, Medtronic, Horizon 2020 Framework Program made the most significant contribution in funding researchers in this field. The main keywords in

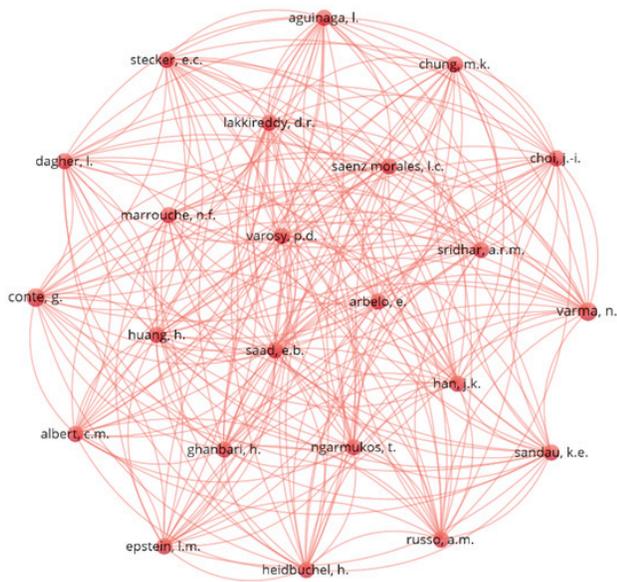


Figure 1. Author co-authorship network visualization map

this research area centered around remote monitoring, wearables, wearable devices, telemedicine, artificial intelligence, machine learning, internet of things, physiological monitoring, mobile health, telehealth, e-health (Figure 2).

Discussion

Recent studies reported cardiac abnormalities in 19.7–27.8 % of hospitalized patients with COVID-19 [1,2]. COVID-19-associated myocarditis and heart rate abnormalities occur frequently. Additionally, patients with pre-existing CVD and hypertension are at high risk of worse outcomes. The underlying mechanisms of heart involvement in coronavirus disease remain unknown. Several factors may play a role, which are SARS-CoV-2 direct myocardial injury, activation of the sympathetic nervous system, indirect impact of immunopathology and hyperinflammation, respiratory failure and hypoxia, and disturbances of electrolytes.

Data from several studies identified atrial fibrillation (AF) as the most common form of arrhythmias in COVID-19 patients [3]. The worsening of existing AF in COVID-19 patients is also a serious clinical concern. Implementing wearable ECG devices for remote monitoring can improve the management of patients with AF and those at high risk for its development [5]. The US Food and Drug Administration approved the direct-to-consumer mobile devices Apple Watch 1-lead ECG to diagnose atrial fibrillation.

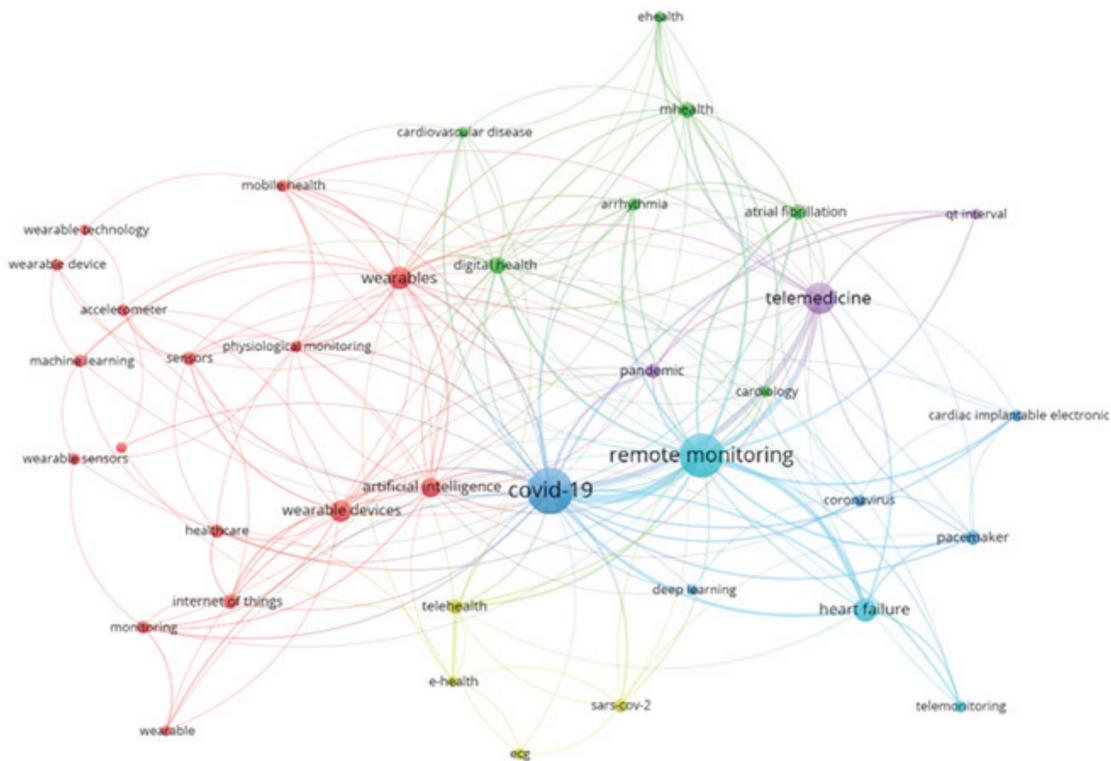


Figure 2. Visualization map of keywords

Дані кількох досліджень виявили фібриляцію передсердь (ФП) як найпоширенішу форму аритмії у пацієнтів з COVID-19 [3]. Погіршення наявної ФП у пацієнтів з COVID-19 також викликає серйозне занепокоєння. Впровадження переносних ЕКГ-пристроїв для дистанційного моніторингу може покращити ведення пацієнтів із ФП та осіб із високим ризиком її розвитку [5]. Управління з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів США схвалило використання мобільних пристроїв Apple Watch 1-lead ECG для діагностики фібриляції передсердь.

Особливе занепокоєння викликає скринінг і моніторинг COVID-19, що подовжує інтервал QT (азитроміцин, лопінавір, ритонавір тощо) [4]. Нещодавнє перевіряюче дослідження показало, що технологія ЕКГ Apple Watch з одним відведенням дозволяє проводити адекватний дистанційний моніторинг інтервалу QT у 94% випадків, включно з амбулаторними пацієнтами з COVID-19, які отримують лікування, що подовжує інтервал QT [4].

Активне впровадження безперервного серцево-судинного моніторингу за допомогою переносних пристроїв у практику охорони здоров'я було б корисним з різних причин під час пандемії COVID-19.

По-перше, прогрес у системі переносних пристроїв допомагає перекласти тягар охорони здоров'я з лікарні на домашній і громадський моніторинг, тим самим забезпечуючи стаціонарну допомогу пацієнтам, які потребують госпіталізації, і зменшуючи перехресне зараження, уникаючи інфікування під час візитів до лікарні. По-друге, такі технології дозволяють постачальникам медичних послуг дистанційно контролювати стан здоров'я пацієнтів з COVID-19 легкого ступеня тяжкості, які самоізолювалися та перебувають на домашньому карантині протягом тривалого часу, особливо тих, хто має високий ризик ураження серця, наприклад, люди літнього віку, з наявними серцево-судинними хворобами, гіпертонією та цукровим діабетом. По-третє, дистанційне домашнє спостереження за пацієнтами з

How to set up:

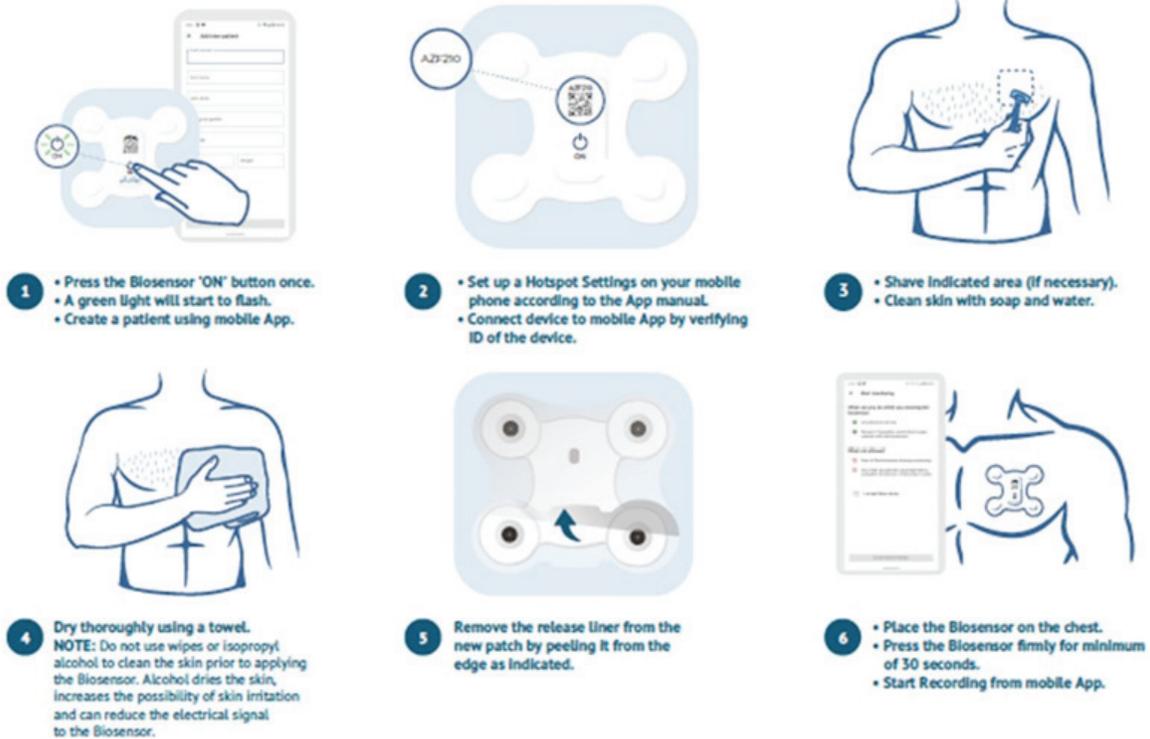


Рисунок 3. Приклад біосенсорного пластиру — багатосенсорний одноразовий пристрій для моніторингу серцевої діяльності (до 7 днів: ЕКГ у 2 відведеннях, температура, ВСП, частота дихання): одноразовий і без підзарядки акумулятора

Screening and monitoring COVID-19 QT-prolonging therapy (azithromycin, lopinavir, ritonavir etc.) is of particular concern [4]. The recent validation study found that Apple Watch 1-lead ECG technology allows adequate remote QT monitoring in up to 94% of cases, including COVID-19 outpatients on QT-prolonging treatments [4].

Active implementation of continuous cardiovascular monitoring by wearable devices in healthcare practice would be beneficial for different reasons during the COVID-19 pandemic.

First, advances in wearable technologies help shift the health care burden from hospital to in-home and public domain monitoring, thereby ensuring inpatient care for patients who need to be admitted into a hospital and reducing cross-contamination by avoiding infection during hospital visits. Second, wearable technologies allow medical care providers to remotely monitor the health status of self-isolated Covid-19 patients with mild severity and

quarantined at home over time, particularly those at high risk of cardiac involvement, e.g., older age, pre-existing CVD, hypertension and diabetes. Third, the remote home monitoring of non-COVID-19 patients with chronic illnesses is also crucial for early screening of any sudden cardiac deterioration in times of limited access to proper medical care during the pandemic.

Adhesive biosensor patches (Figure 3) and wristwatches like the Apple Watch are the most common wearables for remote ECG monitoring. Notably, the results of randomized clinical trials showed that some wearable devices have superior performance in detecting hidden arrhythmias than traditional Holter monitoring.

There are several steps involved in remote cardiac monitoring (Figure 4). The patient's vital signs are being recorded out-of-hospital. The readings are synchronized with the cloud by using an intermediary storage device, like a smartphone, or directly from remote moni-

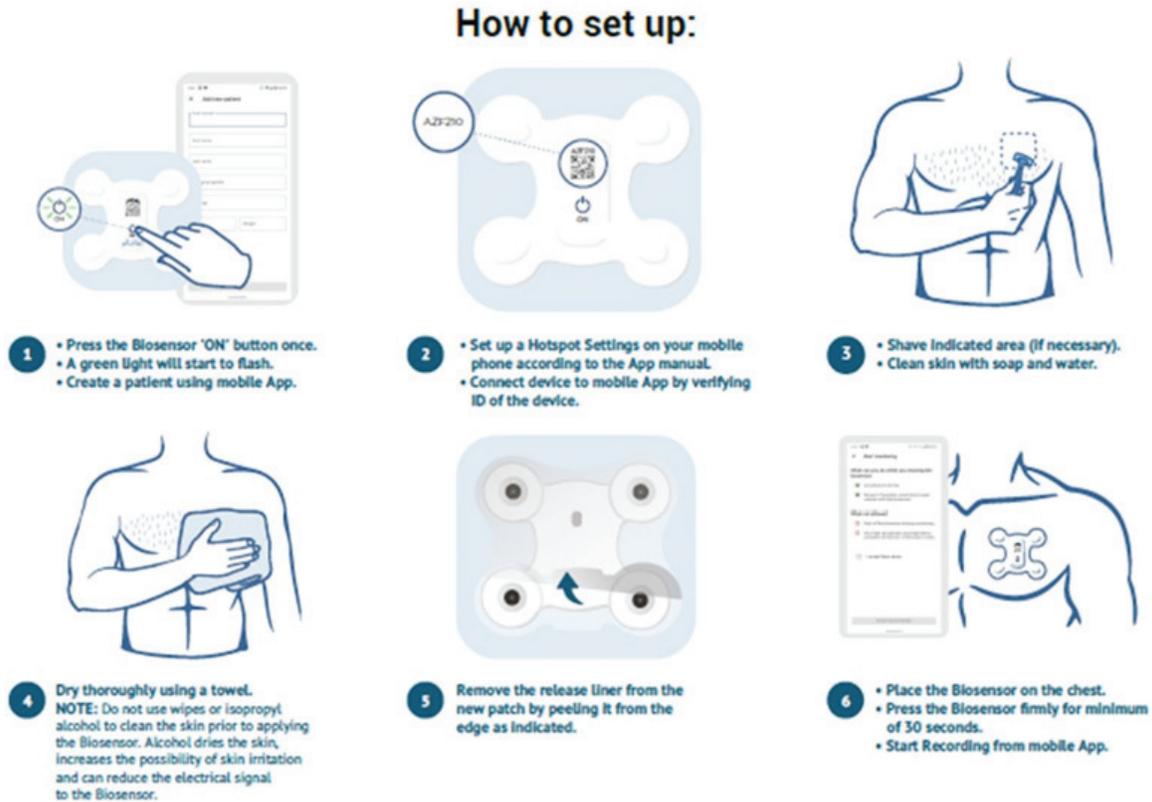


Figure 3. An example of a biosensor patch is a multi-sensor single-use device for cardiac monitoring (up to 7 days: 2 lead EKG, temperature, HRV, respiratory rate): Single-use and no battery recharging

хронічними захворюваннями без COVID-19 також має вирішальне значення для раннього скринінгу будь-якого раптового серцевого погіршення в періоди обмеженого доступу до належної медичної допомоги під час пандемії.

Клейкі біосенсорні пластири (Рис. 3) і наручні годинники, такі як Apple Watch, є найпоширенішими носіями для дистанційного моніторингу ЕКГ. Примітно, що результати рандомізованих клінічних випробувань показали, що деякі переносні пристрої мають кращу ефективність у виявленні прихованих аритмій, ніж традиційне холтеровське моніторування.

Існує кілька етапів дистанційного моніторингу серця (Рис. 4). Життєві показники пацієнта реєструються за межами клініки. Показання синхронізуються з хмарою за допомогою проміжного пристрою зберігання, наприклад смартфона, або безпосередньо з медичного обладнання для віддаленого моніторингу. Хмарне сховище та аналітика надають медичним працівникам інструмент для дистанційного відстеження даних пацієнтів. Якщо виникають симптоми серцевої дисфункції, дані надсилаються через захищену хмарну платформу до медичного працівника, що забезпечує своєчасне втручання в надзвичайних ситуаціях.

Використання персональних пристроїв для віддаленого моніторингу пацієнтів може бути обмежене декількома факторами, причому найбільш серйозною проблемою є надійна генерація потоку даних у реальних умовах. Якщо пристрій не розроблений для домашнього використання, пацієнти можуть мати проблеми з ним, що не дозволить їм вимірювати точні дані. Підключення при-

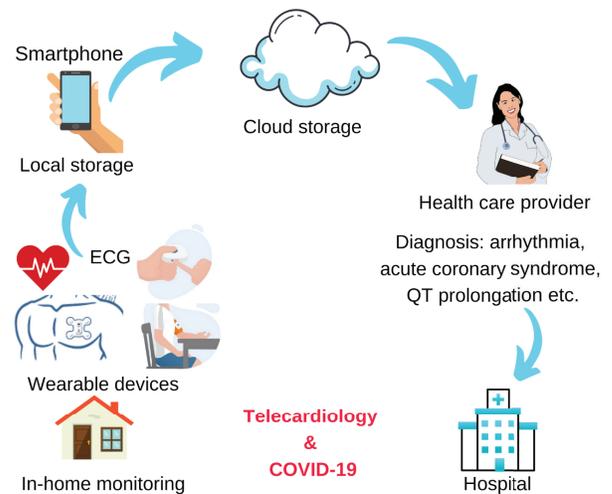


Рисунок 4. Ілюстрація дистанційного моніторингу ЕКГ та обробки даних

строю може становити особливу проблему з точки зору взаємодії з користувачем і якості з'єднання. Термін придатності батареї є ще одним обмеженням процесу вимірювання. Іншим важливим моментом є якість вимірювання життєво важливих показників. Незважаючи на те, що на ринку представлено багато споживчих переносних пристроїв які моніторять стан здоров'я, більшості з них бракує якості вимірювань, необхідної для дистанційного моніторингу пацієнтів. Про це свідчить низька кількість дозволених FDA пристроїв від немедичних брендів.

У висновках: телекардіологія, що забезпечується переносними пристроями і дистанційним моніторингом дозволяє проводити позалікарняний контроль за пацієнтами з COVID-19 і пацієнтами з хронічними захворюваннями з високим ризиком гострих серцево-судинних подій, забезпечуючи їх раннє виявлення та відстеження.

References

1. Nishiga, M., Wang, D.W., Han, Y. et al. COVID-19 and cardiovascular disease: from basic mechanisms to clinical perspectives. *Nat Rev Cardiol* 17, 543–558 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41569-020-0413-9>.
2. Satterfield, B.A., Bhatt, D.L. & Gersh, B.J. Cardiac involvement in the long-term implications of COVID-19. *Nat Rev Cardiol* (2021). <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00631-3>.
3. Gawałko M, Kapłon-Cieślicka A, Hohl M, Dobrev D, Linz D. COVID-19 associated atrial fibrillation: Incidence, putative mechanisms and potential clinical implications. *Int J Cardiol Heart Vasc*. 2020 Oct;30:100631. doi: 10.1016/j.ijcha.2020.100631. Epub 2020 September 1. PMID: 32904969; PMCID: PMC7462635.

toring medical equipment. Cloud storage and AI analytics provide healthcare professionals with a tool for remote patient data tracking. If symptoms of cardiac dysfunction develop, the data is sent via the secure cloud platform to the health care provider, ensuring timely intervention in emergencies.

The use of personal devices for remote patient monitoring may be limited by several factors, with the most significant challenge being the reliable generation of the data stream in real-life conditions. If the device is poorly designed for homecare use, patients may struggle with it, preventing them from measuring accurate data. The device's connectivity may pose a particular challenge in terms of user experience and connection quality. Battery life is another limitation of the measurement process. Another important consideration is the quality of vital sign measurements. While numerous consumer-grade wellness wearables are on the market, most lack the measurement quality needed for remote patient monitoring. It is evidenced by a low number of FDA-cleared devices from non-medical brands.

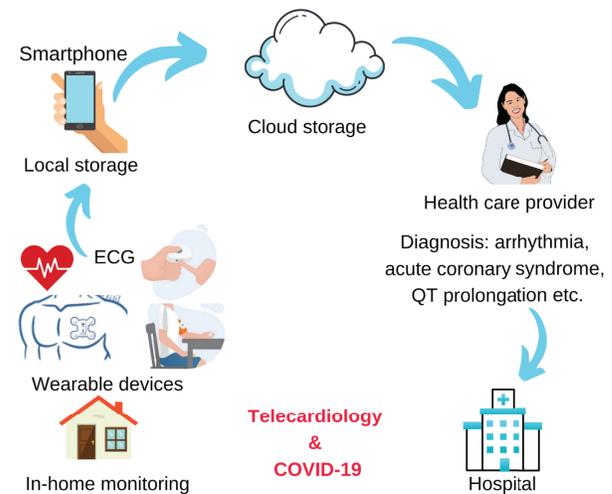


Figure 4. Illustration of the remote ECG monitoring and data processing

In conclusions: Telecardiology based on wearable devices and remote monitoring allows out-of-hospital control of COVID-19 patients and patients suffering from chronic diseases at high risk of acute cardiovascular events, ensuring their early detection and tracking.

4. Strik M, Caillol T, Ramirez FD, Abu-Alrub S, Marchand H, Welte N, Ritter P, Haïssaguerre M, Ploux S, Bordachar P. Validating QT-Interval Measurement Using the Apple Watch ECG to Enable Remote Monitoring During the COVID-19 Pandemic. *Circulation*. 2020 Jul 28;142(4):416-418. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.048253. Epub 2020 June 1. PMID: 32478565; PMCID: PMC7382529.
5. Ding X, Clifton D, Ji N, Lovell NH, Bonato P, Chen W, Yu X, Xue Z, Xiang T, Long X, Xu K, Jiang X, Wang Q, Yin B, Feng G, Zhang YT. Wearable Sensing and Telehealth Technology with Potential Applications in the Coronavirus Pandemic. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2021;14:48-70. doi: 10.1109/RBME.2020.2992838. Epub 2021 January 22. PMID: 32396101.
6. Radanliev P, De Roure D, Walton R, et al. COVID-19 what have we learned? The rise of social machines and connected devices in pandemic management following the concepts of predictive, preventive and personalized medicine. *EPMA J*. 2020;11(3):311-332. Published 2020 July 30. doi:10.1007/s13167-020-00218-x.
7. Varma N, Marrouche NF, Aguinaga L, Albert CM, Arbelo E, Choi JI, Chung MK, Conte G, Dagher L, Epstein LM, Ghanbari H, Han JK, Heidbuchel H, Huang H, Lakkireddy DR, Ngarmukos T, Russo AM, Saad EB, Saenz Morales LC, Sandau KE, Sridhar ARM, Stecker EC, Varosy PD. HRS/EHRA/APHRS/LAQRS/ACC/AHA worldwide practice update for telehealth and arrhythmia monitoring during and after a pandemic. *Europace*. 2021 Feb 5;23(2):313. doi: 10.1093/europace/eaab187. PMID: 32526011; PMCID: PMC7313983.