

БІОМЕДИЧНА КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ЦІЛОДОВОГО МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІЙ ЛЕГЕНЬ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ COVID-19

А. О. Мельник, Ю. В. Морозов, Б. І. Гаваньо, П. А. Гупало

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

© Мельник А. О., Морозов Ю. В., Гаваньо Б. І., Гупало П. А., 2020

Легені найбільше вражає коронавірус. Саме тому легені пацієнтів із COVID-19 потребують постійного медичного моніторингу. В роботі розглядається біомедична кіберфізична система цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19, яка дозволяє лікарям неперервно контролювати основний орган пацієнтів, що вражається коронавірусом, – легені. Її спроектовано так, щоб цілодобово та незалежно від місцеперебування пацієнта контролювати стан його легень. Відтак, створені засоби дозволяють лікареві безперервно на відстані (скажімо, зі свого кабінету) бачити рівень кисню в крові пацієнта.

Ключові слова: гіпоксія, COVID-19, пульсоксиметр, рівень кисню в крові, мобільний додаток, дистанційний моніторинг пацієнтів.

Вступ

COVID-19 – хвороба, спричинена важкою гострою респіраторною інфекцією коронавірусу (SARS-CoV-2), яка швидко поширилась по всьому світу та забрала багато людських життів [1]. Легені – це головний орган, який уражається у людини, яка страждає на COVID-19, і важкий стан (пневмонія) часто призводить до смерті. Тому постійне спостереження за станом легень, рівнем кисню в крові у пацієнтів із COVID-19 може врятувати багато життів.

Оцінювання стану легень пацієнта з респіраторним захворюванням зазвичай містить вимірювання насичення крові киснем (SpO_2), оскільки гіпоксія в певних клінічних сценаріях свідчить про наявність пневмонії. Контроль рівня кисню в крові дозволяє оцінити тяжкість захворювання у пацієнтів з COVID-19 та динаміку його розвитку. Відомо, що значення SpO_2 значно нижче у пацієнтів, які знаходяться у важкій стадії захворювання. При показнику $SpO_2 < 90\%$ пацієнти із COVID-19 мають вище значення маркерів запалення легень та, відповідно, вищий ризик померти від коронавірусу [2, 3]. Для вимірювання насичення крові киснем у клініках використовують калібровані оксиметри.

Але, зважаючи на особливості респіраторної інфекції коронавірусу (SARS-CoV-2), лише цих стаціонарних оксиметрів для лікування пацієнтів COVID-19 недостатньо. По-перше, в стаціонарі існує великий ризик для лікарів заразитися від пацієнтів цією хворобою. Це підтверджено значною часткою лікарського персоналу серед хворих на COVID-19 [4]. По-друге, велика наповненість, а часто і переповнення лікарень хворими на цю хворобу призводять до неможливості постійного контролю стану пацієнтів лікарями, яких часто є недостатньо. Більше того, у випадку лікування

пацієнтів, які знаходяться у важкому або критичному стані, важливо їх неперервно контролювати, щоб не пропустити можливого стрімкого погіршення стану пацієнтів, чого з вищенаведених причин часто не вдається досягти. Адже відомі факти, коли через неможливість одночасного надання допомоги багатьом хворим обмеженим за кількістю персоналом частина хворих помирала [5].

Вибір пульсоксиметрів для Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19

Сьогодні пацієнти мають можливість придбати в магазині пульсоксиметри на основі смартфона у вигляді браслетів, пристроїв для одягання на палець, кріплення до вуха тощо [6, 7]. Зрозуміло, що далеко не всім пацієнтам вдається постійно вести самоконтроль з використанням цих пристроїв, аналізувати результати поточних та попередніх вимірювань та приймати рішення щодо потреби лікування. Ця ситуація значною мірою схожа на самолікування та може зашкодити пацієнту, адже хворі можуть пізно визнати потребу звернення до лікарів, що може значно ускладнити процес одужання.

Наші практичні дослідження можливості застосування різних пульсоксиметрів для Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 показали, що найкращими з погляду неперервності та точності вимірювань, а також незалежності вимірювань від дій пацієнта, є наручні браслети та смартгодинники. Пристрої для одягання на палець та кріплення до вуха знімаються після вимірювання, тому вони не забезпечують неперервності вимірювань та незалежності вимірювань від дій пацієнта.

Організація цілодобового моніторингу лікарями стану легень клієнтів

Біомедична кіберфізична система цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 дозволяє лікарям одночасно дистанційно контролювати легені багатьох пацієнтів у відділеннях лікарні: тих, хто знаходиться під спостереженням та тих, хто знаходиться у важкому стані, не контактуючи з ними безпосередньо, та інтегрувати інтелектуальні функції, щоб попередити лікаря про небезпечно низький рівень оксигенації, а також тих, хто знаходиться на лікуванні в домашніх умовах і в кого може бути рецидив хвороби. Також потребують постійного моніторингу люди небезпечних професій та занять: альпіністи, спелеологи, каналізаційні сантехніки, шахтарі та люди з небезпечними побутовими умовами (пічний газ, витік побутового газу).

До складу системи моніторингу входять: сенсорна мережа бездротових пульсоксиметрів та пов'язаних з ними смартфонів клієнтів із розміщеними на них мобільними додатками пацієнта, які слугують для взаємодії з бездротовими пульсоксиметрами; мобільні додатки лікарів для відображення даних рівня кисню в крові 24 години на добу в режимі реального часу від клієнтів, які перебувають під спостереженням, та тих, хто знаходиться у важкому стані, гарантуючи захист особистих даних та для моніторингу ними функцій легень у пацієнтів із COVID-19 і всіх інших вищеперерахованих людей та для попередження лікарів (або інших спостерігачів) про небезпечно низький рівень оксигенації.

У версії на початок вересня 2020 року Біомедична кіберфізична система цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 взаємодіє з пульсоксиметрами Garmin. Клієнти, яким надали персональні пульсоксиметри Garmin, повинні встановити додаток GarminConnect з GooglePlay Маркет на свої смартфони.

Вимірювана пульсоксиметром інформація передається за допомогою технології Bluetooth на смартфон пацієнта (рис. 1). Потім залежно від способу підключення до мережі Інтернет-дані автоматично без участі пацієнта через мережу мобільного оператора чи мережу WiFi надходять на сервер.

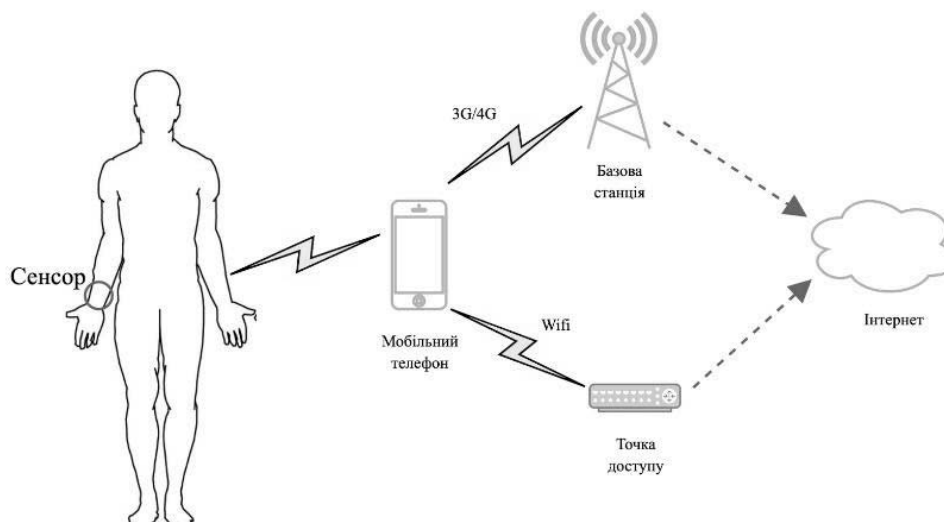


Рис. 1. Передавання виміряної пульсоксиметром інформації за допомогою технології Bluetooth

Обробка персональних даних пацієнта Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 відповідає рекомендаціям GDPR. Крім того, забезпечується криптографічний захист інформації. Для цього використовують стандартні механізми і протоколи.

Отримані від смартфонів клієнтів дані автоматично без участі клієнтів через мережу Інтернет передаються на мобільні додатки лікарів Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19. При цьому браслети Garmin вимірюють оксигенацію автоматично вночі та вручну вдень, за участі пацієнта або тих, хто його доглядають. Смарт-годинники Garmin можуть вимірювати оксигенацію повністю автоматично. Дані з додатків передаються на сервер автоматично двічі на добу або вручну під час кожного перегляду пацієнтом додатку GarminConnect.

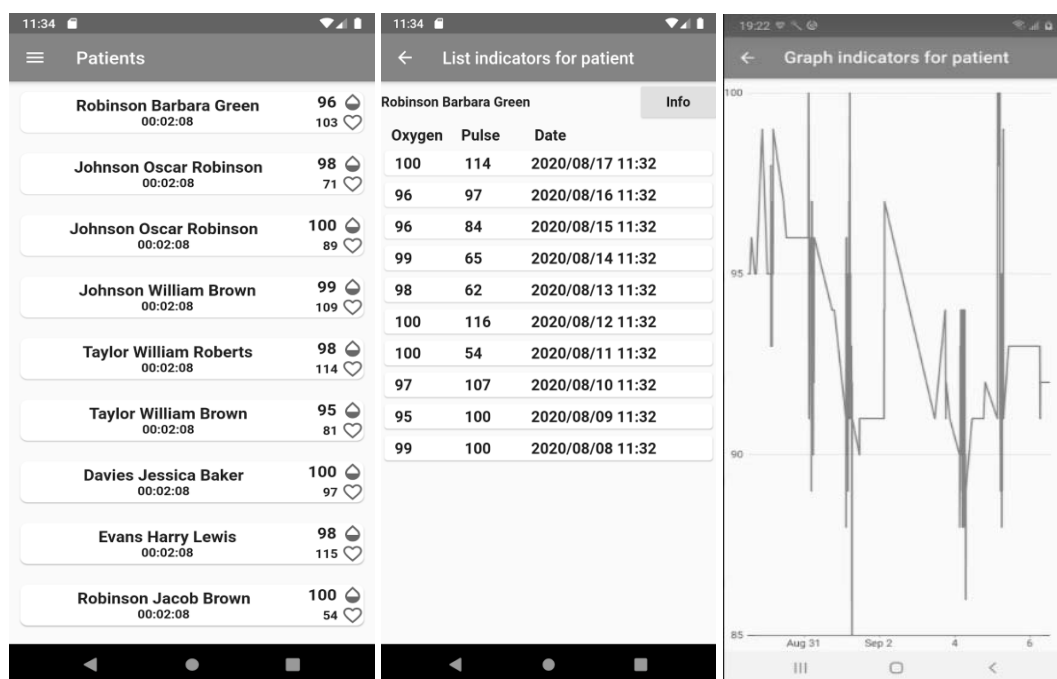


Рис. 2. Відображення даних пацієнтів у додатку лікаря

Клієнт може бачити свої дані в додатку GarminConnect на своєму смартфоні. Додаток пацієнта Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 призначений виключно для надання дозволів на доступ до персональних даних.

Додаток лікаря (рис. 2) Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 отримує доступ до даних пацієнтів. Лікар віддалено бачить поточні дані та історію показів своїх пацієнтів, а також повідомлення про критичний стан пацієнта. В лікарні призначається менеджер, який розподіляє пацієнтів між лікарями і контролює активність лікарів через додаток лікаря.

Основні можливості, які надає біомедична кіберфізична система цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19

- Закріплення клієнтів за лікарями або тренерами, інструкторами тощо;
- Автоматичне збирання даних про стан легень клієнтів без їх участі та передавання цих даних через мережу Інтернет;
- Дистанційний контроль лікарями рівня кисню в крові пацієнтів з COVID-19;
- Дистанційний контроль лікарями частоти пульсу пацієнтів із COVID-19;
- Можливість додавання функцій контролю інших параметрів;
- Накопичення результатів контролю та архівування історії показів кожного пацієнта, а також їх знеособлення для подальшої статистичної обробки;
- Проведення моніторингу 24 години на добу та без контакту між клієнтом та лікарем;
- Наявність функції попередження лікаря про небезпечно низький рівень кисню в крові клієнта;
- Забезпечення можливості проведення самоконтролю клієнтами функціонування легень.

Переваги використання створених засобів

1. Постійне клінічне спостереження за клієнтами підвищує шанси на те, що їх стан не стане критичним.
2. Використання віддаленого моніторингу клієнтів зменшує потребу у фізичному контакті та дозволяє лікарям дистанційно стежити за станом клієнтів 24 години на день, 7 днів на тиждень у лікарні, спортзалі, на роботі або вдома.
3. Зменшується кількість хворих у лікарнях та перевантаженість персоналу.
4. За допомогою засобів Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 лікар більше не обмежується визначенням діагнозу на основі необроблених, негайних даних, отриманих із пояснень клієнта.
5. Засоби Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 дають можливість клієнту відстежувати стан свого організму.
6. Засоби Біомедичної кіберфізичної системи цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 забезпечують організоване зберігання отриманих даних про стан пацієнта за час спостереження. Дані знеособлюються і обробляються для отримання загальної картини в регіоні, професії, занятті.

Висновки

Пропоноване рішення може мати негайний технологічний та соціальний вплив, щоб допомогти системам охорони здоров'я та населенню впоратися із труднощами, спричиненими вірусною пандемією COVID-19.

Запропонована Біомедична кіберфізична система цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 забезпечує проведення лікарями цілодобового дистанційного моніторингу функцій легень пацієнтів із COVID-19.

Біомедичну кіберфізичну систему цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19 можна використовувати як у клінічній практиці, так і в епідеміологічних дослідженнях, а також для моніторингу прогресування захворювань та наслідків лікування.

Робота виконано в межах проекту “Applicationsmobilespourlasurveillance 24h /24 dela fonction pulmonairechez les patientsatteintsde COVID-19”, який надано фундацією L’Agenceuniversitaire dela Francophonie AUF.

Список літератури

1. ShrikrushnaSubhashUnhale, QuaziBilalAnsar, ShubhamSanap, SurajThakhre, ShreyaWadatkar, RohitBairagi, SurajSagruleand K. R. Biyani. A REVIEW ON CORONAVIRUS (COVID-19). *International Journal of Pharmaceutical and Life Sciences*, April 2020, Vol. 6, Issue 4, 109-115.
2. Dai H, Zhang X, Xia J, Zhang T, Shang Y, Huang R, et al. High-resolution chest CT features and clinical characteristics of patients infected with COVID-19 in Jiangsu, China. *Int J Infect Dis IJID OffPublIntSocInfectDis*. (2020) 95:106–12. doi: 10.1016/j.ijid.2020.04.003.
3. Andrew M. Luks, and Erik R. Swenson. Pulse Oximetry for Monitoring Patients with COVID-19 at Home: Potential Pitfalls and Practical Guidance. *ANNALSATS Articles in Press*. Published June 10, 2020 as 10.1513/AnnalsATS.202005-418FR Copyright © 2020 by the American Thoracic Society.
4. World Health Organization. Novel coronavirus (2019-nCoV) situation report – 13. 2020, [cited 2020 Mar 4]. Available from: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200202-sitrep-13-ncov-v3.pdf?sfvrsn=195f4010_6.
5. Giuseppe Di Lorenzo and Rossella Di Trollo. Coronavirus Disease (COVID-19) in Italy: Analysis of Risk Factors and Proposed Remedial Measures. *Front. Med.*, 09 April 2020 | <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00140>.
6. O'Carroll O, MacCann R, O'Reilly A, et al. Remote Monitoring of Oxygen Saturation in Individuals with COVID-19 Pneumonia. *EurRespir J* 2020; in press (<https://doi.org/10.1183/13993003.01492-2020>).
7. Andrew M Luks , and Erik R. Swenson. Pulse Oximetry for Monitoring Patients with COVID-19 at Home: Potential Pitfalls and Practical Guidance. *ANNALSATS Articles in Press*. PublishedJune 10, 2020 as 10.1513/AnnalsATS.202005-418FR.

BIOMEDICAL CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR ROUND-THE-CLOCK MONITORING OF LUNG FUNCTIONS IN PATIENTS WITH COVID-19

A. Melnyk, Y. Morozov, B. Gavanyo, P. Gupalo

Lviv Polytechnic National University
Computer Engineering Department

© Melnyk A., Morozov Y., Gavanyo B., Gupalo P., 2020

The coronavirus has the greatest effect on the lungs. That is why the lungs of patients with COVID-19 need constant medical monitoring. The paper considers the biomedical cyber-physical system for round-the-clock monitoring of lung functions in patients with COVID-19, which allows physicians to continuously monitor the main organ of patients affected by the coronavirus – the lungs. It is designed to monitor the patient's condition around the clock and regardless of the patient's location. Therefore, the created means allow the doctor to see the level of oxygen in the patient's blood continuously at a distance (say, from his office).

Key words: hypoxia, COVID-19, pulse oximeter, blood oxygen level, mobile application, remote patients monitoring.