

УДК 616.2

М.О. КУЧЕР, О.В. КАРАСЬ

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ЗАСОБІВ АУСКУЛЬТАЦІЇ ЛЕГЕНЬ ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ДІАГНОСТИКИ

*Вінницький національний технічний університет,
21021 Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація. Стаття присвячена аналізу проблематики використання традиційної аускультатії як засобу первинної діагностики легень, а також ризикам, які її супроводжують. Досліджено ефективність такої клінічної практики, епідемічні особливості поширення легеневих хвороб в Україні, етапи впровадження та законодавча база цифрових засобів діагностики легеневих аномалій. Проведено розрахунки ефективності фізикальної аускультатії за допомогою математичного моделювання, на основі гіпотетичній когорті використовуючи реальні значення чутливості та специфічності методу. Обґрунтовано наявність проблеми та необхідність її вирішення. Розглянуто можливе рішення через впровадження електронних стетоскопів з системами фільтрації та автоматизованого прийняття рішень. Проаналізовано наслідки і проблеми впровадження цифрових пристроїв на прикладі України та світу, а також визначено перспективність подальших розробок в цій сфері. Результати дослідження демонструють низьку точність діагностики і високу суб'єктивність традиційної аускультатії і необхідність вирішення цієї проблеми.

Ключові слова: аускультатія, легеневі аномалії, діагностика, низька клінічна точність, епідеміологія, проблеми впровадження.

Abstract. This article analyses the issues surrounding the use of traditional auscultation as a means of primary lung diagnosis, as well as the risks associated with diagnostic mistakes. It examines the effectiveness of this clinical practice, the epidemiological characteristics of the spread of lung diseases in Ukraine, the stages of implementation, and the legislative framework for digital diagnostic tools for lung abnormalities. Calculations of the effectiveness of physical auscultation were carried out using mathematical modelling, based on a hypothetical cohort and utilising real-world values for the method's sensitivity and specificity. The existence of the problem and the need to resolve it are substantiated. A possible solution is considered through the introduction of electronic stethoscopes with filtration systems and automated decision support systems. The consequences and challenges of introducing digital devices are analysed using the examples of Ukraine and the worldwide practices, and the prospects for further developments in this field are identified. The research results demonstrate the low diagnostic accuracy and high subjectivity of traditional auscultation, and the need to address this problem.

Keywords: auscultation, pulmonary abnormalities, diagnosis, low clinical accuracy, epidemiology, implementation challenges.

DOI: 10.31649/1681-7893-2026-51-1-204-210

ВСТУП

Фізикальне обстеження, таке як аускультатія респіраторної системи, є основою в пульмонології та сімейній медицині, оскільки залишається одним з найпоширеніших і найдоступніших з неінвазивних методів первинної діагностики. Історичним походженням такого методу діагностики є праці Гіппократа, який і запровадив ідею аускультатії прикладанням вуха до грудної клітини пацієнта, хоча справжня революція в даному типі діагностики відбулась в 1816 році, завдяки Рене Теофілу Гіацинту Лаеннеку, завдяки винайденню стетоскопа, що призвело до початку ери опосередкованої аускультатії [1].

Незважаючи на те, що технологічний прогрес в суміжних напрямках медичної візуалізації є колосальним, завдяки винайденню КТ, МРТ і інших - базові акустичні принципи роботи традиційного стетоскопа залишаються майже незмінними впродовж всього цього часу з моменту його винайдення.

Тому сучасна медична наука та інженерія стикається з парадоксальною ситуацією, коли інструмент, який слугує першою лінією діагностики мільйонів пацієнтів з респіраторними скаргами, характеризується низькою об'єктивністю і значною залежністю від психофізіологічного стану лікаря, та неможливістю аналізу попередніх даних, через відсутність їх фіксації [2].

Актуальність проблеми хибнонегативних діагнозів в процесі використання традиційного стетоскопа є особливо гострою в контексті епідеміологічного контролю. Метааналітичні дослідження показують, що загальна чутливість традиційної аускультатії легневих аномалій в рутинній клінічній практиці становить близько 37%. Специфічність утримується на рівні 89% [2]. Подібні статистичні показники демонструють те, що більше половини патологічних аудіальних ознак, таких як дрібноміхурцеві хрипи, крепітація чи шум тертя плеври, залишаються нерозпізнаними на початкових стадіях захворювання.

1. АНАЛІЗ РЕЛЕВАНТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Внаслідок низької чутливості класичного методу відбувається затримка до постановки вірного діагнозу, а це є критичним при інфекційних хворобах шляхів дихання, як пневмонія і туберкульоз. Через це пацієнт з хибнонегативним висновком не відправляється на ізоляцію після первинного огляду, та не отримує етіотропного лікування через що стає активним джерелом поширення інфекції, що підвищує епідеміологічні ризики та економічні збитки системи охорони здоров'я [3].

Однією з причин низької чутливості традиційної аускультатії є людський фактор. У парадигмі біомедичної інженерії людський фактор можна розглянути як комплекс когнітивних, фізичних та емоційних обмежень людини-оператора [4]. В контексті фізикальної діагностики людський фактор можна розбити на декілька ключових компонентів, які системно знижують точність аускультатії.

Першим фактором є суб'єктивність слухового сприйняття та міжрейтерна надійність. Оскільки мануальна аускультатія вимагає не лише почути лікарю звуковий сигнал і врахувати складність акустичного середовища, але й правильно класифікувати його. Спираються лікарі при тому на власний досвід і пам'ять, що є суб'єктивними властивостями. При цьому дослідження прямо вказують на значну варіативність такої інтерпретації одних і тих самих респіраторних звуків. Пульмонологи демонструють вищу точність, відносно студентів та лікарів загальної практики, хоча серед них теж є розбіжність в класифікації та термінології [5].

Аналіз міжрейтерної надійності підтверджує нестабільність мануального підходу. Рівень узгодженості, щодо класифікації хрипів, згідно з Каппа-коефіцієнтом Коена, вказує на дисперсію 0,20-0,58, що вважається слабкою чи помірною узгодженістю відповідно [6]. При оцінці свистячих хрипів - показник варіюється ще сильніше. Крім того, вікові зміни слуху лікаря перш за все знижують чутливість до високочастотного діапазону, саме в якому знаходяться крепітуючі звуки, які характерні для початкових етапів інтерстиціальних видів пневмоній.

Другим фактором є когнітивне виснаження та професійне вигорання. Діагностичні медичні помилки напряму корелюють з рівнем втоми лікаря. Так дослідження університету Стенфорду демонструє, в деяких випадках, більш значущий вплив на ризик медичних помилок від синдрому професійного вигорання, ніж від небезпечних умов праці на системному рівні [7]. В опитуванні, серед більш ніж 6600 лікарів, більше половини повідомляли про симптоми вигорання, а близько 10% визнали принаймні одну серйозну медичну помилку протягом трьох останніх місяців.

В свою чергу третім фактором є відсутність об'єктивної фіксації даних. Важливим недоліком традиційного статоскопа є те, що звуковий сигнал існує лише в момент його генерації та сприйняття лікарем, неможливість збереження аудіограми виключає ретроспективний аналіз, телемедичні консультації чи консилиуми, та застосування математичних алгоритмів для допомоги з фільтрацією шумів [8]. Відсутність записів також унеможливає порівняння до та після, окрім як покладаючись на власну пам'ять.

2. ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИЙ КОНТЕКСТ ТА ТЯГАР ТУБЕРКУЛЬОЗУ В УКРАЇНІ

Для проведення якісного математичного моделювання необхідно спиратися на конкретний епідеміологічний профіль. Україна традиційно входить в перелік країн з високим тягарем туберкульозу, в тому числі і мультирезистентного [9]. Динаміка захворюваності мала позитивну тенденцію до зниження з 2013 по 2020 роки і досягала історичного мінімуму в близько 75 випадків на 100000 у 2020 році, після чого кількість збільшилась [10]. Підвищення захворюваності, ймовірно, зумовлене повномасштабними бойовими діями, внутрішньою міграцією і руйнуванням інфраструктури, в тому числі медичної.

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Крім того, ситуацію ускладнило зменшення фінансування USAID [11], що, згідно з звітом BOO3, негативно вплинуло на те лабораторне забезпечення, яке надається в рамках програми по боротьбі з туберкульозом [12]. В умовах високої вартості лікування ефективність раннього виявлення хвороби є ще важливішою.

3. МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ ГІПОТЕТИЧНОЇ КОГОРТИ

Для ілюстрації ефективності традиційної аускультативної діагностики застосовано матрицю помилок з оцінкою прогностичної цінності та Байєсівський аналіз гіпотетичної когорти. Розмір складає 1000 пацієнтів з припущеною частотою захворювання пневмонією 15%. Показники чутливості і специфічності отримані з метааналітичного дослідження. 37% і 89% відповідно [2].

Матриця помилок при 150 хворих і 850 здорових продемонстрована в таблиці 1.

Таблиця 1 - Матриця невідповідності

Діагноз	Хвороба є	Хвороби немає
Позитивний	TP = 56	FP = 93
Негативний	FN = 94	TN = 757

Спираючись на отриману матрицю було вираховано цінність прогнозування. Цінність позитивного результату $\approx 0,376$, негативного $\approx 0,889$.

В змодельований когорти застосування традиційної аускультативної діагностики демонструє обмежений потенціал. Через чутливість методу що дорівнює 37%, в змодельованій ситуації 62.7% хворих пацієнтів не були ідентифіковані під час первинного скринінгу. Така ситуація несе ризики затримки початку лікування, а в випадку інфекційних хвороб сприяє поширенню. Попри високий параметр NPV його значення зумовлене не ефективністю аускультативної діагностики, а тим, що здорові особи в когорти представляють 85%, оскільки це зміщує значення.

Байєсівський аналіз додатково вказує на ризики даного фізикального методу, оскільки відношення правдоподібності для негативного результату має значення 0.71, в той час як для надійного виключення захворювання показник має бути меншим за 0,1 [13].

Отже, традиційна аускультативна діагностика не може використовуватись як ізольований критерій для виключення пневмонії.

4. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СТЕТОСКОПІВ

Одним з можливих рішень щодо усунення людського фактору, при аускультативній діагностиці, є впровадження електронних стетоскопів з інтегрованими системами цифрової обробки сигналів та алгоритмів автоматизованої інтерпретації даних. Також це вирішує проблему фіксації даних і надає можливість для телемедицини.

Оскільки електронний стетоскоп перетворює акустичну хвилю в електронний сигнал - його можна як відфільтрувати та підсилити, так і візуалізувати в вигляді спектрограми [14]. У дослідженнях, що порівнюють ефективність мануальних та електронних пристроїв для аускультативної діагностики, електронні пристрої забезпечують вищу чутливість, для кардіології 60,1% проти 45,7% [15].

Щодо діагностики легень з використанням електронних стетоскопів з машинним навчанням, то для деяких випадків, таких як пневмонія та хронічне обструктивне захворювання легень, чутливість досягає 89,75%, в той час як специфічність 95% [16]. Також використання електронної аускультативної діагностики дозволяє лікарю використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), в тому числі герметичні, оскільки дані можна передавати безпроводним шляхом. Отримані результати чутливості 97% і F1-оцінка 0,919 [17].

Порівняння використання мануального і цифрового стетоскопа структуровано та представлено в таблиці 2.

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Таблиця 2 – Порівняння методів аускультатії

Характеристика	Мануальний акустичний стетоскоп	Електронний стетоскоп з цифровою обробкою сигналів та алгоритмом інтерпретації даних
Базова чутливість	37%	Більше ніж 89,75%
Відсікання фонового шуму	Пасивне	Активне, за допомогою обробки сигналу
Підсилення звуку	Неможливе	Можливе
Збереження даних	Неможливе	Можливе
Вплив втомі лікаря на результат	Наявний	При автоматичній інтерпретації відсутній, при рекомендаційній наявний
Використання ЗІЗ	Неможливе, або порушує протокол	Можливе, при наявності функції безпроводної передачі даних

5. ПРОБЛЕМАТИКА РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ АУСКУЛЬТАЦІЇ

Незважаючи на клінічний потенціал впровадження електронної аускультатії існує комплекс перешкод, який включає як інженерні складнощі, так і проблеми збору якісних, репрезентативних даних, генералізації алгоритмів штучного інтелекту на гетерогенних популяціях та інші.

При створенні алгоритмів штучного інтелекту для електронних стетоскопів проблему викликає зміщення характеристик датчиків через технічну гетерогенність різних моделей. Оскільки виробники медичного обладнання використовують різні підходи до захоплення звуку, як для захоплення сигналу, так і для попередньої обробки і апаратних фільтрів [18]. Різниця в характеристиках апаратних і програмних фільтрів впливають на форму та спектральний склад даних. Це призводить до того, що алгоритми, які були натреновані на одному типі стетоскопів, можуть показувати нижчу точність на інших.

Також аналіз проблем впровадження цифрових медичних технологій в клінічну практику демонструє те, що невідповідність систем робочому процесу, вимоги до освоєння і відсутність підтримки розробників електронних систем є одними з факторів, які викликають негативну реакцію серед лікарів [19, 20].

Крім лікарів є також проблеми прийняття нових медичних технологій зі сторони пацієнтів. Існує розбіжність стосовно використання технологій в залежності від віку, соціального та економічного статусу пацієнтів і ці відмінності в рівні цифрової грамотності формують обмеження, що ускладнюють надання рівного доступу до медичних послуг.

Окрім того, існують етичні дилеми щодо довіри та власності на дані, оскільки пацієнти занепокоєні конфіденційністю їх медичної інформації. Непрозорість щодо використання підсилюють занепокоєння.

Автори дослідження щодо проблем використання нових технологій також називають проблему дегуманізації через надмірну технологізацію, оскільки це створює перешкоди для емпатичної комунікації між пацієнтом та лікарем. Труднощі з інтеграцією сучасних рішень в клінічну практику теж є проблемою. Останні проблеми пропонується вирішувати за допомогою моделі, котра має за основу впровадження етичних захистів і адаптації до регіональних особливостей ще на етапі розробки, а також людиноцентричний підхід [21].

6. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ В УКРАЇНІ

Швидкість впровадження сучасних підходів і приладів напряму залежить від гнучкості нормативно-правової бази, а аналіз регуляторної політики Міністерства охорони здоров'я України (МОЗ) демонструє суперечливі дані, оскільки жорсткі вимоги телемедицини поєднуються з більш м'якою стандартизацією для первинної медичної допомоги.

Документом, що заклав юридичний ґрунт для виникнення спільного телемедичного простору в Україні є наказ МОЗ від 26.01.2018 №148, в якому затвердили Примірний табель оснащення закладів

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

охорони здоров'я, оскільки він стандартизував перелік обладнання для надання допомоги з використанням телемедицини, зокрема визначено наявність одного інтерактивного цифрового стетоскопу на кабінет надання ПМД [22]. Крім того, додаткові напрацювання і накази додають також і обладнання з обробкою сигналу за допомогою ШІ такі, як офтальмоскопи та фундус-камери в 2025 році [23], що відображає загальну тенденцію до цифровізації МОЗ в сфері надання медичних послуг.

З іншої сторони, всупереч цифровізації спеціалізованих кабінетів, вимоги до оснащення мобільних бригад залишаються більш стриманими, оскільки згідно з наказом МОЗ від 10 лютого 2025 №233 обов'язковою вимогою є наявність стетоскопу педіатричного, без уточнення щодо того, що він має бути електронним чи цифровим. При тому МОЗ диференціює типи вимірювальних пристроїв, оскільки, наприклад, для вимірювання маси тіла були вказані цифрові ваги [24]. Той факт, що для аускультатії залишилась вимога саме щодо класичного стетоскопу, може свідчити про те, що держава розглядає його як достатній діагностичний інструмент, іншою можливою причиною може бути вартість цифрових аналогів.

Також, згідно з інформацією зі звіту Світового банку за 2024 рік, рівень забезпечення цифровими стетоскопами в Україні істотно відрізняється в залежності від різних когорт населення від 8,9% до 39,1% при середньому забезпеченні в 26,5% [25]. Хоча рівень забезпечення суттєво відрізняються в порівнянні з базовим обладнанням, таким як медичні ноші, що мають до 95,7% забезпечення, чи небулайзери 93%, цифрові стетоскопи не є одиничними зразками і в середньому близько чверті закладів ними оснащені.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз щодо точності мануальної та цифрової аускультатії, історичний контекст та особливості впровадження електронних засобів діагностики в Україні та світі свідчить про те, що мануальна аускультатія має низьку чутливість, залежна від впливу людського фактору та унеможливорює поєднання з телемедициною. Окрім того, зважаючи на високу кількість хворих на туберкульоз та інші інфекційні хвороби легень, є доцільним покращення якості первинної діагностики.

Згідно з розрахунками проведеними на гіпотетичній когорті, при використанні мануальних засобів аускультатії для діагностики пневмонії 62,7% хворих не виявлені при первинному скринінгу, оскільки 37% чутливості і 89% специфічності, є перешкодою до визнання аускультатії в якості ізольованого методу визначення пневмонії.

Можливим вирішенням проблеми розглянутої в цьому дослідженні є впровадження електронних стетоскопів з підсиленням та фільтрацією сигналу. Також, розглянуто впровадження систем інтерпретації даних для цифрових стетоскопів. Даний напрямок демонструє кращу загальну чутливість, а системи автоматичного визначення показують до 89,75% точності для окремих захворювань. Тенденції до цифровізації послуг та сприяння телемедицині з боку нормативно-правової системи в Україні демонструють актуальність такого підходу.

При цьому, існують значні обмеження, котрі ускладнюють цифровізацію розглянутого фізикального методу діагностики. Перешкоди мають комплексний характер, оскільки включають як складність прийняття зі сторони пацієнтів та лікарів, так і нормативні, технічні та правові стримування.

Результати дослідження демонструють проблематику стану аускультатії легеневих аномалій в Україні та світі, незважаючи на поширеність класичних стетоскопів, як інструменту первинної діагностики. Водночас, продемонстровано перспективний напрямок вирішення проблеми. Перспективною є розробка системи цифрової аускультатії з використанням систем автоматизованої обробки сигналу.

ПОДЯКА

Дослідження виконано за підтримки проєкту (№ держреєстрації 0126U002270) Міністерства освіти і науки України

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Sarkar, M., Madabhavi, I., Niranjana, N., & Dogra, M. (2015). Auscultation of the respiratory system. *Annals of Thoracic Medicine*, 10(3), 158–168. <https://doi.org/10.4103/1817-1737.160831>
2. Arts, L., Lim, E. H. T., van de Ven, P. M., Heunks, L., & Tuinman, P. R. (2020). The diagnostic accuracy of lung auscultation in adult patients with acute pulmonary pathologies: A meta-analysis. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64405-6>
3. Sharma, S., Poudyal, J. K., Sharma, V. K., Parajuli, S., & Dhungana, G. P. (2026). Factors associated with delayed diagnosis of pulmonary tuberculosis in Chitwan district of Nepal. *PLOS Global Public Health*, 6(1), Article e0005718. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0005718>
4. Lazarovici, M., Trentzsch, H., & Prückner, S. (2017). Human factors in medicine. *Der Anaesthetist*, 66, 63–80. <https://doi.org/10.1007/s00101-016-0261-5>
5. Hafke-Dys, H., Bręborowicz, A., Kleka, P., Kociński, J., & Biniakowski, A. (2019). The accuracy of lung auscultation in the practice of physicians and medical students. *PLOS ONE*, 14(8), Article e0220606. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220606>
6. Aviles-Solis, J. C., Vanbelle, S., Halvorsen, P. A., Francis, N., Cals, J. W. L., Andreeva, E. A., Marques, A., Piirilä, P., Pasterkamp, H., & Melbye, H. (2017). International perception of lung sounds: A comparison of classification across some European borders. *BMJ Open Respiratory Research*, 4(1). <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2017-000250>
7. Tawfik, D. S., Profit, J., Morgenthaler, T. I., Sinsky, C. A., Dyrbye, L. N., Tait, V. F., Shanafelt, T. D., & Trockel, M. T. (2018). Physician Burnout, Well-being, and Work Unit Safety Grades in Relationship to Reported Medical Errors. *Mayo Clinic Proceedings*, 93(11), 1571–1580. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.05.014>
8. Park, D. E., Watson, N. L., Focht, C., Feikin, D., Hammitt, L. L., Brooks, W. A., Howie, S. R. C., Kotloff, K. L., Levine, O. S., Madhi, S. A., Murdoch, D. R., O'Brien, K. L., Scott, J. A. G., Thea, D. M., Amornthapichet, T., Awori, J., Bunthi, C., Ebruke, B., Elhilali, M., ... McCollum, E. D. (2022). Digitally recorded and remotely classified lung auscultation compared with conventional stethoscope classifications among children aged 1–59 months enrolled in the Pneumonia Etiology Research for Child Health (PERCH) case–control study. *BMJ Open Respiratory Research*, 9(1), Article e001144. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2021-001144>
9. Stoycheva, K., Cristea, V., Ködmön, C., Rosales-Klitz, S., Zenner, D., Vasiliu, A., van der Werf, M., & Lange, C. (2024). Tuberculosis in people of Ukrainian origin in the European Union and the European Economic Area, 2019 to 2022. *Eurosurveillance*, 29(12), Article 2400094. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2024.29.12.2400094>
10. World Health Organization. (n.d.). Tuberculosis profile: Ukraine. Доступ отримано квітня 28, 2026, from https://worldhealthorg.shinyapps.io/tb_profiles/?inputs&tab=%22charts%22&lan=%22EN%22&iso3=%22UKR%22&entity_type=%22country%22
11. World Health Organization. (2025, March 5). Funding cuts impact access to TB services endangering millions of lives. <https://www.who.int/news/item/05-03-2025-funding-cuts-to-tuberculosis-programmes-endanger-millions-of-lives>
12. Stop TB Partnership. (2025, March 3). *Report on the impact of US government funding halt on TB responses in high TB burden countries*. <https://www.stoptb.org/sites/default/files/documents/Disruption%20US%20FUNDING%20halt030325.pdf>
13. Guyatt, G., Rennie, D., Meade, M. O., & Cook, D. J. (2015). *Users' guides to the medical literature: A manual for evidence-based clinical practice* (3rd ed.). McGraw-Hill Education. 740.
14. Xu, X., & Sankar, R. (2024). Classification and recognition of lung sounds using artificial intelligence and machine learning: A literature review. *Big Data and Cognitive Computing*, 8(10), Article 127. <https://doi.org/10.3390/bdcc8100127>
15. Kalinauskienė, E., Razvadauskas, H., Morse, D. J., Maxey, G. E., & Naudžiūnas, A. (2019). A comparison of electronic and traditional stethoscopes in the heart auscultation of obese patients. *Medicina*, 55(4), Article 94. <https://doi.org/10.3390/medicina55040094>
16. Sueaseenak, D., Boonsat, P., Tantisatirapong, S., Rujipong, P., Tulatamakit, S., & Phokaewvarangkul, O. (2025). Early diagnosis of pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease with a smart stethoscope with cloud server-embedded machine learning in the post-COVID-19 era. *Biomedicine*, 13(2), Article 354. <https://doi.org/10.3390/biomedicine13020354>

17. Wei, T.-J., Hsiung, P.-Y., Liu, J.-H., Lin, T.-C., Kuo, F.-T., & Wu, C.-Y. (2022). Use of electronic auscultation in full personal protective equipment to detect ventilation status in selective lung ventilation: A randomized controlled trial. *Frontiers in Medicine*, 9, Article 851395. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.851395>
18. Arjoun, Y., Nguyen, T. N., Doroshov, R. W., & Shekhar, R. (2023). Technical characterisation of digital stethoscopes: Towards scalable artificial intelligence-based auscultation. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 47(3), 165–178. <https://doi.org/10.1080/03091902.2023.2174198>
19. Oudbier, S. J., Souget-Ruff, S. P., Chen, B. S. J., Ziesemer, K. A., Meij, H. J., & Smets, E. M. A. (2024). Implementation barriers and facilitators of remote monitoring, remote consultation and digital care platforms through the eyes of healthcare professionals: A review of reviews. *BMJ Open*, 14(6), Article e075833. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-075833>
20. Canada Health Infoway. (2024). 2024 National survey of Canadian physicians: Barriers and challenges to digital health technologies. <https://insights.infoway-inforoute.ca/2024-cma-barriers-challenges-digital-health-technologies/>
21. Livieri, G., Mangina, E., Protopapadakis, E. D., & Panayiotou, A. G. (2025). The gaps and challenges in digital health technology use as perceived by patients: A scoping review and narrative meta-synthesis. *Frontiers in Digital Health*, 7, Article 1474956. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1474956>
22. Bisikalo, O.; Kharchenko, V.; Kovtun, V.; Krak, I.; Parameterization of the Stochastic Model for Evaluating Variable Small Data in the Shannon Entropy Basis. *Entropy* 2023, 25, 184.
23. Ivanov Yu. Yu., Maloshtan T. V., Zvuzdetsky E. O. Modified algorithm for decoding block codes of turbo products. *Bulletin of the Institute of Informatics*. 2025. No. 4. P. 90–94. DOI: 10.31649/1997-9266-2025-181-4-90-94.
24. Intellectual technologies in medical diagnostics, treatment and rehabilitation: monograph / [S.V. Pavlov, O.G. Avrunin, S.M. Zlepko, E.V. Bodianskyi and others]; edited by S. Pavlov, O. Avrunin. – Vinnytsia: PP “TD “Edelweiss and K”, 2019. – 260 p.
25. Ministry of Health of Ukraine. (2025, February 10). *Pro vnesennia zmin do Prymirnoho tabelia materialno-tekhnichnoho osnashchennia zakladiv okhorony zdorovia ta fizychnykh osib-pidpriemtsiv, yaki nadaiut pervynnu medychnu dopomohu*
26. World Bank. (2024). *Service Delivery Indicators Health Survey for Ukraine: Survey report 2024*. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099011426095032380>

Дата надходження: 18.01.2026

Дата прийняття до друку після рецензування: 28.03.2026

Дата публікації: 18.06.2026

Ця робота ліцензується відповідно до
[Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

КУЧЕР МИКИТА ОЛЕКСАНДРОВИЧ — аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця,
e-mail: mykyta.kug@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5315-4302>

КАРАСЬ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ — доктор філософії, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,
e-mail: karas@vntu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0756-4696>

Mykyta KUCHER, Oleksandr KARAS

FEATURES OF THE USE OF TRADITIONAL MEANS OF LUNG AUSCULTATION FOR PRIMARY DIAGNOSTICS

Vinnitsia National Technical University