

УДК 378.147:88+612.22:612.116
DOI 10.11603/m.2414-5998.2021.4.12692

Ю. С. Мазуренко

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8446-5280>

ResearcherID AAA-9559-2020

Scopus Author ID 57210568330

Івано-Франківський національний медичний університет

ФОРМУВАННЯ ФАХОВОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ МАЙБУТНІХ ЛІКАРІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РЕПРОДУКТИВНОГО МЕТОДУ

Yu. S. Mazurenko

Ivano-Frankivsk National Medical University

FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF FUTURE DOCTORS USING THE REPRODUCTIVE METHOD

Анотація. Для формування фахової компетенції майбутніх лікарів з використанням репродуктивного методу розроблена методика проведення лабораторної роботи з медичної та біологічної фізики. В основі даної роботи лежить використання пристроїв загального призначення, таких, як пульсоксиметр, для визначення рівня наповненості легень киснем та встановлення зв'язку цього параметра з іншими важливими характеристиками організму.

Одним із важливих факторів здорового функціонування організму є задовільне насичення легень киснем. Зменшення цього показника є джерелом цілого ряду захворювань в його початковій стадії, у тому числі і SARS-CoV-2 (COVID-19). Тому необхідним є застосування простої і загальнодоступної методики контролю рівня кисню в легенях. Таким пристроєм служить пульсоксиметр. Метою даної роботи є вироблення практичних навичок роботи з пульсоксиметром на прикладі лабораторної роботи та вмінь інтерпретувати отримані результати.

Робота має теоретичний та прикладний характер. Поставлена проблема вирішувалася за допомогою стандартного пульсоксиметра та розробленої методики, що дозволяє встановити межі використання даного приладу та взаємозв'язок рівня кисню з такими характеристиками організму, як пульс і температура.

Основним результатом роботи є розроблення методики лабораторної роботи по застосуванню стандартного пульсоксиметра в комплексі з тонометром і термометром для діагностики організму та виявлення порушень забезпечення киснем організму на ранніх стадіях.

Доступність та простота використання приладів дозволяють розширити межі навчального процесу: студенти можуть отримати доступ до вимірювальних пристроїв у комфортний для них та викладача час і проводити комплекс досліджень у клінічних умовах.

Розроблена лабораторна робота по вивченню будови і принципу роботи пульсоксиметра показала можливість діагностики проблем із дихальною та серцево-судинною системами на ранніх стадіях їх прояву. Методами статистичної обробки встановлено існування кореляції між такими параметрами, як SpO_2 – пульс і SpO_2 – температура, що дає змогу за даними пульсоксиметрії контролювати загальний стан організму простим методом.

Ключові слова: експериментальне навчання; активне навчання; медична освіта; лабораторна робота.

Abstract. To form the professional competence of future doctors using the reproductive method in this paper has been developed a methodology for conducting the laboratory work on medical and biological physics. Laboratory work is based on the use of general-purpose devices, such as a pulse oximeter, designed to determine the level of oxygen in the lungs and to establish the relationship of this parameter with other important characteristics of the body.

One of the important factors in the healthy functioning of the body is satisfactory oxygen saturation of the lungs. The reduction of this indicator is the source of a number of diseases in its initial stage, including SARS-CoV-2 (COVID-19). Therefore, it is necessary to use a simple devices and widely available method of monitoring oxygen levels in the lungs. One of such devices is a pulse oximeter. The purpose of this work is to develop practical skills of working with a pulse oximeter on the example of laboratory work and the ability to interpret the results.

The work has a theoretical and applied nature. The problem was solved using a standard pulse oximeter. The developed technique allows to establish the limits of use of this device and to establish the relationship between oxygen levels and such characteristics of the body as heart rate and temperature.

The main result of the work is a developed method of laboratory work on the use of a standard pulse oximeter in combination with a tonometer and thermometer to diagnose the body and detect violations of oxygen supply to the body in the early stages.

Availability and ease of use of devices allow to expand the boundaries of the educational process: students can access the measuring devices at a time convenient for them and the teacher and conduct a set of studies in a clinical setting.

© Ю. С. Мазуренко

Developed laboratory work to study the structure and principle of operation of the pulse oximeter showed the possibility of diagnosing problems with the respiratory and cardiovascular systems in the early stages of their manifestation. The methods of statistical processing established the existence of a correlation between such parameters as SpO_2 - pulse and SpO_2 - temperature, which allows according to pulse oximetry data to control the general condition of the body by a simple method.

Key words: experimental training; active training; medical education; laboratory work.

Вступ. Захворювання COVID-19 здатне завдати шкоди організму різними способами [3, 7, 9, 11, 13]. Його прояви змінюються від симптомів застуди до пневмонії та впливають на багато функцій і

частин тіла. Вірус вражає епітеліальні клітини, які вистилають і захищають дихальні шляхи, а також стінки альвеол, через які відбувається газообмін для насичення крові киснем (рис. 1) [5, 6].

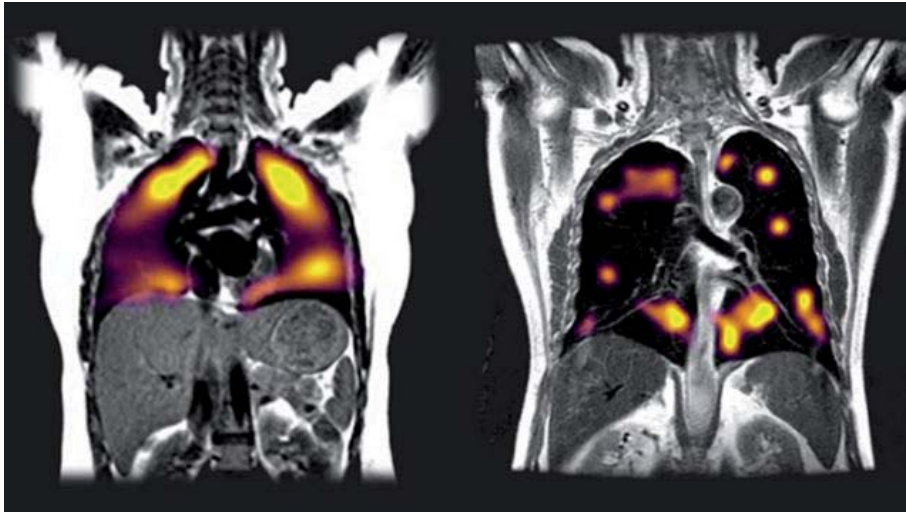


Рис. 1. Легені інфіковані вірусом SARS-CoV-2 (2019-nCoV). У легенях на фото праворуч значно більше темних плям, що свідчать про проблеми з перенесенням кисню [8].

Одним із простих та ефективних методів визначення ступеня насичення крові киснем є пульсоксиметрія [4, 12]. Використовуючи дану методику, можна легко, в домашніх умовах здійснити первинну діагностику стану легень пацієнта [10, 14]. В даній роботі ми зупинимося на основних принципах, що лежать в основі роботи і принципу дії пульсоксиметра – приладу для визначення рівня насиченості крові киснем.

Мета дослідження – формування фахової компетенції майбутніх лікарів, такої як здатність до визначення необхідного переліку лабораторних та інструментальних досліджень та оцінки їх результатів, з використанням репродуктивного методу.

Методи дослідження. Робота має теоретичний та прикладний характер. Поставлена проблема вирішувалася за допомогою стандартного пульсоксиметра та розробленої методики, що дозволяє встановити межі використання даного приладу та взаємозв'язок рівня кисню з такими характеристиками організму, як пульс і температура.

Результати дослідження. Теоретичні основи роботи пульсоксиметра і практичні прийоми роботи

з приладом ми виклали у вигляді лабораторної роботи «Вивчення роботи пульсоксиметра». Передбачається ввести таку роботу при вивченні курсу «Медична та біологічна фізика» [1, 2] для студентів медичних закладів вищої освіти.

Теоретичні відомості.

В основі методу пульсоксиметрії лежать два основних фізичних принципи, а саме: поглинання гемоглобіном світла двох різних за довжиною хвиль змінюється, залежно від того, наскільки кров насичена киснем і світловий сигнал, що проходить через тканини, стає пульсуючим внаслідок зміни об'єму артеріального русла при кожному скороченні серця. Цей компонент за допомогою мікропроцесора можна відділити від сигналу, що йде від вен, капілярів і тканин і є, таким чином, не пульсуючим.

За транспортування кисню в тілі відповідає білок гемоглобін (Hb) в еритроцитах. Залізо гемоглобіну, приєднуючи молекулу кисню, не окислюється, а утворює оборотний зв'язок, який відносно легко руйнується при відповідних змінах концентрації гемоглобіну у крові. Гемоглобін, що приєднав кисень, стає оксигемоглобіном (HbO_2). Реакцію зв'язування

кисню гемоглобіном називають оксигенацією. Відсоткове відношення кількості O_2 , що реально зв'язаний із гемоглобіном, до кисневої ємності крові називається насиченням або сатурацією. Таким чином, SaO_2 – це відношення оксигемоглобіну до загальної кількості гемоглобіну у крові.

В нормі насичення артеріальної крові киснем складає 96–98 %. Зниження SaO_2 в артеріальній крові називається артеріальною гіпоксемією.

Насичення гемоглобіну киснем залежить від вмісту O_2 в крові. Залежність між парціальною напругою кисню в плазмі (PaO_2) і відсотком насичення гемоглобіну називається сатураційною кривою або кривою насичення (рис. 2).

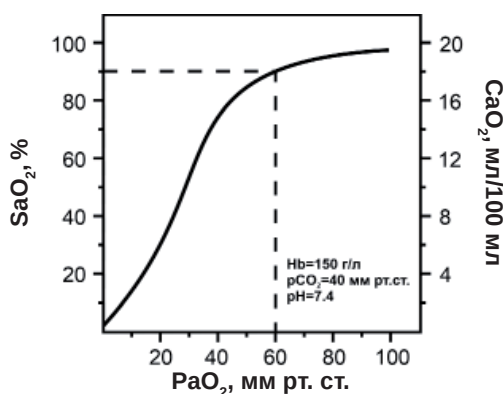


Рис. 2. Крива дисоціації оксигемоглобіну (крива сатурації). PaO_2 – парціальний тиск кисню, SaO_2 – насичення гемоглобіну артеріальної крові киснем, SaO_2 – вміст кисню в артеріальній крові.

Верхня частина кривої відповідає нормальній сатурації крові ($SaO_2 > 95\%$). S-подібна форма кривої насичення гемоглобіну киснем має велике фізіологічне значення. При такій формі залежності забезпечується можливість насичення крові киснем при зміні PaO_2 в досить широких межах. Наприклад, дихальна функція крові істотно не порушується при зниженні PaO_2 в альвеолярному повітрі з 133,3 до 80–93.3 гПа. Тому, наприклад, піднімання на висоту до 3,0–3,5 км над рівнем моря не супроводжується розвитком вираженої гіпоксемії.

Фізичні основи поглинання світла речовиною.

Теоретичною основою методу пульсової оксиметрії є закон поглинання світла. На основі закону поглинання світла розроблено ряд фотометричних методів по визначенню концентрації речовин у розчині, зокрема метод пульсової оксиметрії, при якому використовується ефект пульсації артеріальної крові. В пульсовому оксиметрі аналізується поглинання або розсіювання світла різної довжини хвилі окисленим гемоглобіном і гемоглобіном.

Довжина хвилі світла вибирається таким чином, щоб вона максимально поглиналася чи розсіювалася оксигемоглобіном та гемоглобіном і мало поглиналася іншими тканинами. Такими є випромінювання $\lambda_1=660$ нм (червоне випромінювання) і $\lambda_2=940$ нм (інфрачервона область). При $\lambda_1=660$ нм поглинає сильніше гемоглобін (майже у 10 разів сильніше, ніж оксигемоглобін), а при $\lambda_2=940$ нм – сильніше поглинає оксигемоглобін.

Світло, що пройшло крізь насичені артеріальною кров'ю тканини, реєструється фотоприймачем датчика. Випромінювачі червоного та інфрачервоного каналів працюють по черговому (рис. 3).



Рис. 3. Фази роботи випромінювачів пульсоксиметра.

Крім цього, передбачена фаза, коли обидва світлодіоди не випромінюють світло. Темнова фаза необхідна для того, щоб виключити вплив фонового засвічення від інших джерел освітлення.

Будова і принцип роботи пульсового оксиметра.

Структурна схема пульсового оксиметра наведена на рисунку 4.

На рисунку 4 наведений загальний вигляд приладу. Випромінювачі каналів і фотоприймач розташовані всередині датчика. Сигнали пульсових хвиль виділяють після попереднього підсилення і фільтрації. Потім вони перетворюються аналогоцифровим перетворювачем (АЦП) у числові значення і використовуються процесором для розрахунку наповнення пульсу і величини сатурації крові SaO_2 за калібрувальною кривою пульсоксиметра, закладеною в пам'ять мікропроцесора.

Принцип вимірювання – випромінювання двох довжин хвиль світла і вимірювання відбитих світлових сигналів. Цей сигнал буде відображати пульс, оскільки кров подається в артерії, створюючи підсилення поглинання.

Кисневе насичення визначається функціональною залежністю між сигналами для двох довжин хвиль.

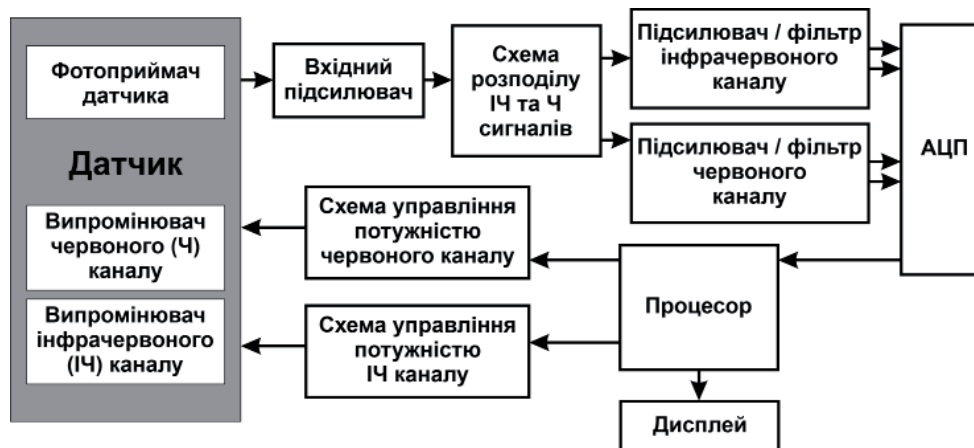


Рис. 4. Структурна схема пульсового оксиметра.

Сигнал пульсової хвилі створюється тільки пульсуючою артеріальною кров'ю. Він згасає у міру наповнення мікросудин кров'ю під час систоли серця (t_2) і збільшується під час діастолі (t_1). Взято в розрахунок припущення, що інтенсивність поглинання світла іншими тканинами в конкретної людини є величина стала. Тому, врахувавши цей факт, значення сигналу в момент часу t_1 :

$$I_{1t_1} = I_0 K e^{-\alpha_1 x_1 - \alpha_2 y_1},$$

де K – коефіцієнт поглинання світла рештою тканин, крім артеріальної крові;

α_1 – ефективний відносний переріз поглинання молекул окисленого гемоглобіну в першому спектральному каналі;

α_2 – ефективний відносний переріз поглинання молекул відновленого гемоглобіну в першому спектральному каналі;

x_1 – кількість молекул окисленого гемоглобіну в момент часу t_1 ;

y_1 – кількість молекул відновленого гемоглобіну в момент часу t_1 .

Для моменту часу t_2 :

$$I_{1t_2} = I_0 K e^{-\alpha_1 x_2 - \alpha_2 y_2}.$$

Для того щоб уникнути впливу інших тканин на результати вимірювання, знайдемо:

$$\ln \frac{I_{1t_1}}{I_{1t_2}} = \alpha_1 (x_2 - x_1) + \alpha_2 (y_2 - y_1) = \alpha_1 \Delta x + \alpha_2 \Delta y,$$

де Δx – зміна кількості молекул окисленого гемоглобіну за час ($t_1 - t_2$);

Δy – зміна кількості молекул відновленого гемоглобіну за час ($t_1 - t_2$).

Аналогічно для другого спектрального каналу:

$$\ln \frac{I_{2t_1}}{I_{2t_2}} = \alpha_3 \Delta x + \alpha_4 \Delta y,$$

де α_3 – ефективний відносний переріз поглинання молекул окисленого гемоглобіну у другому спектральному каналі;

α_4 – ефективний відносний переріз поглинання молекул відновленого гемоглобіну у другому спектральному каналі.

$$R = \frac{\ln \left(\frac{I_{1t_1}}{I_{1t_2}} \right)}{\ln \left(\frac{I_{2t_1}}{I_{2t_2}} \right)} = \frac{\alpha_1 \Delta x + \alpha_2 \Delta y}{\alpha_3 \Delta x + \alpha_4 \Delta y}.$$

Чисельник і знаменник правої частини останнього виразу поділимо на $(\Delta x + \Delta y)$ і, врахувавши, що

$$\text{фізичний зміст } \frac{\Delta x}{\Delta x + \Delta y} = Sa, \quad \frac{\Delta y}{\Delta x + \Delta y} = 1 - Sa,$$

де Sa – відносний вміст оксигемоглобіну в артеріальній крові.

Остаточо отримаємо:

$$R = \frac{\alpha_1 Sa + \alpha_2 (1 - Sa)}{\alpha_3 Sa + \alpha_4 (1 - Sa)}.$$

У випадку, коли довжина хвилі першого спектрального каналу $\lambda_1 = 660$ нм, а другого – $\lambda_2 = 940$ нм, отримаємо графічну залежність Sa від R , що називається калібрувальною кривою пульсоксиметра. Графічне представлення калібрувальної кривої наведено на рисунку 5.

Після розділення сигналів червоного та інфрачервоного світла сигнали каналів мають вигляд, зображений на рисунку 6.

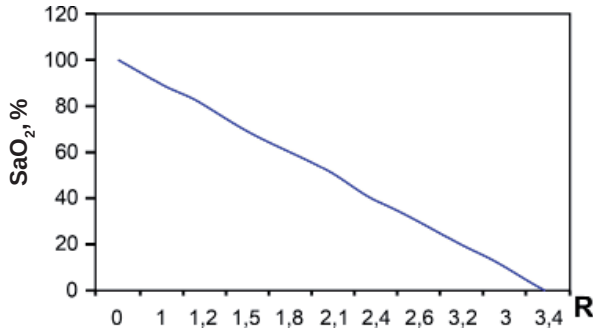


Рис. 5. Калібрувальна крива пульсоксиметра.

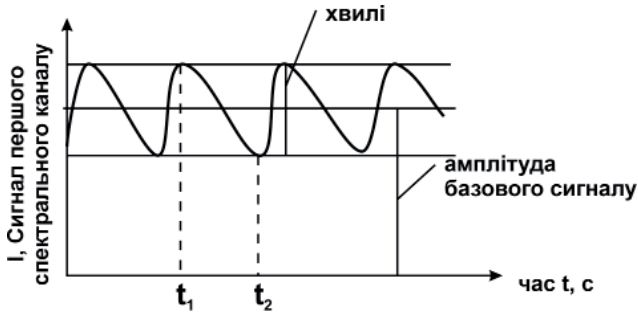


Рис. 6. Форма світлового потоку на фотоприймачі.

Пульсоксиметрію зазвичай виконують на пальці чи вусі, оскільки частини тіла добре пов'язані з венозною кров'ю, тому об'єми порцій високі. В пульсоксиметрії використовують довжини хвилі червоної і ближньої інфрачервоної областей. Розсіювання світла в тканинах дає можливість вимірювання в режимах проходження і відбивання (рис. 7). У режимі проходження (рис. 7, а) світлодіоди і фотодетектор розміщують на протилежні боки пальця, а світло проходить крізь нього. В режимі відбивання (рис. 7, б) світлодіоди і фотодетектори розміщують на одній і тій самій поверхні.

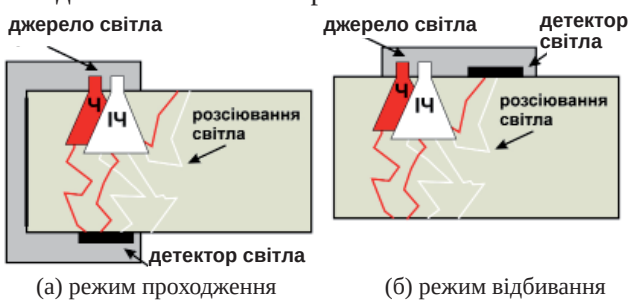


Рис. 7. Основні конфігурації на проходження та відбивання для пульсоксиметрії. На рисунку (а) показано режим на проходження, де джерело світла та світловий датчик розміщені у протилежних сторонах. На рисунку (б) показано режим на відбивання, в цьому випадку джерело світла та світловий датчик розміщені на одній стороні.

Хід роботи

Уважно ознайомтесь з інструкцією до приладу. Ввімкніть прилад і ознайомтесь з основними на-

стройками. Переконайтесь, що прилад готовий до роботи.

Дослід 1. Здійсніть кілька вимірювань на різних пальцях лівої і правої рук спочатку в затемненому місці, а потім під дією прямого падаючого освітлення. Порівняйте результати і зробіть висновки.

Дослід 2. Здійсніть вимірювання ступеня насичення крові киснем студентів групи. Отримані результати розділіть на дві групи згідно зі статевою ознакою досліджуваних. Порівняйте результати. Зробіть висновки.

Дослід 3 (проводиться в клінічних умовах). Проведіть вимірювання ступеня насиченості крові киснем групи хворих на COVID-19. В якості контрольної групи здійсніть аналогічні вимірювання у медичного персоналу. Зафіксуйте такі дані: вік, стать, температуру, тривалість і ступінь захворювання. Дані занесіть у кореляційну таблицю.

Побудуйте такі залежності: SaO₂ – температура; SaO₂ – тривалість хвороби.

За даними залежностями сформулюйте імовірний прогноз:

97–99 % – ви практично здорові;

94–97 % – вам бажано було б провести обстеження стану легень і серцево-судинної системи. У вас можуть бути проблеми;

менше 94 % – зверніться до лікаря.

За допомогою пульсоксиметра (Fingertip Pulse Oximeter OUK-80C-1) було обстежено 56 реципієнтів. Ми здійснили кореляційний аналіз основних характеристик опитаних, таких, як: температура, пульс і значення SpO₂. Результати аналізу показали, що рівняння регресії між значеннями пульсу і SpO₂ має вигляд $y=95,34+0,025x$, між значеннями температури і SpO₂ – $y=21,52+0,6x$. Дані величини корелюють між собою з коефіцієнтом кореляції 0,67 для пульсу і 0,51 для температури.

На рисунку 8 наведено співвідношення досліджуваних параметрів в опитуваних. Встановлено залежність середньозваженого значення SpO₂ від віку пацієнта. На гістограмі наведено відповідні параметри. Як видно з наведених досліджень, найвищі показники SpO₂ спостерігаються у віковій групі від 30 до 40 років, з віком ці значення зменшуються, очевидно такі зміни пояснюються загальним станом організму (рис. 9).

Стосовно статевій залежності значення SpO₂ ми побудували варіаційний ряд окремо для опитуваних чоловічої та жіночої статей і розрахували середньозважені значення, які становлять 97,07 для чоловіків і 97,74 для жінок.

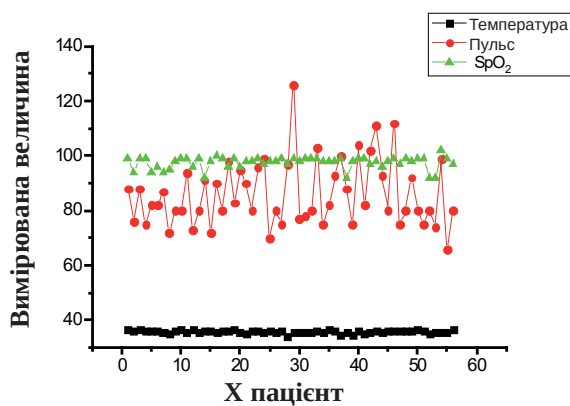


Рис. 8. Співвідношення параметрів температури, пульсу і значення SpO₂ в опитуваних.

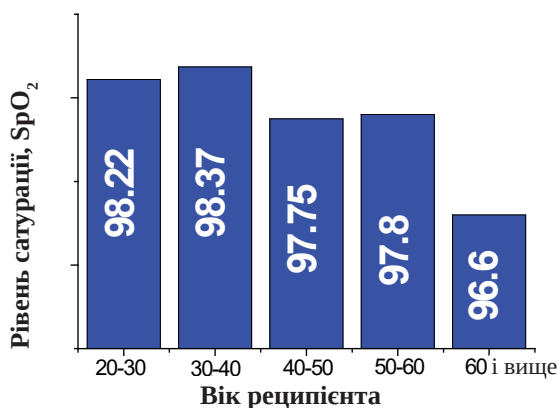


Рис. 9. Гістограма за віковою ознакою.

Список літератури

1. Іванченко О. З. Використання проблемного підходу при викладанні медичної і біологічної фізики / О. З. Іванченко, О. З. Мельнікова // Медична освіта. – 2017. – № 1. – С. 65–68. DOI <https://doi.org/10.11603/me.2414-5998.2017.1.7347>.
2. Остапович Н. Використання відео для навчання майбутніх лікарів медичної та біологічної фізики – потреба сьогодні / Н. Остапович // Acta Paedagogica Volyniensis. – 2021. – № 3. – С. 225–232. DOI <https://doi.org/10.32782/apv/2021.3.33>.
3. Cardiac inflammation in COVID-19: Lessons from heart failure / S. D. Unudurthi, P. Luthra, R. J. C. Bose [et al.] // Life Sciences. – 2020. – Vol. 260. – P. 118482. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.118482>.
4. Correlation between oxyhaemoglobin saturation by pulse oximetry and partial pressure of oxygen in patients with acute respiratory failure / C. Cinesi-Gómez, P. García-García, I. López-Pelayo [et al.] // Revista Clínica Española (English Edition). – 2017. – Vol. 217 (9). – P. 522–525. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2017.08.005>.
5. COVID-19 and the lungs: A review / W.-L. Su, K.-C. Lu, C.-Y. Chan, Y.-C. Chao // Journal of Infection and Public Health. – 2021. – Vol. 14 (11). – P. 1708–1714. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.09.024>.

Виправлена вибіркова дисперсія значення SpO₂, визначена за формулою $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n m_i (x_i - \bar{x})^2$,

де n – загальне число опитаних, m_i – частота (кількість значень, що повторюються), x_i – варіанта (значення вимірюваної величини), \bar{x} – середньозважене значення вимірюваної величини для чоловіків і жінок складає 4,11 і 3,42 відповідно, а вибіркоче середнє квадратичне відхилення ($s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n m_i (x_i - \bar{x})^2}$) – 2,03 і 1,85 від-

повідно.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблена лабораторна робота по вивченню будови і принципу роботи пульсоксиметра показала можливість діагностики проблем із дихальною та серцево-судинною системами на ранніх стадіях їх прояву. Методами статистичної обробки встановлено існування кореляції між такими параметрами, як SpO₂ – пульс і SpO₂ – температура, що дає змогу за даними пульсоксиметрії контролювати загальний стан організму простим методом.

Подальші дослідження будуть спрямовуватися на вдосконалення методики проведення лабораторної роботи та використання сучасних інформаційних технологій і елементів дистанційного навчання.

6. Diffuse alveolar damage and thrombotic microangiopathy are the main histopathological findings in lung tissue biopsy samples of COVID-19 patients / F. Sadegh Beigee, M. Pourabdollah Toutkaboni, N. Khalili [et al.] // Pathology - Research and Practice. – 2020. – Vol. 216 (10). – P. 153228. DOI <https://doi.org/10.1016/j.prp.2020.153228>.

7. Factors associated with chronic de novo post-COVID gastrointestinal disorders in a metropolitan United States county / C. Vélez, M. Paz, C. Silvernale [et al.] // Clinical Gastroenterology and Hepatology. – 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2021.10.020>.

8. Ghosh Pallab. Covid-19: Lung damage ‘identified’ in study / Pallab Ghosh // BBC News. – 2020. – Access mode : <https://www.bbc.com/news/health-55017301>.

9. Impact of the COVID-19 pandemic on people with epilepsy: Findings from the Brazilian arm of the COV-E study / M. Andraus, J. Thorpe, X. Y. Tai [et al.] // Epilepsy & Behavior. – 2021. – Vol. 123. – P. 10826. DOI <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2021.108261>.

10. Nitzan M. Pulse oximetry in the pulmonary tissue for the non-invasive measurement of mixed venous oxygen saturation / M. Nitzan, I. Nitzan // Medical Hypotheses. – 2013. – Vol. 81, Issue 2. – P. 293–296. Elsevier BV. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2013.04.026>.

11. Psychological Influence of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic on the General Public, Medical Workers, and Patients With Mental Disorders and its Countermeasures / S. Wang, X. Wen, Y. Dong [et al.] // *Psychosomatics*. – 2020. – Vol. 61 (6). – P. 616–624. DOI <https://doi.org/10.1016/j.psym.2020.05.005>.

12. Pulse oximetry in low-resource settings during the COVID-19 pandemic / N. Starr, D. Rebollo, Y. M. Asemu [et al.] // *The Lancet Global Health*. – 2020. – Vol. 8 (9). – P. e1121–e1122. DOI [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(20\)30287-4](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(20)30287-4).

References

1. Ivanchenko, O.Z., & Melnikova, O.Z. (2017). Vykorystannya problemnoho pidkhodu pry vykladanni medychnoi i biolohichnoi fizyky [The use of problem approach in teaching of medical and biological physics]. *Medychna osvita – Medical Education*, 1, 65-68. DOI <https://doi.org/10.11603/me.2414-5998.2017.1.7347> [in Ukrainian].

2. Ostapovych, N. (2021). Vykorystannya video dlia navchannia maibutnikh likariv medychnoi ta biolohichnoi fizyky – potreba sohodennia [Usage of videos for teaching of future doctors in medical and biological physics as a demand of the present time]. *Acta Paedagogica Volyniensis*, 3, 225-232. DOI <https://doi.org/10.32782/apv/2021.3.33> [in Ukrainian].

3. Unudurthi, S.D., Luthra, P., Bose, R.J.C., McCarthy, J.R., & Kontaridis, M.I. (2020). Cardiac inflammation in COVID-19: Lessons from heart failure. *Life Sciences*, 260, 118482. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2020.118482>.

4. Cinesí-Gómez, C., García-García, P., López-Pelayo, I., Giménez, J.I., González-Torres, L.M., & Bernal-Morell, E. (2017). Correlation between oxyhaemoglobin saturation by pulse oximetry and partial pressure of oxygen in patients with acute respiratory failure. *Revista Clínica Española (English Edition)*, 217(9), 522-525. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2017.08.005>.

5. Su, W.-L., Lu, K.-C., Chan, C.-Y., & Chao, Y.-C. (2021). COVID-19 and the lungs: A review. *Journal of Infection and Public Health*, 14(11), 1708-1714. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.09.024>.

6. Sadegh Beigee, F., Pourabdollah Toutkaboni, M., Khalili, N., Nadji, S.A., Dorudinia, A., Rezaei, M., ... Rafiezhadeh, A. (2020). Diffuse alveolar damage and thrombotic microangiopathy are the main histopathological findings in lung tissue biopsy samples of COVID-19 patients. *Pathology - Research and Practice*, 216(10), 153228. DOI <https://doi.org/10.1016/j.prp.2020.153228>.

7. Vélez, C., Paz, M., Silvernale, C., Stratton, L.W., Kuo, B., Staller, K., ... Betancourt, J.R. (2021). Factors associated with chronic de novo post-COVID gastrointestinal disorders in a metropolitan United States county. *Clinical*

13. The long-term sequelae of COVID-19: an international consensus on research priorities for patients with pre-existing and new-onset airways disease / D. Adeloye, O. Elneima, L. Daines [et al.] // *The Lancet Respiratory Medicine*. – 2021. DOI [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(21\)00286-1](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(21)00286-1).

14. Verhoeven D. Pulse-oximetry accurately predicts lung pathology and the immune response during influenza infection / D. Verhoeven, J. R. Teijaro, D. L. Farber // *Virology*. – 2009. – Vol. 390 (2). – P. 151–156. DOI <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.05.004>.

Gastroenterology and Hepatology. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2021.10.020>.

8. Ghosh, Pallab (2020). *Covid-19: Lung damage 'identified' in study*. BBC. Retrieved from: <https://www.bbc.com/news/health-55017301>.

9. Andraus, M., Thorpe, J., Tai, X.Y., Ashby, S., Hallab, A., Ding, D., ... Sen, A. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on people with epilepsy: Findings from the Brazilian arm of the COV-E study. *Epilepsy & Behavior*, 123, 108261. DOI <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2021.108261>.

10. Nitzan, M., & Nitzan, I. (2013). Pulse oximetry in the pulmonary tissue for the non-invasive measurement of mixed venous oxygen saturation. *Medical Hypotheses*, 81(2), 293-296. Elsevier BV. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2013.04.026>.

11. Wang, S., Wen, X., Dong, Y., Liu, B., & Cui, M. (2020). Psychological Influence of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic on the General Public, Medical Workers, and Patients With Mental Disorders and its Countermeasures. *Psychosomatics*, 61(6), 616-624. DOI <https://doi.org/10.1016/j.psym.2020.05.005>.

12. Starr, N., Rebollo, D., Asemu, Y.M., Akalu, L., Mohammed, H.A., Menchamo, M.W., ... Weiser, T.G. (2020). Pulse oximetry in low-resource settings during the COVID-19 pandemic. *The Lancet Global Health*, 8(9), e1121-e1122. DOI [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(20\)30287-4](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(20)30287-4).

13. Adeloye, D., Elneima, O., Daines, L., Poinasamy, K., Quint, J.K., Walker, S., ... De Soyza, A. (2021). The long-term sequelae of COVID-19: an international consensus on research priorities for patients with pre-existing and new-onset airways disease. *The Lancet Respiratory Medicine*. DOI [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(21\)00286-1](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(21)00286-1).

14. Verhoeven, D., Teijaro, J.R., & Farber, D.L. (2009). Pulse-oximetry accurately predicts lung pathology and the immune response during influenza infection. *Virology*, 390(2), 151-156. DOI <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.05.004>.

Отримано 18.10.21
Рекомендовано 01.11.21

Електронна адреса для листування: yumazurenko@ifnmu.edu.ua