

УДК 615.47

АНДРІЙ СОКОЛЬЦОВ, ОЛЕГ АВРУНІН

АНАЛІЗ ДИХАЛЬНИХ ЦИКЛІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РИНОМАНОМЕТРІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРИВАЛОСТІ ПІД ЧАС ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

¹*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, andrii.sokoltsov@nure.ua,
oleh.avrunin@nure.ua*

Анотація. У роботі представлено підхід до оцінки рівня небажаних навантажень у пневмотренажері RRG-100 засобами імітаційного моделювання в MATLAB шляхом розв'язання прямої задачі кінематики. Розроблено інтерактивний інтерфейс, що дозволяє вводити антропометричні дані користувача; імітувати кути згинання в суглобах. Побудовано геометрії пальця та траєкторії руху кінчика фаланги за допомогою функцій низькорівневої графіки. Визначено, що неспіввісність анатомічних та механічних осей пристрою призводить до виникнення небажаних навантажень. Запропонований підхід забезпечує базу для подальшої розробки систем індивідуального налаштування пневматичних тренажерів типу RRG-100.

Ключові слова: пневмотренажер RRG-100, небажані навантаження, MATLAB, імітаційне моделювання, реабілітація кисті руки, м'яка робототехніка, пневматичний актуатор, неспіввісність.

Abstract. The paper presents an approach to assessing the level of undesirable loads in the RRG-100 pneumatic simulator using simulation modeling in MATLAB by solving a direct kinematics problem. An interactive interface has been developed that allows entering user anthropometric data; simulating bending angles in the joints. The finger geometries and the trajectory of the tip of the phalanx have been constructed using low-level graphics functions. It has been determined that the misalignment of the anatomical and mechanical axes of the device leads to the occurrence of undesirable loads. The proposed approach provides a basis for further development of individual adjustment systems for pneumatic simulators of the RRG-100 type.

Keywords: Pneumatic trainer RRG-100, unwanted loads, MATLAB, simulation modeling, hand rehabilitation, soft robotics, pneumatic actuator, incoherence

DOI: 10.31649/1681-7893-2026-51-1-211-219

I. ВСТУП

Функціональні методи дослідження дихання відіграють важливу роль як у медичній практиці, так і спортивній медицині та фізичній реабілітації. Їх значущість суттєво зростає в умовах тестування можливостей організму в екстремальних умовах, наприклад, при інтенсифікації тренувального процесу у спортсменів високої кваліфікації, а також на етапах медичної реабілітації [1, 2]. У цьому контексті актуальним є визначення найбільш інформативних і діагностично значущих показників, що дозволяють об'єктивно оцінювати функціональний стан організму та обґрунтувати вибір оптимальних режимів тренувальних навантажень та фізичних вправ [3, 4], що може бути дуже важливим саме під час проведення фізичної реабілітації. Для дослідження функції зовнішнього дихання людини під час фізичних навантажень існує метод ергоспірометрії [5-8]. Але в ньому розглядається ротове дихання із застосуванням спірометричного підходу. Але при кардіонавантаженнях доцільно використовувати метод тестування саме найбільш фізіологічного – носового дихання за допомогою риноманометрії. Тому, в роботі актуальним є визначення риноманометричних показників показників під час фізичних навантажень, або дослідження витривалості під час носового дихання через різні аеродинамічні опори.

II. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ТЕСТУВАННІ НОСОВОГО ДИХАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Носове дихання є фізіологічно оптимальним механізмом вентиляції дихальних шляхів, оскільки порожнина носа виконує функції біологічного фільтра, тепло- та вологообмінника, а також сенсорного регулятора повітряного потоку [2-4, 9]. Під час проходження через порожнину носа повітря зігрівається, зволожується, очищується від пилових частинок, хімічних домішок і мікроорганізмів. Крім того, повітряний потік є фізіологічним подразником рецепторів слизової оболонки, структур трійчастого нерва, вегетативної нервової системи та судинного русла. Порожнина носа (рис. 1) має складну просторову геометрію й може розглядатися як біомеханічний канал зі змінним поперечним перерізом [10, 11]. Вона утворена верхньою, нижньою та латеральними стінками, а носова перегородка розділяє її на праву й ліву половини. Перегородка складається з кісткового та хрящового відділів, які мають різні механічні властивості. Хрящова частина є більш еластичною, тоді як кісткова має вищу жорсткість [12, 13]. Лише незначна частина людей має рівну носову -перегородку; у більшості спостерігаються її викривлення, гребні або шипи, що можуть змінювати аеродинаміку носового дихання. Приклад комп'ютерно-томографічної візуалізації структур носової порожнини в аксіальній проекції та фронтальна мультипланарна реконструкція приводяться на рисунках 1, а та 1, б, відповідно.

До найчастіших анатомічних чинників назальної обструкції також належать девіація носової перегородки, гіпертрофія нижніх носових раковин і колапс носового клапана, поширеність яких серед пацієнтів із помірними та тяжкими синоназальними скаргами становить відповідно 76%, 72% і 67% [14]. З позицій фізіології нормальна функція носа визначається не лише його здатністю пропускати повітря, а й характером руху потоку, локальними змінами тиску, швидкості, турбулентності та взаємодією повітря зі слизовою оболонкою. Найвужчою ділянкою порожнини носа є носовий клапан, кут якого становить приблизно 10-15°. У цій зоні швидкість повітряного потоку зростає, а його рух може набувати турбулентного або спіралеподібного характеру. Надалі потік стабілізується й прямує до хоани через загальний носовий хід уздовж середньої носової раковини. Важливу роль у регуляції потоку відіграють *aggei nasi* та гачкоподібний відросток. Вони обмежують проникнення основної маси вдихуваного повітря в середній носовий хід, запобігаючи порушенню вентиляції навколоносових пазух. За умов анатомічних змін внутрішньоносових структур, нормальна аеродинаміка порушується, і потік може спрямовуватися в середній носовий хід, що порушує аеродинаміку та вентиляційний цикл придаткових пазух носа. Деформації носової перегородки істотно змінюють напрямку руху повітря. Залежно від локалізації викривлення потік може відбиватися в напрямку нижньої носової раковини, середньої носової раковини або остіомеатального комплексу. У ділянках звуження швидкість потоку підвищується, що спричиняє хронічне механічне подразнення слизової оболонки. За нормальної частоти дихання така дія повторюється близько 1000 разів на годину й може призводити до вазомоторних, гіпертрофічних або поліпоподібних змін.

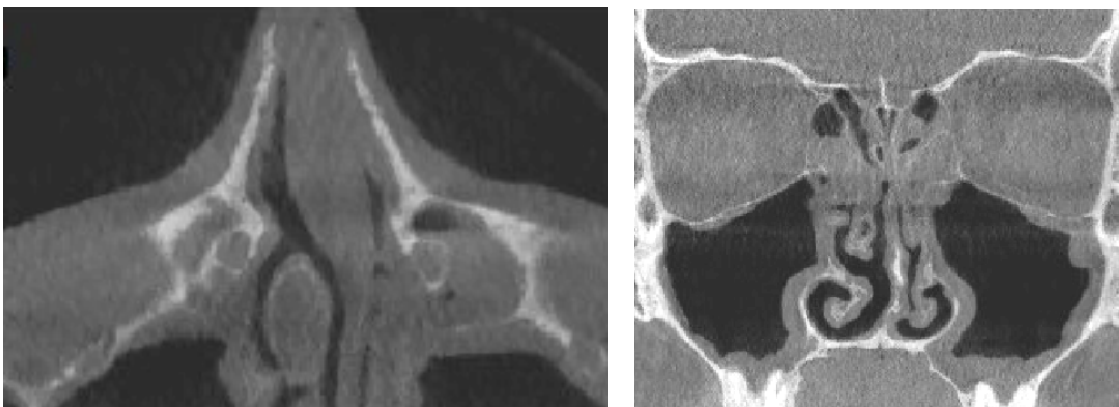


Рисунок 1 – Приклад комп'ютерно-томографічної візуалізації структур носової порожнини: а – аксіальний томографічний зріз, б – фронтальна мультипланарна реконструкція

Риноманометрія є важливим методом об'єктивної функціональної оцінки носового дихання і дозволяє визначити коефіцієнт аеродинамічного носового опору по даним вимірювання перепаду тиску в носовій порожнині та відповідної витрати повітря під час дихальних маневрів [1-4, 15, 16]. Дослідження іноді доцільно проводити у два етапи: спочатку на інтактній слизовій оболонці порожнини носа, а потім

повторно після застосування топічних деконгестантів. Такий діагностичний підхід дає змогу кількісно визначити назальний опір, оцінити об'єм повітряного потоку та диференціювати анатомічний і вазомоторний компоненти назальної обструкції [2-4]. В літературі [17-19] наведено аналіз риноманометричних даних а також показники норми та при різних порушеннях носового дихання, досліджується повторювальність результатів вимірювань. Основні ускладнення носового дихання (окрім майже повної обструкції) пацієнт, як правило, починає відчувати при форсованому режимі дихання під час фізичних навантажень [20, 21]. Тому, метою роботи є визначення риноманометричних показників показників під час фізичних навантажень, або дослідження витривалості під час носового дихання через різні аеродинамічні опори.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В роботі для досліджень використовувався комп'ютерний риноманометр для тестування носового дихання на основі пристрою для вимірювання перепадно-витратних характеристик КРМ ТНДА-ПВХ (рис. 2). Пристрій містить дихальну маску, що накладається на обличчя людини і з'єднується з повітряним трактом риноманометру, в якому проводиться вимір витрати повітря Q на основі сопла Вентурі та перепаду Δp тиску між носоглоткою та зовнішнім повітрям. Пристрій дозволяє реалізовувати метод задньої активної риноманометрії прирізних режимах дихання. Дослідженню підлягали безпосередньо коефіцієнт аеродинамічного носового опору [2-4]

$$A = \frac{\Delta p}{Q} \quad (1)$$

та пневматична потужність носового дихання

$$N = \Delta p \cdot Q, \quad (2)$$

де Q – витрата повітря при диханні; Δp – перепад тиску між носоглоткою та зовнішнім повітрям.

Оцінка відношень залежності перепаду тиску від витрати повітря наведена в літературі [1-4], тому доцільним є необхідність проаналізувати циклограми дихання – залежності перепаду тиску та витрати повітря від часу при фізичних навантаженнях.



Рисунок 2 – Комп'ютерний риноманометр для тестування носового дихання на основі пристрою для вимірювання перепадно-витратних характеристик КРМ ТНДА-ПВХ

Риноманометричні циклограми дихання в нормі та при штучному введенні аеродинамічного опору в повітряний тракт риноманометру наведені на рис 3 та 4, відповідно. Так, аналізуючи графіки перепадів тиску на рис. 3 при носовому диханні на сенсори витратоміра (1), (ці дані перепаду тиску перераховуються в значення витрати повітря згідно з формулами для витратоміра Вентурі [2-4]) та у носоглотці (2) на основі сигналів у декількох дихальних циклах можна зробити висновок, що без штучного аеродинамічного опору в нормі витрата повітря відносно велика, про що свідчить високий перепад тиску на витратомірі (на графіку 1) при відносно низькому перепаді тиску у носоглотці (графік 2), та навпаки – при диханні через штучний опір (див. рис. 4) витрата повітря обмежена та відносно низька, а перепад тиску в носоглотці великий, щоб компенсувати опір та забезпечити хоча б мінімально можливу витрату повітря. Аеродинамічним опором є сопло Вентурі у витратомірі. Підбір відповідних

отворів виконується за діаметрами 7, 8 та 9 мм і може визначатись індивідуально. Дослідження проводилися у циклі вдихання, на видиху працює зворотній клапан, який установлений у повітряному тракті риноманометру.

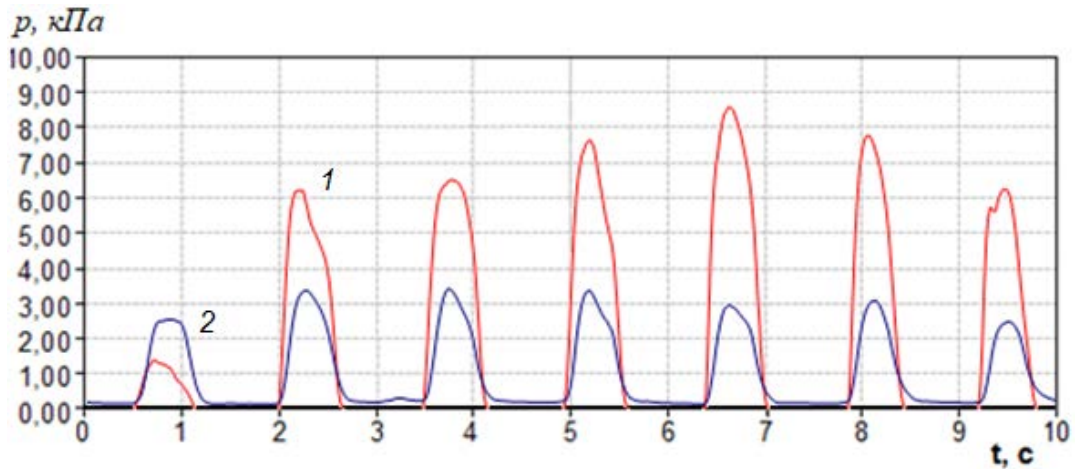


Рисунок 3 – Графіки перепадів тиску при носовому диханні на сенсорі витратоміра (1) та у носоглотці (2) у декількох дихальних циклах в нормі без штучного аеродинамічного опору

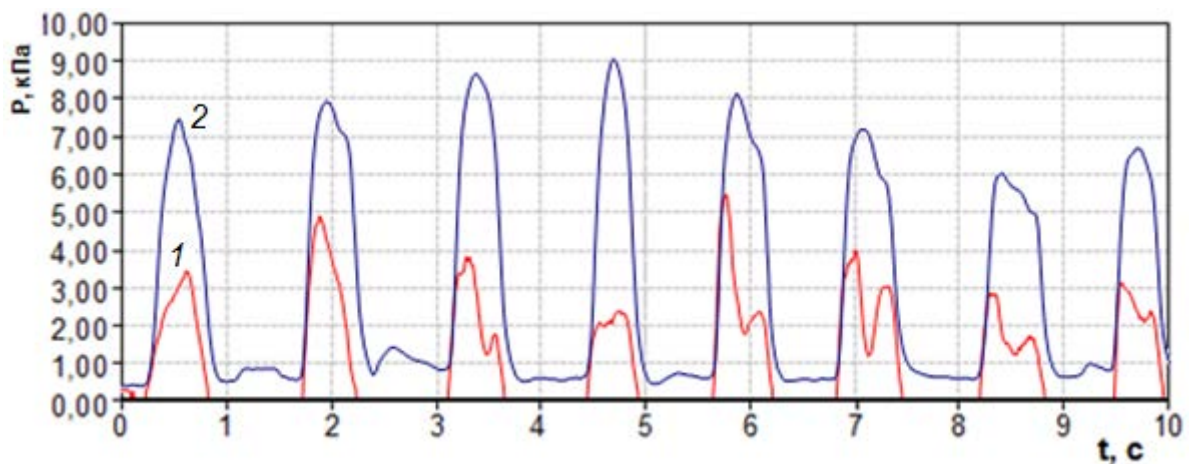


Рисунок 4 – Графіки перепадів тиску при носовому диханні на сенсорі витратоміра (1) та у носоглотці (2) у декількох дихальних циклах при введенні штучного аеродинамічного опору в дихальний тракт риноманометру

На рисунках 5, 6 та 7 показано зміни перепаду тиску, витрати повітря та, відповідно, пневматичної потужності дихання (згідно з формулою (2)) з часом при тестування носового дихання з використанням штучного аеродинамічного опору. Можливо з цих ілюстрацій бачити, що спочатку, на перших секундах тестування втома проявляється менше, ніж пізніше. Після півхвилинного тестування дуже сильно знижується перепад тиску і відповідно витрата повітря та пневматична потужність носового дихання. Доцільним для визначення витривалості під час тренувань, або в процесі реабілітації досліджувати дані залежності для визначення наскільки і під яким аеродинамічним опором буде знижуватись показники носового дихання, зокрема пневматична потужність носового дихання.

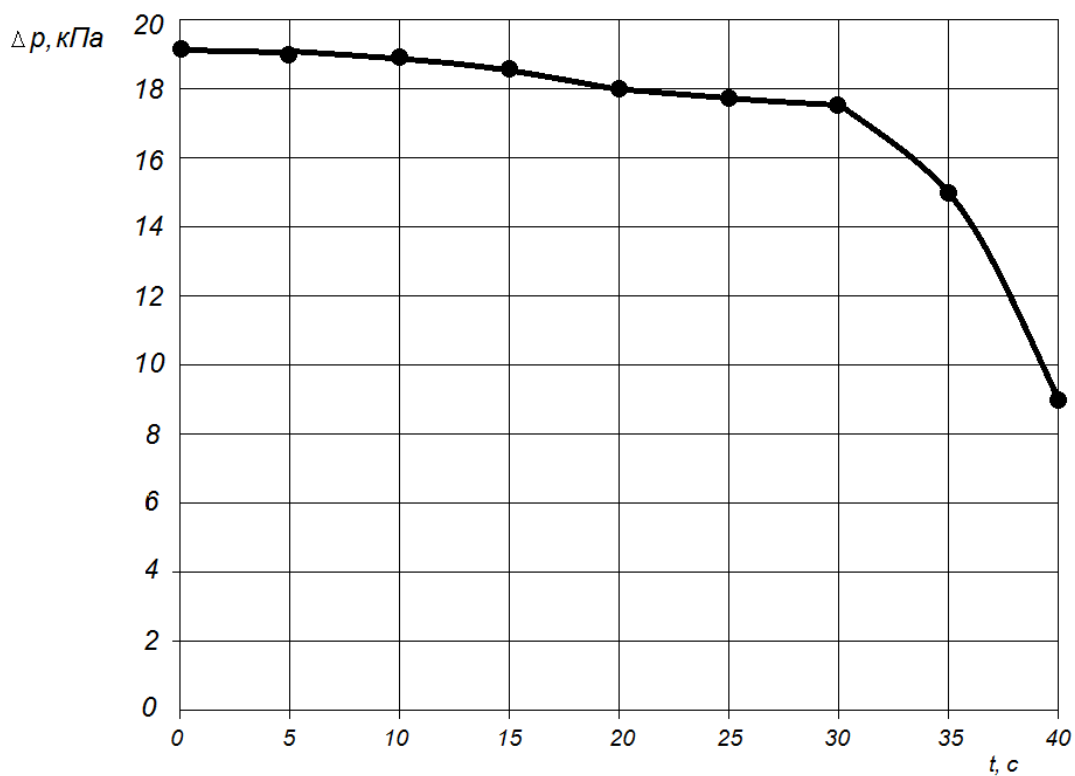


Рисунок 5 – Зміна перепаду тиску з часом при тестування носового дихання з використанням штучного аеродинамічного опору

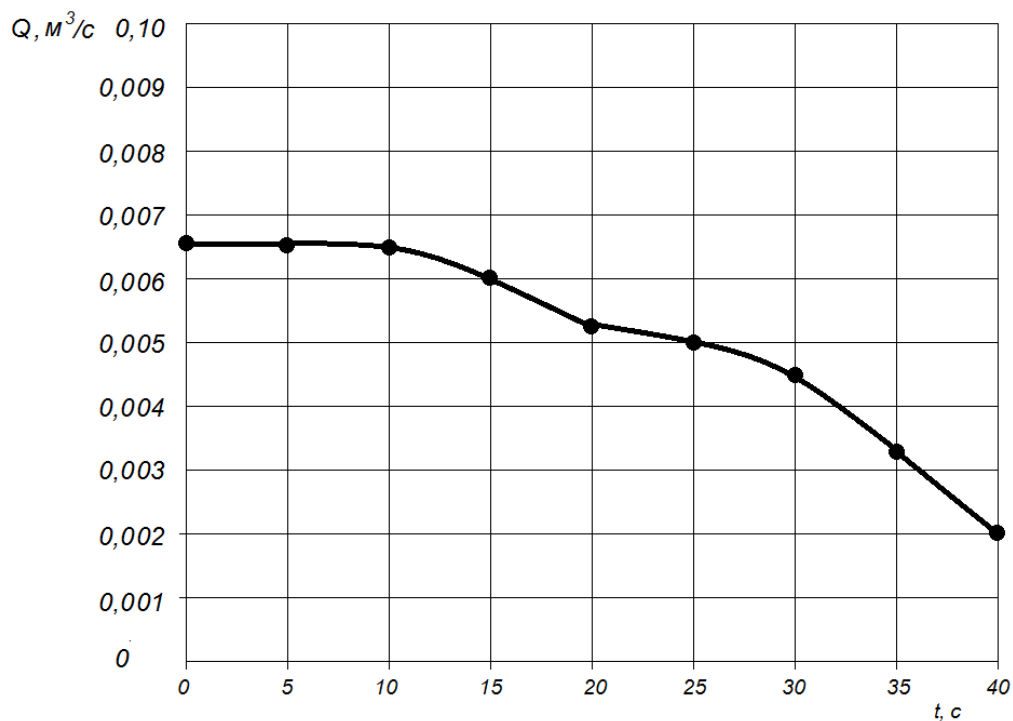


Рисунок 6 – Зміна витрати повітря з часом при тестування носового дихання з використанням штучного аеродинамічного опору

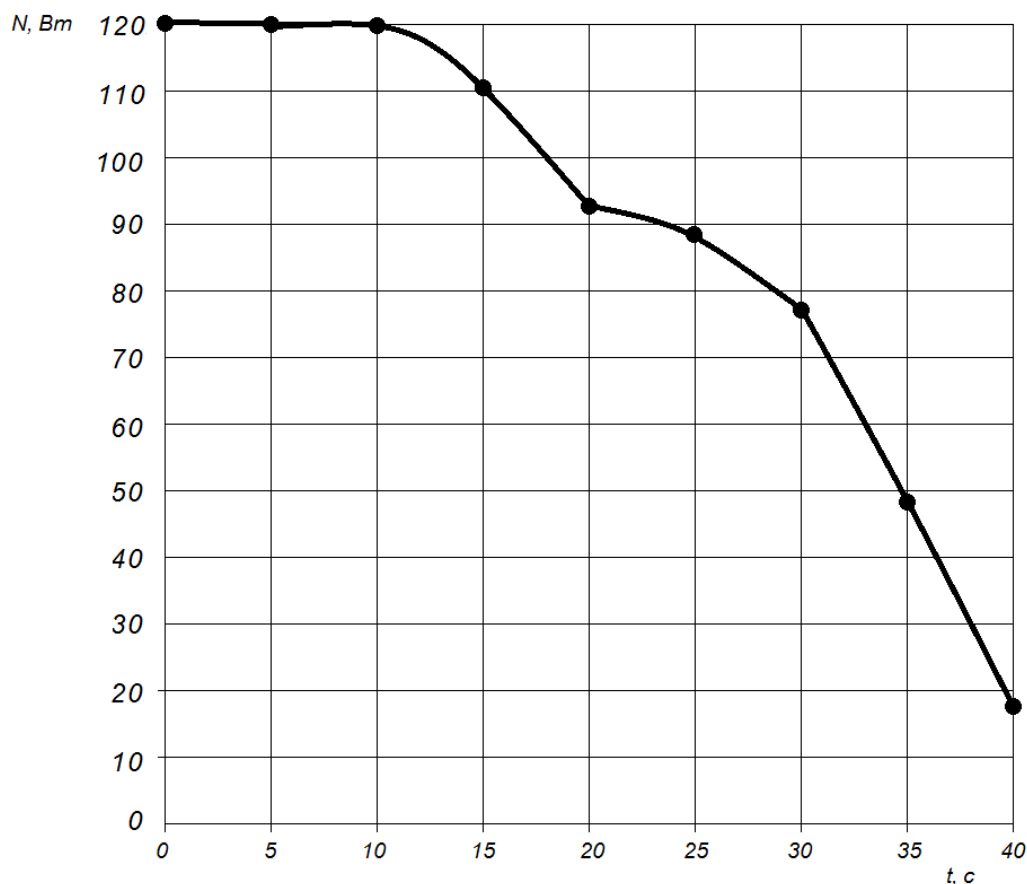


Рисунок 7 – Зміна пневматичної потужності з часом при тестування носового дихання з використанням штучного аеродинамічного опору

ВИСНОВКИ

На сучасному етапі розвитку медичної діагностики надзвичайно актуальними є завдання, пов'язані з підвищенням точності та інформативності діагностичних процедур шляхом застосування засобів обчислювальної техніки та методів автоматизованої обробки даних. У цьому контексті актуальною є розробка та вдосконалення функціональних методів дослідження носового дихання. В роботі визначено, що для коректного тестування при форсованому диханні доцільно проводити навантажувальні проби з використанням штучного аеродинамічного опору. Модифіковано метод тестування носового дихання на основі задньої активної риноманометрії, який дає можливість здійснювати дослідження в умовах навантаження зі штучним аеродинамічним опором та визначати прояви втоми при диханні. Показано, що для аналізу показників форсованої задньої активної риноманометрії доцільно застосовувати регресійний аналіз аеродинамічних параметрів носового дихання, який дозволяє кількісно оцінювати втому пацієнтів у процесі дихання. Обґрунтовано доцільність введення критерію дихальних можливостей спортсменів, який базується на оцінці ефективності форсованого носового дихання з урахуванням розвитку втоми при диханні через штучний аеродинамічний опір. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка програмного забезпечення для вторинної обробки риноманометричних даних, що забезпечить автоматизований розрахунок додаткових параметрів та сприятиме розширенню простору діагностичних ознак при діагностиці порушень носового дихання у спортивній медицині та при фізичній реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов С.В., Аврунін О.Г., Злепко С.М., Бодянський Є.В. та ін. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації // Монографія [за редакцією С. Павлова, О. Авруніна]. Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К», 2019. 260 с.
2. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Калашник М.В., Семенець В.В., Філатов В.О. Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 248 с. doi:10.30837/978-966-659-234-0
3. Аврунін О.Г., Бодянський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О., Шушляпіна Н. О. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання. Харків : ХНУРЕ, 2018. 132 с. URL: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-235-7>
4. Сучасні методи діагностики респіраторно-ольфакторної функції: монографія / О.Г. Аврунін, Я.В. Носова, В.В. Семенець, В.О. Філатов, Н. О. Шушляпіна. Харків : ХНУРЕ, 2021. 150 с.
5. Dominguez-Rodriguez A, Abreu-Gonzalez P. Test 6-minute walk or ergospirometry in the treatment of cardiac resynchronization: friend or foe? *Med Clin (Barc)*. 2017 Jan 20;148(2):95. English, Spanish. doi: 10.1016/j.medcli.2016.05.036.
6. Piotrowicz E, Zieliński T, Bodalski R, Rywik T, Dobraszkievicz-Wasilewska B, Sobieszczkańska-Małek M, Stepnowska M, Przybylski A, Browarek A, Szumowski Ł, Piotrowski W, Piotrowicz R. Home-based telemonitored Nordic walking training is well accepted, safe, effective and has high adherence among heart failure patients, including those with cardiovascular implantable electronic devices: a randomised controlled study. *Eur J Prev Cardiol*. 2015 Nov;22(11):1368-77. doi: 10.1177/2047487314551537.
7. Ozemek C, McConnell TR, Guenette JA, Arena R. Clinical implications of cardiopulmonary exercise testing. *World J Cardiol*. 2016;8(9):572–581.
8. McArdle, William & Katch, Frank & Katch, Victor. (2010). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. – Wolters Kluwer. – 1010. – 1104 p.
9. Guyton AC, Hall JE. *Textbook of Medical Physiology*. 14th ed. Philadelphia (PA): Elsevier; 2020. – 1157 p.
10. Ismail, Husham Farouk, et al. The role of paranasal sinuses in the aerodynamics of the nasal cavities. *International Journal of Life Science and Medical Research* 2.3 (2012): 52-55.
11. Tymkovych, O. Gryshkov, O. Avrunin, K. Selivanova, Y. Nosova, V. Mutsenko, et al., "Application of SOFA framework for physics-based simulation of deformable human anatomy of nasal cavity", *IFMBE Proceedings*, vol. 80, pp. 112-120, 2021.
12. Avrunin O. G., Tymkovych M. Y., Abdelhamid I. Y., Shushliapina N. O., Nosova Y. V., Semenets V. V.: Features of image segmentation of the upper respiratory tract for planning of rhinosurgical surgery. *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2019*, 485–488
13. Selivanova, K. G., Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., & Manhora, T. V. (2021). 3D Visualization of Human Body Internal Structures Surface During StereoEndoscopic Operations Using Computer Vision Techniques. *Przegląd Elektrotechniczny*, (9), 30–33
14. Bengtsson C, Jonsson L, Holmström M, Hellgren J, Franklin K, Gíslason T, Holm M, Johannessen A, Jögi R, Schlünsen V, Janson C, Lindberg E. Incident Chronic Rhinosinusitis Is Associated With Impaired Sleep Quality: Results of the RHINE Study. *J Clin Sleep Med*. 2019 Jun 15;15(6):899-905. doi: 10.5664/jcsm.7846.
15. [Cole P](#). Contemporary rhinomanometry / P. Cole, R. Fenton // [J Otolaryngol](#). – 2006. – № 35(2). – P. – 83-87.
16. Cilluffo, G., Zicari, A. M., Ferrante, G., Malizia, V., Fasola, S., Duse, M., . . . La Grutta, S. (2020). Assessing repeatability and reproducibility of anterior active rhinomanometry (AAR) in children. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1) doi:10.1186/s12874-020-00969-1
17. Vogt, K. 4-Phase-Rhinomanometry Basics and Practice / K. Vogt, A. A. Jalowayski // *Rhinology*. – 2010. – № 21. – P. 1–50.
18. The value of bilateral simultaneous nasal spirometry in the assessment of patients undergoing septoplasty / G. Fyrmipas, D. Kyrmizakis, V. Vital, J. Constantinidis // *Rhinology*. – 2011. – №49(3). – P. 297-303.
19. Clement, P. A. Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on 2005. – № 43. – P. 169–179.
20. Аврунін О.Г. Особливості дослідження носового дихання при фізичних навантаженнях / О.Г. Аврунін, Я.В. Носова, С.А. Худаєва. // Тези доповіді 5-й Всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров'я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні». – 2018. – С. 117- 119.

21. Avrunin, O. G., Nosova, Y. V., Paliy, V. G., Shushlyapina, N. O., Kalimoldayev, M., Komada, P., & Sagymbekova, A. (2017). Study of the air flow mode in the nasal cavity during a forced breath. Paper presented at the Proceedings of SPIE - the International Society for Optical Engineering, 10445 doi:10.1117/12.2280941

REFERENCES

1. Pavlov S.V., Avrunin O.G., Zlepko S.M., Bodiansky E.V. and others. Intelligent technologies in medical diagnostics, treatment and rehabilitation // Monograph [edited by S. Pavlov, O. Avrunin]. Vinnytsia: PP TD "Edelweiss and K, 2019. 260 p.
2. Avrunin O.G., Bodiansky E.V., Kalashnyk M.V., Semenets V.V., Filatov V.O. Modern intellectual technologies of functional medical diagnostics – Kharkiv: KhNURE, 2018. – 248 p. doi:10.30837/978-966-659-234-0
3. Avrunin O.G., Bodiansky E.V., Semenets V.V., Filatov V.O., Shushlyapina N. O. Information technologies for decision support in determining nasal breathing disorders. Kharkiv: KhNURE, 2018. 132 p. URL: <https://doi.org/10.30837/978-966-659-235-7>
4. Modern methods of diagnosing respiratory-olfactory function: monograph / O.G. Avrunin, Ya.V. Nosova, V.V. Semenets, V.O. Filatov, N. O. Shushlyapina. Kharkiv: KhNURE, 2021. 150 p.
5. Dominguez-Rodriguez A, Abreu-Gonzalez P. Test 6-minute walk or ergospirometry in the treatment of cardiac resynchronization: friend or foe? *Med Clin (Barc)*. 2017 Jan 20;148(2):95. English, Spanish. doi: 10.1016/j.medcli.2016.05.036.
6. Piotrowicz E, Zieliński T, Bodalski R, Rywik T, Dobraszkievicz-Wasilewska B, Sobieszcańska-Małek M, Stepnowska M, Przybylski A, Browarek A, Szumowski Ł, Piotrowski W, Piotrowicz R. Home-based telemonitored Nordic walking training is well accepted, safe, effective and has high adherence among heart failure patients, including those with cardiovascular implantable electronic devices: a randomised controlled study. *Eur J Prev Cardiol*. 2015 Nov;22(11):1368-77. doi: 10.1177/2047487314551537.
7. Ozemek C, McConnell TR, Guenette JA, Arena R. Clinical implications of cardiopulmonary exercise testing. *World J Cardiol*. 2016;8(9):572–581.
8. McArdle, William & Katch, Frank & Katch, Victor. (2010). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. – Wolters Kluwer. – 1010. – 1104 p.
9. Guyton AC, Hall JE. *Textbook of Medical Physiology*. 14th ed. Philadelphia (PA): Elsevier; 2020. – 1157 p.
10. Ismail, Husham Farouk, et al. The role of paranasal sinuses in the aerodynamics of the nasal cavities. *International Journal of Life Science and Medical Research* 2.3 (2012): 52-55.
11. Tymkovich, O. Gryshkov, O. Avrunin, K. Selivanova, Y. Nosova, V. Mutsenko, et al., "Application of SOFA framework for physics-based simulation of deformable human anatomy of nasal cavity", *IFMBE Proceedings*, vol. 80, pp. 112-120, 2021.
12. Avrunin O. G., Tymkovich M. Y., Abdelhamid I. Y., Shushliapina N. O., Nosova Y. V., Semenets V. V.: Features of image segmentation of the upper respiratory tract for planning of rhinosurgical surgery. *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2019*, 485–488
13. Selivanova, K. G., Avrunin, O. G., Tymkovich, M. Y., & Manhora, T. V. (2021). 3D Visualization of Human Body Internal Structures Surface During StereoEndoscopic Operations Using Computer Vision Techniques. *Przegląd Elektrotechniczny*, (9), 30–33
14. Bengtsson C, Jonsson L, Holmström M, Hellgren J, Franklin K, Gíslason T, Holm M, Johannessen A, Jögi R, Schlünssen V, Janson C, Lindberg E. Incident Chronic Rhinosinusitis Is Associated With Impaired Sleep Quality: Results of the RHINE Study. *J Clin Sleep Med*. 2019 Jun 15;15(6):899-905. doi: 10.5664/jcsm.7846.
15. [Cole P](#). Contemporary rhinomanometry / P. Cole, R. Fenton // [J Otolaryngol](#). – 2006. – № 35(2). – P. – 83-87.
16. Cilluffo, G., Zicari, A. M., Ferrante, G., Malizia, V., Fasola, S., Duse, M., . . . La Grutta, S. (2020). Assessing repeatability and reproducibility of anterior active rhinomanometry (AAR) in children. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1) doi:10.1186/s12874-020-00969-1
17. Vogt, K. 4-Phase-Rhinomanometry Basics and Practice / K. Vogt, A. A. Jalowayski // *Rhinology*. – 2010. – № 21. – P. 1–50.
18. The value of bilateral simultaneous nasal spirometry in the assessment of patients undergoing septoplasty / G. Fyrmpas, D. Kyrmizakis, V. Vital, J. Constantinidis // *Rhinology*. – 2011. – №49(3). – P. 297-303.
19. Clement, P. A. Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus

- report on 2005. – № 43. – P. 169–179.
20. Avrunin O.G. Peculiarities of the study of nasal breathing during physical exertion / O.G. Avrunin, Ya.V. Nosova, S.A. Khudaeva. // Abstracts of the report of the 5th All-Ukrainian scientific and practical conference “Health of the nation and improvement of physical education and sports education in Ukraine”.– 2018.– P. 117- 119.
21. Avrunin, O. G., Nosova, Y. V., Paliy, V. G., Shushlyapina, N. O., Kalimoldayev, M., Komada, P., & Sagymbekova, A. (2017). Study of the air flow mode in the nasal cavity during a forced breath. Paper presented at the Proceedings of SPIE - the International Society for Optical Engineering, 10445 doi:10.1117/12.2280941

Дата надходження: 15.04.2026

Дата прийняття до друку після рецензування: 15.05.2026

Дата публікації: 18.06.2026

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

СОКОЛЬЦОВ АНДРІЙ ОЛЕГОВИЧ – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, *e-mail:* andrii.sokoltsov@nure.ua,
<https://orcid.org/0009-0002-1562-6869>

АВРУНІН ОЛЕГ ГРИГОРОВИЧ – д.т.н., професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, *e-mail:* oleh.avrunin@nure.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-6312-687X>

Andriy SOKOLTSOV, Oleg AVRUNIN

**ANALYSIS OF BREATHING CYCLES DURING RHINOMANOMETRY
TO DETERMINE ENDURANCE DURING PHYSICAL EXERCISE**

Kharkiv National University of Radio Electronics,