

Ключові слова: біонічна кисть; симулятор людської долоні; антропоморфний маніпулятор; модульний палець; важільно-тягова передача; структурний аналіз.

Література

- [1] H. Li and L. Cheng, “A systematic review on hand exoskeletons from the mechatronics aspect,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 30, no. 6, pp. 4701–4719, 2025, <https://doi.org/10.1109/TMECH.2024.3500585>
- [2] B. Chen, Y. Wu, X. Ni, L. Qin, and E. Li, “Robotic hand exoskeletons for rehabilitation and assistance: A state-of-the-art,” *Journal of Medical Devices, Transactions of the ASME*, vol. 19, no. 1, Art. no. MED-24-1120, 2025, <https://doi.org/10.1115/1.4067350>
- [3] P. Tran, S. Jeong, K. R. Herrin, and J. P. Desai, “Review: Hand exoskeleton systems, clinical rehabilitation practices, and future prospects,” *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, vol. 3, no. 3, pp. 606–622, 2021, <https://doi.org/10.1109/TMRB.2021.3100625>
- [4] B. Noronha and D. Accoto, “Exoskeletal devices for hand assistance and rehabilitation: A comprehensive analysis of state-of-the-art technologies,” *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, vol. 3, no. 2, pp. 525–538, 2021, <https://doi.org/10.1109/TMRB.2021.3064412>
- [5] P. Polygerinos, Z. Wang, K. C. Galloway, R. J. Wood, and C. J. Walsh, “Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 73, pp. 135–143, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.08.014>
- [6] H. In, B. B. Kang, M. Sin, and K.-J. Cho, “Exo-Glove: A wearable robot for the hand with a soft tendon routing system,” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 22, no. 1, pp. 97–105, 2015, doi: 10.1109/MRA.2014.2362863.
- [7] G. Carbone *et al.*, “Design of a two-DOFs driving mechanism for a motion-assistance finger exoskeleton,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 7, Art. no. 2619, 2020, <https://doi.org/10.3390/app10072619>
- [8] Y. Zhang, H. Deng, and G. Zhong, “Humanoid design of mechanical fingers using a motion coupling and shape-adaptive linkage mechanism,” *Journal of Bionic Engineering*, vol. 15, pp. 94–105, 2018, <https://doi.org/10.1007/s42235-017-0007-3>
- [9] A. Kashef *et al.*, “Robotic hand: A review on linkage-driven finger mechanisms of prosthetic hands and evaluation of the performance criteria,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 144, Art. no. 103677, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.103677>
- [10] M. R. Cutkosky, “On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 5, no. 3, pp. 269–279, 1989, <https://doi.org/10.1109/70.34763>

УДК 615.47

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ІНТЕГРАЦІЇ
ТОМОГРАФІЧНИХ ТА РИНОМАНОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ У РИНОЛОГІЇ**

Сокольников А. О.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна
andrii.sokoltsov@nure.ua*

Сучасний етап розвитку біомедичної інженерії характеризується переходом від використання окремих діагностичних методів до створення комплексних інформаційно-вимірювальних систем, що забезпечують інтеграцію різноманітних

даних медичного походження. У задачах ринології така інтеграція є особливо актуальною, оскільки ефективність діагностики та подальшого лікування визначається як морфологічними особливостями порожнини носа та приносних пазух, так і функціональними характеристиками повітряного потоку [1]. При цьому існує необхідність формування єдиного інформаційного простору, в якому ці дані можуть бути узгоджені, структуровані та проаналізовані.

Комп'ютерна томографія традиційно розглядається як базовий метод візуалізації анатомічних структур, що дозволяє отримувати високоточні тривимірні зображення порожнини носа та приносних пазух. Водночас цей метод не дає прямої інформації про функціональний стан носового дихання, що обмежує його використання для оцінки ефективності лікування. З іншого боку, риноманометрія є інструментом кількісної оцінки аеродинамічних параметрів, що характеризують рух повітря через носову порожнину, однак її результати потребують інтерпретації з урахуванням анатомічних особливостей [2]. Відсутність узгодженого підходу до поєднання цих двох джерел інформації знижує об'єктивність аналізу та ускладнює процес прийняття клінічних рішень. У зв'язку з цим актуальним є розроблення інформаційно-вимірювальних технологій, що забезпечують інтеграцію морфометричних і функціональних даних у межах єдиної системи. Такий підхід передбачає не лише сумісне використання результатів різних методів, але й їх уніфікацію, синхронізацію та подальшу обробку з використанням сучасних методів аналізу даних. Функціональна складова дослідження реалізується на основі методу активної риноманометрії, який дозволяє отримувати кількісні характеристики носового дихання у вигляді параметрів, що відображають взаємозв'язок між тиском і витратою повітря. Особливістю процесу є необхідність забезпечення високої точності та відтворюваності результатів, що досягається шляхом застосування стандартизованого протоколу вимірювань. Такий протокол включає послідовне проведення вимірювань при різних умовах, зокрема при сумарному носовому диханні та при роздільному дослідженні кожної половини носа. Це дозволяє не лише отримати інтегральні показники, але й виявити локальні особливості розподілу повітряного потоку. Додатковим елементом вимірювального процесу є проведення досліджень після деконгестації слизової оболонки, що дозволяє розділити вплив анатомічних структур та функціональних змін судинного характеру. Такий підхід підвищує інформативність риноманометричних даних та створює передумови для більш глибокого аналізу механізмів формування обструкції носових ходів [3,4]. У результаті формується багатовимірний масив функціональних параметрів, який характеризує стан дихання в різних умовах та може розглядатися як складова інформаційної моделі. Морфометричний аналіз даних комп'ютерної томографії виконується із застосуванням методів цифрової обробки зображень, що дозволяють переходити від візуального аналізу до кількісного опису анатомічних структур. Основними етапами такого аналізу є попередня обробка зображень, сегментація, виділення областей інтересу та розрахунок геометричних параметрів. Особливу увагу приділено процедурі

сегментації, яка визначає точність подальших вимірювань і потребує використання адаптивних алгоритмів, здатних враховувати індивідуальні особливості анатомії. Отримані морфометричні параметри формуються у вигляді структурованих наборів даних, що включають характеристики, пов'язані з геометрією носових ходів, просторовим розташуванням анатомічних елементів та станом приносових пазух. Важливим є забезпечення уніфікації параметрів, що досягається шляхом стандартизації координатних систем, одиниць вимірювання та принципів формування показників. Це дозволяє здійснювати подальший аналіз у межах єдиного інформаційного простору. Інтеграція морфометричних та функціональних даних є ключовим етапом – вона реалізується шляхом формування інформаційної моделі, що поєднує різні типи параметрів на основі їх анатомічної та функціональної відповідності. Така модель може бути представлена у вигляді багатовимірного простору ознак, у якому кожен об'єкт описується сукупністю взаємопов'язаних характеристик. Аналіз даних дозволяє встановлювати закономірності між геометрією носових структур і параметрами повітряного потоку. Виявлення таких залежностей є важливим для розуміння механізмів формування порушень носового дихання та обґрунтування вибору лікувальної тактики. Окрему увагу приділено можливості аналізу даних у динаміці, що є важливим для оцінки ефективності ендоскопічних втручань [5]. Порівняння параметрів, отриманих до та після лікування [5, 6], дозволяє оцінити зміни як у морфологічній структурі, так і у функціональному стані, що забезпечує більш об'єктивну оцінку результатів, оскільки враховує комплекс факторів, що впливають на стан пацієнта. З позицій біомедичної інженерії важливим є також питання подальшої обробки отриманих даних. Використання методів статистичного аналізу дозволяє оцінювати варіабельність параметрів та визначати їх інформативність. У свою чергу, застосування методів машинного навчання відкриває можливості для автоматизованого виявлення закономірностей та побудови моделей прогнозування. Такі моделі можуть бути використані для підтримки прийняття рішень при плануванні хірургічних втручань [6, 7]. Перспективним напрямком є створення інтегрованих інформаційно-вимірювальних систем, що забезпечують автоматизацію всіх етапів обробки даних – від отримання вимірювальної інформації до формування рекомендацій для лікаря [8, 9]. Реалізація таких систем потребує розроблення ефективних алгоритмів обробки даних, інтерфейсів взаємодії з користувачем та методів валідації результатів [6, 10].

Таким чином, запропонований інформаційно-вимірювальний підхід до інтеграції даних комп'ютерної томографії та риноманометрії дозволяє сформувати єдину систему аналізу біомедичних даних у ринології. Його використання сприяє підвищенню об'єктивності оцінки стану носового дихання, покращенню якості планування ендоскопічних втручань та створює основу для подальшого розвитку інтелектуальних систем у медичній практиці.

Ключові слова: комп'ютерна томографія, риноманометрія, біомедичні дані, морфометричний аналіз, комп'ютерне планування.

Література

- [1] Н. Шушляпіна, С. Потапов, Н. Горголь, О. Аврунін, Я. Носова, і І. Ю. Абделхамід, «Клінічні аспекти та цитоморфофункціональні особливості слизової оболонки носа при хронічній патології внутрішньоносових структур та їх верифікація на основі даних комп'ютерної томографії», УРОЖ, вип. 31, вип. 1, с. 38-59, Бер 2023.
- [2] O. G. Avrunin, Y. V. Nosova, V. G. Paliy, N. O. Shushlyapina, M. Kalimoldayev, P. Komada, and A. Sagymbekova, “Study of the air flow mode in the nasal cavity during a forced breath” in Proc. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments, vol. 10445, 2017, Art. no. 104453H.
- [3] O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovych, H. F. I. Saed, A. V. Loburets, I. A. Krivoruchko, A. Smolarz, and S. Kalimoldayeva, “Application of 3D printing technologies in building patient-specific training systems for computing planning in rhinology,” in Proc. Information Technology in Medical Diagnostics II, 2018, pp. 1–8, doi: 10.1201/9780429057618-1.
- [4] K. G. Selivanova, O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovych, and T. V. Manhora, “3D visualization of human body internal structures surface during stereoendoscopic operations using computer vision techniques,” Przegląd Elektrotechniczny, no. 9, pp. 30–33, 2021, doi: 10.15199/48.2021.09.06.
- [5] Аврунін О.Г. Особливості дослідження носового дихання при фізичних навантаженнях / О.Г. Аврунін, Я.В. Носова, С.А. Худасва. // Тези доповіді 5-й Всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров'я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні». – 2018. – С. 117- 119.
- [6] 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.
- [7] Knigavko, Y., Avrunin, O. and Farouk, H., “Calculation of functional parameters to determine the indications for rhinoplasty”, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Applied information technology, 2/10 (62), 24 –27 (2013).
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Місоченко С. Ю., Селіванова К. Г., Аврунін О. Г. *Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень*. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науковопрактичної конференції MicroCAD2022, 19-21 жовтня 2022 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2022. С. 902.

УДК 615.849.11

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЮ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ЛАЗЕРНОЇ МЕДИЦИНИ

Вялков В.А., Терещенко М.Ф
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: vyalkov465@gmail.com , agfarkpi@i.ua

Сучасна лазерна медицина активно використовує комп'ютерно-інтегровані