

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

ХУШАМ ФАРУК ІСМАІЛ САЄД

УДК 615.47: 616–072.7

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОРУШЕНЬ НОСОВОГО ДИХАННЯ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Аврунін Олег Григорович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
професор кафедри біомедичної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павлов Сергій Володимирович,
Вінницький національний технічний університет,
проректор з наукової роботи, професор кафедри
біомедичної інженерії;

доктор технічних наук, професор
Кіпенський Андрій Володимирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
декан факультету соціально-гуманітарних технологій,
професор кафедри промислової та біомедичної
електроніки.

Захист відбудеться «1» березня 2017 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.052.05 у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14, корпус 1, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14.

Автореферат розісланий «28» січня 2017 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради К 64.052.05



Т.В. Носова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Прогрес медицини на сучасному етапі розвитку значною мірою зумовлений широким впровадженням передових досягнень наноелектронних та інформаційних технологій. Підвищення ефективності стандартів надання медичної допомоги населенню є найбільш актуальним соціальним завданням у всіх розвинених країнах світу, що підтверджується Рамковою програмою Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт 2020» (Program EU "Horizon 2020 / H2020"), яка активно впроваджується протягом 2014–2020 рр.. Одним з пріоритетних напрямків цієї програми є «Соціальні виклики» з тематикою «Охорона здоров'я, демографічні зміни та добробут», яку спрямовано на поліпшення здоров'я і самопочуття європейських громадян протягом усього життя.

Зважаючи на це, використання науково-технічного та виробничого потенціалу для удосконалення і розробки інноваційних методів і засобів медичного призначення, є стратегічно важливим завданням для галузі біомедичної інженерії в Україні.

Сучасна медична діагностика базується на доказовому підході, який заснований на використанні високоточної апаратури і нових методологічно-коректних інформаційних технологій для отримання достовірних кількісних даних про стан організму людини. Сьогодні найбільш активна еволюція спостерігається у функціональних методах діагностики, які спрямовано на реєстрацію кількісних показників фізіологічних функцій будь-якого органу, або всього організму та виявлення їх порушень залежно від конкретної патології. Ця інформація особливо корисна для практикуючих лікарів-клініцистів, оскільки дозволяє зв'язати анатомо-морфологічні та фізіологічні параметри досліджуваного органу для уточнення картини патологічного процесу. Функціональні дослідження активно застосовуються також у спортивній медицині, при професійному відборі та профілактичних оглядах для визначення фізичних можливостей людини.

Проте, що в усьому світі за статистичними даними одними тільки хронічними риносинуситами страждають близько 10% населення, ринологія є однією з найменш забезпеченої доказовими засобами функціональної діагностики галузей медицини. Виявляється, що, незважаючи на можливості сучасної риноманометричної апаратури і відповідних спеціалізованих програмних засобів, які дозволяють визначати аеродинамічні показники носового дихання з досить високою точністю, не існує чіткої кореляції між суб'єктивними відчуттями пацієнта і характеристиками назального повітряного потоку. Підвищення точності вимірювань і коригування показників умовної вікової норми не дозволяє вирішувати це завдання. Дослідженням в області аеродинаміки верхніх дихальних шляхів присвячені роботи відомих вітчизняних і зарубіжних фахівців – С. Б. Безшапчного, А. С. Журавльова, О.Г. Авруніна, Г. З. Піскунова, А. С. Лопатіна, Ю. П. Ульянова, W. Bachmann, V. Broms, P. Cole, G. Mlynski і т.д. Створений і функціонує Міжнародний комітет зі стандартизації риноманометричних досліджень (International Committee on Standardization of Rhinomanometry). Але, комплексність проблеми,

а також різні підходи та методи досліджень істотно ускладнюють інтерпретацію діагностичних даних, що перешкоджає широкому впровадженню апаратури для тестування носового дихання в медичну практику.

Тому актуальними на сьогодні є підходи, які спрямовано на удосконалення методів функціональної діагностики в ринології за рахунок вивчення впливу внутрішньоносових структур на характеристики назального повітряного потоку, особливо при форсованому носовому диханні, та обґрунтування додаткових діагностичних показників. Також необхідно проведення незалежної верифікації розроблених методів і модернізації діагностичної апаратури на основі аналізу методологічних особливостей тестування носового дихання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дисертацію виконано згідно з науковим напрямком кафедри біомедичної інженерії ХНУРЕ і держбюджетними темами «Дослідження теоретичних і технічних принципів оцінки стану людини, профілактики, лікування і реабілітації», № д / р 0107U001541, «Дослідження теоретичних і технічних принципів діагностики, оцінки та корекції медико-соціального стану людини», № Д / р 0110U002532, а також в рамках договору №360 / 08-11 від 04.01.2011р. про науково-технічне співробітництво з кафедрою оториноларингології Харківського національного медичного університету за темою «Медикаментозні і немедикаментозні фактори в реабілітації хворих ЛОР патологією та асоційованих з нею соматичних захворювань», № Д/р 0108U005253.

Метою дисертаційної роботи є розробка методів і засобів для діагностики функціональних порушень носового дихання при найбільш поширених патологічних станах.

Відповідно до поставленої мети вирішуються такі завдання:

- аналіз сучасних методів і апаратних засобів для функціональної діагностики захворювань верхніх дихальних шляхів, постановка мети і завдань дослідження;
- розробка моделі течії повітря у носовій порожнині та методу визначення коефіцієнта аеродинамічного носового опору за даними комп'ютерної томографії з урахуванням локальних опорів повітряному потоку;
- розробка методу аналізу даних форсованої задньої активної риноманометрії з урахуванням області квадратичного опору повітряному потоку на основі моделі залежності перепаду тиску від витрати повітря в носовій порожнині при інтенсивному диханні;
- розробка методу визначення відносної шорсткості слизової оболонки носової порожнини для аналізу режиму течії повітря у верхніх дихальних шляхах;
- удосконалення засобів для тестування носового дихання та виявлення основних методичних похибок під час проведення риноманометричної діагностики;
- експериментальна перевірка розроблених методів і засобів уточнення деяких медико-технічних вимог до сучасних засобів функціональної діагностики носового дихання.

Об'єктом дослідження є процес діагностики функціональних порушень носового дихання людини.

Предметом дослідження є методи і засоби діагностики функціональних порушень носового дихання людини.

Методи досліджень. В роботі використовувалися методи теоретичної фізики, технічної гідравліки та аеродинаміки для опису руху повітря у верхніх дихальних шляхах людини при диханні, методи і алгоритми цифрової обробки, аналізу і візуалізації томографічних даних для визначення анатомічних властивостей носової порожнини, методи статистичного та дискримінантного аналізу для підтвердження адекватності та оцінки достовірності розроблених методів діагностики порушень носового дихання.

Наукова новизна отриманих результатів:

– удосконалено метод визначення аеродинамічних характеристик носової порожнини, який відрізняється від відомих тим, що він базується на оцінці не тільки втрат тиску за довжиною носових ходів, а й на врахуванні найбільш значущих локальних опорів, що дозволяє за рахунок обчислення інтегрального коефіцієнта аеродинамічного носового опору більш повно враховувати вплив зміни конфігурації верхніх дихальних шляхів при плануванні ринохірургічних втручань;

– набув подальшого розвитку метод аналізу даних задньої активної риноманометрії при форсованому диханні, який відрізняється від відомих тим, що заснований не тільки на аналізі амплітудних величин перепаду тиску і витрати повітря при диханні, але і з урахуванням їхніх граничних значень при переході в область квадратичного аеродинамічного опору, що дозволяє за рахунок точного визначення межі переходу до турбулентного квадратичного режиму течії повітря підвищити достовірність діагностики функціональних порушень носового дихання;

– вперше розроблено метод визначення мікронерівностей поверхні слизової оболонки верхніх дихальних шляхів за комп'ютерно-томографічними даними на субвоксельному рівні, який дозволяє за критерієм, що враховує коефіцієнт відносної шорсткості, визначати режим течії повітря в носовій порожнині та адекватно обчислювати втрати тиску за довжиною носових ходів.

Практична значущість отриманих результатів. Практичне значення отриманих наукових результатів підтверджується актами впровадження результатів досліджень та патентами України на винаходи.

Удосконалено конструкцію пристрою для тестування носового дихання за рахунок виключення зі схеми вимірювань перетворювача тиску, який реєструє перепад тиску в просторі під маскою і заміні його показань розрахунковими значеннями, залежними від параметрів вхідного повітряного тракту, в результаті чого досягається спрощення конструкції пристрою без втрати його функціональності.

Розроблено способи та відповідні розрахунково-графічні програмні засоби для визначення аеродинамічних характеристик верхніх дихальних шляхів на основі даних комп'ютерної томографії та риноманометрії, що дозволяє розширити діагностичні можливості способів визначення порушень носового дихання і методів комп'ютерного планування ринохірургічних операцій.

На основі проведених експериментальних досліджень та випробувань розроблено основні медико-технічні вимоги та практичні рекомендації для проектування засобів функціональної діагностики носового дихання.

Результати дисертаційної роботи, а саме, запатентований спосіб і пристрій впроваджені в отоларингологічному відділенні Харківського обласного центру екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, у Зачепилівській центральній районній лікарні Харківської області, а також використовуються в навчальному процесі в ході викладання дисциплін «Методи обробки біомедичних зображень» і «Методи обробки біомедичних сигналів і даних» на кафедрі біомедичної інженерії ХНУРЕ, та при проведенні практичних занять на кафедрі оториноларингології Харківського національного медичного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримано автором особисто та наведено в 22-х наукових роботах [1–22]. В роботах, що виконані в співавторстві, авторський внесок полягає: в [1] – запропоновано обґрунтування фізіологічних параметрів для моделювання дихання людини, в [2] – запропоновано критерії для обґрунтування функціональних показників носового дихання, в [3] – запропоновано анатомо-функціональну модель, в [4] – запропоновано методи обробки томографічних зображень, в [5] – запропоновано математичні аспекти обробки та реконструкції томографічних зображень, в [6] – запропоновано математичну модель аеродинаміки верхніх дихальних шляхів, в [7] – проведено фізіологічне обґрунтування вибору діаметрів витратомірів Вентурі, в [8] – проведено аналіз діагностично-значущих риноманометричних показників, в [9] – проведено обробку зображень для хірургічної навігації, в [10] – запропоновано метод обробки зображень, в [11] – запропоновано елементи конструкції приладів для тестування носового дихання та інтерпретацію діагностичних даних, в [12] – запропоновано метод визначення втрат тиску вздовж носової порожнини, в [13] – удосконалено конструкцію повітряного тракту пристрою для тестування носового дихання, в [14] – запропоновано метод розрахунку аеродинамічного носового опору, в [15] – проаналізовано основні медико-технічні характеристики для проектування риноманометрів, в [16] – проведено обґрунтування граничних умов математичної моделі руху повітря у носовій порожнині, в [17] – запропоновано метод розрахунку енергетичних характеристик дихання, в [18] – запропоновано методи обробки томографічних зображень, в [19] – виконано обґрунтування показників для інформаційного моделювання верхніх дихальних шляхів, в [20] – проведено вдосконалення конструкції пристрою для тестування носового дихання, в [21] – запропоновано метод розрахунку аеродинамічних характеристик повітряного потоку в порожнині носа, в [22] – запропоновано метод розрахунку тиску в просторі під маскою риноманометра.

Апробація роботи. Основні ідеї та результати роботи доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях технічної і медичної спрямованості: на Міжнародній науково-практичній конференції «Силова електроніка та енергоефективність» (Алушта, 2013), 4-му і 5-му Міжнародних радіоелектронних форумах МРФ (Харків, 2011 і 2014 рр.), матеріалах 17-го, 18-го і 20-го Міжнародних молодіжних форумів «Радіоелектроніка і молодь в XXI столітті» в 2013, 2014 і 2016 р, 4-й Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» (Харків, 2015 р.), 13-й Міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і

біологічних об'єктів» (Кременчук, 2014 р.), конференції Українського медичного наукового товариства оториноларингологів (Дніпропетровськ, 2015 р.), а також на наукових семінарах кафедри біомедичної інженерії ХНУРЕ (2011–2016 рр.).

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи були опубліковані у 22-х наукових працях, зокрема: 5 статей в спеціальних технічних виданнях, 4 статті в іноземних журналах, з яких 2 індексовані в базі Scopus; 1 стаття в електронному виданні, 1 монографія; 8 тез доповідей на наукових конференціях технічного та медичного профілю; отримано 3 патенти України на винаходи.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Дисертаційна робота викладена на 130 сторінках, із них 104 сторінки основного тексту, містить 30 рисунків, 6 таблиць, 154 найменування у списку використаних джерел на 18 сторінках, 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить загальну характеристику роботи, обґрунтування її актуальності, формулювання мети й основних задач дослідження, визначення об'єкта, предмета і методів дослідження, наукову новизну і практичну значущість отриманих результатів, зв'язок з науковими програмами, планами, темами, перелік публікацій за темою дисертації з зазначенням особистого внеску здобувача, та наведено відомості про впровадження результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі розглянуто основні функціональні особливості верхніх дихальних шляхів людини, висвітлено сучасний стан діагностування порушень носового дихання, проаналізовано методи сучасної інтроскопічної візуалізації в ринології, а також наведено аналітичний огляд наукових досягнень іноземних і вітчизняних вчених за темою дослідження.

Визначено, що на сьогодні основним методом функціональної діагностики порушень носового дихання є метод активної риноманометрії, при якому проводиться визначення перепаду тиску та відповідної витрати повітря через носову порожнину в процесі дихання та аналіз показників аеродинамічного носового опору, пневматичної потужності дихання та ін.

З'ясовано, що більшість сучасних приладів для дослідження дихальної функції носової порожнини є прямими аналогами апарату ATMOS300 (ATMOS Medical System GMB, Німеччина), який засновано на методі передньої активної риноманометрії (ПАРМ) з проведенням вимірювань окремо під час дихання через кожний носовий прохід, що не дозволяє пацієнту повною мірою реалізувати фізіологічний режим дихання, значно знижує діагностичну значимість і обмежує використання ПАРМ у клінічній практиці. Пік кількості наукових публікацій щодо можливостей цього методу приходить на середину минулого десятиріччя. Тому, перспективними підходами слід вважати вдосконалення методів задньої активної риноманометрії (ЗАРМ), які не вносять обмеження на дихання через окремі носові проходи, більш фізіологічні та дозволяють проводити дослідження порушень назальної аеродинаміки при різних режимах дихання, зокрема при переході до форсованого дихання при

фізичному навантаженні, коли зростає фізіологічна необхідність у підвищенні пропускної здатності носової порожнини.

З'ясовано, що для прогнозування результатів ринохірургічних втручань необхідна розробка комп'ютерних моделей та методів визначення коефіцієнтів аеродинамічного носового опору за томографічними даними з урахуванням не тільки втрат тиску за довжиною носової порожнини, а із визначенням локальних опорів повітряному потоку, вплив яких на назальну аеродинаміку недостатньо досліджений. При цьому, враховуючи дуже високу складність конфігурації носової порожнини, необхідна розробка доказових методів щодо встановлення режиму течії повітря, знання якого є базовим для проведення подальших аеродинамічних розрахунків.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано напрями досліджень та сформульовано основні задачі, які необхідно вирішити для реалізації мети дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено розробці моделі течії повітря у носовій порожнині та методу визначення коефіцієнта аеродинамічного носового опору за даними комп'ютерної томографії (КТ).

На основі розгляду основних положень аеродинаміки носової порожнини обґрунтовано, що коефіцієнт аеродинамічного опору кожного окремого носового проходу може обчислюватись за формулою

$$A = \frac{\lambda \rho}{r} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta l_i}{S_i^2} + \max \left(\frac{\xi_j \cdot \rho}{2S_j^2} \right), \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт втрат за довжиною носового проходу, який залежить від режиму течії повітря, $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря; r – усереднений еквівалентний радіус перетину носового проходу; Δl_i , S_i – довжина та площа перетину i -ї ділянки носового проходу відповідно; N – кількість ділянок носового проходу; S_j – площа перетину j -ї ділянки носового проходу, що містить місцевий (локальний) опір; ξ_j – коефіцієнт локального аеродинамічного опору j -ї локальної ділянки носового проходу.

При цьому, перша складова у формулі (1) враховує аеродинамічний опір за довжиною носового проходу, а друга – визначає максимальний з локальних аеродинамічних опорів, що слідує з неможливості урахування їх взаємного впливу за відповідним критерієм

$$l_{\text{вл}} \approx (30 \dots 40) d_h, \quad (2)$$

де $l_{\text{вл}}$ – довжина впливу локального опору, яка суттєво більше ніж типова довжина носової порожнини (приблизно 70 мм) при усередненому еквівалентному діаметрі d_h носового проходу (близько 5-8 мм), який для живого перетину каналу з площиною S та периметром Π розраховується як $d_h = 4S / \Pi$.

Проведений аналіз більш 300 комп'ютерно-томографічних досліджень пацієнтів з типовими функціональними порушеннями носового дихання (викривлення носової перегородки, риносинусит, поліпозні процеси) показав, що найбільш поширеними локальними опорами повітряному потоку в носовій порожнині є різке викривлення носової перегородки (рис.1, а, б), що призводить

до збурення потоку за аналогією засувки, та поворот потоку (рис.1,в, г). Коефіцієнти втрат ξ на локальних опорах у формулі (1) в першому випадку залежать від величини перекриття потоку a/d_h (відношення входження локального опору a в канал до його еквівалентного діаметра d_h), а в другому – від кута повороту потоку α і можуть бути обчислені за відповідними довідниковими даними.

Сумарна витрата повітря через лівий Q_L та правий Q_R носові проходи при перепаді тиску Δp на носовій порожнині в турбулентному режимі течії повітря буде визначатиметься як

$$Q_{\Sigma} = Q_L + Q_R = \sqrt{\frac{\Delta p}{A_L}} + \sqrt{\frac{\Delta p}{A_R}}. \quad (3)$$

Таким чином, задаючись фізіологічними або отриманими за результатами риноманометрії показниками (значеннями витрати повітря, або перепаду тиску), шляхом аналізу анатомічної конфігурації носової порожнини за даними КТ, можливо аналітично визначати величину коефіцієнта аеродинамічного носового опору A за формулами (1) та (3) та проводити верифікацію цих методів.

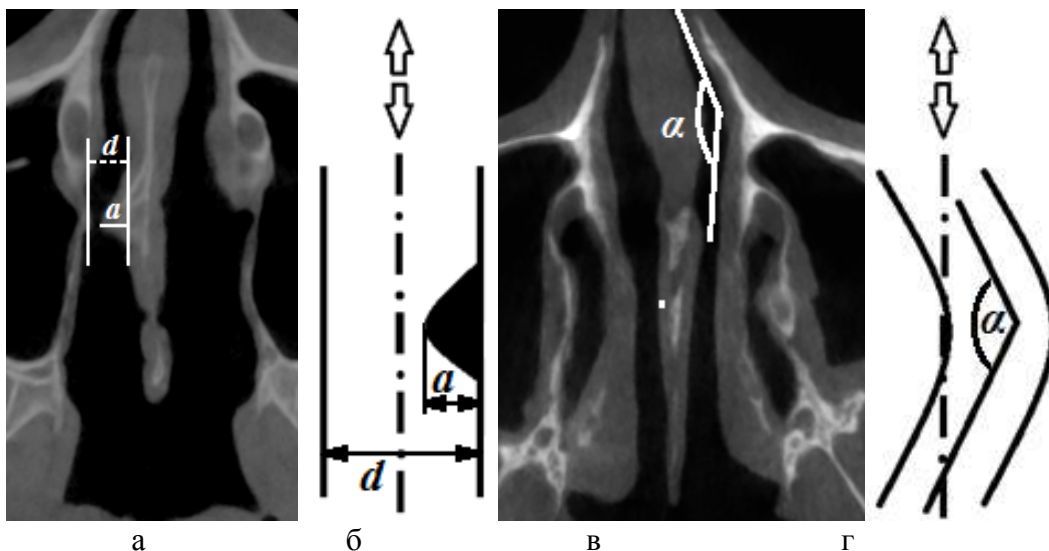


Рис. 1. – Аксіальні комп'ютерні томограми типових локальних аеродинамічних назальних опорів: а – викривлення носової перегородки вправо, в – поворот потоку, та їх відповідні еквівалентні позначення (б та г)

Структурну схему етапів запропонованого методу комплексного використання ЗАРМ та КТ в ході визначення коефіцієнта аеродинамічного носового опору наведено на рис. 2. На відміну від окремого використання риноманометрії, яка дозволяє отримати основні параметри повітряного потоку лише експериментально, запропонований метод дозволяє проводити комп'ютерне планування функціональних ринохірургічних втручань, за рахунок можливості прогнозування впливу віртуальних змін конфігурації структур носової порожнини на показники носового дихання, зокрема на величину коефіцієнта аеродинамічного носового опору A .

У **третьому розділі** було проведено розробку методу та моделі оцінки режиму течії повітря в носовій порожнині під час форсованого дихання.

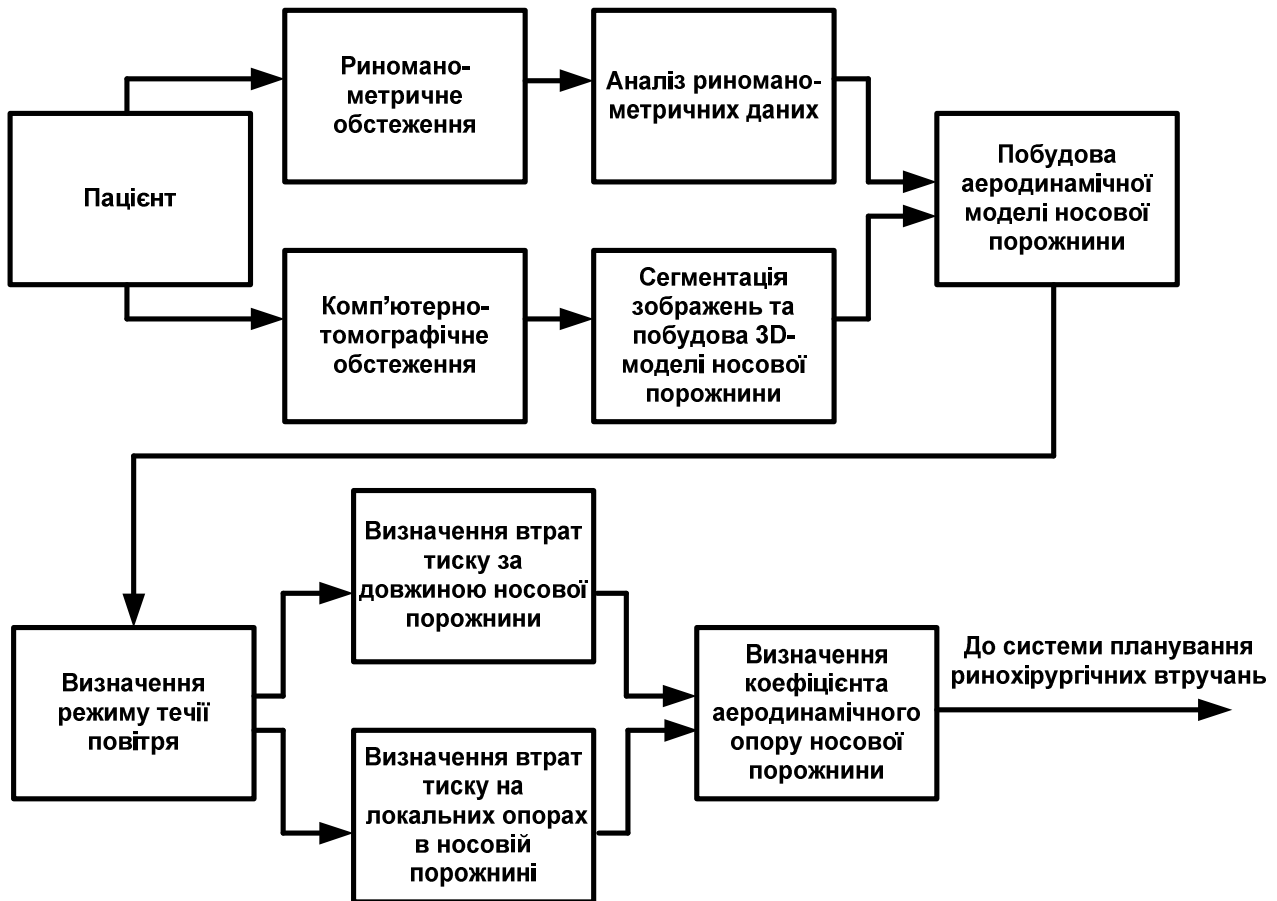


Рис. 2. – Структурна схема методу визначення коефіцієнта аеродинамічного носового опору за даними ЗАРМ та КТ

Виходячи з типових залежностей перепаду тиску Δp від витрати повітря Q (рис.3) в нормі (графік 1) та при порушенні носового дихання (графік 2) за даними форсованої ЗАРМ, можна визначити, що наведені графіки мають дві області: лінійну (при відносно малих витратах) і нелінійну, квадратичну (при відносно великих витратах). Це свідчить про динамічну зміну режиму течії повітря під час форсованого дихання, за рахунок зміни залежності перепаду тиску Δp від витрати повітря Q від лінійної (у ламінарному і перехідному) та квадратичної (у розвинутому турбулентному, автотельному) режимах за моделлю

$$\Delta p = \begin{cases} f(Q); & \text{при } Q < Q_T; \\ f(Q^2); & \text{при } Q \geq Q_T, \end{cases} \quad (4)$$

де Q_T – гранична витрата повітря при переході до квадратичного режиму течії.

Розроблений модифікований метод аналізу даних форсованої ЗАРМ (крім визначення та оцінки максимальних перепадів тиску і витрат повітря, коефіцієнта аеродинамічного носового опору та пневматичної потужності дихання) включає в себе визначення точки $(Q_T, \Delta p_T)$ переходу ламінарного режиму течії повітря в турбулентний квадратичний та аналіз відповідних перепадів тиску і витрат повітря.

Визначення точки переходу режиму течії повітря до турбулентного квадратичного (рис. 3) виконується шляхом аналізу даних чисельного диференціювання вихідних риноманометричних даних $\Delta p_i = f(Q_i)$ та пошуку початкової ділянки лінійного зростання похідної, що свідчить про зміну залежності аеродинамічного опору від витрати повітря.

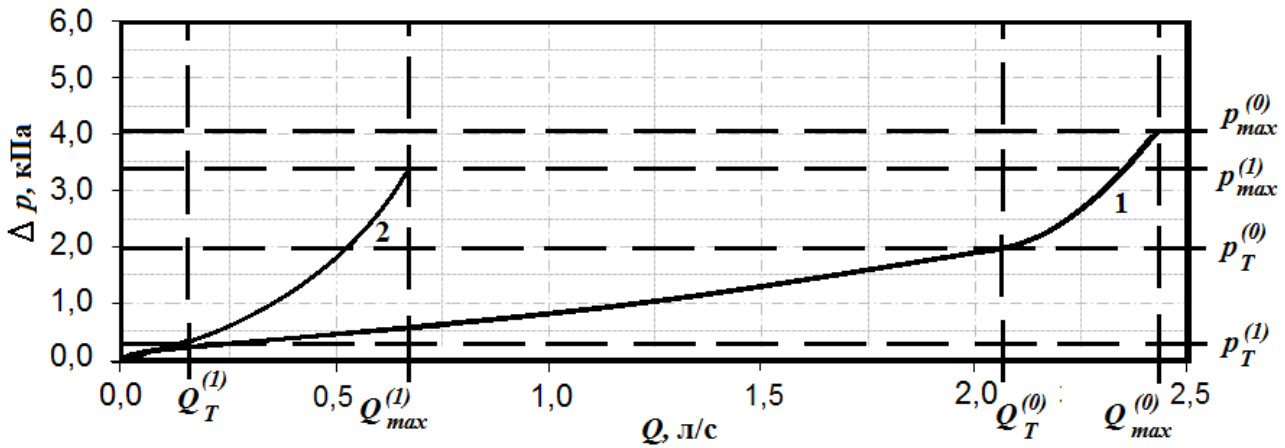


Рис.3. – Типові залежності перепаду тиску від витрати повітря в нормі (0) та при порушенні носового дихання (1) по даним форсованої ЗАРМ: позначено максимальні та граничні до турбулентного квадратичного режиму витрати повітря та перепаду тиску відповідно

З урахуванням наведеної обробки даних форсованої ЗАРМ, запропоновано математичну модель, яка за рахунок представлення ділянок залежності (4) відповідними лінійними або квадратичними функціями, відображає процеси переходу режиму течії повітря в носовій порожнині при диханні. Аналіз моделі показав, що збільшення перепаду тиску (залежить від стану дихальної системи хворого) при порушеннях носового дихання (див. рис. 3) пов'язано зі спробою пацієнта, за рахунок сильної напруги дихальної мускулатури, створити більший градієнт тиску і розвинути підвищену витрату повітря. Але, порівняно швидкий перехід в область вираженої квадратичної залежності перепаду тиску від витрати повітря призводить до того, що величина витрати повітря зростає досить повільно і навіть при наближенні до показників норми викликає надмірно швидку стомлюваність і, як наслідок, перехід до нефізіологічного ротового дихання. Чим пізніше (при більшій витраті повітря) буде досягнутий перехід до квадратичного режиму течії повітря, тим потенційно можливим буде досягти більшої витрати повітря при форсованому носовому диханні.

З урахуванням виразу (4) запропоновано визначення коефіцієнта основного режиму течії повітря в носовій порожнині за формулою

$$k_T = \left(1 - \frac{Q_{\max} - Q_T}{Q_{\max}} \right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

де Q_{\max} – максимальна витрата повітря, Q_T – гранична витрата повітря при переході до квадратичного режиму течії. При цьому можна зробити висновок,

що значення k_T відповідають $k_T < 30\%$ – низькій, $30\% \leq k_T \leq 60\%$ – середній, та $k_T > 60\%$ – високій енергетичній ефективності носового дихання відповідно.

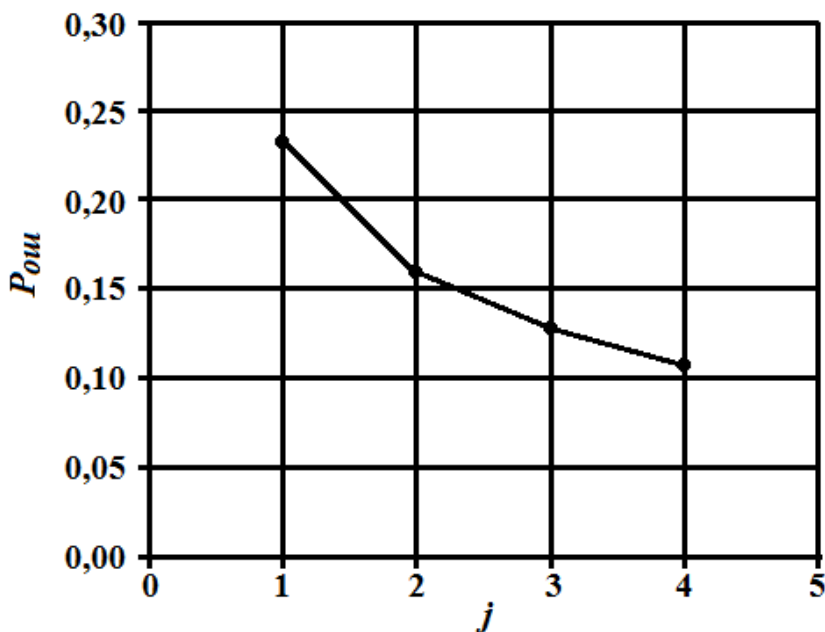
Оцінка діагностичної значущості запропонованого методу аналізу даних форсованої ЗАРМ з урахуванням додаткових параметрів – значень Q_T і Δp_T , які характеризують границю переходу режиму течії повітря в турбулентний квадратичний виконувалась за моделлю лінійної дискримінації, шляхом розрахунку нормованої Евклідової відстані δ

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i} \right)^2}, \quad (6)$$

де $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$ – середні значення, $\sigma_i = \max(\sigma_i^{(0)}, \sigma_i^{(1)})$ – максимальне середньоквадратичне відхилення відповідних діагностичних показників при умовній нормі (індекс (0)) та при порушенні носового дихання (індекс (1)), з якими пов'язана ймовірність $P_{ном}$ прийняття помилкового рішення при класифікації, що визначається за інтегралом імовірності $\Phi(\cdot)$ за формулою

$$P_{ном} \leq 1 - \Phi(\delta / 2). \quad (7)$$

На рис. 4 наведено зниження імовірності помилки діагностики залежно від додавання в моделі дискримінації таких параметрів: стандартних максимальних –



витрати повітря Q_{max} (1) та перепаду тиску Δp_{max} (2), і граничних – витрати повітря Q_T (3) та перепаду тиску Δp_T (4) при переході до турбулентного квадратичного режиму течії. З графіка на рис. 4 є очевидним, що додавання останніх двох показників Q_T та Δp_T знижує ймовірність похибки діагностики на 5% (з величини 0,16 до 0,11).

Рис. 4. – Залежність зменшення ймовірності помилки прийняття рішення при додаванні ознак до моделі для сигналів: 1 –максимальної витрати повітря; 2 – максимального перепаду тиску; 3 – витрати повітря на границі області квадратичного опору, 4 – перепаду тиску на границі області квадратичного опору

Наведена в роботі незалежна статистична обробка результатів діагностики (всього в оториноларингологічному відділенні Харківської обласної клінічної лікарні (КЗ ЦЕМД та МК) було обстежено 67 пацієнтів у двох групах: 35 – з порушенням носового дихання та 32 – контрольна група) показала, що специфічність запропонованого методу

дорівнює 0,88, яка відповідає зворотному показнику ймовірності помилки 2-го роду (0,12), що з різницею 0,01 збігається з результатами ймовірності помилки, розрахованої за результатом дискримінантного аналізу згідно з формулами (6) та (7).

З огляду на проведений аналіз режимів течії повітря при форсованому носовому диханні за допомогою функціонального методу риноманометрії, а також складну геометричну конфігурацію носової порожнини, доцільно оцінити адекватність одержаних даних за допомогою незалежного методу. Тому в роботі запропоновано метод, який дозволяє за даними КТ визначити показник шорсткості слизової оболонки на стінках носової порожнини і за критерієм відносної шорсткості обчислити граничні значення чисел Рейнольдса для основних режимів течії повітря при форсованому носовому диханні.

Визначення шорсткості слизової оболонки носової порожнини на ділянках уздовж повітряного каналу за КТ-даними (рис. 5, а) відповідно до запропонованої та запатентованої формули

$$\Delta_i = l_{i+1} - l_i + \left(\frac{I_{i+1} - I_i}{I_{\max}} h \right), \quad (8)$$

де l_i та l_{i+1} – товщини слизової оболонки на i -му та $i+1$ фронтальних томографічних перетинах носової порожнини відповідно, I_i та I_{i+1} – рівні інтенсивності вокселів на межі між слизовою оболонкою та повітрям на i -му та $i+1$ фронтальних томографічних перетинах носової порожнини відповідно; I_{\max} – максимальний рівень інтенсивності вокселів на КТ-зображенні; h – просторове роз-різнення КТ-зображень.

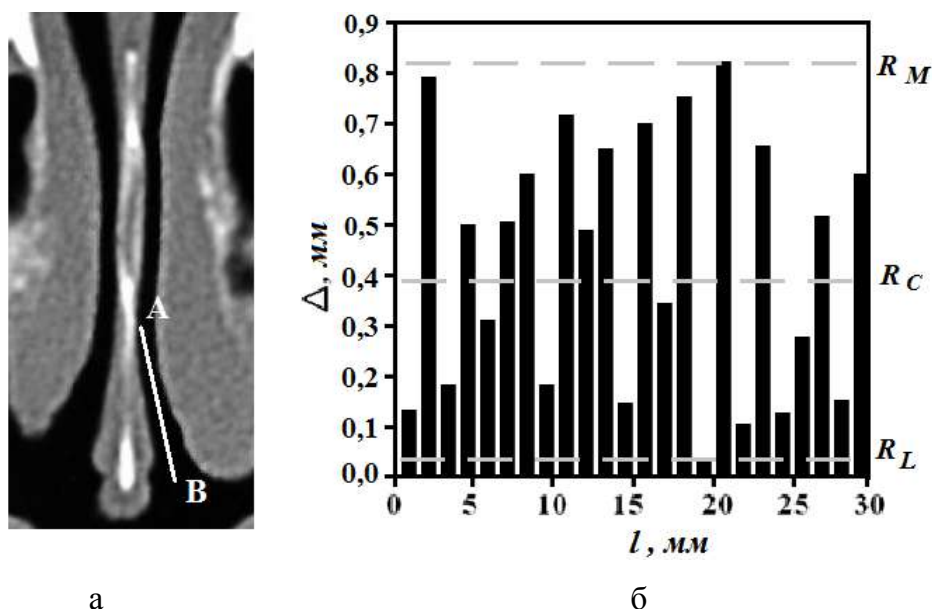


Рис. 5. – Ілюстрація визначення шорсткості слизової оболонки носової порожнини: а) томограма з розташуванням вимірюваної ділянки; б) шорсткість на вимірюваній ділянці А-В, що визначена за формулою (6)

Складова в дужках у формулі (8) фактично дозволяє враховувати мікронерівності слизової оболонки носової порожнини на субвоксельному рівні, які дорівнюють величині 1,5 мкм при типових показниках

томографічного сканування $h=0,4$ мм, $I_{\max}=255$. Ілюстрацію запропонованого методу з визначенням, мінімального R_L , середнього R_C та максимального R_m рівнів шорсткості відповідно ділянці А-В наведено на рис. 5,б.

Виходячи з отриманої величини шорсткості Δ та розрахувавши еквівалентний діаметр d_h перетинів носових проходів, можна отримати критичне значення числа Рейнольдса для переходу в турбулентний квадратичний режим течії повітря згідно з критерієм

$$Re \geq 500 \frac{d_h}{\Delta}. \quad (9)$$

Для типових значень еквівалентних діаметрів ($d_h \approx 8$ мм) носових проходів та середньої шорсткості ($\Delta \approx 0,4$ мм) їх стінок критичне число Рейнольдса при переході до квадратичного режиму течії повітря становить близько 10000, що кореспондується з даними, які можна отримати за результатами ЗАРМ у ході обчислення критичного числа Рейнольдса за формулою

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \nu \cdot d_h}, \quad (10)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, а Q – витрата повітря, яку для критичного числа Рейнольдса можна прийняти $Q = Q_T / 2$ (див. рис. 3) з урахуванням приблизно симетричної витрати повітря в нормі через кожний носовий прохід (більш точно це можна визначити експериментально під час проведення ЗАРМ з почерговою обтурацією кожної половини носа). При $Q_T \approx 1$ л/с (при умовній нормі) критичне значення числа Рейнольдса становить близько 8300, що за порядком величини (в межах 20% похибки) кореспондується з обчисленим через шорсткість стінки за формулою (9). Це дозволяє зробити висновок про загальну адекватність застосування запропонованих методів для визначення показників повітряного потоку в носовій порожнині. З урахуванням індивідуальної анатомічної варіабельності, вікових та гендерних особливостей, що впливають на показники повітряного потоку в носовій порожнині, критичні значення чисел Рейнольдса можуть бути суттєво скориговані, однак, за порядком величин при форсованому диханні відповідатимуть наведеним вище значенням.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено експериментальним дослідженням, що спрямовані на розробку розрахунково-графічних програмних засобів для обчислення показників назального повітряного потоку за запропонованими методами, визначення їх достовірності, модифікації конструкції риноманометра, аналізу основних методичних похибок при тестуванні носового дихання та уточненню деяких медико-технічних вимог до сучасних засобів функціональної діагностики носового дихання.

Розроблено програмні засоби, які дозволяють в автоматизованому режимі визначати геометричні показники носової порожнини за КТ-даними, розраховувати та виконувати візуалізацію розподілів основних показників повітряного потоку вздовж носової порожнини, наприклад, відображати розподіли чисел Рейнольдса за довжиною носових проходів та інтегральні

характеристики коефіцієнта аеродинамічного носового опору (рис. 6) вздовж перетинів носової порожнини при локальному викривленні носової перегородки вправо згідно з рис. 1, а. Урахування локального (місцевого) опору типу засувка в правому носовому проході (рис.6, а) збільшує приблизно на 30% (графік 2) інтегральний коефіцієнт аеродинамічного носового опору, який отримано в ході визначення тільки втрат тиску за довжиною носової порожнини (графік 1). На протилежній викривленню стороні (рис. 6, б) виражені місцеві опори (графік 1) відсутні. При цьому можна відзначити, що за наведеними даними аналізу 67 пацієнтів чутливість, специфічність і загальна точність запропонованого методу, який заснований на аналізі КТ-зображень носової порожнини, в середньому майже на 10% вище, ніж у методі звичайної форованої ЗАРМ з адреналізацією.

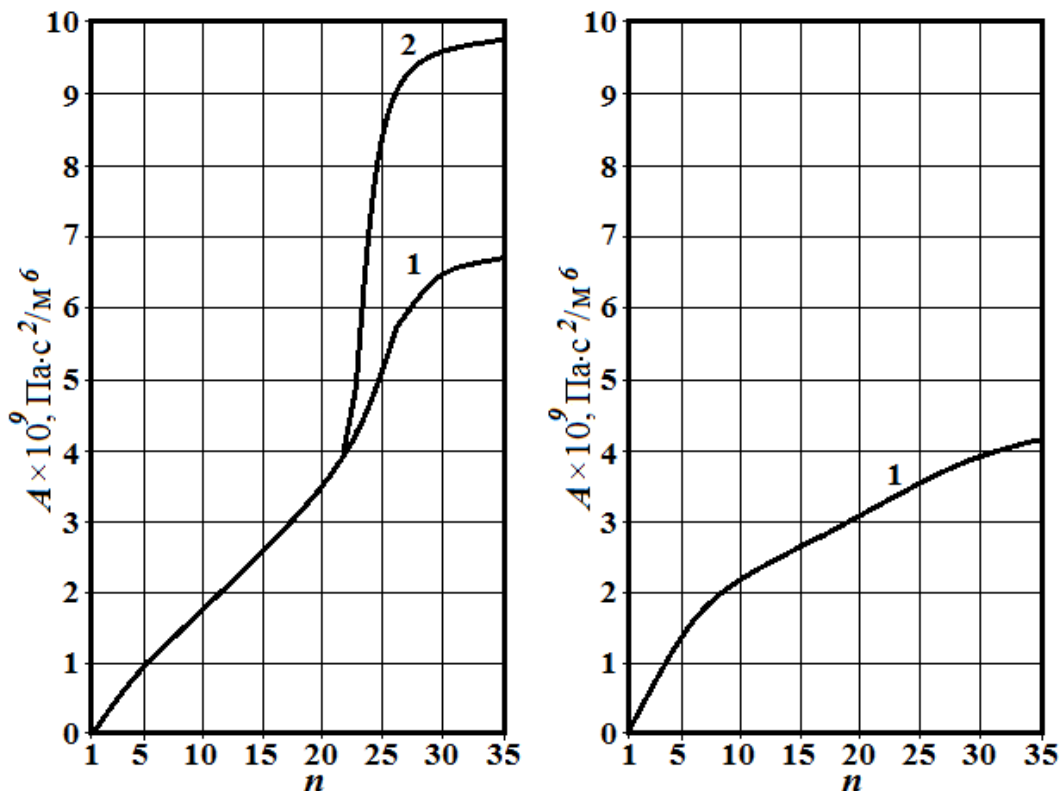


Рис. 6. – Інтегральні характеристики коефіцієнта аеродинамічного носового опору вздовж перетинів носової порожнини при локальному викривленні носової перегородки вправо (див. рис. 1, а) для правого (а) і лівого (б) носових проходів з урахуванням тільки втрат тиску за довжиною (1) і з урахуванням локального опору (2)

Удосконалення експериментального зразка комп'ютерного риноманометра ТНДА-ПРХ (ХНУРЕ) засновано на припущенні, що аеродинамічний опір вхідного повітряного тракту пристрою залежить тільки від його конструктивних особливостей (рис.7) та розташуванню перетворювачів тиску ПД1 та ПД3, які вимірюють відповідні значення тиску $p1$ та $p3$. Таким чином, величину тиску в просторі під маскою $p3$ (перетворювач тиску ПД3), можна не виміряти безпосередньо, а обчислювати, залежно від діючої витрати повітря,

що дозволить спростити конструкцію пристрою, за рахунок виключення зі схеми відповідного вимірювального перетворювача та спростити санітарно-гігієнічну обробку дихального тракту риноманометра після використання.

Згідно з конструктивною схемою повітряного тракту пристрою ТНДА-ПРХ (рис. 7), який містить характерні перетини (1–1, 2–2, 3–3, 4–4), коефіцієнти аеродинамічного опору повітряному потоку слід визначати за формулами, що наведені в довідниках з гідравлічних розрахунків з відповідним визначенням конфігурації відповідних ділянок:

- на конічній ділянці 1–1–2–2 втрати в дифузорі залежать від кута конусності та довжини ділянки;
- на ділянці 2–2–3–3 визначаються втрати тиску за довжиною ділянки;
- на ділянці 3–3–4–4 коефіцієнт аеродинамічного опору визначають як при різкому розширенні потоку за формулою Борда.

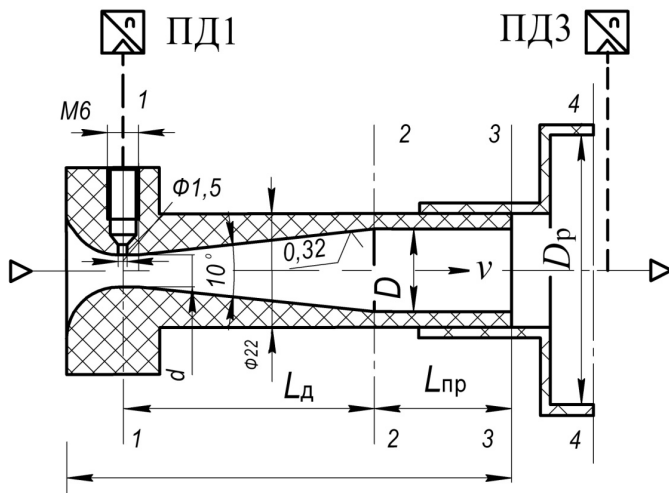


Рис. 7. – Конструктивна схема повітряного тракту риноманометра ТНДА ПРХ з позначеннями для розрахунку коефіцієнта аеродинамічного опору повітряному потоку характерних перетинів та перетворювачів тиску ПД1 та ПД3

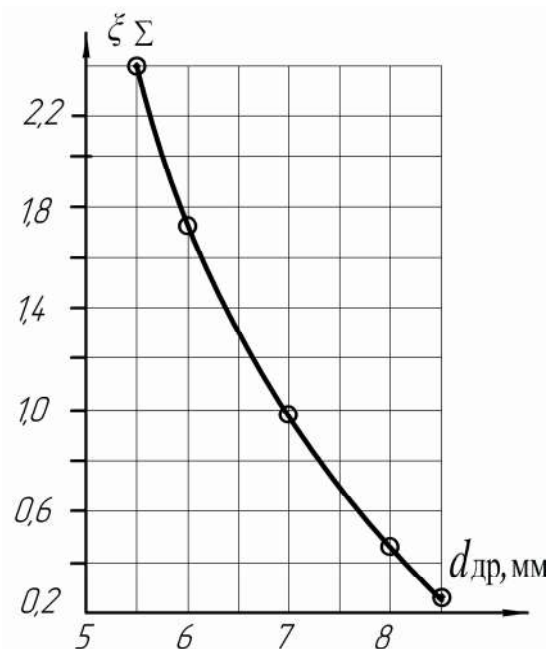


Рис. 8 – Залежність коефіцієнту аеродинамічного опору повітряного тракту риноманометра з витратоміром на основі сопла Вентурі від діаметру вихідного отвору

Перепад тиску на повітряному тракті риноманометра визначається, як

$$\Delta p = p_1 - p_3 = \xi_{\Sigma} \cdot \rho \cdot Q^2, \text{ кПа}, \quad (11)$$

де ρ та Q – щільність та діюча витрата повітря відповідно, ξ_{Σ} – сумарний коефіцієнт аеродинамічного опору повітряного тракту пристрою ТНДА-ПРХ на ділянці 1–1–4–4, який визначається за відповідними розрахунками.

Тоді значення тиску p_3 можна визначити за формулою

$$p_3 = p_1 - \xi_{\Sigma} \cdot \rho \cdot Q^2, \text{ кПа}. \quad (12)$$

Результати розрахунків (рис. 8) та експериментальне продування повітряного тракту риноманометра ТНДА-ПРХ дозволили встановити, що найбільший вплив на опір повітряному потоку вносить ділянка 1–1 – 2–2, на якій розташований витратомір типу сопло Вентурі з вихідним отвором діаметром близько 6–8 мм, причому при збільшенні діаметра сопла Вентурі з 5,5 до 8,5 мм (приблизно в 1,5 рази), сумарний коефіцієнт аеродинамічного опору повітряного тракту риноманометра зменшується, фактично, на порядок. Діапазон значень тисків, який був одержаний розрахунковим шляхом, становив близько 12%, що порівняно з похибкою використовуваних перетворювачів тиску ($\pm 5\%$, тобто розмах в 10%). Це дозволяє спростити конструкцію риноманометра за рахунок відмови від використання перетворювача тиску у просторі під маскою, причому отримані експериментальні, або розрахункові значення коефіцієнта аеродинамічного опору ξ_{Σ} та діапазон його впевненого використання мають вказуватись в паспорті до конкретного пристрою.

Аналіз проведення попередніх клінічних випробувань експериментального зразка риноманометра ТНДА-ПРХ дозволив виявити деякі особливості експлуатації засобів для функціональної діагностики порушень носового дихання, зокрема при ЗАРМ, і розробити відповідні практичні рекомендації, які наведено нижче.

При підвищеному рівні секрету в носовій порожнині спостерігається значна відмінність фаз між сигналами тиску та витрати повітря в дихальних циклах. Нещільне (негерметичне) прилягання маски до обличчя пацієнта призводить до суттєвого зниження показника витрати повітря. Витікання повітря між мундштуком з трубкою тиску і губами пацієнта при нещільному закритті рота при носовому диханні призводить до суттєвого зниження перепаду тиску на носовій порожнині. Некоректне утримання мундштука в ротовій порожнині при задній риноманометрії або сильне стиснення мундштука зубами або губами (при його зайвій гнучкості) призводить до спотворення значень перепаду тиску в носовій порожнині (як правило, в бік зменшення показника)

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу літературних та патентних джерел інформації встановлено, що практична ринологія потребує інструментальних методів функціональної діагностики, які мають бути засновані на адекватному фізико-математичному апараті та дозволять доказово визначати порушення носового дихання. Тому, в роботі вирішується завдання вдосконалення методів і засобів діагностики функціональних порушень носового дихання, які ґрунтуються на подальшому розвитку аеродинамічних моделей, що описують явища руху повітря при носовому диханні.

2. Встановлено, що в ході визначення коефіцієнта аеродинамічного носового опору за аналізом даних комп'ютерної томографії необхідно враховувати не тільки втрати тиску за довжиною носової порожнини, а й на локальних (місцевих) опорах, що, наприклад, у разі типових викривлень носової перегородки (односторонній шип, S-подібне викривлення) дає

збільшення коефіцієнта аеродинамічного носового опору не менш ніж на 30%; за наявності декількох локальних опорів і неможливості урахування їх взаємовпливу слід вибирати із них той, на ділянці якого досягається максимальне значення коефіцієнта аеродинамічного носового опору; основним технічним аналогом при типових локальних порушеннях конфігурації носової порожнини є збурення повітряного потоку на засувці, що дає величину зміни коефіцієнта місцевих втрат у діапазоні від 0,12 до більш ніж 100 (залежно від ступеня перекриття носового проходу) та поворот потоку, втрати тиску, на якому залежать від кута відхилення носового проходу; експериментально підтверджено більшу (приблизно на 10%) достовірність запропонованого методу в ході визначення локальних аеродинамічних опорів, ніж у методі активної риноманометрії під час форсованого дихання з адреналізацією носової порожнини.

3. На основі аналізу даних форсованої задньої активної риноманометрії встановлено, що стійка турбулізація повітряного потоку під час інтенсивного дихання в нормі відбувається при значно великих витратах повітря (близько 1 л/с), ніж при порушенні носового дихання (близько 0,3 л/с); додаткове врахування показників коефіцієнта аеродинамічного носового опору на межі переходу до області квадратичного режиму течії, дозволяє знизити імовірність похибки діагностики функціональних порушень носового дихання на 5% (з величини 0,16 до 0,11).

4. Встановлено, що величина відносної шорсткості слизової оболонки носової порожнини становить в середньому близько 0,05; це дозволяє вважати, що за рахунок складної конфігурації носової порожнини під час форсованого дихання ламінарний режим потоку втрачає стійкість вже при числах Рейнольдса понад 300, а область автомодельного (з квадратичною залежністю перепаду тиску від витрати повітря) турбулентного режиму настає при числах Рейнольдса понад 8000, що, в цілому, кореспондується з експериментальними риноманометричними даними і дозволяє проводити оцінку порушень носового дихання з урахуванням індивідуальної анатомічної та фізіологічної варіабельності.

5. Спрощення вимірювальної частини апаратури для тестування носового дихання досягається за рахунок можливості непрямого визначення перепаду тиску в просторі під маскою на основі теоретичного або експериментального врахування втрат тиску в повітряному тракті діагностичного пристрою (при похибці в межах 12% для конкретного дослідного зразка); при такій схемі вимірювань значення коефіцієнта аеродинамічного опору та діапазон його впевненого використання повинні вказуватись в паспорті до конкретного пристрою.

6. На основі отриманих теоретичних положень і експериментальних результатів уточнено деякі медико-технічні вимоги і сформовано практичні рекомендації для проектування технічних засобів для функціональної діагностики порушень носового дихання (риноманометрія, ольфактометрія), основними з яких є:

– необхідність об'єднувати висновки аеродинамічного моделювання за даними комп'ютерної томографії та результати риноманометричної діагностики

для адекватної інтерпретації та незалежної верифікації методів тестування носового дихання;

– методи визначення аеродинамічних характеристик носової порожнини на основі даних комп'ютерної томографії дозволяють проводити віртуальне моделювання корекції ендоназальних структур, що робить їх більш перспективними відносно риноманометрії за рахунок можливості використовувати їх прогностичні результати при комп'ютерному плануванні функціональних ринохірургічних втручань.

– дотримання практичних рекомендацій під час проведення риноманометричної діагностики, які пов'язано з коректним розміщенням вимірювальних ідопоміжних засобів, може дозволити уникнути грубих промахів у ході тестування носового дихання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Аврунин О.Г. О возможности применения современной пропорциональной электроники для моделирования дыхания человека / О. Г. Аврунин, Х. Фарук // Промислова гідраліка і пневматика.– 2013.– № 3(41).– С. 78–82.

2. Книгавко Ю.В. Расчет функциональных параметров, определяющих показания к проведению ринопластики / Ю.В. Книгавко, О.Г. Аврунин, Х. Фарук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.– 2013.– № 2/10 (62).– С. 24–27.

3. Аврунин О.Г. Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / О.Г. Аврунин, М.Ю. Тымкович., Х. Фарук // Бионика интеллекта.– 2013.– №2 (81).– С. 101–104.

4. Тымкович М. Ю. Разработка навигационной системы для ринохирургии / М.Ю. Тымкович, О.Г. Аврунин, Х. Фарук // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит.– 2013.– №8 (114). – С. 116–123.

5. Тымкович М.Ю. Способ реконструкции интактной поверхности хирургических доступов / М.Ю. Тымкович, О.Г. Аврунин, Х.И. Фарук // Восточно-европейский журнал передовых технологий.– 2014.– № 4/9 (70). – С. 37 – 41.

6. Farouk H. An attempt of the Determination of Aerodynamic Characteristics of Nasal Airways/ H. Farouk, O. Avrunin, A. Khaleel //Advances in Intelligent and Soft Computing: Image Processing and Communications Challenges 3. – Springer, 2011. – Vol. 102. – P. 311-322 (indexed in Scopus).

7. Knigavko Y.V. Calculation of venturi nozzles diameter for nasal breathing evaluation device / Y.V. Knigavko, O.G. Avrunin, H.I. Farouk // International Journal of Mechanical Engineering.– 2013.– Vol. 2.– P.21–28.

8. Farouk H. Comparison Discriminate Characteristics Between Modern TNDA-PRH Rhinomanometer and Previously Methodology / H. Farouk, O. Avrunin // International Journal of General Engineering and Technology (IJGET). – 2013 – Vol. 2, №. 2. – P. 39–50.

9. The Surgical Navigation System with Optical Position Determination Tecnology and Sources of Errors // O.G. Avrunin, M. Alkhoraeef, H. I. S. Farouk, M.Y. Tymkovich // USA Journal of Medical Imaging and Health Informatics.– 2015.– Vol. 5.– P. 1–8 (indexed in Scopus).

10. Носова Я.В. Разработка метода экспресс-диагностики бактериальной микрофлоры полости носа/ Я.В. Носова, Х.И. Фарук, О.Г. Аврунин // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон: ХНТУ, 2013. – №13. – С. 99–104.

11. Аврунин О.Г. Методы и средства функциональной диагностики внешнего дыхания: монографія / О.Г. Аврунин, Р.С. Томашевский, Х.И. Фарук – Харьков, ХНАДУ.– 2015. – 208 с.

12. Пат. № 97779, Україна, МПК А61В 5/08. Спосіб планування ринологічних функціонально-естетичних оперативних втручань / Аврунін О. Г., Книгавко Ю.В., Журавльов А. С., Калашник Ю. М., Саєд Х. И., Пащенко А.А; заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – № а201108547; опубл. 12.03.2012., Бюл. 2012.– № 5.

13. Пат. № 110452 Україна: МПК А61В 5/08 (2006.01). Пристрій для тестування респіраторних порушень нюху: / Аврунін О.Г., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Носова Я.В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – №а201500603 ; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11 – 4с.

14. Пат. 111311 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01), А61В 5/087 (2006.01), А61В 34/10 (2016.01),G09В 23/28(2006.01). Спосіб визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини: / Аврунін О.Г., Безшапочний С.Б., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Лобурець В.В., Носова Я.В., Тимкович М.Ю., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – №а2015 07110; заявл. 16.07.2015 ; опубл. 26.10.2015, Бюл.№20 – 5с.

15. Avrunin O. Analysis data for development of Multifunctional computer-aided rhinomanometer / O. Avrunin, H.Farouk // Материалы 4-го МРФ «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», сборник научных трудов, том III, конференция «Актуальные проблемы биомединженерии», Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. – 2011. – С. 22–23.

16. Книгавко Ю.В. Применение метода трехмерной лепки полигональных моделей для задач компьютерного планирования пластических вмешательств на лице человека / Ю.В. Книгавко, Х.И. Фарук, Е.В. Солодкая // Материалы 17-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» .– Т. – Харьков. – 2013. – С. 158–159.

17. Носова Я.В. Анализ энергетических характеристик носового дыхания при ольфактометрических исследованиях / Я.В. Носова, Х.И. Фарук, Н.О. Шушляпина // Материалы XIII Международной научно-технической конференции "Физические процессы и поля технических и биологических объектов", Кременчуг: КрНУ.– 2014. – С. 83.

18.Тымкович М.Ю., Фарук Х.И. Использование модифицированного метода объемного отбрасывания лучей для определения минимального травматического хирургического доступа / М.Ю.Тымкович, Х.И. Фарук // Материалы 18-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, ХНУРЭ. – 2014, Т.1. – С.118–119.

19. Аврунин О.Г. Роль информационного моделирования при разработке системы для оценки слизистой оболочки верхних дыхательных путей человека / О.Г. Аврунин, Я.В. Носова, Х.И. Фарук // Международная конференция «Проблемы биомедицины. наука и технология» в рамках Материалы 5-го МРФ, Харьков, ХНУРЭ, 2014.– С. 93–95.

20. Компьютерная система для тестирования обонятельного анализатора / Я.В. Носова, В.В. Семенец, Т.С. Кононенко, Х.И. Фарук // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии –2015», Харьков, ХНУРЭ. – 2015.– С.91–92.

21. Пристинкова течія повітря – перспективний підхід к вивченню патогенезу деяких захворювань порожнини носу / Шушляпіна Н.О., Аврунін О.Г., Носова Я.В., Фарук Х // Матеріали конференції Українського наукового медичного товариства оториноларингологів «Сучасні методи діагностики та лікування хронічних запальних захворювань верхніх дихальних шляхів та вуха», Дніпропетровськ.– ЖВНГХ. – 2015. – № 5-с. – С. 204–205.

22. Носова Я.В. Устройство для тестирования респираторно-обонятельных нарушений / Носова Я.В., Фарук Х.И., Бережная А.В. / XX-й юбилейный международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков: ХНУРЭ, 2016. – Т.1. – С. 32–33.

АНОТАЦІЯ

Хушам Фарук Ісмаїл Саєд. Методи та засоби діагностики функціональних порушень носового дихання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2016.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-технічної задачі – розробці нових і удосконаленню існуючих методів і засобів для діагностики функціональних порушень носового дихання.

Удосконалено метод визначення аеродинамічних характеристик носової порожнини, який заснований на врахуванні найбільш значущих локальних опорів, що дозволяє повною мірою враховувати вплив зміни конфігурації верхніх дихальних шляхів при плануванні ринохірургічних втручань.

Набув подальшого розвитку метод аналізу даних задньої активної риноманометрії під час форсованого дихання, який заснований на аналізі амплітудних величин перепаду тиску і витрати повітря під час дихання та їхніх граничних значень при переході до області квадратичного аеродинамічного опору, що дозволяє підвищити достовірність діагностики функціональних порушень носового дихання.

Розроблено метод визначення мікронерівностей поверхні слизової оболонки верхніх дихальних шляхів за комп'ютерно-томографічними даними на субвоксельному рівні, який дозволяє за критерієм відносної шорсткості визначати режим течії повітря в носовій порожнині.

Запропоновані методи та засоби діагностики в ринології виявилися ефективними в ході тестування функціональних порушень носового дихання.

Ключові слова: риноманометр, носове дихання, верхні дихальні шляхи, комп'ютерна томографія, перепад тиску, витрата повітря.

АННОТАЦІЯ

Хушам Фарук Исмаил Саед. Методы и средства диагностики функциональных нарушений носового дыхания.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы.– Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи – разработке новых и совершенствованию существующих методов и средств диагностики функциональных нарушений носового дыхания.

По результатам аналитического обзора установлено, что практическая ринология нуждается в инструментальных методах функциональной диагностики, основанных на адекватном физико-математическом аппарате и позволяющих доказательно определять нарушения носового дыхания. Поэтому в работе решается задача совершенствования методов и средств диагностики функциональных нарушений носового дыхания, основанных на дальнейшем развитии аэродинамических моделей, описывающих явления движения воздуха при носовом дыхании.

Установлено, что при определении коэффициента аэродинамического носового сопротивления необходимо учитывать потери давления на местных сопротивлениях, что, например, в случае типичных искривлений носовой перегородки дает увеличение коэффициента аэродинамического носового сопротивления не менее, чем на 30%; при наличии нескольких местных сопротивлений и невозможности учета их взаимовлияния следует выбирать максимальное значение коэффициента местных потерь.

На основе анализа данных форсированной задней активной риноманометрии установлено, что устойчивая турбулизация воздушного потока при интенсивном дыхании в норме происходит при существенно больших расходах воздуха, чем при нарушении носового дыхания, а учет коэффициента аэродинамического носового сопротивления на границе перехода в область квадратичного режима позволяет на 5% снизить вероятность ошибки диагностики функциональных нарушений носового дыхания.

Установлено, что величина относительной шероховатости слизистой оболочки носовой полости составляет около 0,04, что позволяет считать, что за счет сложной конфигурации носовой полости ламинарный режим потока теряет устойчивость уже при числах Рейнольдса более 300, а область устойчивого турбулентного режима наступает при числах Рейнольдса более 8000, что, в целом, коррелируется с экспериментальными риноманометрическими данными и позволяет проводить оценку нарушения носового дыхания с учетом индивидуальной variability.

На основе полученных теоретических положений и экспериментальных результатов уточнены некоторые медико-технические требования и

практические рекомендации для проектирования технических средств для функциональной диагностики нарушений носового дыхания.

Ключевые слова: риноманометр, носовое дыхание, верхние дыхательные пути, компьютерная томография, перепад давления, расход воздуха.

ABSTRACT

Husham Farouk Ismail Saied. Methods and tools for the diagnosis of functional disorders of nasal breathing. –A manuscript.

The thesis of competition for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences on specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2016.

The dissertation is devoted to solving actual scientific and technical task– the development and improvement of methods and tools for the diagnosis of functional disorders of nasal breathing.

The method of determining the aerodynamic characteristics of the nasal cavity, which is based on consideration of the most significant local resistance, that allows to fully consider the impact of changes in the configuration of the upper respiratory tract for computer rhinosurgery planning is described.

Further developed a method of analyzing data back rhynomanometry active during forced breathing, which is based on an analysis of peak values of differential pressure and air flow during breathing and their limit values at the transition to the area quadratic drag, which improves the reliability of the diagnosis of functional disorders of nasal breathing is proposed;

The method of examining microscopic mucosal surfaces of the upper respiratory tract by computed tomography data subvoxels at a level, that allows the criterion to determine the relative roughness mode air flow in the nasal cavity is proposed.

The methods and diagnostic tools in rhinology proved effective in testing of functional disorders of nasal breathing.

Keywords: rhinomanometry, nasal breathing, upper respiratory tract, computed tomography, differential pressure, air flow rate.

Підписано до 24.01.2017.
Умов. друк. арк. 1,2.
Ціна договірна.

Формат 60x84 ¹/₈.
Облік-вид. арк. 1,0.
Наклад 100 прим.

Друк – ризографія.
Папір офсетний.

Віддруковано ФОП Андреев К.В.
61166, Харків, вул. Серпова, 4

Свідоцтво про державну реєстрацію Серія В00 №966085 від 30.05.2003.

