



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **111311** (13) **C2**
(51) МПК

A61B 5/08 (2006.01)
A61B 5/087 (2006.01)
A61B 34/10 (2016.01)
G09B 23/28 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2015 07110</p> <p>(22) Дата подання заявки: 16.07.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.04.2016</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 26.10.2015, Бюл.№ 20</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.04.2016, Бюл.№ 7</p> <p>(72) Винахідник(и): Аврунін Олег Григорович (UA), Безшапочний Сергій Борисович (UA), Журавльов Анатолій Семенович (UA), Шушляпіна Наталія Олегівна (UA), Лобурець Валерій Васильович (UA), Носова Яна Віталіївна (UA), Тимкович Максим Юрійович (UA), Фарук Хушам Ісмаїл Саед (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</p>	<p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 92395 C2, 25.10.2010 Носуля Е.В., Ким І.А. Предоперационное обследование больных с деформациями наружного носа / Е.В. Носуля, И.А. Ким // Российская ринология. - 2000.- № 3. - С.36-38 DE 10050063 A1, 25.04.2002 Щурук Г.З. Можливості використання комп'ютерної томографії з об'ємною реконструкцією в діагностиці захворювань порожнини носа, навколоносових пазух і лицьового черепа // Журнал вухних, носових і горлових хвороб.- 2001.-№2. - С.64-69 Ульянов Ю.П. Септопластика под контролем аеродинамики носа // Журнал ВРАЧ. - 2000,№6. - С.28-31 [online] [Знайдений 18.02.2016] Знайдений у Internet <http://www.airsilver.net/ch23.1.html> Збережена копія 14.02.2003 Quadrio M., Pipolo C., Corti S., Lenzi R., Messina F., Pesci C., Felisati G. Review of computational fluid dynamics in the assessment of nasal air flow and analysis of its limitations / M. Quadrio, C. Pipolo, S. Corti, R. Lenzi, F. Messina, C. Pesci, G. Felisati // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. - 2014, Sep. - 271(9). - P.2349-2354 Mosges R, Buchner B, Kleiner M, Freitas R, Horschler I, Schroder W. The Computational Fluid Dynamics Analysis of Nasal Flow / R. Mosges, B. Buchner, M. Kleiner, R. Freitas, I. Horschler, W. Schroder. // B-ENT. - 2010. - No6. - P.161-165 WO 2012089853 A1, 05.07.2012</p>
---	---

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ НА СЛИЗОВУ ОБОЛОНКУ НОВОЇ ПОРОЖНИНИ

(57) Реферат:

Винахід належить до медицини і стосується способу визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини, у якому передбачено визначення нерівностей слизової оболонки носової порожнини на ділянках вздовж повітряного каналу за томографічними даними, розрахунок товщини ламінарного межового шару потоку повітря та

UA 111311 C2

UA 111311 C2

визначення ступеня впливу повітряного потоку на ділянки слизової оболонки носової порожнини за критерієм відношення довжини її виступів до товщини ламінарного межового шару повітряного потоку при різних режимах дихання.

Винахід належить до області медицини, а власне до оториноларингології, і може бути використаний для діагностики та лікування захворювань верхніх дихальних шляхів.

Відомий спосіб передопераційного обстеження пацієнтів з деформаціями зовнішнього носу (Носуля Е.В., Ким І.А. Предоперационное обследование больных с деформациями наружного носа // Российская ринология. - 2000. - № 3. - С. 36-38), що складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух та проведення психоемоційного аналізу статусу пацієнта.

Однак у даному способі не проводяться побудова аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів, визначення нерівностей слизової оболонки носової порожнини та розрахунки товщини ламінарного межового шару потоку повітря, що не дозволяє визначати ступінь травматизації ділянок слизової оболонки повітряним потоком та сприяти виявленню патогенезу хронічних ринологічних захворювань.

Найбільш близьким за сукупністю ознак є спосіб планування оперативних втручань при лікуванні порушень повітряної провідності верхніх дихальних шляхів (Пат. України № 92395 МПК (2009) А61В 5/087, опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20), який складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини, побудови аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів для визначення витрати Q повітря за формулою:

$$Q = \frac{\Delta p}{\rho_g \frac{\Delta l}{S}} = \frac{\Delta p}{R},$$

де Δl - довжина ділянки носового ходу,

S - площа перетину ділянки носового ходу

Δp - перепад тиску повітря на ділянці носового ходу,

R - аеродинамічний опір на ділянці носового ходу,

$\rho_g = 8\eta/r^2$ - характеристичний аеродинамічний опір,

де $\eta \approx 1,7 \cdot 10^{-5}$ Па·с - коефіцієнт динамічної в'язкості для повітря при нормальних умовах,

r - радіус перетину ділянки носового ходу,

віртуального моделювання корекції форми анатомічних структур шляхом зміщення кісткових утворень та скорочення об'єму слизової оболонки на просторовій сегментованій лофтинговій моделі повітряних шляхів носової порожнини для зменшення локальних аеродинамічних опорів носових ходів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання та прогнозування результатів оперативного втручання щодо покращення повітряної провідності носових ходів за формулами $K_Q = Q_2/Q_1 \cdot 100\%$ та $K_R = R_1/R_2 \cdot 100\%$, які характеризують процентні співвідношення між існуючими Q_1 , R_1 та прогнозованими Q_2 , R_2 параметрами витрати повітря та аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів відповідно.

Однак у даному способі не проводиться визначення нерівностей слизової оболонки носової порожнини та розрахунки товщини ламінарного межового шару потоку повітря, що не дозволяє визначати ступінь впливу повітряного потоку на ділянки слизової оболонки і знижує ефективність діагностики та лікування дихально-нюхальних порушень.

В основу винаходу поставлена задача створення такого способу визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини, який дозволяв би, за рахунок визначення нерівностей слизової оболонки носової порожнини та розрахунку товщини ламінарного межового шару потоку повітря, визначати ступінь впливу повітряного потоку на ділянки слизової оболонки і, як наслідок, підвищити ефективність діагностики та лікування дихально-нюхальних порушень і сприяти виявленню патогенезу (механізму виявлення) хронічних ринологічних захворювань.

Такий технічний результат може бути досягнутий, якщо в спосіб визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини, який складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини, побудови аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання, згідно з винаходом, вводяться визначення нерівностей слизової оболонки носової порожнини на

ділянках вздовж повітряного каналу за томографічними даними, розрахунок товщини ламінарного межового шару потоку повітря, визначення ступеня впливу повітряного потоку на ділянки слизової оболонки носової порожнини за критерієм відношення довжини її виступів до товщини ламінарного межового шару повітряного потоку при різних режимах дихання.

5 Таким чином, за рахунок введення в спосіб визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини процедур визначення нерівностей слизової оболонки носової порожнини та розрахунку товщини ламінарного межового шару потоку повітря, досягається визначення ступеня впливу повітряного потоку на ділянки слизової оболонки і, як наслідок, підвищення ефективності діагностики та лікування дихально-нюхальних порушень і
10 уточнення механізму виникнення хронічних ринологічних захворювань.

На фіг. 1а представлено ділянку на аксіальному томографічному зрізі носової порожнини; на фіг. 1б представлено розподіл нерівностей слизової оболонки на відповідній ділянці вздовж носової порожнини відносно до товщини δ ламінарного межового шару повітряного потоку при різних режимах ($\delta^{(н)}$ - нормальному, $\delta^{(п)}$ - підсиленому, $\delta^{(ф)}$ - форсованому дихання); позначено
15 ділянки носової порожнини, де при спокійному диханні визначаються А - відсутність, В - високий ризик присутності, та С - присутність негативного впливу повітряного потоку на слизову оболонку лівої середньої носової раковини.

Спосіб, що пропонується, може бути реалізований так: виконуються ринометричні дослідження, що включають визначення анатомічної форми та розмірів зовнішнього носа, оцінювання ступеня деформації зовнішнього носа шляхом вимірювань відстаней між
20 середньою лінією носа та найбільш латеральною точкою його поверхні, виміри висоти зовнішнього носа у фронтальній та сагітальній площинах, визначення ступеня асиметрії колумели. Далі виконується ендоскопічне обстеження носа, яке включає огляд різних відділів верхніх дихальних шляхів за допомогою оптичного відеоендоскопа для безпосереднього
25 візуального оцінювання локалізації та ступеня деформації глибоко розташованих анатомічних структур а також стану слизової оболонки носової порожнини. На наступному етапі виконуються функціональні дослідження верхніх дихальних шляхів для об'єктивної оцінки показників носового дихання (витрати повітря при диханні, відповідної різниці тиску повітря, аеродинамічний опір верхніх дихальних шляхів, пневматична потужність носового дихання)
30 шляхом проведення передньої або задньої активної риноманометрії при різних режимах дихання (спокійне, підсилене, форсоване), а також дослідження нюхальних порушень ольфактометричним методом, що вказує на ступінь пошкодження нюхальних рецепторів. Далі виконується інтроскопічне дослідження порожнини носа та навколоносових пазух за даними рентгенівської спіральної комп'ютерної томографії (див. фіг. 1а). Сканування виконують з кроком
35 1 мм паралельно базовій площині черепа.

За даними аксіальних томографічних зрізів виконується формування єдиної узагальненої вексельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів, яка містить структуровані дані щодо розташування кісткових та хрящових об'єктів носової порожнини, а також слизової оболонки, шкірних покривів зовнішнього носа, повітряних шляхів та навколоносових пазух. Далі
40 за даними створеної узагальненої воксельної томографічної моделі за допомогою розробленого програмного забезпечення виконується формування та візуалізація сегментованої просторової лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини, яка містить тільки контури структур, які обмежують порожнини носа та навколоносових пазух. Наступним кроком виконують побудову аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів, для кількісної оцінки основних
45 аеродинамічних параметрів, що характеризують процес проходження повітря через ділянки носової порожнини. При цьому в залежності від значення числа Re Рейнольдса, яке визначається за формулою

$$Re = \frac{V \cdot d_r}{\nu}, (1)$$

де V - середня швидкість повітря в носовій порожнині (задається за риноманометричними даними в залежності від витрати Q повітря) для різних режимів дихання - спокійного (0,3 л/с), підсиленого (1 л/с), форсованого (2 л/с);

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, що дорівнює для повітря при нормальних умовах $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$;

d_r - гідравлічний діаметр, що враховує складну конфігурацію перетинів носової порожнини
55 за формулою

$$d_r = \frac{4S}{\Pi}, (2)$$

де S - середня площа перетину носового ходу;

П - змочений периметр перетину носового ходу, визначають режим течії повітря (при значенні $Re < Re_{кр}$ - ламінарний, $Re \geq Re_{кр}$ - турбулентний, при $Re_{кр} = 2300$) для кожної ділянки носового ходу. Від режиму течії повітря у носовому ході залежать подальші розрахунки при визначенні аеродинамічних показників носової порожнини. Далі виконують визначення

$$\Delta_i = l_{i+1} - l_i + \left(\frac{l_{i+1} - l_i}{l_{max}} h \right), \quad (3)$$

де l_i та l_{i+1} - товщини слизової оболонки на i -му та $i+1$ фронтальних томографічних перетинах носової порожнини відповідно,

l_i та l_{i+1} - рівні інтенсивності вокселів на межі між слизовою оболонкою та повітрям на i -му та $i+1$ фронтальних томографічних перетинах носової порожнини відповідно;

l_{max} - максимальний рівень інтенсивності вокселів на томографічному зображенні;

h - просторове розрізнення томографічних зображень;

Складава в дужках у формулі (3) фактично дозволяє враховувати нерівності слизової оболонки носової порожнини на субвоксельному рівні, які дорівнюють величині 15 мкм при типових показниках томографічного сканування $h = 0,4$ мм, $l_{max} = 255$.

Далі на відповідних ділянках носової порожнини визначаються товщини ламінарного межового шару δ_i за формулою

$$\delta_i = \frac{32,4 \cdot d_{r_i}}{Re_i^{0,875}}, \quad (4)$$

де Re_i - число Рейнольдса та d_{r_i} - гідравлічний діаметр визначаються для кожної i -ї ділянки носової порожнини за формулами (1) та (2) відповідно. При цьому товщини ламінарного межового шару повітря при характерному гідравлічному діаметрі носової порожнини 5 мм складає 0,2 мм, 0,15 мм та 0,05 мм (див. фіг. 16) при числах Рейнольдса 1700, 3000 та 10000 відповідно до режимів дихання (спокійного, підсиленого та форсованого). Далі виконується визначення ступеня впливу повітряного потоку на ділянку слизової оболонки носової порожнини за критерієм відношення довжини її виступу до товщини ламінарного межового шару у вигляді

$\Delta_i < \delta_i$ - виступи слизової оболонки повністю знаходяться у ламінарному межовому шарі повітряного потоку; відсутній негативний вплив потоку на слизову оболонку, що пов'язаний з турбулентним висушуванням;

$\Delta_i \approx \delta_i$ - виступи слизової оболонки знаходяться біля границі ламінарного межового шару повітряного потоку; при подальшому підвищенні інтенсивності дихання або при звуженні ділянки носової порожнини буде присутній негативний вплив потоку на слизову оболонку, що пов'язаний з турбулентним висушуванням;

$\Delta_i > \delta_i$ - виступи слизової оболонки виходять з ламінарного межового шару у турбулентний повітряний потік; повністю виявляється негативний вплив потоку на слизову оболонку, який пов'язаний з турбулентним висушуванням.

На фіг. 16 проілюстровано, що при підсиленні дихання та відповідному зменшенні товщини ($\delta^{(н)}$, $\delta^{(п)}$, $\delta^{(ф)}$) межового шару повітряного потоку підвищується ризик негативного впливу турбулентного повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини.

Використання даного способу дає можливість на етапах діагностики та хірургічного планування провести кількісну оцінку ефекту негативного впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини, який пов'язаний з турбулентним висушуванням та визначити ділянки, що за запропонованим критерієм підлягають хірургічній корекції.

Приведений спосіб пройшов позитивні клінічні випробування на 90 пацієнтах в оториноларингологічному відділенні Харківської обласної клінічної лікарні та дозволяє об'єктивно на доказовому рівні визначити товщину пристінкового ламінарного межового шару повітряного потоку та ступінь його впливу на слизову оболонку носової порожнини, що особливо важливо при втручаннях у верхньому носовому ході при лікуванні респіраторно-нозальних порушень та сприяє поясненню механізму виявлення хронічних ринологічних захворювань.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини, який передбачає проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини, побудову аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання, який **відрізняється** тим, що за даними фронтальних томографічних перетинів визначають нерівності Δ_i слизової оболонки носової порожнини на ділянках вздовж повітряного каналу згідно із формулою

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

де l_i та l_{i+1} - товщини слизової оболонки на i -му та $i+1$ фронтальних томографічних перетинах носової порожнини відповідно,

l_i та l_{i+1} - рівні інтенсивності вокселів на межі між слизовою оболонкою та повітрям на i -му та $i+1$ фронтальних томографічних перетинах носової порожнини відповідно,

l_{\max} - максимальний рівень інтенсивності вокселів на томографічному зображенні,

h - просторове розрізнення томографічних зображень,

визначають на відповідних ділянках носової порожнини товщини ламінарного межового шару δ_i за формулою

$$\delta_i = \frac{32,4 \cdot d_{r_i}}{Re_i^{0,875}},$$

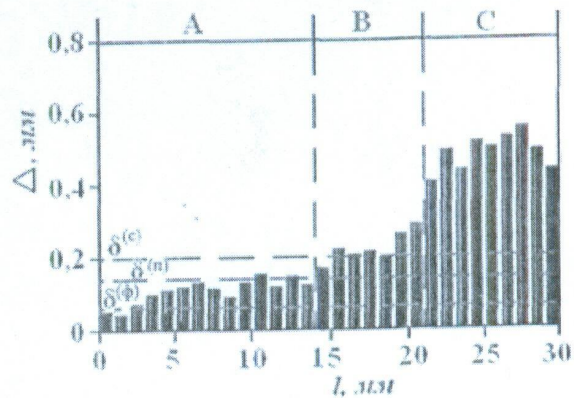
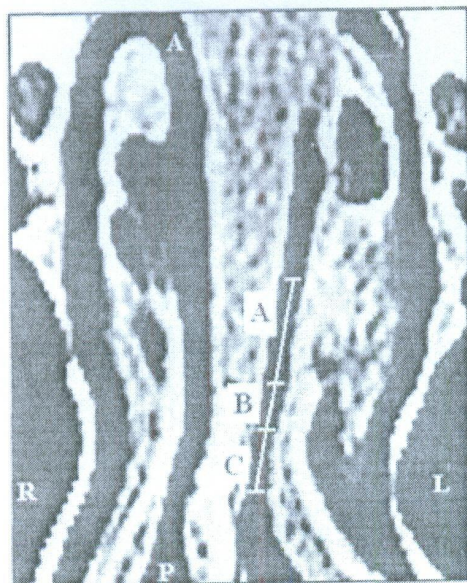
де Re_i - число Рейнольдса та d_{r_i} - гідравлічний діаметр, визначений для кожної i -ї ділянки носової порожнини,

далі визначають ступінь впливу повітряного потоку на ділянки слизової оболонки носової порожнини за критерієм відношення довжини її виступів до товщини ламінарного межового шару повітряного потоку при різних режимах дихання і встановлюють, що у разі, якщо

$\Delta_i < \delta_i$ - виступи слизової оболонки повністю знаходяться у ламінарному межовому шарі повітряного потоку, відсутній негативний вплив потоку на слизову оболонку, що пов'язаний з турбулентним висушуванням,

$\Delta_i \approx \delta_i$ - виступи слизової оболонки знаходяться біля границі ламінарного межового шару повітряного потоку, при подальшому підвищенні інтенсивності дихання або при звуженні ділянки носової порожнини буде присутній негативний вплив потоку на слизову оболонку, що пов'язаний з турбулентним висушуванням,

$\Delta_i > \delta_i$ - виступи слизової оболонки виходять з ламінарного межового шару у турбулентний повітряний потік, встановлюють негативний вплив потоку на слизову оболонку, який пов'язаний з турбулентним висушуванням.



a

б

Фиг. 1