



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42959 (13) U
(51) МПК (2009)
A61B 5/08МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ БРОНХІАЛЬНОГО ОПОРУ

1

2

(21) u200902334

(22) 16.03.2009

(24) 27.07.2009

(46) 27.07.2009, Бюл.№ 14, 2009 р.

(72) КОВАЛЬЧУК СТАНІСЛАВ ІЛЛІЧ, ЮСУПАЛІЄ-
ВА МУЯСАР МАНСУРІВНА, САВЧЕНКО ВАЛЕН-
ТИН МИХАЙЛОВИЧ, КОВГАНКО ОЛЕКСІЙ ОЛЕК-
СІЙОВИЧ, ЯКОВЛЄВ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ,
ЛАВРЕНТЬЄВ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, РЕРІХ
РІЧАРД ОЛЕКСАНДРОВИЧ(73) КОВАЛЬЧУК СТАНІСЛАВ ІЛЛІЧ, ЮСУПАЛІЄ-
ВА МУЯСАР МАНСУРІВНА, САВЧЕНКО ВАЛЕН-
ТИН МИХАЙЛОВИЧ, КОВГАНКО ОЛЕКСІЙ ОЛЕК-
СІЙОВИЧ, ЯКОВЛЄВ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ,
ЛАВРЕНТЬЄВ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, РЕРІХ
РІЧАРД ОЛЕКСАНДРОВИЧ(57) Спосіб виміру бронхіального опору, що вклю-
чає вимірювання тиску в легенях після короткоча-

сного перекриття повітряного потоку й розрахунок
бронхіального опору, який **відрізняється** тим, що
під час наступного короткочасного відкриття повіт-
ряного потоку рух повітря направляють через ка-
лібрований опір і вимірюють тиск у потоці повітря
на межі між каліброваним опором і легеньми, а
бронхіальний опір розраховують за формулою:

$$R_{aw} = R_d \cdot (P/P_1 - 1),$$

де:

 R_{aw} - бронхіальний опір; R_d - калібрований опір; P - тиск у легенях у момент перекриття повітряно-
го потоку; P_1 - тиск повітря на межі між легеньми й калібро-
ваним опором під час короткочасного відкриття
повітряного потоку;

1 - стале число.

Корисна модель належить до сфери медици-
ни, а саме до пульмонології, і може використовув-
ватися для діагностики функціонального стану
легенів.

Відомо спосіб вимірювання бронхіального
опору за допомогою методу загальної бодиплети-
змографії, заснованої на вимірюванні тиску в ле-
геньми і потоку повітря на виході з дихальних шля-
хів (Клемент Р.Ф. Исследование системы
внешнего дыхания и её функций. В кн. Общая
пульмонология. М. Медицина. - 1989. - ч. 1. -
стр.318-319.).

Бодиплетизмографію можна проводити, на-
приклад, на діагностичному дихальному комплексі
фірми "Erich Eger" (Німеччина). Після включення,
прогріву й калібрування приладу, в умовах основ-
ного стану, пацієнта поміщають у спеціально об-
ладнану герметичну кабінку, що виключає контакт
із зовнішнім середовищем. Через загубник пацієнт
приєднується до дихального мішка і йому прова-
дять вимір легеньмих параметрів. Випробуваний
виконує відповідні дихальні маневри - вдих, видих
різної глибини й потужності, затримку подиху.

У результаті автоматичної обробки (напри-
клад, на EOM DATE SPIR, Німеччина) лікар одер-
жує, у тому числі, і кількісну інформацію про тиск у

легеньми і об'ємну швидкість повітряного потоку,
що необхідні для розрахунку бронхіального опору
(Патент. 2092846 Россия. М. Кл.6 G 01 N 33/483
Способ определения функционального состояния
бронхорецепторного аппарата).

Спосіб-аналог, який описано, пов'язаний із не-
обхідністю використання дорогої апаратури (боди-
плетизмограф) і вимагає спеціального технічного
обслуговування, що істотно обмежує його викори-
стання в широкій медичній практиці.

Як найближчий аналог обрано спосіб виміру
бронхіального опору методом перекриття повітря-
ного потоку (Г.Е. Ройтберг, А.В. Струтынский Ме-
тоды лабораторной и инструментальной диагнос-
тики органов дыхания.- «Бином», 1999. - глава
2.5.8 - Измерение сопротивления воздухоносных
путей).

Метод перекриття повітряного потоку (метод
форсованих осциляцій) є найбільш розповсюдже-
ним і простим способом вимірювання бронхіально-
го опору (R_{aw}). Він ґрунтується на визначенні спів-
відношення величини альвеолярного тиску (P) і
об'ємної швидкості повітряного потоку (Q). Під
величиною P розуміють різницю між тиском у ле-
геньмих альвеолах і атмосферним тиском під час
видиху.

(19) UA (11) 42959 (13) U

Для визначення альвеолярного тиску проводитись короткочасне (не більше 0,1 с) перекриття повітряного потоку в повітропроводі на виході з легенів за допомогою заслінки. Після перекриття повітряного потоку тиск у легенях вирівнюється й альвеолярний тиск не відрізняється від тиску на виході з дихальних шляхів перед закритою заслінкою. Вимірявши цей тиск на виході з дихальних шляхів (перед заслінкою) після перекриття повітряного потоку й визначивши величину об'ємної швидкості потоку повітря безпосередньо після відкриття повітряного потоку, відповідно до закону Пуазейля, можна розрахувати бронхіальний опір легенів за формулою:

$$R_{aw} = P/Q, \quad (1)$$

де:

R_{aw} - бронхіальний опір легенів;

P - тиск перед заслінкою після її закриття;

Q - об'ємна швидкість повітряного потоку після відкриття заслінки.

Ознаками, що збігаються з ознаками запропонованого способу, є - вимірювання тиску повітря в легенях після короткочасного перекриття повітряного потоку й розрахунок бронхіального опору.

Загальним недоліком як і для способу-аналога, так і для способу-найближчого аналога є необхідність під час кожного дослідження бронхіального опору проводити вимірювання швидкості повітряного потоку. Це ускладнює як процес дослідження, так і діагностичну апаратуру, що використовується для цього, тому що для вимірювання об'ємної швидкості повітряного потоку необхідно використовувати спеціальний прилад (наприклад, пневмотахометр).

В основу корисної моделі, що пропонується, поставлено завдання вилучення необхідності вимірювання об'ємної швидкості повітряного потоку під час кожного вимірювання бронхіального опору. Технологія запропонованого способу обмежується дворазовим вимірюванням лише одного параметра (тиску), що спрощує й процес дослідження, і апаратуру, що застосовується в цьому випадку.

Поставлене завдання досягається тим, що в запропонованому способі, у котрому є - вимірювання тиску повітря в легенях після короткочасного перекриття повітряного потоку й розрахунок бронхіального опору, відповідно до корисної моделі, під час наступного короткочасного відкриття повітряного потоку рух повітря направляють через калібрований опір і вимірюють тиск у потоці повітря на межі між каліброваним опором і легенями, а бронхіальний опір розраховують за формулою:

$$R_{aw} = R_d \cdot (P/P_1 - 1); \quad (2)$$

де:

R_{aw} - бронхіальний опір;

R_d - калібрований опір;

P - тиск у легенях у момент перекриття повітряного потоку;

P_1 - тиск повітря на межі між легенями й каліброваним опором під час короткочасного відкриття повітряного потоку;

1 - стале число.

Спрощення технологічного процесу дослідження за рахунок вилучення необхідності вимірювання об'ємної швидкості повітряного потоку

забезпечується наступними характерними ознаками: під час короткочасного відкриття повітряного потоку рух повітря направляють через калібрований опір і в цей момент вимірюють тиск у потоці повітря на межі між каліброваним опором і легенями.

Таким чином, дослідження бронхіального опору зводиться до вимірювання тиску на виході з легеневих шляхів при закритій заслінці й вимірюванні тиску на межі між легенями й каліброваним опором під час короткочасного відкриття повітряного потоку.

Між сукупністю характерних ознак заявленого способу й технічним результатом, який можна досягнути, є наступний причинно-наслідковий зв'язок.

Запропонований спосіб засновано на дослідженні аеродинаміки повітряного потоку в системі «легені - калібрований опір». Як калібрований опір можна використовувати, наприклад, будь-яку трубку з відомим (каліброваним) опором потоку повітря, із твердими стінками й постійним перерізом.

Для наочності цю систему схематично можна представити у вигляді двох труб, які з'єднано послідовно (Фіг.1 і Фіг.2). Легені представлено у вигляді труби із бронхіальним опором R_{aw} , який досліджують, а калібрований опір - у вигляді іншої труби з відомим (каліброваним) опором R_d .

На межі між двома трубами передбачено можливість короткочасного перекриття сполучення між ними за допомогою заслінки. Безпосередньо перед заслінкою з боку труби з опором R_{aw} (легені) є можливість вимірювання тиску з використанням датчика тиску (манометра).

Під час короткочасного перекриття повітряного потоку (Фіг.1) тиск у легеновому просторі й у повітропроводі перед заслінкою вирівнюється і його величина відповідає альвеолярному. Цей тиск вимірюється за допомогою манометра, що розташовано перед заслінкою, і його значення відповідає тиску в легенях (P).

Після короткочасного відкриття заслінки (Фіг.2), у результаті виникаючого перепаду тиску між альвеолярним і атмосферним тиском, формується повітряний потік. Тиск у повітряному потоці P_1 , вимірювання котрого здійснюється на межі між легенями й каліброваним навантажувальним опором, залежить від перепаду альвеолярного тиску P_2 на шуканий бронхіальний опір у легенях R_{aw} , тобто

$$P_1 = P - P_2, \quad \text{і,} \quad \text{відповідно:}$$

$$P_2 = P - P_1 \quad (3)$$

Відомо, що об'ємна швидкість повітряного потоку на різних, послідовно з'єднаних, ділянках повітропроводу однакова. При цьому падіння тиску на цих ділянках прямо пропорційно їхньому опором. Дійсно, використовуючи формулу (1) для двох, послідовно з'єднаних, ділянок повітропроводу й замінивши значення P_2 за формулою (3) одержуємо два рівняння:

$$Q = P_1/R_d, \quad (\text{для каліброваного опору}) \quad (4)$$

$$Q = P_2/R_{aw} \quad \text{або, підставляючи значення } P_2 \text{ із формули} \quad (3)$$

$$Q=(P-P_1)/R_{aw}, \text{ (для легенів)} \quad (5)$$

де:

Q - об'ємна швидкість повітряного потоку в повітропроводі;

P_1 - падіння тиску на ділянці з каліброваним опором;

R_d - калібрований опір;

$(P-P_1)$ - падіння тиску на ділянці легенів;

R_{aw} - опір у легенях.

Так як, ліві частини рівнянь (4) і (5) тотожні, то справедливе рівняння, розв'язання якого дає можливість розрахувати величину бронхіального опору (R_{aw}):

$$P_1/R_d=(P-P_1)/R_{aw}, \text{ або:}$$

$$R_{aw} \cdot P_1=R_d \cdot (P-P_1), \text{ звідси:}$$

$$R_{aw}=R_d \cdot (P-P_1)/P_1 \text{ або:}$$

$$R_{aw}=R_d \cdot (P/P_1-1), \quad (6)$$

де:

R_{aw} - бронхіальний опір, який досліджується;

R_d - калібрований опір;

P - тиск у легенях при закритій заслінці (альвеолярний тиск);

P_1 - тиск у повітряному потоці на межі між легенями й каліброваним опором.

Як впливає з формули (6), для розрахунку бронхіального опору (R_{aw}) необхідно знати 3 показники - P, P_1 і R_d . Два з них - альвеолярний тиск (P) і тиск на межі між легенями й каліброваним опором (P_1) вимірюються безпосередньо в процесі дослідження, відповідно при закритій і відкритій заслінці.

Калібрований опір (R_d), що послідовно підключається на виході з легенів, вимірюється один раз і цей, уже відомий (калібрований), опір використовується надалі для багаторазового вимірювання бронхіального опору.

Як калібрований опір можна застосувати, наприклад, трубку, постійний діаметр і довжина якої дозволяють одержати необхідну величину опору повітряному потоку. За нашими спостереженнями оптимальним для дослідження бронхіального опору в людини рівнем каліброваного опору є опір у діапазоні від 200 до 800 Па·сек·л⁻¹.

Зручніше й простіше можна виготовити необхідний калібрований опір із трубки постійного перерізу, тому що в цьому випадку її опір буде лінійно залежати від довжини. Для цього необхідно розрахувати питомий опір цієї трубки, тобто величину опору на одиницю довжини трубки. Розділивши величину необхідного каліброваного опору на числове значення розрахованого питомого опору досліджуваної трубки, отримуємо значення її довжини, що забезпечує необхідний опір потоку повітря.

Розрахувати й виготовити калібрований опір із потрібними параметрами можна за наявності джерела тиску повітря, пристрою для вимірювання об'єму повітря й трубки довільної довжини з невідомим опором.

Як джерело постійного тиску можна застосувати будь-який повітряний компресор, який здатний забезпечити тиск повітря в діапазоні 200-800 Па, що має на виході заслінку для перекриття повітряного потоку, і має встановлений перед заслінкою

манометр. Для виміру об'єму повітря можна використовувати спірометр. Як матеріал для виготовлення каліброваного опору можна використовувати будь-яку трубку постійного перерізу з досить твердими стінками й внутрішнім діаметром у межах, наприклад, від 0,3 до 0,8 см.

Створюють повітропровід, який складається із джерела тиску (повітродувки) і спірометра, що послідовно з'єднані за допомогою якої-небудь підвідної трубки. Між джерелом тиску й початком підвідної трубки є можливість для перекриття повітряного потоку за допомогою заслінки. Між джерелом тиску й заслінкою встановлюють манометр для вимірювання тиску.

Спочатку вимірюють тиск повітря (P) на виході з повітродувки при закритій заслінці. Потім відкривають заслінку й вимірюють об'єм повітря, що накопився під конусом спірометра (V_1) за час (T_1). Позначають опір усієї системи «повітродувка-спірометр» як R. Розраховують об'ємну швидкість повітряного потоку:

$$Q_1=V_1/T_1$$

Відповідно до закону Пуазейля для цієї системи повітропроводу справедливе рівняння:

$$Q_1=P/R \text{ або:}$$

$$Q_1 \cdot R=P \quad (7)$$

де:

Q_1 - об'ємна швидкість повітряного потоку в системі повітропроводу без трубки, що досліджується;

R - опір усього повітропроводу без трубки, що досліджується;

P - тиск, який створюється повітродувкою при закритій заслінці.

На другому етапі в цю систему, що складається з повітродувки, яку обладнано на виході заслінкою й манометром, підвідної трубки й спірометра, додатково включають трубку, що досліджується, з якої буде виготовлено калібровану трубку. Трубка, що досліджується, довжиною L із невідомим опором (R_x) включається послідовно між повітродувкою (після заслінки) і підвідною трубкою, що з'єднано зі спірометром. Відкривають заслінку й знову вимірюють об'єм повітря, що накопився під куполом спірометра (V_2) за час (T_2). Так як режим роботи джерела тиску не змінюється, то тиск, який розвивається повітродувкою в обох випадках, буде однаковим.

Позначають опір нової системи як $R+R_x$. Об'ємна швидкість повітряного потоку в цій системі зміниться й буде дорівнювати:

$$Q_2=V_2/T_2$$

Відповідно до закону Пуазейля для нової системи повітропроводу із включеною трубкою, що досліджується, справедливе рівняння:

$$Q_2=P/(R_x+R); \text{ або:}$$

$$Q_2 \cdot R_x+Q_2 \cdot R=P \quad (8)$$

де:

Q_2 - об'ємна швидкість повітряного потоку в системі із трубкою;

R_x - опір трубки, що досліджується;

R - опір усього повітропроводу без трубки, що досліджується;

P - тиск, який створюється повітродувкою при закритій заслінці.

З рівняння (7) випливає:

$$R=P/Q_1 \quad (9)$$

Підставляють значення R із формули (9) у формулу (8)

$$Q_2 \cdot R_x + Q_2 \cdot P/Q_1 = P$$

Після перетворень знаходять формулу розрахунку опору всієї трубки, що досліджується (R_x):

$$\begin{aligned} Q_2 \cdot R_x &= P - Q_2 \cdot P/Q_1; \\ Q_1 \cdot Q_2 \cdot R_x &= P \cdot Q_1 - Q_2 \cdot P; \\ Q_1 \cdot Q_2 \cdot R_x &= P \cdot Q_1 - Q_2 \cdot P; \\ Q_1 \cdot Q_2 \cdot R_x &= P \cdot (Q_1 - Q_2); \\ R_x &= P \cdot (Q_1 - Q_2) / (Q_1 \cdot Q_2), \end{aligned} \quad (10)$$

де:

R_x - опір трубки довжиною L;

P - тиск на виході з повітродувки при закритій заслінці;

Q_1 - об'ємна швидкість повітряного потоку через повітропровід без трубки, що досліджується;

Q_2 - об'ємна швидкість повітряного потоку через повітропровід із включеної в його склад трубки, що досліджується, довжиною L.

Розраховують питомий опір трубки, що досліджується:

$$R_{ud} = R_x / L, \quad (11)$$

де:

R_{ud} - питомий опір трубки, що досліджується;

L - довжина трубки, що досліджується, з опором R_x ;

R_x - опір трубки, що досліджується з довжиною L, розрахований за формулою (10).

Після цього необхідну довжину каліброваної трубки із заданим опором розраховують за формулою:

$$L_d = R_d / R_{ud}, \quad (12)$$

де:

L_d - довжина трубки, що забезпечує заданий калібрований опір R_d ;

R_d - величина необхідного каліброваного опору;

R_{ud} - величина питомого опору трубки, що досліджується.

Приклад конкретного розрахунку й виготовлення каліброваного опору.

Завдання - розрахувати довжину каліброваної трубки, що має заданий опір 500 Па·сек·л⁻¹. Вихідні дані: трубка із внутрішнім діаметром 0,43см, довжиною 267см. Дані вимірювань:

$Q_1 = V_1 / T_1 = 4,880 \text{ л} / 45 \text{ сек} = 0,108 \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1}$ (об'ємна швидкість повітряного потоку в системі «повітродувка - підвідна трубка - спірометр»)
 $Q_2 = V_2 / T_2 = 4,280 \text{ л} / 90 \text{ сек} = 0,048 \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1}$. (об'ємна швидкість повітряного потоку в системі «повітродувка - трубка, що досліджується - підвідна трубка - спірометр»)

Тиск (P) при закритій заслінці однаковий за обох вимірювань і дорівнює 500 Па.

Розраховують опір трубки, що досліджується, за формулою (10):

$$R_x = P \cdot (Q_1 - Q_2) / (Q_1 \cdot Q_2).$$

Підставляють у формулу конкретні значення:

$$\begin{aligned} R_x &= 500 \text{ Па} \cdot (0,108 - 0,048) \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1} / (0,108 \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot 0,048 \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1}) = \\ &= 500 \text{ Па} \cdot 0,06 \text{ л} \cdot \text{сек}^{-1} / 0,00518 \text{ л}^2 \cdot \text{сек}^{-2} = \\ &= 30 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} / 0,00518 \text{ л}^2 \cdot \text{сек}^{-2} = 5792 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1}. \end{aligned}$$

Питомий опір трубки, що досліджується дорівнює:

$$\begin{aligned} R_{ud} &= R_x / L = 5792 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} / 267 \text{ см} = 21,69 \\ &\text{Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}. \end{aligned}$$

Довжина трубки, що забезпечує заданий опір $R_d = 500 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1}$ дорівнює:

$$L_d = R_d / R_{ud} = 500 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} / 21,69 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 23,052 \text{ см}.$$

Таким чином, трубка, що досліджується, довжиною 23см має опір 500 Па·сек·л⁻¹ і може використовуватись як калібрований опір під час дослідження бронхіального опору за запропонованим способом.

Приклад розрахунку бронхіального опору (R_{aw}) за запропонованим способом.

Обстежуваний робить видих через калібровану трубку з опором $R_d = 500 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1}$. Під час видиху за допомогою заслінки роблять короткочасне (0,1 сек.) перекриття повітряного потоку. Під час перекриття за допомогою датчика малих тисків (наприклад, типу ASDXL010G24R фірми Honeywell) вимірюють тиск (P) на межі між легенями й каліброваним опором. Цей тиск відповідає альвеолярному. Відразу після наступного відкриття заслінки (0,1сек.) роблять повторний вимір тиску (P_1) у повітропроводі в тому ж місці на межі між легенями й каліброваною трубкою.

У результаті проведених вимірів отримано наступні дані:

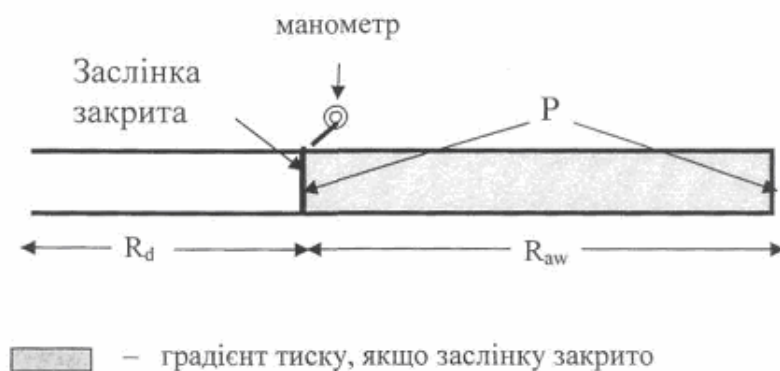
$$P = 350 \text{ Па (тиск після закриття заслінки)}$$

$$P_1 = 210 \text{ Па (тиск після відкриття заслінки)}$$

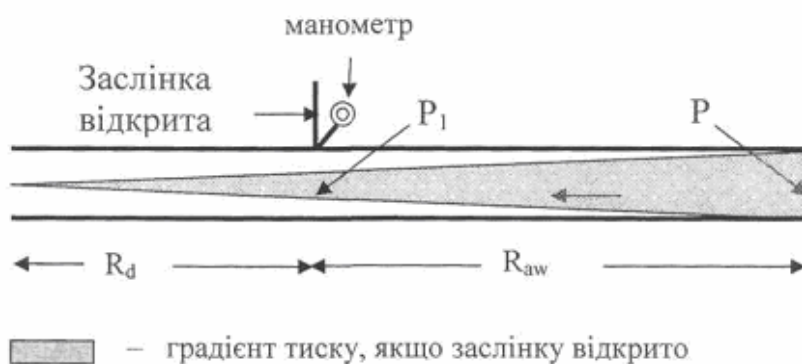
$$\begin{aligned} R_{aw} &= R_d \cdot (P/P_1 - 1) = \\ &= 500 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} \cdot (350 \text{ Па} / 210 \text{ Па} - 1) = \\ &= 500 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} \cdot (1,67 - 1) = \\ &= 500 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 0,67 = \\ &= 335 \text{ Па} \cdot \text{сек} \cdot \text{л}^{-1}. \end{aligned}$$

Таким чином, бронхіальний опір, який досліджується за запропонованим способом, дорівнює 335 Па·сек·л⁻¹, або 0,335 кПа·сек·л⁻¹.

Позитивний ефект запропонованого способу вимірювання бронхіального опору полягає в спрощенні дослідження за рахунок вилучення необхідності вимірювання об'ємної швидкості потоку повітря, що, у свою чергу, вимагає використання спеціального датчика (наприклад, пневмотахометра).



Фиг. 1



Фиг. 2