

УДК 616.71:616.073.175:616.073.178

**А.С. НЕЧИПОРЕНКО**, канд. техн. наук, ХНУРЭ, Харьков,  
**О.Г. ГАРЮК**, канд. мед. наук, доц., Харьковская медицинская  
академия последипломного образования, Харьков,  
**В.В. ЧМОВЖ**, канд. техн. наук, доц., ХАИ, Харьков

## **КРИТЕРИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАЗ НОСОВОГО ДЫХАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА**

Предложен новый метод объективной оценки функции носового дыхания по риноманометрическим данным. Разделение дыхательного носового цикла на фазы осуществляется с помощью анализа динамики изменения коэффициента носового сопротивления. Критерием идентификации фаз является точка расхода воздушного потока, при которой турбулентные потери начинают преобладать над ламинарными потерями. Ил.: 5. Библиогр.: 8 назв.

**Ключевые слова:** риноманометрические данные, носовой дыхательный цикл, коэффициент носового сопротивления, ламинарные потери, турбулентные потери.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** В объективной оценке функции носового дыхания риноманометрия занимает ведущее место. Выделяют два основных метода риноманометрического исследования: активный и пассивный. Активная риноманометрия, с физиологической точки зрения, является наиболее адекватным способом получения данных в виде соотношения между расходом воздушного потока через носовую полость и внутриносовым дифференциальным давлением. В зависимости от того, на каком участке движения воздушного потока регистрируется дифференциальное давление, различают активную переднюю и заднюю риноманометрию [1, 2]. Передняя активная риноманометрия является основным общепринятым методом объективного исследования носового воздушного потока, который рекомендован международным комитетом по объективной оценке носового дыхания (ISOANA) [3].

Несмотря на то, что в настоящее время имеется значительное количество работ, посвященных изучению режимов течения воздушного потока внутри полости носа, необходимо внести некоторую ясность в понимание особенностей изменения коэффициента сопротивления носовой полости.

Для оценки результатов риноманометрии производится расчёт коэффициента носового сопротивления по формуле, предложенной в

работах [4, 5]:

$$R = \frac{\Delta P}{V}, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – дифференциальное давление,  $V$  – расход воздушного потока через носовую полость.

Согласно стандарту носовое сопротивление рассчитывается по формуле (1) для значений дифференциального давления  $\Delta P = 75, 100$  и  $150$  Па. При этом принимается, что режим течения является ламинарным.

Также применяется расчет носового сопротивления по модели Бромса, согласно которой коэффициент сопротивления  $R_2$  определяется на окружности с радиусом в 200 единиц по дифференциальному давлению и расходу [6].

Наиболее достоверной, с точки зрения гидродинамики, является оценка данных риноманометрии по методике Рёхрера [7]:

$$\Delta P = k_1 V + k_2 V^2, \quad (2)$$

где  $k_1$  – коэффициент ламинарного потока и  $k_2$  – коэффициент турбулентного потока.

Анализ литературы не позволил выявить критерия, рассчитываемого по данным риноманометрических исследований, который может быть применен в качестве физиологической нормы носового дыхания.

**Цель данной статьи** – разработка метода объективной оценки носового дыхания, который учитывает аэродинамические характеристики процесса дыхания, а также индивидуальные анатомо-физиологические особенности носовой полости.

**Методика измерений и обработки данных.** При передней активной риноманометрии измерение давления в носоглотке осуществляется в одной obturated половине носа. Эта половина исключается из акта дыхания. Поэтому измерение проводится для каждой половины носа отдельно (рис. 1), исследуются вдох и выдох.

Измерения осуществляются с помощью разработанного прибора "Optimus" (диапазон измерения расхода воздуха  $\pm 1200$  см<sup>3</sup>/с, дифференциального давления  $\pm 1200$  Па, частота опроса измерительных каналов 100 Гц). Схема включает: измерительный модуль (1), расходомер (2), датчик дифференциального давления (3), соединительные трубки (4 а, 4 в), фиксирующий элемент для гибкого трубопровода (5), маску (6), фильтр (7), гермоввод (8), точку забора подмасочного давления (9).

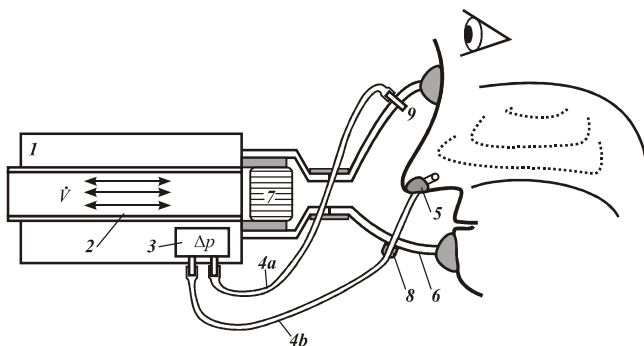


Рис. 1. Схема измерений при передней активной риноманометрии

Измеряемые величины при проведении риноманометрического исследования – дифференциальное давление между хоаной и подмасочным пространством и расход воздушного потока. Измеряемые параметры регистрируются синхронно. На основании проведенных измерений строится графическая зависимость дифференциального давления от величины расхода воздуха (рис.2).

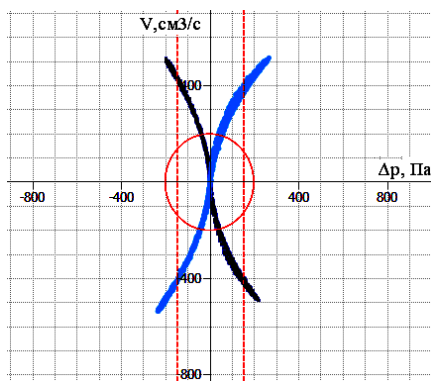


Рис. 2. График зависимости дифференциального давления от расхода воздуха

Данные риноманометрического исследования, по которым построена графическая зависимость  $\Delta P = f(V)$  (рис. 2), аппроксимируются с высокой точностью формулой Рёхрера (2). При делении дифференциального давления  $\Delta P$  на квадрат расхода

воздушного потока через носовую полость  $\dot{V}_{\&}$  получим коэффициент сопротивления носовой полости

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\dot{V}_{\&}} = \frac{k_1}{\dot{V}_{\&}} + k_2. \quad (3)$$

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  могут быть найдены с помощью регрессионного анализа, методом наименьших квадратов для гиперболической зависимости  $\zeta = f(\dot{V}_{\&})$ , как это показано на рис. 3.

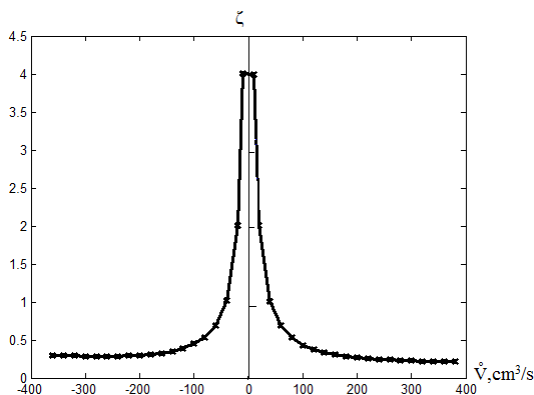


Рис. 3. Изменение коэффициента сопротивления от величины расхода воздуха

Таким образом, первое слагаемое в формуле (3) представляет коэффициент потерь давления при ламинарном режиме  $\zeta_{\text{лам}} = \frac{k_1}{\dot{V}_{\&}}$ , а второе – при турбулентном  $\zeta_{\text{турб}} = k_2$ .

Переход одного режима в другой можно охарактеризовать преобладанием турбулентных потерь над ламинарными  $\zeta_{\text{турб}} \geq \zeta_{\text{лам}}$ .

Отсюда следует, что граничный расход  $\dot{V}_{\& \text{гран}} = \frac{k_1}{k_2}$ .

**Идентификации фаз носового дыхательного цикла.** В соответствии с существующей 4-х фазовой концепцией риноманометрического исследования, выделяют восходящую и

нисходящую инспираторные фазы (1-ю и 2-ю), а также восходящую и нисходящую экспираторные фазы (3-ю и 4-ю). Носовое сопротивление рассчитывается для 1-й инспираторной и 4-й экспираторной фаз (рис. 4) [8]. Однако, идентификация фаз согласно четырёхфазовой концепции происходит по изменению величины расхода воздушного потока во времени и позволяет определить только лишь динамические характеристики расхода воздушного потока и дифференциального давления. Такое разделение дыхательного цикла не в полной мере отображает характер течения воздушного потока. Всё это в совокупности существенно ограничивает диагностическую значимость данных риноманометрии.

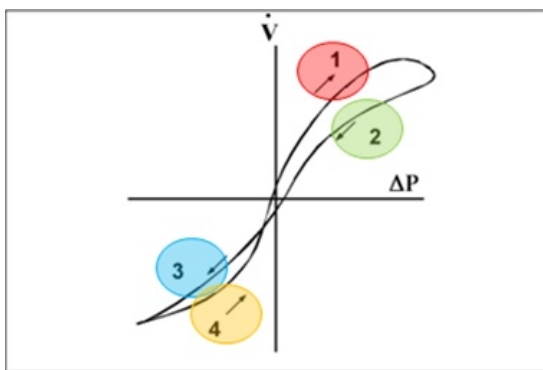


Рис. 4. Фазы риноманометрии

Нами предложен метод объективной оценки носового дыхания, позволяющий за счёт исследования динамики изменения коэффициента носового сопротивления, учитывать аэродинамические характеристики носового воздушного потока во время дыхательного цикла.

Критерием разделения фаз является  $v_{\text{гран}}$ , начиная с которого режим течения в носовой полости становится автомодельным.

Таким образом, дыхательный цикл делится на шесть фаз (рис. 5): первая – фаза восходящего нестабильного инспираторного потока, вторая – фаза стабильного инспираторного потока (зона автомодельности аэродинамического сопротивления), третья – фаза спадающего нестабильного инспираторного потока, четвёртая – фаза восходящего нестабильного экспираторного потока, пятая – фаза экспираторного потока (зона автомодельности аэродинамического сопротивления), шестая – фаза спадающего нестабильного экспираторного потока.

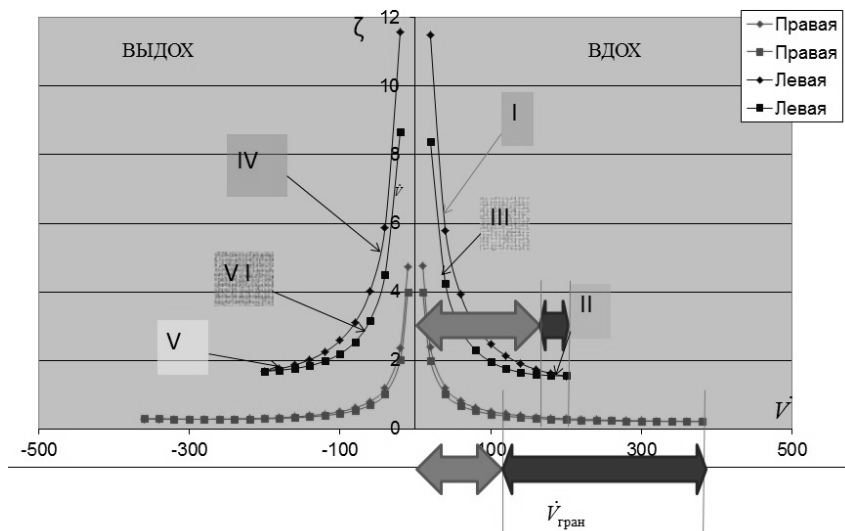


Рис. 5. Шесть фаз риноманометрии

**Выводы.** Использование предложенного метода объективной оценки носового дыхания позволяет повысить точность и диагностическую значимость активной передней риноманометрии. Метод прошёл клиническую апробацию в научно-практическом центре уха горла и носа г. Харькова. В результате обследования 132 пациентов с патологией, вызывающей нарушения функции носового дыхания, в 17% случаев удалось избежать хирургического вмешательства, тогда как при других способах диагностики такие вмешательства были показаны. Например, это относится к некоторым пациентам с врождёнными девиациями перегородки носа при которых адаптационные механизмы приводят к развитию анатомических особенностей, которые нивелируют влияние девиации на физиологию носового дыхания.

**Список литературы:** 1. *Thulesius H. L.* Rhinomanometry in clinical use. A tool in the septoplasty decision making process: doctoral dissertation, clinical sciences / *H.L. Thulesius.* – 2012. – 67 р. 2. *Бых А.И.* Диагностические возможности современной риноманометрии / *А.И. Бых, Т.Г. Силантьева, О.Г. Аврунин* // Сборник научных трудов научно-методического семинара Наука и образование. – Хмельницкий. – Рим. – ХНУ, 2011. – С. 88-89. 3. *Clement P. A.* Committee report on standardization of rhinomanometry / *P.A. Clement* // *Rhinology.* – 1984. – № 22 (3). – Р. 151-155. 4. *Clement P.A.* Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry / *P.A. Clement, F. Gordts* // *Rhinology.* – 2005. – № 43б. – Р. 169-179. 5. *Hilberg O.* PAR The objective assessment of nasal patency / *O. Hilberg, P.A. Clement,*

A.S. Jones, D.E. Phillips, F.J.M. Hilgers // Diseases of the Head and Neck, Nose and Throat. – 1998. – P. 719-742. **6.** Broms P. Rhinomanometry. II. A system for numerical description of nasal airway resistance / P. Broms, B. Jonson, C.J. Lamm // Acta Otolaryngology. – 1982. – № 94 (1-2). – P. 157-168. **7.** Röhrer F. Der Stromungswiderstand in der menschlichen Atemwegen / F. Röhrer // Pflügers Arch Ges Physiology. – 1915. – № 162. – P. 225-295. **8.** Vogt K. 4-Phase-Rhinomanometry Basics and Practice / K. Vogt, A.A. Jalowayski // Rhinology, supplement. – 2010. – № 21. – P.1-50.

Поступила в редакцію 24.06.2013

*Статью представил д-р физ.-мат. наук, проф. ХНУРЭ Бых А.И.*

УДК 616.71:616.073.175:616.073.178

**Критерій ідентифікації фаз носового дихального циклу / Нечипоренко А.С., Гарюк О.Г., Чмовж В.В.** // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 106 – 112.

Розглянуто метод активної передньої риноманометрії. Запропоновано новий адаптивний метод об'єктивної оцінки функції носового дихання за риноманометричними даними. Ділення дихального носового циклу на фази здійснюється за допомогою аналізу динаміки зміни коефіцієнта носового опору. Критерієм ідентифікації фаз є точка витрати повітря при якій турбулентні втрати починають перевищувати ламінарні втрати. Іл.: 5. Бібліогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** риноманометрія, дихальний носовий цикл, коефіцієнт носового опору, ламінарні втрати, турбулентні втрати.

UDC 616.71:616.073.175:616.073.178

**Criterion for identifying the phases of nasal breathing cycle / Nechiporenko A.S., Gariuk O.G., Chmovzh V.V.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 106 – 112.

The method of active anterior rhinomanometry was described. A new method for objective assessment of nasal breathing function by rhinomanometry's data. Separation nasal respiratory cycle phases by means of analyzing the dynamics of changes in nasal resistance coefficient. The criterion for the identification phase is the point of the air flow rate at which the turbulent start to get over the loss of laminar. Figs.: 5. Refs.: 8 titles.

**Keywords:** rhinomanometry, nasal breathing function, the resistance coefficient, laminar losses, turbulent losses.