

ОБЪЕКТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ФУНКЦИИ НОСОВОГО ДЫХАНИЯ ПО РИНОМАНОМЕТРИЧЕСКИМ ДАНЫМ

Розглянуто основні методи об'єктивної оцінки функції носового дихання. Проведено спектральний аналіз риноманометричних даних за допомогою модифікованого коваріаційного методу. Удосконалено програмно-апаратний комплекс для риноманометричних досліджень. Запропоновано використовувати в клінічній практиці спектральний аналіз витрати повітряного потоку, що дозволяє підвищити діагностичну значимість методу активної передньої риноманометрії

Ключові слова: риноманометрія, спектральний аналіз, диференційний тиск, витрата повітряного потоку

Рассмотрены основные методы объективной оценки функции носового дыхания. Проведен спектральный анализ риноманометрических данных с помощью модифицированного ковариационного метода. Усовершенствован программно-аппаратный комплекс для риноманометрических исследований. Предложено использовать в клинической практике спектральный анализ расхода воздушного потока, что позволяет повысить диагностическую значимость метода активной передней риноманометрии

Ключевые слова: риноманометрия, спектральный анализ, модифицированный ковариационный метод, дифференциальное давление, расход воздушного потока

А. Л. Ерохин

Доктор технических наук, профессор
Кафедра программной инженерии*

E-mail: ayerokhin@ukr.net

И. П. Захаров

Доктор технических наук, профессор
Кафедра метрологии и измерительной техники*

E-mail: newzip@ukr.net

А. С. Нечипоренко

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра биомедицинской инженерии*

E-mail: alinanechiporenko@gmail.com

О. Г. Гарюк

Кандидат медицинских наук, доцент
Кафедра отоларингологии и детской отоларингологии
Харьковская медицинская академия

последипломного образования

ул. Корчагинцев, 58, Харьков, Украина 61176

E-mail: o.garyuk@gmail.com

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

В последнее время наблюдается отчетливая тенденция к росту числа как острых, так и хронических заболеваний носа и околоносовых пазух. В связи с этим остается актуальным поиск эффективных средств диагностики для своевременного назначения медикаментозных средств, учитывающих патогенетические механизмы развития заболеваний [1], и принятия решения об оперативном вмешательстве.

В современной ринологии для оценки функции носового дыхания с целью диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний носовой полости используется множество методов. Среди них методы томографии (КТ и МРТ), исследования носового воздушного потока (риноманометрия, ринорезистометрия, исследование спектра звуковых характеристик носового воздушного потока и др.), акустическая риноманометрия, комплекс методов субъективной диагностики [2, 3], спектральный анализ звуковых сигналов носового дыхания. Томографические исследования и акустическая

ринометрия, дают представление о геометрических параметрах полости носа, а это далеко не всегда связано с какой либо патологией прохождения воздуха через нос. Поэтому, наиболее объективным и чувствительным методом оценки аэродинамических характеристик носового воздушного потока является риноманометрический [4].

По данным международного комитета по оценке носового дыхания наиболее клинически значимым является метод активной передней риноманометрии (ПАРМ) [5]. Основным диагностическим параметром ПАРМ принято считать величину носового сопротивления R_{150} [6], которое рассчитывается при фиксированном значении дифференциального давления 150 Па. Однако у некоторых людей, особенно у представителей азиатской расы, дифференциальное давление в носовой полости при спокойном дыхании не достигает 150 Па, поэтому такой расчёт для них неприемлем. К тому же при всех видах риноманометрических исследований понятие нормы расплывчато и имеет множество интерпретаций. Результаты риноманометрических измерений зависят от расы, воз-

раста, пола, индекса массы тела и роста [7–9]. Таким образом, на сегодняшний день не существует рассчитываемого по данным риноанометрических исследований критерия физиологической нормы носового дыхания. Данный факт существенно усложняет процесс постановки диагноза и снижает диагностическую эффективность риноанометрических методов оценки носового дыхания.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи исследования

В последнее время для объективной оценки носового дыхания активно используется спектральный анализ [10]. Одиософт Рино (Odiosoft Rhino) – неинвазивный метод объективной оценки носового дыхания, основанный на спектральном анализе звуковых сигналов воздушных потоков, протекающих через носовую полость (рис. 1).

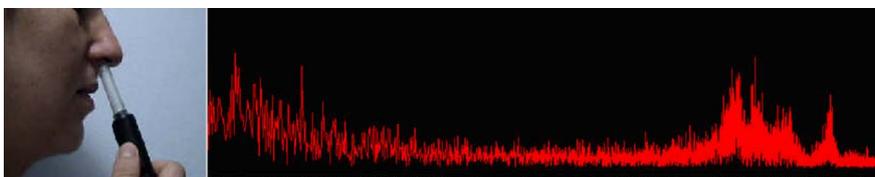


Рис. 1. Спектральная характеристика носового воздушного потока «Odiosoft Rhino»

Звуковые сигналы записываются с помощью миниатюрного микрофона, размещенного на расстоянии 1 см от преддверия носа для каждой половины носа в отдельности. Затем при помощи соответствующего программного обеспечения осуществляется спектральный анализ. В основу программного средства «Odiosoft Rhino» положен алгоритм БПФ, с помощью которого авторы вычисляют интенсивность и частоту сигналов носового дыхания. Длительность выборки согласно данному методу должна быть не менее 1 с. Выделяя в каждом из сигналов 3 диапазона: Low frequency (500–1000 Hz), Medium frequency (1–2 kHz), High frequency (2–4 kHz, 4–6 kHz) проводят диагностику носового дыхания. К недостаткам данного метода можно отнести суммарную ширину выше описанных диапазонов звукового сигнала 500 Гц – 6 кГц. Такое ограничение частотного диапазона исследуемых звуковых сигналов существенно ограничивает диагностические возможности метода «Odiosoft Rhino». Также следует отметить и такие недостатки ДПФ как ограниченность частотного разрешения и точности оценки частоты отдельных гармонических компонент [11]. В основном выше описанный метод используется для диагностики искривлений носовой перегородки и исследования функционирования носового клапана.

В работе [12] описан способ объективной оценки носового дыхания, который основан на спектральной оценке с помощью модифицированного ковариационного метода.

Несколько дыхательных циклов, обычно это 3–4 вдоха-выдоха (рис. 2) записываются на запоминающее устройство, после чего для обработки выбирается один дыхательный цикл.



Рис. 2. Исходный сигнал носового дыхания для обработки

Затем с помощью специализированного программного обеспечения осуществляется спектральная оценка полученного звукового сигнала с помощью модифицированного ковариационного метода. Длительность выборки в среднем составляет 1 с. Применение модифицированного ковариационного метода позволяет повысить точность оценки частоты и частотного разрешения. Данный способ позволяет проводить дифференциальную диагностику заложенности носа при структурных изменениях слизистой оболочки, а также оценку эффективности пластики носовой перегородки, вазотомии и турбинопластики. Таким образом, целесообразно исследовать возможность использования для диагностических целей результатов спектрального оценивания совместно с данными риноанометрических исследований.

Однако выше описанные методики спектрального анализа звуковых сигналов носового дыхания требуют дополнительного технического обеспечения и временных затрат для проведения процедуры записи и обработки сигналов.

Целью данной работы является обоснование выбора методов оценки параметров носового дыхания и разработка подхода к оцениванию риноанометрических данных.

Для достижения поставленной цели необходимо провести спектральный анализ сигналов дифференциального давления и расхода воздушного потока с последующей оценкой диагностической эффективности такого комплексного подхода.

3. Методика измерений и обработки риноанометрических данных

Измерения осуществляются с помощью разработанного программно-аппаратного комплекса для риноанометрических исследований «Optimus» (отображаемый диапазон измерения расхода воздуха $\pm 1200 \text{ см}^3/\text{с}$, дифференциального давления $\pm 1200 \text{ Па}$, частота опроса измерительных каналов 100 Гц). Прибор прошёл метрологическую аттестацию (свидетельство государственной метрологической аттестации № 05/0612). Функционально комплекс состоит из измерительного модуля, маски и программного обеспечения.

Внешний вид программно-аппаратного комплекса представлен на рис. 3.

Измеряемые величины при проведении риноанометрического исследования – дифференциальное

давление между хоаной и подмасочным пространством и расход воздушного потока. Измеряемые параметры регистрируются синхронно. При этом датчик давления вводится в одну половину носа, которая исключается из акта дыхания, поэтому измерения проводятся для каждой половины носа отдельно. По полученным данным строятся графики зависимости величин дифференциального давления и расхода воздушного потока от времени (рис. 4) и графическая зависимость расхода воздушного потока от дифференциального давления (рис. 5). Затем рассчитывается коэффициент носового сопротивления [13].



Рис. 3. Программно-аппаратный комплекс для риноманометрических исследований «Optimus»

Данные риноманометрического исследования – дифференциальное давление и расход воздушного потока представлены на рис. 4.

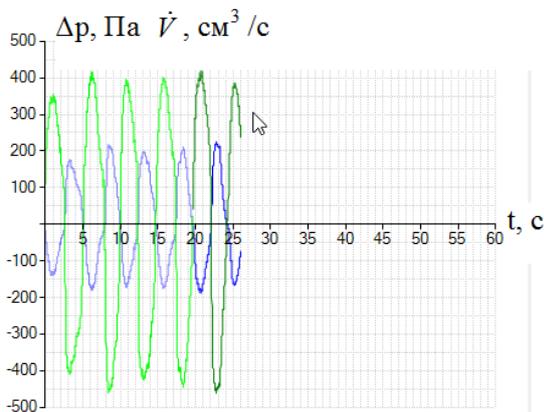


Рис. 4. Зависимость дифференциального давления и расхода воздушного потока от времени

Для оценки результатов риноманометрических исследований принято рассчитывать следующие параметры: носовое сопротивление R_{150} ; R_{100} и R_{75} , если R_{150} невозможно измерить; $R_2(V_2)$ по алгоритму Бромса; коэффициенты k_1 и k_2 по формуле Рехрера; коэффициент Млински λ [14]. Процедура расчёта стандартных параметров реализована в разработанном программном обеспечении на основе платформы «.NET», окно визуализации результатов приведено на рис. 5.

В программное обеспечение риноманометра интегрируется дополнительный модуль «Спектральный анализ», где в режиме реального времени осуществляется спектральное оценивание. Таким образом, не

требуется дополнительной процедуры измерения для пациента и дополнительных технических средств для персонала лор-клиники.

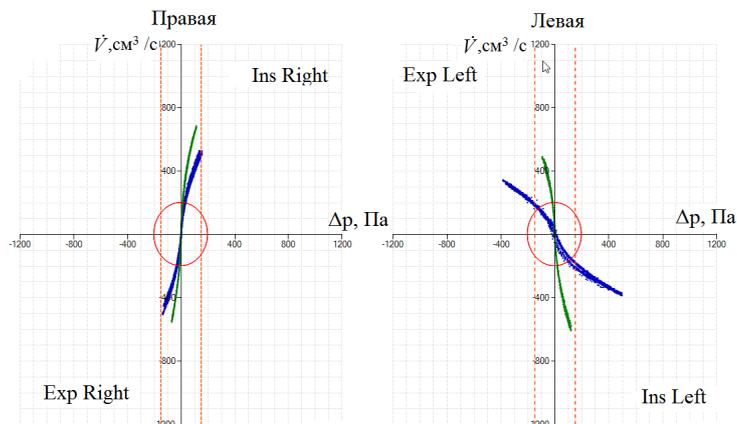


Рис. 5. Окно визуализации результатов программно-аппаратного комплекса «Optimus»

Измеряемые сигналы дифференциального давления и расхода воздушного потока являются непериодическими, длина временной выборки не равна периоду анализируемой функции, экстраполяция известных значений функции с периодичностью ΔT не будет соответствовать реальному исходному сигналу. Следовательно, наиболее оптимальным для спектрального оценивания данных сигналов является авторегрессионный анализ. Авторегрессионный анализ обладает таким преимуществом как способность выделять в спектре сигнала отдельные гармонические составляющие на фоне шума. В общем случае данный метод спектрального анализа сводится к определению коэффициентов рекурсивного фильтра заданного порядка, оценке мощности возбуждающего белого шума и аналитическому расчету спектральной плотности мощности [15]. Порядок авторегрессионной модели должен быть в два раза больше числа синусоидальных колебаний, которые предположительно содержатся в анализируемом сигнале. Исходя из того, что имеются сформированные выборки фиксированного размера для обработки сигналов носового дыхания, выбираем блочные методы, а именно модифицированный ковариационный метод. Модифицированный ковариационный метод даёт хорошие результаты при обработке широкополосных сигналов, спектр которых имеет четко выраженные пики. После определения оценок АР-параметров вычисляется авторегрессионная спектральная оценка согласно формуле (1)

$$\hat{P}_{AP}(f) = \frac{T \hat{p}_\omega}{\left| 1 + \sum_{n=1}^p \hat{a}[n] \exp(-j2\pi f n T) \right|^2}, \quad (1)$$

где $\hat{a}[n]$ – коэффициенты линейного предсказания, \hat{p}_ω – оценка дисперсии возбуждающего шума.

В модифицированном ковариационном методе максимально допустимый порядок модели составляет $2/3$ длины выборки. Однако практика показывает, что в большинстве применений в качестве предполагае-

мого порядка целесообразно выбирать число, равное от одной трети до половины длины анализируемой последовательности данных [15].

Проведен анализ выборки данных 87 пациентов, прошедших риноманометрическое исследование в клиническом центре уха горла и носа г. Харькова, Украина. В результате анализа спектральных характеристик сигналов дифференциального давления, характерных особенностей спектра выявлено не было. В то время как анализ спектра сигналов расхода воздушного потока позволил чётко дифференцировать норму от патологии, а также идентифицировать вазомоторные нарушения. Результаты спектрального оценивания сигналов расхода воздушного потока представлены на рис. 6, 7.

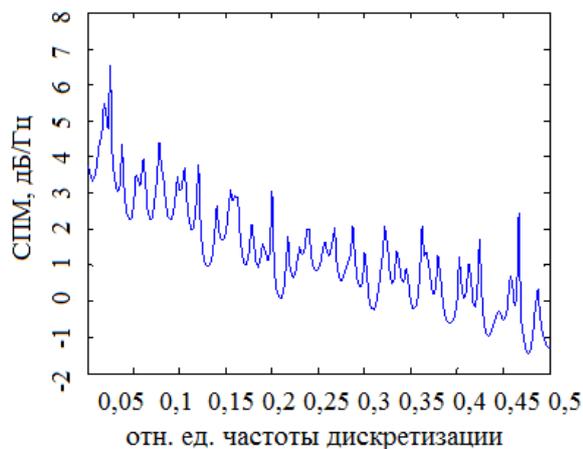


Рис. 6. Спектральная характеристика расхода воздушного потока в норме

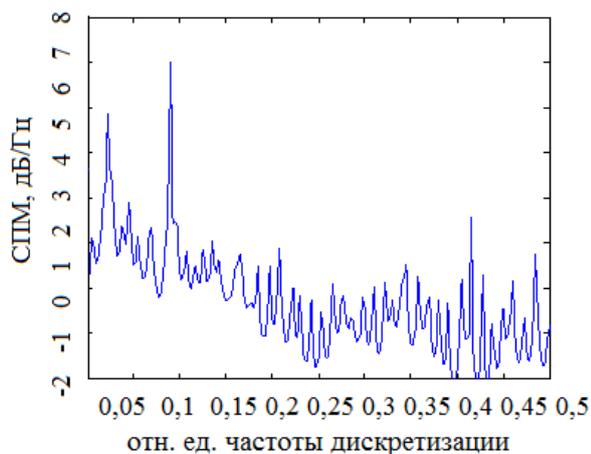


Рис. 7. Спектральная характеристика расхода воздушного потока при патологии

Из рис. 7 отчётливо видны различия в спектре, которые позволяют подтвердить наличие соответствующей патологии, в данном случае вазомоторного ринита, который является причиной затруднения дыхания. При детальном анализе таких общепринятых диагностических параметров R_{150} ; R_{100} ; R_{75} и $R_2(V_2)$ по Бромсу, получаем, что пациенты со спектральной характеристикой рис. 6 обладают слабой степенью обструкции носового дыхания (R_{150} ,

$0,3-0,5$ Па с/см³) или попадают в диапазон нормы (согласно Бромсу $\alpha = 10^\circ$), тогда как в действительности имеют выраженную степень обструкции с очень затруднённым дыханием. Таким образом, в случаях, когда сложно дифференцировать аллергический ринит от вазомоторного, спектральный анализ расхода воздушного потока с помощью модифицированного ковариационного метода является дополнительным диагностическим инструментом для врача.

4. Выводы

В работе впервые предложено проводить спектральное оценивание риноманометрических данных. Спектральный анализ основан на модифицированном ковариационном методе. Применение модифицированного ковариационного метода позволяет повысить точность оценки частоты и частотного разрешения. Экспериментально установлена форма спектра сигналов расхода воздушного потока, соответствующая вазомоторным нарушениям слизистой оболочки носовой полости.

Спектральное оценивание целесообразно осуществлять в комплексе с риноманометрией. В программно-аппаратный комплекс для риноманометрических исследований добавлен модуль спектрального оценивания риноманометрических данных в режиме реального времени, что позволяет повысить диагностическую эффективность метода передней активной риноманометрии.

Спектральное оценивание риноманометрических данных особенно важно проводить в тех случаях, когда значения полученных диагностических параметров находятся в пограничных интервалах определения степени обструкции.

Разработанный программно-аппаратный комплекс для риноманометрических исследований эффективно используется в клинической практике для дифференциальной диагностики заложенности носа и выявления показаний к оперативным вмешательствам.

Литература

1. Segboer, C. L. Quality of life and use of medication in chronic allergic and non-allergic rhinitis patients [Text] / C. L. Segboer, C. T. Holland, S. M. Reinartz, I. Terreehorst, A. Gevorgyan, P. W. Hellings, C. M. Van Drunen, W. J. Fokkens // *Rhinology*. – 2014. – № 52 (25). – P. 167.
2. Thulesius, H. L. Rhinomanometry in clinical use. A tool in the septoplasty decision making process [Text] / H. L. Thulesius. – Doctoral dissertation, clinical sciences, 2012. – 67 p.
3. Cole, P. Acoustic rhinometry and rhinomanometry [Text] / P. Cole // *Rhinology*. – 2000. – № 16. – P. 29–34.
4. Clement, P. A. Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry [Text] / P. A. Clement, F. Gordts // *Rhinology*. – 2005. – № 43. – P. 169–179.
5. Clement, P. A. Committee report on standardization of rhinomanometry [Text] / P. A. Clement // *Rhinology*. – 1984. – № 22 (3). – P. 151–155.

6. Vogt, K. 4-Phase-Rhinomanometry Basics and Practice [Text] / K. Vogt, A. A. Jalowayski // Rhinology. – 2010. – № 21. – P. 1–50.
7. Canbay, E. I. A comparison of nasal resistance in white, Caucasians and blacks [Text] / E. I. Canbay, S. N. Bhatia // Rhinology. – 1997. – Vol. 11, Issue 1. – P. 73–75. doi:10.2500/105065897781446801
8. Samolinski, B. K. Changes in nasal cavity dimensions in children and adults by gender and age [Text] / B. K. Samolinski, A. Grzanka, T. Gotlib // Laryngoscope. – 2007. – Vol. 117, Issue 8. – P. 1429–1433. doi:10.1097/mlg.0b013e318064e837
9. Crouse, U. Effects of age, body mass index, and gender on nasal airflow rate and pressures [Text] / U. Crouse, M. T. Laine-Alava // Laryngoscope. – 1999. – Vol. 109, Issue 9. – P. 1503–1508. doi:10.1097/00005537-199909000-00027
10. Seren, E. Frequency spectra of normal expiratory nasal sound [Text] / E. Seren // Am J Rhinology. – 2005. – № 19. – P. 257–261.
11. Марпл-мл, С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Text] / С. Л. Марпл-мл. – М. Мир, 1990. – 584 с.
12. Нечипоренко, А. С. Особенности применения спектрального анализа для объективной оценки носового дыхания [Text] / А. С. Нечипоренко // Бионика интеллекта. – 2013. – № 2 (81). – С. 105–109.
13. Broms, P. Rhinomanometry. II. A system for numerical description of nasal airway resistance [Text] / P. Broms, B. Jonson, C. J. Lamm // Acta Otolaryngology – 1982. – № 94 (1-2). – P. 157–168.
14. Mlynski, G. Diagnostik der respiratorischen Funktion der Nase [Text] / G. Mlynski, A. Beule // HNO. – 2008. – Vol. 56, Issue 1. – P. 81–99. doi:10.1007/s00106-007-1655-0
15. Грицунов, А. В. Выбор методов спектрального оценивания временных функций при моделировании СВЧ-приборов [Text] / А. В. Грицунов // Радиотехника. – 2003. – № 9. – С. 25–30.

Викладені результати досліджень розсіювачів, до складу яких входять елементи з нелінійними характеристиками. Показано, що за рахунок вибору типу випромінювача і його геометричних розмірів можна створити як поодинокі нелінійні розсіювачі, так і решітки на їх основі з коефіцієнтом перетворення близьким до гранично можливого для використаних в них нелінійних елементів

Ключові слова: нелінійне розсіювання, нелінійний елемент, коефіцієнт перетворення, побічне випромінювання, випромінювач

Изложены результаты исследований рассеивателей, в состав которых входят элементы с нелинейными характеристиками. Показано, что посредством выбора типа излучателя и его геометрических размеров возможно создание как одиночных НР, так и решеток на их основе с коэффициентом преобразования близким к предельно возможному для используемых в них нелинейных элементов

Ключевые слова: нелинейное рассеяние, нелинейный элемент, коэффициент преобразования, побочное излучение, излучатель

УДК 621.396.67.01

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ГАРМОНИК НЕЛИНЕЙНЫМИ РАССЕИВАТЕЛЯМИ

А. И. Лучанинов

Доктор физико-математических наук, профессор*

E-mail: ailuchaninov@yahoo.com

Д. С. Гавва

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: gavvads@gmail.com

С. Р. Уайд

Аспирант*

E-mail: owaidalsalman@yahoo.com

*Кафедра основ радиотехники

Харьковский национальный

университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Эффект так называемого "нелинейного рассеяния", заключается в переизлучении сигнала рассеивателем как на частотах возбуждающих воздействий, так и на побочных частотах, отсутствующих во внешнем воздействии (побочные излучения). Побочные излучения (на частотах гармоник внешних воздействий или их комбинационных составляющих) возникают из-за

наличия в структуре рассеивателя элементов с нелинейными характеристиками. Сами же рассеиватели, в структуре которых имеются элементы с нелинейными свойствами, получили название нелинейных рассеивателей (НР). Они привлекают пристальное внимание исследователей, так как области их применения достаточно разнообразны. Во-первых, НР являются объектами нелинейной радиолокации [1]. Во-вторых, нелинейными рассеивателями являются