

УДК 615.47



ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ФУНКЦИИ НОСОВОГО КЛАПАНА

О.Г. Аврунин, Т.В. Жемчужкина, Т.В. Носова

ХНУРЭ, г.Харьков, Украина, gavrun@list.ru

Рассмотрены возможности электромиографического метода для функциональной диагностики носового клапана. Предлагаются методы анализа электромиографического сигнала мышц носового клапана. Обсуждаются возможности и перспективы этих методов для диагностики патологий носового клапана.

ЭМГ-СИГНАЛ, НОСОВОЙ КЛАПАН, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ПЕРИОДОГРАММА, КО-ЭФФИЦИЕНТ УПРУГОСТИ, ГИСТОГРАММА

Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается значительный рост заболеваний верхних дыхательных путей. По данным медицинской статистики последних пяти лет число различных видов ЛОР-патологии возросло в 3,2 раза. Наиболее частыми заболеваниями ЛОР органов являются острые и хронические воспаления слизистой оболочки дыхательного тракта, придаточных пазух носа, а также воспаления наружного, среднего и внутреннего уха. Причинами большинства ЛОР заболеваний являются осложнения инфекционных болезней, при которых поражаются верхние дыхательные пути (грипп, ангина, острые респираторные заболевания, корь, скарлатина и др.) [1]. Точная дифференциальная диагностика и распознавание сложных функциональных нарушений верхних дыхательных путей на современном этапе невозможны без применения сложной аппаратуры и методов интеллектуального анализа снимаемых биосигналов. Верхние дыхательные пути выполняют большое количество функций, основными из которых являются респираторная, согревательная, обонятельная и фильтрующая. Соответственно анатомически нос человека (см. рис. 1) представляет собой сложное структурное образование, в состав которого входят костные и хрящевые образования, мышцы и слизистая оболочка носовой полости. В преддверии носа располагается носовой клапан, регулирующий поток воздуха через носовые ходы.

1. Актуальность темы исследования

В настоящее время при реконструктивной хирургии полости носа (эндопластика) ведущую роль играет понимание функционирования носового клапана. Носовой клапан является структурой, регулирующей поток воздуха в носовой полости. Известные методы исследования носового клапана основаны на качественной оценке его функционирования. Методы интроскопической визуализации, такие как спиральная компьютер-

ная томография, позволяют оценить его анатомические размеры, но не позволяют проводить функциональную диагностику. Поэтому актуальной задачей является создание критериев его функционирования на основе измерения его физиологических показателей.

2. Постановка задачи

В данной работе проводится исследование функции носового клапана по данным электромиографии. На основе анализа электромиографических сигналов мышц носового клапана предлагается определить количественные критерии оценки его функционирования.



Рис. 1

3. Анатомические и физиологические особенности носового клапана

Под клапаном подразумевают мобильную структуру, регулиующую поток жидкости и газа. Нос человека имеет несколько клапанов. Пещеристая ткань носовых раковин (турбинальный клапан) и перегородка носа (септальный клапан) могут регулировать поток воздуха в полости носа. Таким образом, эти две тканевые структуры могут выполнять функцию клапана носа. Но обычно под носовым клапаном подразумевают пространство между каудальным краем верхнего латерального хряща и перегородкой носа (см. рис. 2).

Носовой клапан — треугольное щелевидное пространство между каудальным краем верхнего латерального хряща и перегородкой носа. Угол носового клапана измеряется в градусах и представляет собой угол между верхним латеральным хрящом и перегородкой носа. Эта область по форме напоминает каплю или перевернутый угол, щелевидная верхушка которого образует угол клапана носа, в норме равный 10 — 15 градусам. Область носового клапана, возможно, является первичным регулятором объема воздуха, проходящего через полость носа, в большей степени определяющая сопротивление воздушной струе [2].

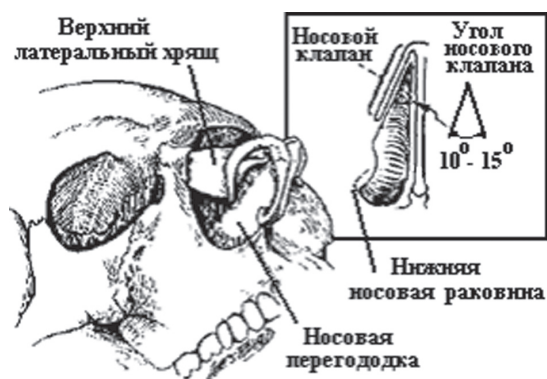


Рис. 2

4. Регистрация электромиографического сигнала в области носового клапана

Авторами предлагается исследование функций носового клапана по данным электромиографии. Электромиография (ЭМГ) — метод регистрации биотоков мышц. Он широко используется для диагностики нервно-мышечных заболеваний. Электромиограмма отражает электроактивность мышечных волокон.

Отводимые от мышцы токи действия дают сведения о функциональном состоянии мышцы и иннервирующего ее нерва.

Периферическую двигательную единицу составляет совокупность двигательной клетки переднего рога спинного мозга или ядра черепно-мозгового нерва, выходящего из нее аксона и иннервируемых им мышечных волокон.

С мышцы, находящейся в покое, потенциал действия не отводится. При незначительном мышечном сокращении уже появляются биоэлектрические волны с частотой колебаний 5—19 в секунду и амплитудой 100 мкВ. Поскольку отводимые потенциалы действия относятся не к единичному мышечному волокну, а ко всем мышечным волокнам, иннервируемым моторным нейроном переднего рога спинного мозга или ядром двигательного черепного нерва, при более сильном сокращении мышцы потенциалы действия становятся продолжительнее и интенсивнее, интерферируют и достигают 3000 мкВ

Электромиография является ценным методом исследования, позволяющим дифференцировать различные уровни поражения нервной системы. Электромиограммы имеют разную картину при двигательных нарушениях, обусловленных поражением центральной, периферической нервной систем и мышечного аппарата. Изменения биоэлектрической активности мышц зависят от локализации поражения нервной системы, тяжести и стадии болезни. Электромиография помогает диагностировать центральные, спинномозговые (сегментарные), невральные и мышечные двигательные нарушения. Электромиография позволяет также обнаружить типичные нарушения биоэлектрической активности в ранней стадии заболевания и наблюдать за динамикой процесса и эффективностью лечения.

Электромиография позволяет оценить активность мышц носового клапана, противодействующих его закрытию при разрежении во время форсированного дыхания. Используемая нами электромиографическая установка представляет собой поверхностный электрод, подключенный к микрофонному входу звуковой карты ПК, с питанием от интерфейса USB.

Методика исследования состоит в закреплении электрода на крыле носа обследуемого, регистрации электромиографического сигнала, поступающего со звуковой карты с помощью программы CoolEdit и последующей обработке и анализе электромиограмм в пакете MatLab. При этом электромиографический сигнал регистрируется в процессе форсированного дыхания.

5. Определение упругости мышц носового клапана

Для определения упругости мышц носового клапана необходимо проанализировать зависимость деформации мышц носового клапана от силы напряжения мышцы. Уровень напряжения мышц предлагается определять по ЭМГ-сигналу как максимальное значение напряжения в момент форсированного вдоха, при котором проводится измерение степени деформации мышц носового клапана по известной методике [2].

Известно, что форма огибающей ЭМГ-сигнала межреберных мышц соответствует объему воздуха, поступающего в легкие (рис. 3). На рис. 3 сверху вниз: электромиографический сигнал за два цикла дыхания с парастеральной межреберной мышцы собаки; огибающая ЭМГ, полученная с помощью модифицированного фильтра Бесселя с постоянной времени 100 мс; поток вдыхаемого воздуха [3]. Можно предположить, что форма огибающей электромиограммы мышц носового клапана будет соответствовать расходу воздуха, проходящего через носовую полость. Известно, что зависимость

силы мышечных сокращений от среднеквадратичных значений электромиографического сигнала носит практически линейный характер [4]. Следовательно, максимальное значение расхода воздуха будет соответствовать максимальному значению напряжения мышцы, т.е. максимуму огибающей ЭМГ-сигнала, а значит и максимальному значению амплитуды самого ЭМГ-сигнала.

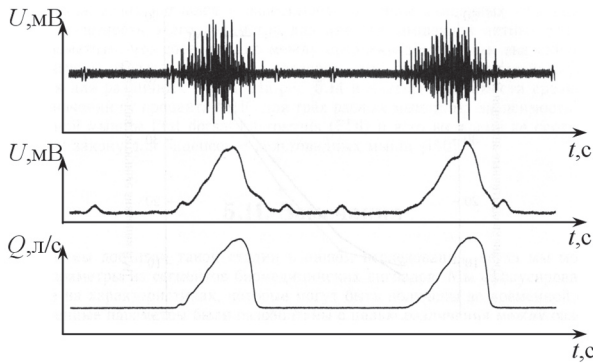


Рис. 3

Коэффициент упругости мышц носового клапана определим по закону Гука. При малых деформациях x сила упругости $F_{упр}$ пропорциональна деформации тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещения частиц тела при деформации:

$$F_x = F_{упр} = -kx, \quad (1)$$

где k – жесткость тела.

Согласно данным, приведенным в [3], сила упругости мышц прямо пропорциональна амплитуде U ЭМГ-сигнала:

$$-kx = f(U) = aU, \quad (2)$$

где a , Н/В – размерный коэффициент пропорциональности между амплитудой ЭМГ-сигнала и силой мышц носового клапана.

Отсюда относительный коэффициент упругости k' , В/м:

$$k' = \frac{k}{a} = -\frac{U}{x}. \quad (3)$$

Среднее значение коэффициента k' равно 0,1 В/м.

6. Анализ электромиографического сигнала в области носового клапана

Для анализа электромиографических сигналов в частотной области рассчитали периодограмму (оценку спектральной плотности мощности, полученную по N отсчетам одной реализации случайного процесса) по следующей формуле:

$$\hat{W}(w) = \frac{1}{Nf_{д}} \left| \sum_{k=0}^{N-1} x(k)e^{-j\omega kT} \right|^2,$$

где N – количество отсчетов электромиографического сигнала; f – частота дискретизации;

$x(k)$ – отсчеты электромиографического сигнала; T – интервал дискретизации.

На рассчитанной периодограмме выделили три частотных диапазона: очень низкие частоты (5–150 Гц), низкие частоты (150–300 Гц) и высокие частоты (300–500 Гц). Рассчитали суммарный вклад периодограммы в каждом из частотных диапазонов и построили столбцовые диаграммы соотношения спектральных мощностей по частотным диапазонам (рис. 4). На рис. 4 *а, б* приведены диаграммы для правой и левой мышц носового клапана соответственно для обследуемого с искривлением носовой перегородки, и как следствие деформацией носового клапана, на рис. 4 *в, г* – правой и левой мышц для обследуемого с нормально функционирующим носовым клапаном. Для удобства сравнительного анализа диаграммы распределения суммарного вклада периодограммы по частотным диапазонам приведены в одинаковом масштабе.

Аналогичные расчеты были проведены для спектрального состава ЭМГ-сигнала и рассчитаны мощности по тем же трем частотным диапазонам.

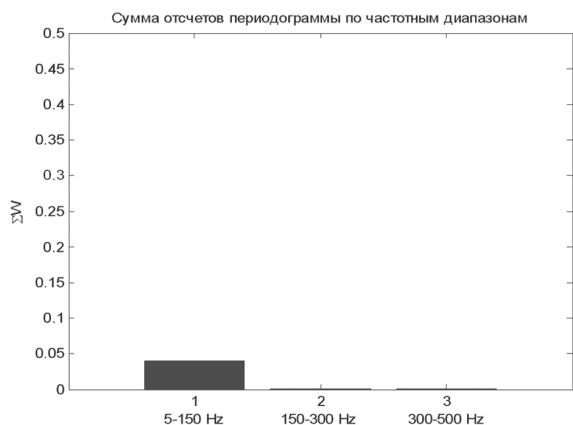
Спектральную функцию рассчитывали с помощью дискретного преобразования Фурье:

$$\dot{X}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)e^{-j\frac{2\pi nk}{N}},$$

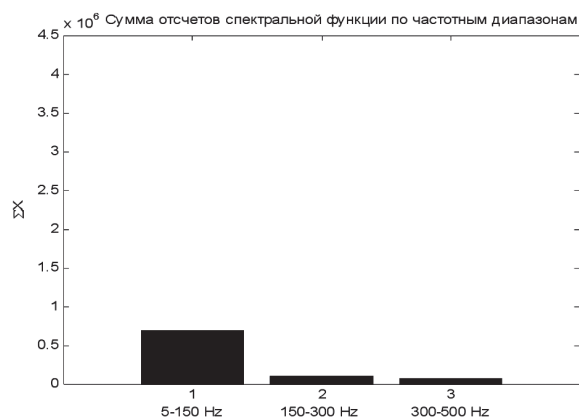
где N – количество отсчетов электромиографического сигнала; $x(k)$ – отсчеты электромиографического сигнала.

Результаты распределения суммарного вклада спектральной функции по трем частотным диапазонам приведены на рис. 5 в одинаковом масштабе. На рис. 5 *а, б* приведены диаграммы для правой и левой мышц носового клапана соответственно для обследуемого с искривлением носовой перегородки, на рис. 5 *в, г* – правой и левой мышц для обследуемого с нормально функционирующим носовым клапаном.

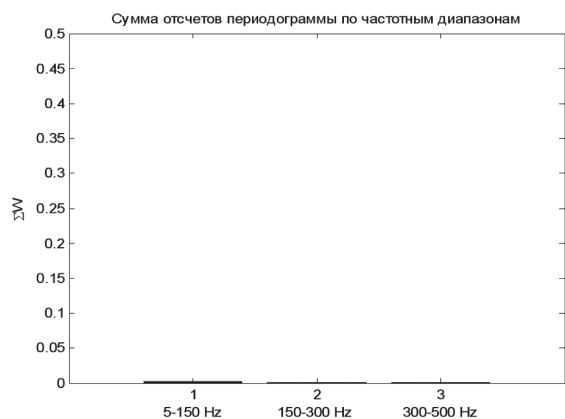
При анализе столбцовых диаграмм распределения суммарного вклада периодограммы и спектральной функции по трем частотным диапазонам было выявлено, что наибольшее отличие можно заметить во вкладе очень низких частот (столбец 1 (5–150 Гц) на (рис. 4–5) в электромиографический сигнал разных обследуемых. Для обследуемого с искривлением носовой перегородки (рис. 4 *а, б*, рис. 5 *а, б*) было отмечено значительное снижение (на порядок) амплитуды столбцов диаграммы по сравнению со значениями для обследуемых без патологии (рис. 4 *в, г*, рис. 5 *в, г*). Кроме того, нами было отмечено, что у некоторых обследуемых наблюдается значительная асимметричность функционирования правого и левого клапанов, которая выражается в разной амплитуде столбцов диаграммы для правого и левого клапанов (различие на порядок), что значительно всего проявляется в амплитуде первого столбца (5–150 Гц) (рис. 4–5).



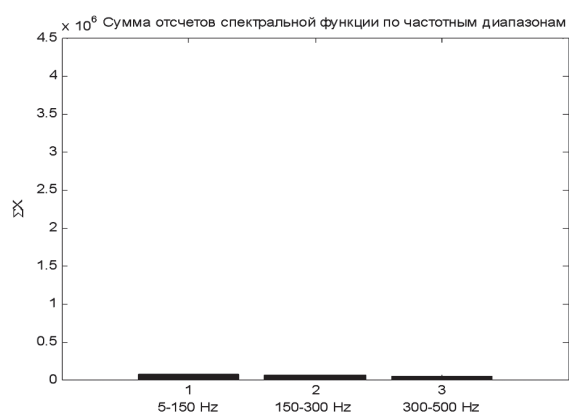
a



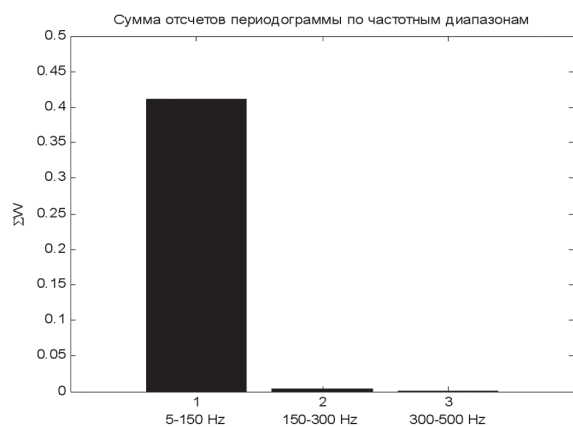
a



б



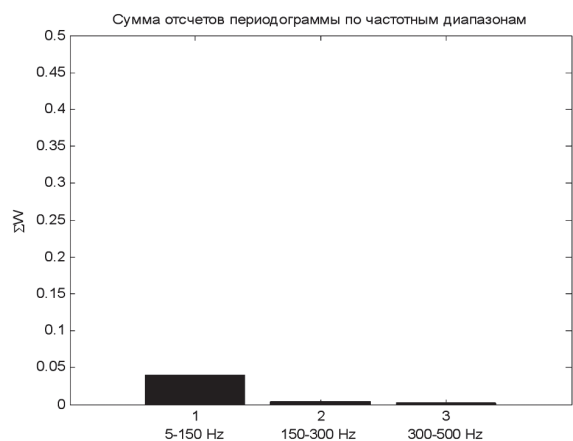
б



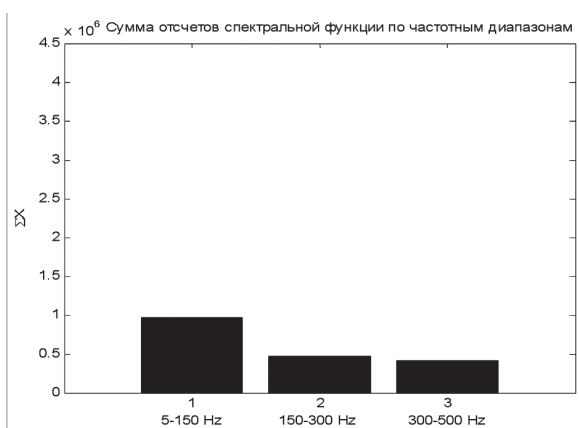
в



в



г



г

Рис. 4

Рис. 5

Проанализировали гистограммы распределения амплитуд электромиографического сигнала. Для построения разбили весь диапазон изменения амплитуд ЭМГ на 100 непересекающихся интервалов, каждому из которых ставим в соответствие количество амплитуд, попавших в этот интервал. По оси абсцисс откладываем значения амплитуд (A) для рассчитанных интервалов, по оси ординат – количество амплитуд в интервале (N).

Форма гистограммы распределения амплитуд соответствует нормальному закону распределения. Для определения соответствия экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала нормальному закону вычислим параметр отклонения экспериментальной гистограммы от теоретической $\Delta S_{\text{норм}}$ (%) следующим образом:

$$\Delta S_{\text{норм}} = \frac{\sum (H_A(X_A) - N(X_A))^2}{\sum N(X_A)^2} \cdot 100\%,$$

где H_A – значения экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ сигнала; X_A – значения амплитуд ЭМГ в интервалах, рассчитанных для экспериментальной гистограммы; N – значения теоретической нормальной гистограммы.

На рис. 6 приведена аппроксимация нормальным законом распределения экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала.

На рис. 6 *а, б* приведены аппроксимация нормальным законом распределения экспериментальной гистограммы распределения амплитуд ЭМГ-сигнала для правой ($\Delta S_{\text{норм}} = 45,7\%$) и левой ($\Delta S_{\text{норм}} = 5,5\%$) мышц носового клапана соответственно для обследуемого с искривлением носовой перегородки, на рис. 6 *в, г* – правой ($\Delta S_{\text{норм}} = 32,8\%$) и левой ($\Delta S_{\text{норм}} = 19,9\%$) мышц для обследуемого с нормально функционирующим носовым клапаном.

При дальнейших экспериментальных наблюдениях и статистической обработке результатов может быть получен количественный показатель функционирования носового клапана, расчет которого может быть произведен автоматически при снятии электромиографического сигнала.

Выводы

Полученные результаты исследований позволяют оценить степень ригидности носового клапана по амплитудному и частотному анализу

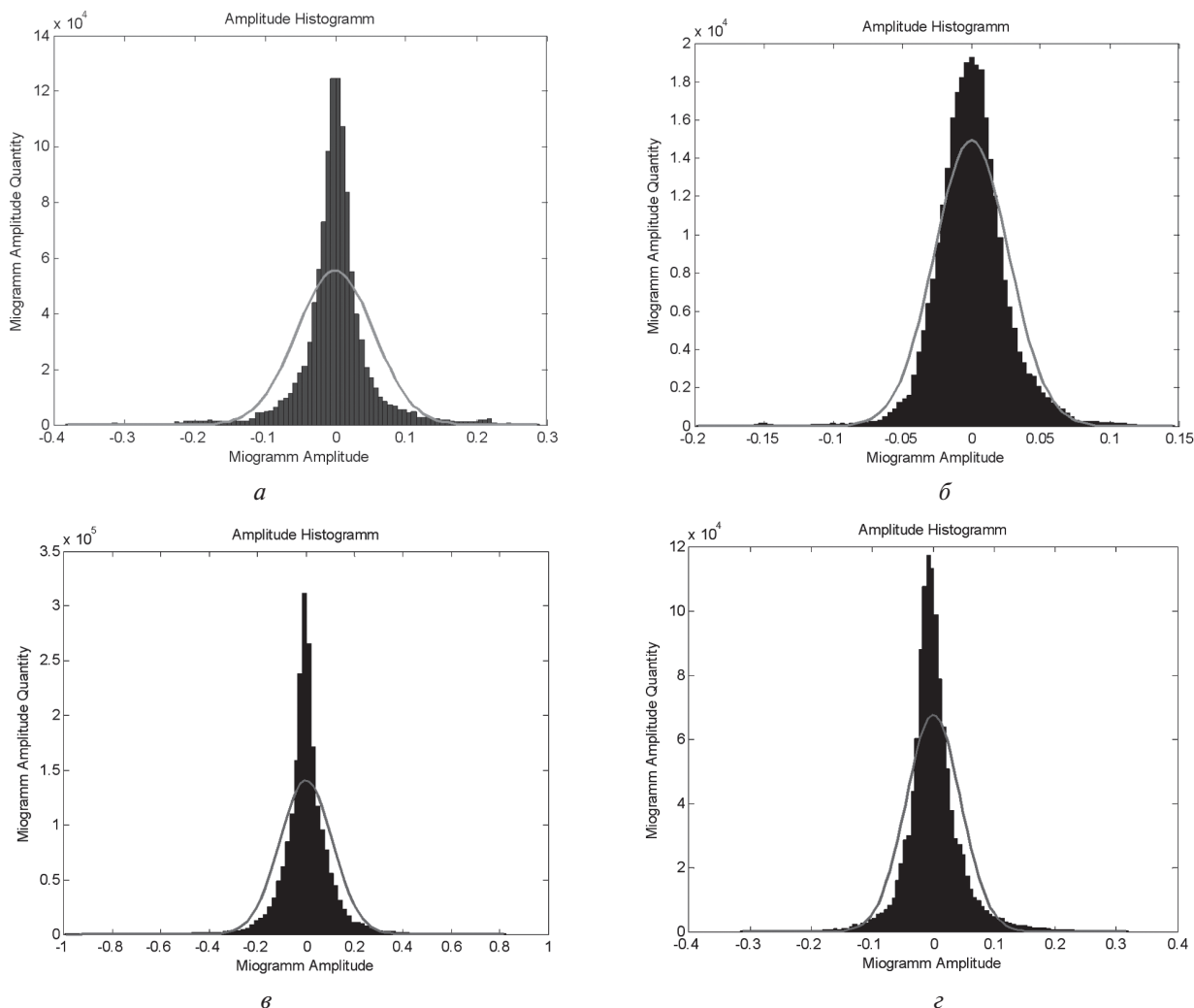


Рис. 6

электромиографического сигнала, который показывает взаимосвязь между уровнем напряжения ЭМГ-сигнала и коэффициентом упругости мышц носового клапана. Перспективой работы являются клинические испытания предложенной методики и формирование статистически значимых количественных критериев оценки функционального состояния носового клапана.

Список литературы: 1. Козлов, В.С. Синуситы: современный взгляд на проблему / В.С. Козлов, В.В. Шиленкова, А.А. Шиленков // *Consilium medicum*. – 2003. – Т5, № 4. – С. 212-219. 2. Юджин, Б.Керн. Хирургия носового клапана [Текст] / Юджин Б.Керн, Том Д.Уонг // *Российская ринология*. – 1995. № 1. – С. 4-33. 3. Platt R.S., Hajduk E.A., Hulliger M/ and Easton P.A. A modified Bessel filter for amplitude demodulation of respiratory electromyograms // *J. Appl. Physiol.* – 1998. –V.84, No. 1. – P. 378–388. 4. Lawrence J.H. and de Luca C.J. Myoelectric signal versus force relationship in different human muscles // *J. Appl. Physiol.* – 1983. – V. 54, No. 6. – P. 1653–1659.

Надійшла до редколегії 24.06.2010.

УДК 615.47

Діагностичні можливості електроміографічного методу для дослідження функції носового клапана / О.Г. Аврунін, Т.В. Жемчужкіна, Т.В. Носова // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал*. – 2010. – № 3 (74). – С. 99–104.

В статті розглянуто можливості електроміографічного методу для функціональної діагностики носового клапану. Запропоновано методи аналізу електроміографічного сигналу м'язів носового клапану. Обговорюються можливості та перспективи цих методів для діагностики патологій носового клапана.

Л. 6. Бібліогр.: 4 найм.

UDC 615.47

Diagnostic possibilities of electromyographic method for nasal valve function research/ O.G. Avrunin, T.V. Zhemchuzhkina, T.V. Nosova // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* – 2010. – № 3 (74). – P. 99–104.

Possibilities of EMG-methods for functional diagnostic of nasal valve are described. The methods for EMG-signal analysis of nasal valve are proposed. Possibilities and perspectives of these methods for diagnostic of nasal valve pathologies are discussed.

Fig. 6. Ref.: 4 items.