

ВОПРОСЫ РИНОЛОГИИ

Научная статья

УДК 612.72:616.211-002-009.86-076.4

<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-3-8-16>

Цифровая видеомикроскопия в оценке двигательной активности ресничек клеток эпителия полости носа у пациентов с вазомоторным ринитом

Н. И. Иванов¹, Г. П. Захарова², В. В. Шабалин³

^{1,2,3} Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи,
Санкт-Петербург, 190013, Российская Федерация

¹ n.ivanov@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0937-5370>

² GalinaZaharovaLOR@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4779-4058>

³ e-mail: vvshabalin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8168-2343>

Резюме. В последние годы цифровая видеомикроскопия находит все более широкое применение в различных медицинских специальностях для исследования отцифрованных изображений объектов с последующим их трехмерным измерением. Основным направлением применения метода в оториноларингологии служит исследование морфофункционального состояния ресничек эпителиальных клеток слизистой оболочки верхних дыхательных путей, осуществляющих мукоцилиарный транспорт. На современном этапе исследование проводится с помощью высокоскоростной видеозаписи работы ресничек с последующей компьютерной и статистической обработкой полученных данных в автоматизированном режиме с использованием специального программного обеспечения. Однако до настоящего времени методы исследования и критерии объективной оценки полученных параметров остаются не стандартизированными. **Цель исследования.** Оптимизация количественной оценки эффективности двигательной функции ресничек эпителиальных клеток полости носа на основе использования метода цифровой видеомикроскопии у пациентов с вазомоторным ринитом. **Материал и методы.** Материалом для исследования служили соскобы эпителиальных клеток реснитчатого эпителия полости носа у пациентов с вазомоторным ринитом. Получение материала реснитчатых эпителиальных клеток проводилось нами методом щеточной биопсии при передней риноскопии с помощью цитологической щетки типа D-1. Оценка двигательной активности реснитчатого эпителия слизистой оболочки полости носа осуществлялась методом цифровой видеомикроскопии, основанном на телевизионной микроскопии препаратов в переживающих тканях. Исследование проводилось с помощью научно-исследовательского комплекса для видеомикроскопии, который включал: микроскоп Olympus CX-41 со встроенной цифровой видеокамерой MMSI 331S12M, компьютер с программами MMC Multimetr (MMCSoft, РФ) и Wolfram Mathematica 13.0. **Результаты.** Разработаны критерии и получены данные объективной количественной оценки показателей эффективности двигательной функции ресничек эпителиальных клеток у пациентов с вазомоторным ринитом: средняя и наиболее вероятная частота биения, длина и плотность ресничек на единицу длины. Обнаружено уменьшение наиболее вероятной частоты биения и плотности ресничек на единицу длины у пациентов с вазомоторным ринитом. **Заключение.** Низкие показатели количественной оценки наиболее вероятной частоты биений и плотности ресничек на единицу длины у обследованных пациентов по сравнению со здоровыми свидетельствуют о снижении эффективности двигательной функции ресничек эпителиальных клеток полости носа у пациентов с вазомоторным ринитом.

Ключевые слова: двигательная активность ресничек эпителиальных клеток, цифровая видеомикроскопия, функциональная эффективность биения ресничек

Для цитирования: Иванов Н. И., Захарова Г. П., Шабалин В. В. Цифровая видеомикроскопия в оценке двигательной активности ресничек клеток эпителия полости носа у пациентов с вазомоторным ринитом. *Российская оториноларингология*. 2024;23(3):8–16. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-3-8-16>

Science article

Digital video microscopy in assessing motor activity of cilia of nasal epithelial cells in patients with vasomotor rhinitis**N. I. Ivanov¹, G. P. Zakharova², V. V. Shabalin³**^{1,2,3} Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation¹ n.ivanov@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0937-5370>² GalinaZakharovaLOR@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4779-4058>³ e-mail: vvshabalin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8168-2343>

Abstract. In recent years, digital video microscopy has been increasingly used in various medical specialties for the study of digitized images of objects with their subsequent three-dimensional measurement. The main direction of application of the method in otorhinolaryngology is the study of the morphofunctional state of the cilia of the epithelial cells of the mucous membrane of the upper respiratory tract that carry out mucociliary transport. At the present stage, research is carried out using high-speed video recording of the work of cilia, followed by computer and statistical processing of the data obtained in an automated mode using special software. However, to date, research methods and criteria for objective assessment of the obtained parameters remain unstandardized. **Purpose of the study.** Optimization of quantitative assessment of the efficiency of the motor function of cilia of epithelial cells of the nasal cavity based on the use of digital video microscopy in patients with vasomotor rhinitis. **Material and methods.** The material for the study was scrapings of epithelial cells of the ciliated epithelium of the nasal cavity in patients with vasomotor rhinitis. We obtained material from ciliated epithelial cells by brush biopsy during anterior rhinoscopy using a cytological brush type D-1. Assessment of the motor activity of the ciliated epithelium of the nasal mucosa was carried out by digital video microscopy based on television microscopy of preparations in surviving tissues. The study was carried out using a research complex for video microscopy, which included: an Olympus CX-41 microscope with built-in digital video camera MMSI 331S12M, a computer with MMC Multimetr (MMCSOFT, RF), and Wolfram Mathematica 13.0 programs. **Results.** Criteria were developed, and data were obtained for an objective quantitative assessment of the efficiency indicators of the motor function of the cilia of epithelial cells in patients with vasomotor rhinitis: the average and most probable beat frequency, the length and density of cilia per unit length. A decrease in the most probable beat frequency and density of cilia per unit length was found in patients with vasomotor rhinitis. **Conclusion.** Low rates of quantitative assessment of the most probable frequency of beatings and density of cilia per unit length in the examined patients compared to healthy ones indicate a decrease in the efficiency of the motor function of cilia of epithelial cells of the nasal cavity in patients with vasomotor rhinitis.

Keywords: motor activity of cilia of epithelial cells, digital video microscopy, functional efficiency of cilia beating

For citation: Ivanov N. I., Zakharova G. P., Shabalin V. V. Digital video microscopy in assessing motor activity of cilia of nasal epithelial cells in patients with vasomotor rhinitis. *Russian Otorhinolaryngology*. 2024;23(3):8-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-3-8-16>

Список условных обозначений и сокращений

ВР — вазомоторный ринит

МЦТ — мукоцилиарный транспорт

ОИ — область интереса

ОНП — околоносовые пазухи

СО — слизистая оболочка

ЧБ — частота биений ресничек

Введение

Слизистая оболочка представляет главный орган защиты верхних дыхательных путей, обеспечивающий осуществление практически всех их жизненно важных функций [1, 2].

Основную функцию защиты слизистой оболочки (СО) от внешних и внутренних патогенных воздействий представляет мукоцилиарный клиренс, который осуществляется с помощью комплексного действия физических и химических механизмов. Одним из важных механизмов защиты СО служит мукоцилиарный транспорт — перемещение и уда-

ление носового секрета вместе с оседающими на нем при дыхании микрочастицами из дыхательных путей посредством двигательной активности ресничек эпителиальных клеток [3, 4].

Известно, что наиболее современным методом объективной оценки двигательной активности реснитчатого эпителия служит цифровая видеомикроскопия, основанная на телевизионной микроскопии препаратов в переживающих тканях [5–7]. Достоинством метода служит возможность одновременного получения структурных и функциональных характеристик исследуемых

объектов. Однако фундаментальность исследований, необходимость использования достаточно дорогостоящей аппаратуры, технических и морфологических профессиональных навыков ограничивают широкое применение метода в клинической практике. В значительно большей части публикаций, посвященных видеомикроскопии реснитчатого эпителия верхних дыхательных путей человека в качестве основного критерия оценки двигательной активности ресничек, рассматривается частота биений ресничек (ЧБР) полости носа [8–10]. Однако анализ результатов количественной оценки средней частоты биений ресничек респираторного эпителия *in vitro* у здоровых, по данным разных авторов, свидетельствует о значительном диапазоне частот — от 3 до 20 Гц [11, 12]. Данные различия могут быть обусловлены межлабораторными особенностями в виде использования авторами разных методов регистрации и анализа изображений, техническими возможностями оборудования, видом использованной питательной среды [12]. Учитывая, что при измерении ЧБР используется спектральный анализ (преобразование Фурье), максимальная ЧБР, которая может быть измерена, составляет половину кадровой частоты используемой видеокамеры (частота Найквиста) [7, 12]. Для регистрации движения ресничек эпителия необходимо использование цифровой видеокамеры с кадровой частотой не менее 50 кадров в секунду. В то же время эффективность передвижения эпителиального секрета, кроме ЧБР, обусловлена комплексом факторов, определяющих биомеханику их движения, включающих взаимосвязанные параметры структурного и функционального состояния ресничек. Непосредственная прямая связь частоты и эффективности биения соблюдается только при условии двухфазного механизма движения при временном соотношении активной и возвратной фаз 1:3 [13]. Вместе с тем известно, что при генетически обусловленной патологии в виде муковисцероза имеет место сохранение высокой частоты на фоне нарушения траектории и биомеханики биения ресничек (сдвиг временного соотношения активной и возвратной фаз). В результате биение ресничек с высокой частотой не приводит к перемещению секрета вдоль эпителиальных клеток и его удалению. Все перечисленное затрудняет представление о границах нормы и патологии для показателей средней частоты биений и взаимосвязи ее значений непосредственно с активностью МЦТ. Известно, что нарушение МЦТ представляет один из первых этиологических и патогенетических факторов заболеваний носа и околоносовых пазух (ОНП) и усугубляется при их возникновении и течении [14]. Клиническая значимость объективного исследования состояния защитной транспорт-

ной функции СО полости носа определяется необходимостью диагностики, оценки динамики течения и эффективности консервативного и хирургического лечения заболеваний носа и ОНП. В связи с этим совершенствование технологии и разработка объективных критериев оценки двигательной активности реснитчатого эпителия, непосредственно характеризующих эффективность мукоцилиарного транспорта у пациентов с заболеваниями носа и ОНП, представляет в настоящее время несомненную актуальность.

Среди широко распространенных во всем мире различных форм хронического неаллергического ринита первое место (77,5%) занимает вазомоторный ринит ВР [15–17]. Основным проявлением заболевания служит синдром назальной обструкции, сопровождающийся значительным снижением качества жизни пациентов. Присутствие в патогенезе заболевания наряду с сосудистым дисбалансом хронического воспаления СО полости носа, в значительной мере обусловленного воздействием отклоненной от физиологического направления струей воздуха, оказывает отрицательное влияние на реснитчатый эпителий. Однако данные о состоянии двигательной активности ресничек эпителиальных клеток пациентов с ВР достаточно ограничены [18].

Цель исследования

Оптимизация количественной оценки двигательной функции ресничек эпителиальных клеток полости носа на основе использования метода цифровой видеомикроскопии у пациентов с вазомоторным ринитом.

Пациенты и методы исследования

Оценка двигательной активности реснитчатого эпителия СО полости носа осуществлялась с помощью метода цифровой видеомикроскопии, основанном на телевизионной микроскопии препаратов в переживающих тканях. Материалом для исследования служили соскобы эпителиальных клеток реснитчатого эпителия полости носа у здоровых обследованных и пациентов с вазомоторным ринитом. Получение материала реснитчатых эпителиальных клеток проводилось нами методом щеточной биопсии под визуальным контролем при передней риноскопии с помощью цитологической щетки типа D-1 (рис. 1). С помощью возвратно поступательных и ротаторных движений щетки вдоль медиальной поверхности нижней носовой раковины от ее переднего (отступя 0,5–1,0 см) до заднего конца проводили забор клеточного материала.

Полученное содержимое помещалось в пробирку (эпидорф) с физиологическим раствором в объеме 2 мл. Перенос цитологического

материала в пробирку проводился путем размешивающих и взбалтывающих движений щеточки. Проведение исследования подвижности ресничек мерцательного эпителия начиналось в пределах 30 минут непосредственно после получения материала. С помощью 1-канального механического дозатора объемом 20 мкл (производства «Ленпипет») полученный материал помещался на предметное стекло с лункой в центре в виде капли для свободного движения ресничек и накрывался покровным стеклом. Предметное стекло помещалось на столик биологического микроскопа Olympus CX41, и движения ресничек записывались встроенной высокоскоростной цифровой видеокамерой MMSI 331S12M.

Проведение работы осуществлялось с помощью научно-исследовательского комплекса для видеомикроскопии, который включал: микроскоп Olympus CX-41, видеокамеру MMSI 331S12M, компьютер, пакет программ: MMC Multimetr и Wolfram Mathematica 13.0.

Предварительная визуальная оценка ресничатого аппарата и характера биений ресничек эпителиальных клеток осуществлялась последовательно под объективами микроскопа 10, 20, 40. Видеомикроскопия и видеозапись производились при стандартном оптическом увеличении микроскопа от $\times 40$ до $\times 400$ и дополнительном цифровом увеличении до $\times 1000$ при помощи программного обеспечения для микроскопа MMC Multimetr (MMCSoft, РФ). Эта программа использовалась нами для получения видео с цифровой камеры микроскопа в режиме реального времени. Она позволяет сохранять изображения и видеофайлы, автоматически выделять объекты анализа, проводить их измерение и классификацию, анализировать и статистически обрабатывать изображения. Кроме того, регистрация и обработка результатов исследования проводились также на базе программы Wolfram Mathematica 13.0 с помощью разработанных нами пакетов макро-

команд. Выбор видео для регистрации производился вручную, определялось качество видео: регулировалась четкость изображения, яркость и контрастность, количество кадров в секунду каждого видеофайла. Компьютерная и математическая обработка видеозаписей двигательной активности ресничек СО полости носа проводилась с помощью различных вариантов разработанных нами технических приемов.

Видеозапись движущихся ресничек, выполненная на компьютере, представляла последовательность цифровых изображений (кадров). Видеозапись сохраняли в сжатом виде в цифровом формате mpg. Производили запись видеосигнала в цветном изображении при разрешении 1024×768 пикселей и частоте кадров 30–60 кадров/с. Регистрацию двигательной активности ресничек проводили с помощью телевизионной камеры непосредственно на жесткий диск ПК. Кроме того, велось параллельное наблюдение на экране внешнего видеоконтрольного устройства (монитор компьютера). Регистрация видео производилась трижды для каждого полученного образца эпителия в течение 15–30 с, достаточных для изучения динамических характеристик работы объекта. Видеоизображения записывали на компьютер, систематизировали с помощью раздела «База данных» программы MMC Multimetr. После записи и выбора видеофайла дальнейшие действия выполнялись в разделе «Морфология» программы MMC Multimetr. В этом разделе производилась обработка видеофайлов по областям интереса (ОИ), где преимущественно находились подвижные реснички. ОИ строились нами с помощью «специальной матрицы», представленной в виде сетки со множеством квадратов (рис. 2).

Внутри «специальной матрицы» выбирались и сохранялись участки, которые соответствовали областям с наибольшей площадью подвижных ресничек. Участки матрицы с отсутствием биения ресничек удалялись путем стирания этих областей (рис. 3).

После выделения ОИ при воспроизведении видео производился автоматический подсчет частоты биений ресничек в герцах (Гц). Частота биений определялась в каждом квадрате матрицы, который выделялся цветом, соответствующим определенной частоте биения ресничек (рис. 4).

Для статистических расчетов мы разбили диапазон частот биений ресничек на 3 класса. При этом каждый класс, в свою очередь, подразделялся на 3 подкласса (табл. 1).

Получение статистических результатов. В разделе статистика после автоматизированного подсчета средней частоты биения ресничек каждого образца строились гистограммы распределения частот биения ресничек по подклассам (рис. 5). По данным гистограмм определялись такие значи-



Рис. 1. Цитошетка типа D-1
Fig. 1. Cytobrush type D-1

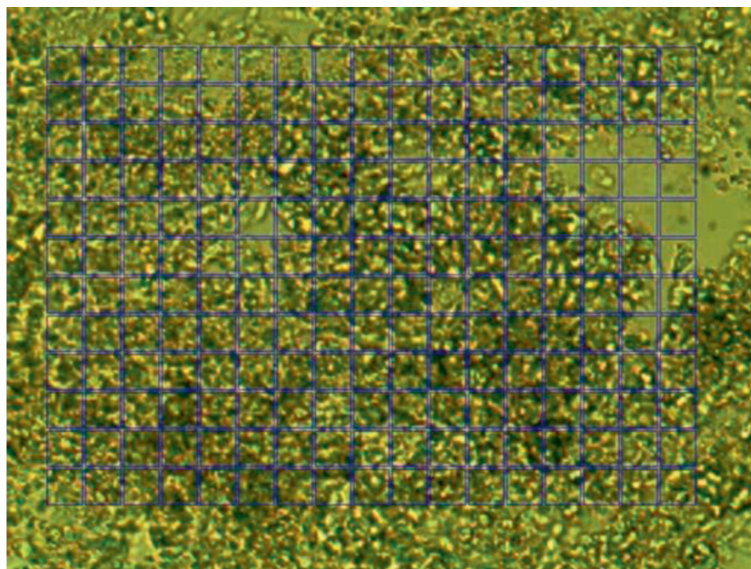


Рис. 2. Построение специальной матрицы. Ув. 400
Fig. 2. Construction of a special matrix

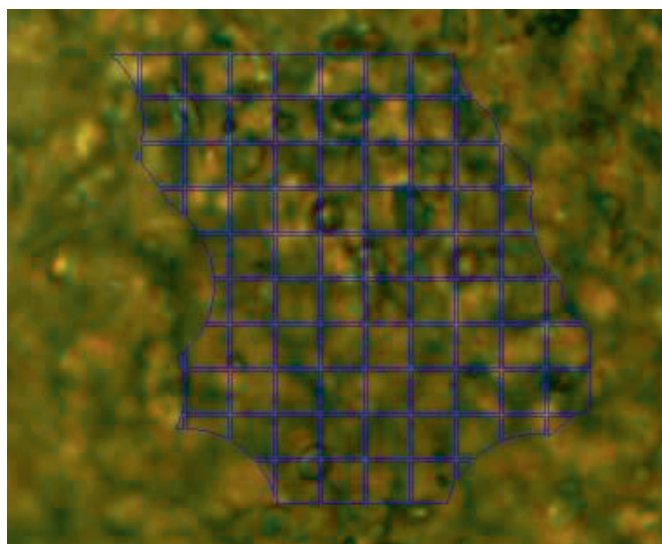


Рис. 3. Построение матрицы и стирание лишних квадратов с неинтересующих нас зон. Ув. 400
Fig. 3. Constructing a matrix and erasing extra squares from areas that are not of interest to us

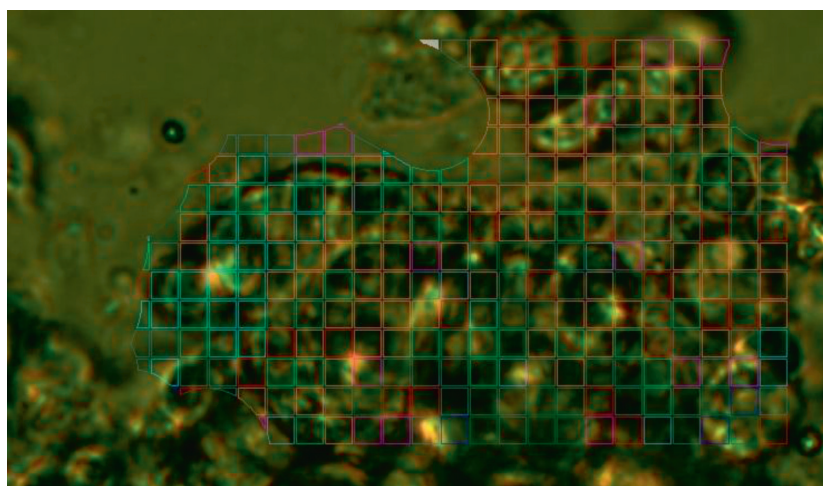


Рис. 4. Распределение по цветам квадратов матрицы по частоте биения ресничек. Ув. 400
Fig. 4. The color distribution of the squares of the matrix according to the frequency of beating of the cilia

Таблица 1

Распределение ресничек на классы и подклассы в соответствии с частотой их биения

Table 1

The distribution of cilia into classes and subclasses according to the frequency of their beating

1-й класс (низкая частота) 0–6 Гц			2-й класс (средняя частота) 6–12 Гц			3-й класс (высокая частота) 12–18 Гц		
1-й подкласс	2-й подкласс	3-й подкласс	4-й подкласс	5-й подкласс	6-й подкласс	7-й подкласс	8-й подкласс	9-й подкласс
От 0 до 2 Гц	От 2 до 4 Гц	От 4 до 6 Гц	От 6 до 8 Гц	От 8 до 10 Гц	От 10 до 12 Гц	От 12 до 14 Гц	От 14 до 16 Гц	От 16 до 18 Гц

мые показатели, как средняя частота биения всех ресничек, в каждом классе, площадь, занимаемая ресничками в классах с разной частотой в %, процентное соотношение площади ресничек в каждом классе к общей площади всех ресничек.

За основные критерии оценки двигательной активности реснитчатого эпителия нами приняты: средняя частота двигательной активности ресничек в герцах (Гц), а также наиболее вероятная частота двигательной активности ресничек — частота, с которой осуществляет биение наибольшее по занимаемой площади в (%) количество ресничек (не менее 40% общей площади).

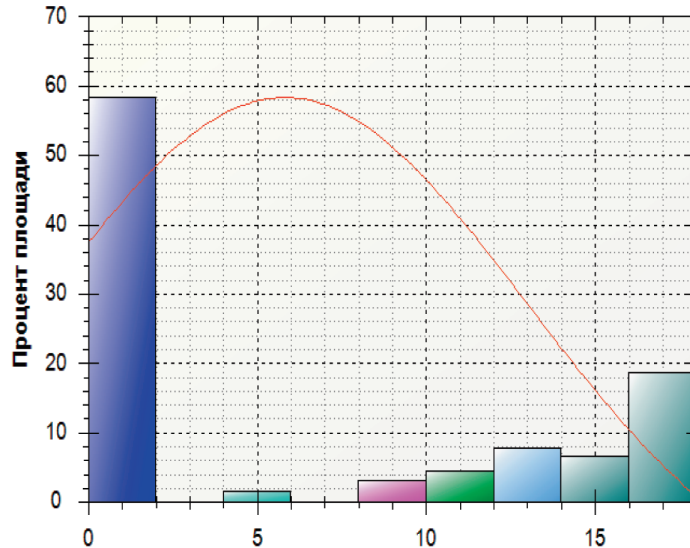
Для получения наиболее вероятной частоты биения ресничек мы выделяли класс, в котором определялась наибольшая площадь ресничек, двигающихся с одинаковой частотой (не менее

40% общей площади). Средняя частота биения в данном классе определялась в автоматическом режиме с помощью программы MMC Multimetr и представляла наиболее вероятную частоту биения.

Кроме автоматизированной оценки средней и наиболее вероятной частоты биения ресничек в каждом классе мы рассчитывали их с помощью формулы для подсчета искомой величины.

$$v_{\text{наиболее вероятная}} = \frac{v_1 N_1 + v_2 N_2 + v_3 N_3}{N_{1+2+3}}$$

где v — частота; v_1 — частота первого подкласса; v_2 — частота второго подкласса; v_3 — частота третьего подкласса рассчитываемого класса; N_{1+2+3} — общее количество ресничек в процентах в классе.



Результаты статистики

Параметр:	Частота, герц
К-во:	155
Среднее:	5,808
Минимум:	0
Максимум:	16,8
Стандарт:	7,17
Дисперсия:	51,41
Кoeff. вариации:	123%
Обр. пл., мм ² :	3830,6
Удельное к-во:	0,04046
Площадь, мм ² :	1299,1
Мода:	1
% от обр. пл.:	33,91%
Количество изображений:	2
Количество классов:	9

Класс	От	До	К-во	К-во, %	Площадь, %	От обр. пл., %
Класс1	0	2	91	58,7	58,3	19,8
Класс3	4	6	2	1,29	1,53	0,52
Класс5	8	10	4	2,58	2,96	1,01
Класс6	10	12	10	6,45	4,38	1,48
Класс7	12	14	11	7,1	7,69	2,61
Класс8	14	16	9	5,81	6,62	2,25
Класс9	16	18	28	18,1	18,5	6,29

Рис. 5. Гистограмма распределения ресничек по частоте биения и занимаемой площади в подклассах
Fig. 5. A histogram of the distribution of cilia by beat frequency and occupied area in subclasses

С помощью пакета программных модулей с набором функциональных макрокоманд, реализованных на базе программы Wolfram Mathematica 13.0, нами были проведены измерения длины и плотности ресничек на единицу длины в 10 мкм апикальной поверхности реснитчатой клетки с ресничками у пациентов с вазомоторным ринитом. Для этого проводилась специальная фильтрация изображений. На выбранном кадре видео-записи выделяли область с четко выраженными ресничками (рис. 6).

Длина реснички вычислялась автоматически после построения вдоль одной из ресничек кривой, повторяющей ее форму по 5 точкам. Для статистических расчетов на одном образце проводили измерение 10 ресничек с последующим автоматическим вычислением среднего значения и погрешности (рис. 6, а).

Определение плотности ресничек на единицу длины проводили путем построения пяти горизонтальных прямых линий, проходящих последовательно одна над другой от базального до апикального конца ресничек на поверхности клетки (рис. 6, б) по изменению яркости точек изображения вдоль прямой. Программа автоматически считает плотность ресничек на единицу длины в 10 мкм. Вдоль горизонтальной линии по изменению яркости точек вдоль линии находится число колеблющихся ресничек на единицу длины.

Результаты исследования

Данные табл. 2 указывают, что у здоровых, средние частоты биений ресничек, вычисленные при автоматизированном подсчете и по формуле, не имеют статистической разницы. Полученный результат подтверждает правильность расчетов и указывает на достаточно равномерное распределение работающих ресничек. В группе пациентов

с ВР средние частоты, вычисленные при автоматизированном подсчете и по формуле, не имеют статистической разницы. Значения средних частот биения между группами также не имеют статистической разницы.

В то же время значение наиболее вероятной частоты в группе пациентов с ВР достоверно меньше, чем у здоровых ($p \leq 0,05$), что свидетельствует о снижении эффективности двигательной функции ресничек эпителия полости носа у пациентов с вазомоторным ринитом.

Длина реснички у здоровых и пациентов с ВР составила 8 и 7,8 мкм соответственно.

Плотность колеблющихся ресничек на единицу длины апикальной поверхности эпителиальной клетки у здоровых и больных 14,5 и 12,5 ($p \leq 0,05$) соответственно, что указывает на уменьшение количества движущихся ресничек на единицу площади у пациентов с вазомоторным ринитом.

Заключение

Проведенное нами исследование реснитчатого эпителия слизистой оболочки полости носа методом цифровой видеомикроскопии с усовершенствованием компьютерной и математической обработки видеозаписей двигательной активности ресничек у пациентов с вазомоторным ринитом позволило определить параметры ресничек эпителиальных клеток и объективные показатели функциональной эффективности их биений в виде: наиболее вероятной частоты биения, длины и плотности движущихся ресничек на единицу длины апикальной поверхности клетки.

Выбор в качестве оптимального показателя функциональной активности наиболее вероятной частоты обоснован тем, что она характеризует частоту биения ресничек большей площади

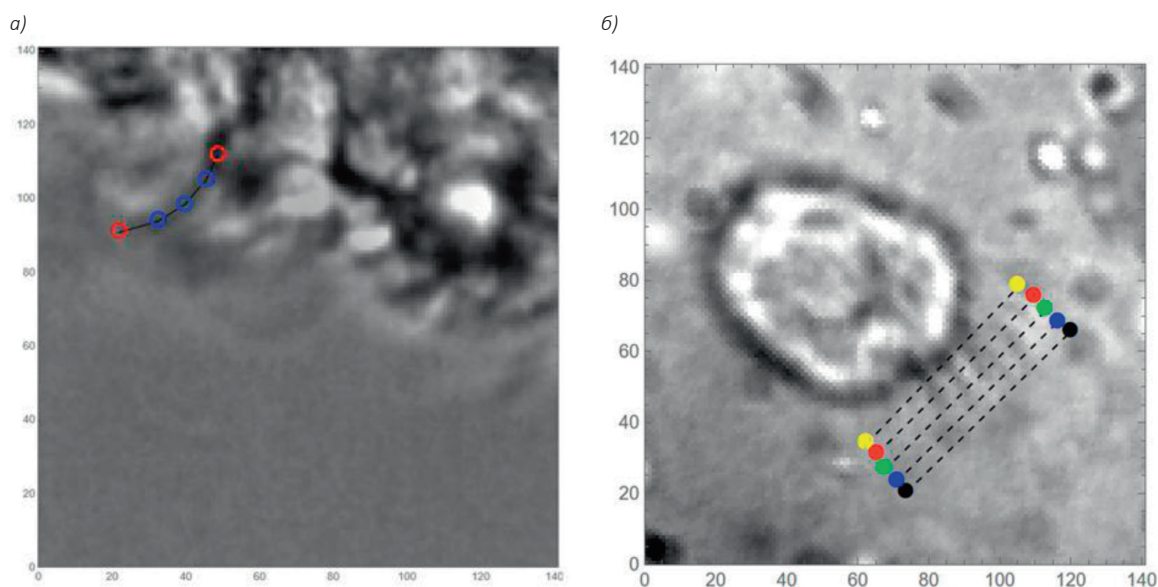


Рис. 6. Определение длины ресничек (а); определение плотности ресничек (б)
Fig. 6. Determining the length of cilia (a); scheme for determining the density of cilia (b)

Таблица 2

Средняя и наиболее вероятная частоты биения ресничек при автоматизированном подсчете и по формуле у пациентов с вазомоторным ринитом

Table 2

Average and most probable frequencies in patients in different groups using automated calculation and formula

	Средняя частота	Наиболее вероятная частота
Контроля (здоровые), $n = 30$	7,62 ($\pm 0,12$) — автоматизированный подсчет; 7,58 ($\pm 0,22$) — по формуле	7,9 ($\pm 0,35$) — автоматизированный подсчет; 7,8 ($\pm 0,25$) — по формуле
Исследования (вазомоторный ринит), $n = 30$	7,4 ($\pm 0,28$) — автоматизированный подсчет; 7,5 ($\pm 0,24$) — по формуле	5,6 ($\pm 0,26$) — автоматизированный подсчет; 5,4 ($\pm 0,36$) — по формуле

образца, что в значительной мере определяет эффективность биений большинства ресничек.

У пациентов вазомоторным ринитом имеет место снижение эффективности двигательной функции ресничек эпителия слизистой оболоч-

ки полости носа, что проявляется в меньшей плотности расположения работающих ресничек на единицу длины и в меньшей наиболее вероятной частоте биений по сравнению со здоровыми.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Бойкова Н. Э. Нормализация слизистой оболочки полости носа как медико-социальная проблема. *РМЖ*. 2010;24:1457.
Boykova N. E. Normalization of the nasal mucosa as a medical and social problem. *RMJ*. 2010;24:1457. (In Russ).
- Пискунов Г. З., Пискунов С. З. Клиническая ринология. 2002.390:175.
Piskunov G. Z., Piskunov S. Z. Clinical rhinology. 2002.390:175. (In Russ).
- Gudis D. A., Cohen N. A. Cilia dysfunction. *Otolaryngol Clin North Am*. 2010 Jun;43(3):461-472. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2010.02.007>. PMID: 20525503.
- Willems T., Jorissen M. Correlations between ciliary structure and ciliary function. *Acta Otorhinolaryngol Belg*. 2000;54(3):299-308. PMID: 11082766.
- Шабалин В. В., Захарова Г. П., Иванов Н. И. Современные подходы к оценке двигательной активности ресничек эпителия верхних дыхательных путей. *Российская оториноларингология*. 2022;21(6):103–109. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-6-103-109>
Shabalin V. V., Zakharova G. P., Ivanov N. I. Modern approaches to assessing motor activity of epithelial cilia of upper respiratory tract. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2022;21(6):103-109. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-6-103-109> (in Russ).
- Захарова Г. П., Шабалин В. В., Иванов Н. И., Рязанцева Е. С., Донская О. С. Фундаментальная и прикладная технологии диагностики нарушения двигательной активности реснитчатого эпителия верхних дыхательных путей. *Российская оториноларингология*. 2021;20(3):27–32. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-3-27-32>
Zakharova G. P., Shabalin V. V., Ivanov N. I., Ryazantseva E. S., Donskaya O. S. Fundamental and applied technologies for diagnosing impaired motor activity of ciliated epithelium of upper respiratory tract. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(3):27-32. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-3-27-32> (In Russ).
- Озерская И. В., Геппе Н. А., Малявина У. С. Функциональное состояние цилиарного эпителия верхних дыхательных путей у детей с бронхиальной астмой. *Доктор.Ру*. 2017;15:144.
Ozerskaya I. V., Geppe N. A., Malyavina U. S. Functional state of the ciliary epithelium of the upper respiratory tract in children with bronchial asthma. *Doctor.Ru*. 2017;15:144. (In Russ). <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnoe-sostoyanie-tsiliarnogo-epiteliya-verhnykh-dyhatelnykh-putey-u-detey-s-bronhialnoy-astмой>
- Лаберко Е. Л., Талалаев А. Г., Богомилский М. Р., Булжих А. В. Методика объективного изучения состояния мукоцилиарного клиренса у детей. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80(2):40–44.
Laberko E. L., Talalaev A. G., Bogomil'skii M. R., Bullikh A. V. The method for the direct evaluation of the state of mucociliary clearance in the children. *Vestnik Oto-Rino-Laringologii*. 2015;80(2):40-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/otorino201580240-44>
- Турусов Д. А., Рузицкая Е. А., Магомедов М. М. Состояние мукоцилиарного клиренса при хроническом гипертрофическом и хроническом вазомоторном ринитах на основании данных морфометрии. *Вестник оториноларингологии*. 2009;5:20–22.
Turusov D. A., Ruzhitskaya E. A., Magomedov M. M. The state of mucociliary clearance in chronic hypertrophic and chronic vasomotor rhinitis based on morphometric data. *Bulletin of otorhinolaryngology*. 2009;5:20-22. (In Russ).
- Пальчун В. Т., Турусов Д. А., Артемьев М. Е., Рузицкая Е. А. Мукоцилиарный клиренс и его параметры, как критерии эффективности щадящей нижней конхотомии у больных с гипертрофическим ринитом. *Вестник оториноларингологии*. 2007;5:173.
Palchun V. T., Turusov D. A., Artemyev M. E., Ruzhitskaya E. A. Mucociliary clearance and its parameters as criteria for the effectiveness of sparing lower conchotomy in patients with hypertrophic rhinitis. *Bulletin of otorhinolaryngology*. 2007;5:173. (In Russ).

11. Шиленкова В. В. Частота биения ресничек мерцательного эпителия полости носа у здоровых детей. *Российская оториноларингология*. 2008;2.
Shilenkova V. V. Frequency of beating of cilia of the ciliated epithelium of the nasal cavity in healthy children. *Russian Otorhinolaryngology*. 2008;2. (In Russ.) <https://cyberleninka.ru/article/n/chastota-bieniya-resnichek-mercatelnogo-epiteliya-polosti-nosa-u-zdorovyh-detey>
12. Озерская И. В., Геппе Н. А., Малявина У. С., Чакроборти Г. Особенности мукоцилиарной системы респираторного тракта у детей с бронхиальной астмой и аллергическим ринитом. *Сеченовский вестник*. 2014;1:15.
Ozerskaya I. V., Geppe N. A., Malyavina U. S., Chakroborti G. Features of the mucociliary system of the respiratory tract in children with bronchial asthma and allergic rhinitis. *Sechenovsky Vestnik*. 2014;1:15. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-mukotsiliarnoy-sistemy-respiratornogo-trakta-u-detey-s-bronchialnoy-astmoy-i-allergicheskim-rinitom>
13. Шабалин В. В., Захарова Г. П., Иванов Н. И. Современные подходы к оценке двигательной активности ресничек эпителия верхних дыхательных путей. *Российская оториноларингология*. 2022;21(6):103–109. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-6-103-109>
Shabalin V. V., Zakharova G. P., Ivanov N. I. Modern approaches to assessing motor activity of epithelial cilia of upper respiratory tract. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2022;21(6):103-109. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-6-103-109> (In Russ.).
14. Steinberg J., Modi P. Chronic sinusitis. *Can Fam Physician*. 1990 Apr;36:749-75. PMID: 21234027; PMCID: PMC2280581.
15. Лопатин А. С. Лечение вазомоторного ринита: международные тенденции и российская практика. МС;2012:11
Lopatin A. S. Treatment of vasomotor rhinitis: international trends and Russian practice. MS;2012:11. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/lechenie-vazomotornogo-rinita-mezhdunarodnye-tendentsii-i-rossiyskaya-praktika>
16. Черных Н. М. Распространенность и клинические особенности гормональных ринитов (обзор литературы). *Российская ринология*. 2016;24(3):47–51
Chernykh N. M. The prevalence and clinical features of hormonal rhinitis (a review of literature). *Russian Rhinology*. 2016;24(3):47-51 (In Russ.).
17. Царев С. В. Хронический ринит у детей — не локальная проблема. *Медицинский совет*. 2021;(1):182–186.
Tsarev S. V. Chronic rhinitis in children is not a local problem. *Meditinskiy sovet = Medical Council*. 2021;(1):182–186. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-1-182-186>
18. Васина Л. А. Изменение мукоцилиарного транспорта полости носа при воздействии местных сосудосуживающих препаратов. *Российская ринология*. 2009;3:4–6.
Vasina L. A. Changes in mucociliary transport of the nasal cavity under the influence of local vasoconstrictor drugs. *Russian rhinology*. 2009;3:4-6. (In Russ.).

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of authors:

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Иванов Никита Игоревич — клинический аспирант, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); n.ivanov@niilor.ru, SPIN-код: 5178-5987

Захарова Галина Порфирьевна — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); GalinaZaharovaLOR@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4779-4058>; eLibrary SPIN: 1184-2498; Scopus ID 57188959944

Шабалин Владимир Владимирович — доктор биологических наук, научный сотрудник отдела патологии верхних дыхательных путей, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); eLibrary SPIN-код: 1078-7807; Scopus ID 57188959944

Information about authors

Nikita I. Ivanov — Clinical Graduate Student, Saint Petersburg Scientific Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); n.ivanov@niilor.ru, SPIN-код: 5178-5987

Galina P. Zakharova — Doctor of Sciences (Med.), Leading Researcher of the Department of Pathology of the Upper Respiratory Tract, Saint Petersburg Scientific Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); GalinaZaharovaLOR@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4779-4058>; eLibrary SPIN: 1184-2498

Vladimir V. Shabalin — Doctor of Sciences (Biol.), Researcher of the Department of Pathology of the Upper Respiratory Tract, Saint Petersburg Scientific Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); eLibrary SPIN-код: 1078-7807; Scopus ID 57188959944

Поступила / Received 01.04.2024

Поступила после рецензирования / Revised 06.05.2024

Принята в печать / Accepted 06.05.2024