

Сагандыкова Н.С.¹, Бауржан М.Б.², Шбайр М.И.³, Папулова Н.М.⁴, Касенова Д.С.⁴, Айгожина Б.Х.⁴

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПОЛОСТИ НОСА ПАЦИЕНТОВ С ДЕФОРМАЦИЕЙ НОСОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ И ЗДОРОВЫХ

¹Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

²Академия физической культуры и массового спорта, Астана, Казахстан

³Клиника доктора Шбайр, Астана, Казахстан

⁴НАО «Медицинский университет Астана», Астана, Казахстан

Хирургическое лечение искривления или деформации носовой перегородки (ДНП) является распространенным методом лечения. Качество лечения оценивается визуально риноскопически, а также учитываются субъективные ощущения пациентов. Однако до сих пор нет объективных критериев улучшения носового дыхания, что затрудняет оценку дыхания пациентов после лечения. Нами использован новейший метод CFD-моделирования для создания виртуальной модели воздушного потока и определения параметров потока в полости носа в норме и патологии. **Цель:** сравнить аэродинамические характеристики воздушного потока у пациентов с ДНП и полости носа здоровых пациентов. **Материал и методы.** В исследовании использованы электронные файлы компьютерной томографии придаточных пазух носа 60 пациентов с ДНП и 21 здорового участника. Для получения параметров воздушной струи применялись специфическое программное обеспечение (3D slicer, Ansys Fluent); созданы 3D-модели воздушной струи полости носа, проведено CFD-моделирование потока. **Результаты.** У пациентов с ДНП скорость потока варьирует от 5,17 до 15,63 м/с, у здоровых — от 1,1 до 2,0 м/с; сила давления на стенки носа — от 2,20 до 10,20 Па у пациентов с ДНП, у здоровых — от 0,60 до 1,00 Па; температура потока от 26,45 до 36,80 °С, у здоровых — от 20,14 до 24,40 °С; парциальное давление потока от –120,60 до –0,01 Па, у здоровых от 2,00 до –4,80 Па, $p < 0,0001$. **Заключение.** Аэродинамические характеристики воздушного потока полости носа у пациентов с деформацией носовой перегородки значительно отличаются от характеристик потока носа здоровых участников. Применение метода CFD-моделирования воздушных потоков носа поможет клиницистам в объективной оценке носового дыхания при ДНП, а также результатов хирургического лечения и в вопросах экспертизы качества услуг в оториноларингологической практике.

Ключевые слова: деформация носовой перегородки; объективная оценка; аэродинамика полости носа; CFD-моделирование; компьютерная томография.

Для цитирования: Сагандыкова Н.С., Бауржан М.Б., Шбайр М.И., Папулова Н.М., Касенова Д.С., Айгожина Б.Х.

Сравнительная характеристика аэродинамических показателей воздушного потока полости носа пациентов с деформацией носовой перегородки и здоровых. *Клиническая медицина*. 2024;102(3):247–251.

DOI: <http://dx.doi.org/10.30629/0023-2149-2024-102-3-247-251>

Для корреспонденции: Сагандыкова Назым Слямовна — e-mail: doctor.ent.alm@gmail.com

*Nazym S. Sagandykova¹, Madina B. Baurzhan², Mohammed I. Shbair³, Natalia M. Papulova⁴,
Dinara S. Kasenova⁴, Bayan Kh. Aigozhina⁴*

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE NASAL AIRFLOW AERODYNAMIC PARAMETERS IN PATIENTS WITH NASAL SEPTUM DEFORMATION AND HEALTHY PARTICIPANTS

¹Corporate Foundation University Medical Center, Astana, Kazakhstan

²Academy of Physical Education and Mass Sports, Astana, Kazakhstan

³Dr. Shbair Clinic, Astana, Kazakhstan

⁴NAO Astana Medical University, Astana, Kazakhstan

*Surgical treatment of nasal septum deviation or deformity (NSD) is a common method of treatment. The quality of treatment is assessed visually with rhinoscopy, taking into account subjective patient sensations. However, there are still no objective criteria for assessing nasal airflow improvement, which complicates the evaluation of patient breathing after treatment. We used a novel CFD modeling method to create a virtual airflow model and determine flow parameters in the nasal cavity in normal and pathological conditions. **Objective:** to compare the aerodynamic characteristics of airflow in patients with NSD and healthy nasal cavities. **Material and methods:** the study used electronic files of computed tomography scans of the nasal sinuses of 60 patients with NSD and 21 healthy participants. Specific software (3D slicer, Ansys Fluent) was used to obtain airflow parameters; 3D models of the nasal cavity airflow were created, and CFD flow modeling was conducted. **Results:** in patients with NSD, flow velocity ranged from 5.17 to 15.63 m/s, in healthy individuals from 1.1 to 2.0 m/s; pressure force on the nasal walls ranged from 2.20 to 10.20 Pa in patients with NSD, in healthy individuals from 0.60 to 1.00 Pa; flow temperature ranged from 26.45 to 36.80 °C in patients with NSD, in healthy individuals from 20.14 to 24.40 °C; flow partial pressure ranged from –120.60 to –0.01 Pa in patients with NSD, in healthy individuals from 2.00 to –4.80 Pa, $p < 0.0001$. **Conclusion:** Aerodynamic characteristics of nasal cavity airflow in patients with nasal septum deviation significantly differ from those in healthy individuals. The application of CFD modeling of nasal airflow will assist clinicians in objectively assessing nasal breathing in NSD, as well as surgical treatment outcomes and quality assessment in otorhinolaryngological practice.*

Key words: nasal septum deviation; objective assessment; nasal cavity aerodynamics; CFD modeling; computed tomography.

For citation: Sagandykova N.S., Baurzhan M.B., Shbair M.I., Papulova N.M., Kasenova D.S., Aigozhina B.Kh. Comparative characteristics of the nasal airflow aerodynamic parameters in patients with nasal septum deformation and healthy participants. *Klinicheskaya meditsina*. 2024;102(3):247–251. DOI: <http://dx.doi.org/10.30629/0023-2149-2024-102-3-247-251>

For correspondence: Nazym S. Sagandykova — e-mail: doctor.ent.alm@gmail.com

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received 21.11.2023
Accepted 19.12.2023

В данном экспериментальном исследовании мы изучили параметры воздушного потока в полости носа у пациентов с деформированной носовой перегородкой (ДНП) в сравнении с носовым потоком здоровых участников. Для определения характеристик потока, таких как скорость потока, сила давления на стенки носа, температура потока, парциальное давление потока и температура воздушной струи, использована методика CFD-моделирования.

Впервые в 2016 г. на консенсусной конференции Комитета по объективным методам оценки носового дыхания в Риге метод вычислительной динамики жидкости и газов (Computational Fluid Dynamics) был обсужден как способ для создания виртуальных моделей потока в полости носа [1, 2]. Основным принципом метода является математическая калькуляция потоков носовой полости по закону Навье–Стокса [3–5].

Частота септопластики в лор-стационарах среди других хирургических вмешательств составляет от 35 до 48% [6, 7]. Для оценки качества проведенного лечения в настоящее время учитывается риноскопическая картина полости носа после операции, а именно формирование срединной линии хрящевыми и костными частями перегородки носа, отсутствие гребней и шипов [8, 9]. Кроме оценки анатомических особенностей носа важно понять, насколько восстановлено физиологическое носовое дыхание. В настоящее время для определения функции носового дыхания есть разные методы риноманометрии: пикфлоуметрия, акустическая риноманометрия [10–12]. Однако исследования коллег показывают низкую корреляционную связь результатов измерения этими способами с жалобами пациентов с ДНП по опроснику NOSE [13–15]. Поэтому широкого применения они не нашли.

Отсутствие четких критериев здорового и патологического носового потока приводит к дискуссиям между врачом и пациентом. Так, идеально ровная носовая перегородка после операции не всегда гарантирует полную удовлетворенность пациента носовым дыханием. Проведенное в течение 10 лет в клиниках Соединенных Штатов Америки исследование показало, что около половины пациентов не были довольны результатами септопластики [16]. Мы считаем, что необходимо оценивать качество хирургического лечения на основании конкретных объективных данных, а не на субъективных ощущениях. Даже при полном восстановлении носового дыхания некоторые пациенты могут предъявлять жалобы, не влияющие на физиологию носового дыхания.

К настоящему моменту назрела проблема отсутствия объективного метода оценки носового дыхания, который определил бы функциональные характеристики воздуш-

ного потока у здорового человека и у пациента с ДНП и мог бы применяться как показатель качества терапевтического и хирургического лечения [17]. Соответственно, целью нашего исследования является определение параметров воздушного потока в полости носа у пациентов с ДНП и здоровых участников.

Материал и методы

Дизайн исследования: неклиническое экспериментальное (*in vivo*) проспективное. Исследование проведено согласно Хельсинкской декларации 1975 г. и ее пересмотренному варианту 2000 г. и этическим стандартам локального этического комитета Казахского медицинского университета непрерывного образования.

В качестве материала были использованы компьютерные томограммы полости носа пациентов с ДНП, которые обращались в приемный покой городской больницы №5 г. Алматы за период с января по декабрь 2022 г. Для сравнения были отобраны добровольцы без патологии носа, которые по каким-либо причинам прошли компьютерную томографию придаточных пазух носа (медицинская комиссия, подозрение на патологию пазух носа и т.д.). Эти снимки также в дальнейшем использованы в исследовании.

Критерии включения: наличие ДНП любой формы и локализации, положительное информированное согласие пациента на проведение исследования, возраст от 18 лет и старше, отсутствие операций в полости носа в анамнезе, наличие компьютерной томографии придаточных пазух носа и полости носа с шагом среза не более 0,6 мм на электронном носителе (на флеш-носителе, в виртуальном облаке).

Критерии исключения: отказ от участия в исследовании, отсутствие информированного согласия от пациента, возраст младше 18 лет, беременность, наличие патологии носового клапана, экстренные больные, наличие в анамнезе операций на полости носа, неопластический процесс полости носа, пациенты с воспалением слизистой оболочки полости носа и околоносовых пазух, отечности, негодность электронных файлов для моделирования (низкое качество, толстые срезы и т.п.).

Всего за этот период обратились 1223 пациента с ДНП, из них 60 пациентов (42 мужчины, 18 женщин, средний возраст $33,09 \pm 0,43$ года) прошли отбор. В контрольную группу вошел 21 доброволец (13 мужчин, 8 женщин, средний возраст $33,5 \pm 1,5$ года).

Этические аспекты: участникам, прошедшим отбор, объяснили задачи исследования, их роль, ожидаемые результаты моделирования. Компьютерная томография придаточных пазух носа выполнялась по протоколу обследования пациентов с ДНП, поэтому пациенты

поступали в отделение с готовыми снимками. CFD-моделирование воздушных потоков участников проводилось полностью бесплатно. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 1 от 15 января 2022 г.).

CFD-моделирование. Метод состоит из трех этапов.

1. Создание 3D-моделей полости носа на программе 3D-slicer полуавтоматическим методом, обозначается исследуемая зона полости носа. Полученная модель воздушной полости сохраняется в формате STL и транспортируется в Materialize 3-matic® Medical версии 14.0 (Leuven, Belgium, 2019).

2. Определение *inlet/outlet* зон, обозначение входных параметров воздушного потока: объемный поток 250 см³/с для каждой половины носа. Затем проводится меширование твердой модели.

3. Проведение CFD-симуляции воздушного потока на программе Ansys Fluent.

Полученные результаты были обработаны с помощью программы статистического анализа SPSS, применялись описательные непараметрические методы статистической обработки: критерии Уилкоксона, Манна-Уитни.

Результаты

Для получения средних значений показателей потока по всей полости носа нами были определены 4 условные поперечные проекции (рис. 1, см. 3-ю стр. обложки):

- в области преддверия носа;
- в области переднего конца нижней носовой раковины;
- в области срединной линии по средней носовой раковине;
- в области заднего конца нижней носовой раковины.

Скорость воздушного потока полости носа. У пациентов с ДНП скорость потока по всей полости носа равна $3,18 \pm 1,24$ м/с в правой половине носа и $3,53 \pm 1,26$ м/с слева, $p = 0,2487$. Средняя скорость потока здоровых участников справа $1,70 \pm 0,35$ м/с, слева $1,73 \pm 0,33$ м/с, $p = 0,522$. При сравнении обеих групп (рис. 2) заметно различие между ними, $p < 0,0001$.

Температура воздушного потока носа. Минимальная скорость потока у пациентов с ДНП — 20,56 °C справа и 20,14 °C слева, максимальная — 32,15 °C справа и 32,33 °C слева. Общая температура воздушного потока пациентов с ДНП: справа — $29,28 \pm 1,64$ °C, слева — $28,22 \pm 2,41$ °C (рис. 3). У здоровых участников: справа — $21,97 \pm 0,88$ °C, слева — $22,35 \pm 1,04$ °C. Как видно из рис. 3, у пациентов с деформацией носовой перегородки температура потока в полости носа выше температуры потока здоровых участников.

Сила давления воздушного потока на стенки носа. Средняя сила давления на стенки носа у всех пациентов с ДНП составила справа — $1,71 \pm 1,55$ Па, слева — $1,82 \pm 1,61$ Па. Ме = 1,0 и 0,9; максимум = 4,82 и 4,92 Па, минимум = 0,05 и 0,02 Па соответственно для каждой половины носа.

Среднее значение (рис. 4) у пациентов с ДНП справа — $2,18 \pm 1,72$ Па, слева — $2,36 \pm 1,74$ Па. Для здоро-

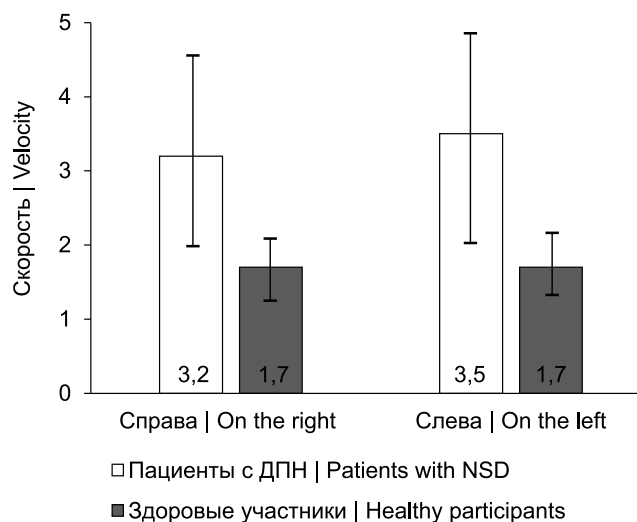


Рис. 2. Скорость потока у пациентов с ДНП и здоровых участников, м/с

Fig. 2. Flow velocity in patients with NSD and healthy participants, m/s

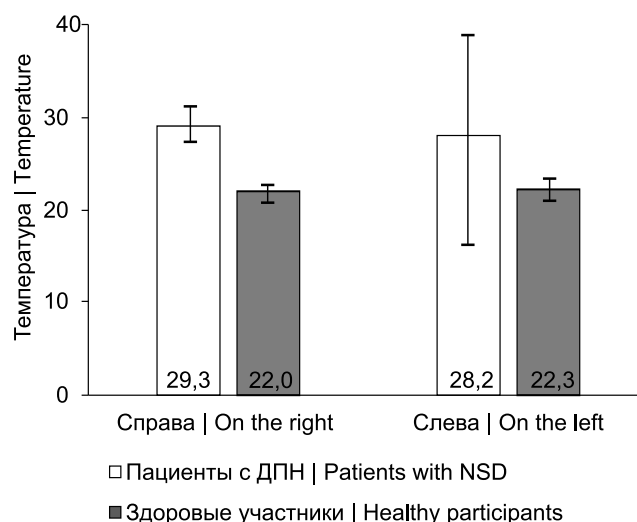


Рис. 3. Температура потока полости носа пациентов с ДНП и здоровых участников, °C

Fig. 3. Flow temperature in the nasal cavity of patients with NSD and healthy participants, °C

вых участников сила равна справа $0,78 \pm 0,22$ Па, слева — $0,76 \pm 0,23$ Па. Между этими двумя группами различие составило $p = 0,053$ справа и 0,04 слева. Данные на рис. 4 указывают на то, что сила давления на стенки носа у пациентов с ДНП значительно выше показателей здоровых участников.

Парциальное давление в полости носа. Среднее парциальное давление в полости носа у всех пациентов составило справа $-7,83 \pm 17,29$ Па, слева $-8,84 \pm 19,73$ Па. Ме = 0,05 и 0,26; максимум = 4,10 и 4,80 Па, минимум = $-52,36$ и $-63,45$ Па соответственно для каждой половины носа. Среднее значение пациентов с ДНП справа — $-13,47 \pm 18,96$ Па, слева $-15,23 \pm 21,68$ Па. Для здоровых участников парциальное давление потока равна справа — $3,19 \pm 0,66$ Па, слева — $3,65 \pm 0,66$ Па. Между этими

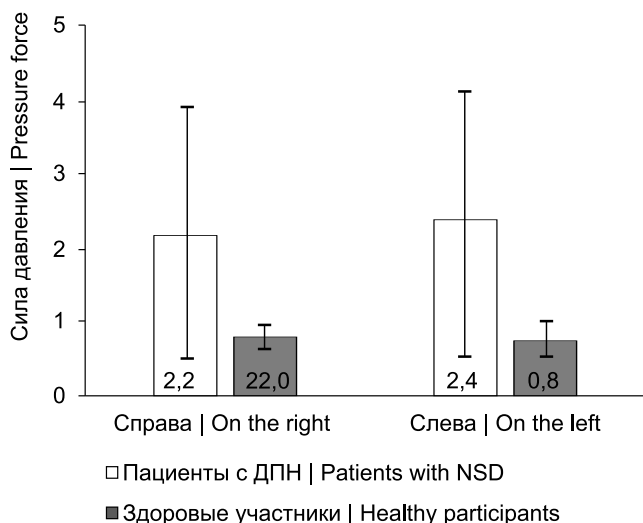


Рис. 4. Сила давления на стенки носа пациентов с ДНП и здоровых участников, Pa

Fig. 4. Pressure force on the nasal walls of patients with NSD and healthy participants, Pa

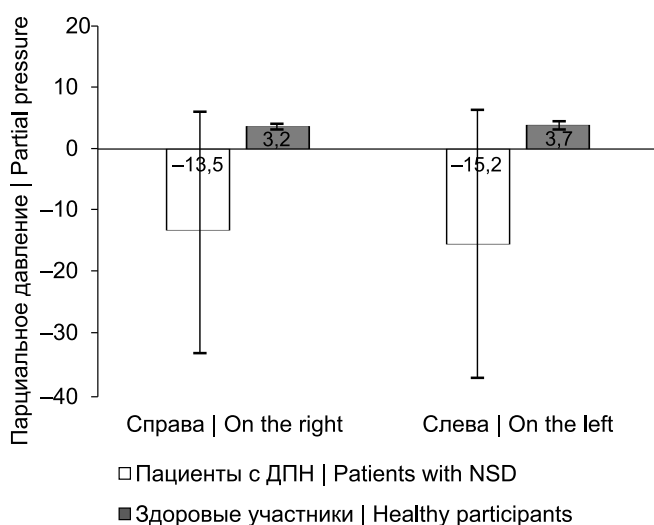


Рис. 5. Парциальное давление полости носа у пациентов с ДНП и здоровых участников, Pa

Fig. 5. Partial pressure in the nasal cavity of patients with NSD and healthy participants, Pa

двумя группами различие составило $p < 0,0001$ справа и слева.

При сравнении групп выяснилось, что парциальное давление у пациентов с ДНП значительно ниже и даже приобретает отрицательное значение (рис. 6, см. 3-ю стр. обложки).

Обсуждение

При проведении CFD-моделирования воздушных потоков у пациентов с ДНП и здоровых участников было выявлено следующее. Во-первых, нет статистически значимой разницы между параметрами воздушного потока правой и левой половин носа у пациентов с ДНП. Данный результат можно объяснить феноменом носового цикла, который направлен на изменение сопротивления слизистой полости носа на воздушный поток при вдохе

и выдохе. Таким образом, градиент скорости, давления и др. показателей потока меняется одинаково в двух половинах носа. При ДНП этот механизм также работает для уравнивания потоков.

Во-вторых, скорость воздушного потока, температура потока, сила давления на стенки носа у пациентов с ДНП значительно выше показателей здорового носа, наоборот, парциальное давление потока значительно ниже у пациентов с ДНП. Данное явление объясняется законом Бернулли [8], согласно которому в узкой полости при ускорении потока газа или жидкости парциальное давление снижается.

Выводы

CFD-моделирование выявило, что функциональные характеристики воздушного потока при деформации носовой перегородки значительно отличаются от показателей здоровой полости носа. Полученные при обследовании характеристики потока могут служить для выявления нарушений физиологического потока воздуха внутри полости носа, стать критериями отбора пациентов к лечению. Предложенная методика CFD-моделирования позволяет определять показания к хирургическому лечению, а также выявлять качество и эффективность проведенного лечения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry: The International Standardization Committee on the Objective Assessment of the Nasal Airway in Riga. *Rhinology*. Clement PAR, Gordt. Riga. 2016:79.
2. Anderson K.R., Anthony T.R. Computational fluid dynamics investigation of human aspiration in low velocity air: orientation effects on nose-breathing simulations. *Ann. Occup. Hyg.* 2014;7(7):45–52.
3. Burgos M.A., Sanmiguel-Rojas E., Del Pino C., Sevilla-García M.A., Esteban-Ortega F. New CFD tools to evaluate nasal airflow. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2017;8:3121–3128.
4. Borojeni A.A., Frank-Ito D.O., Kimbell J.S., Rhee J.S., Garcia G.J.M. Creation of an idealized nasopharynx geometry for accurate computational fluid dynamics simulations of nasal airflow in patient-specific models lacking the nasopharynx anatomy. *Int. J. Numer. Meth. Bio.* 2017;33(5). DOI: 10.1002/cnm.2825
5. Wen Jian et al. Numerical simulations for detailed airflow dynamics in a human nasal cavity. *Respiratory physiology & neurobiology.* 2008:125–135.
6. Лопатин А.С., Шаройко М.В. Повторные операции при деформациях перегородки носа. *Вестник оториноларингологии.* 2013;5(7):123–136. [Lopatin A.S., Sharoyko M.V. Povtornye operacii pri deformacijah peregorodki nosa. *Vestnik otorinolaringologii.* 2013;5(7):123–136. (In Russian)].
7. Царапкин Г.Ю., Кунельская Н.Л., Товмасыян А.С., Кишиневский А.Е., Мусаева М.М., Кочеткова Т.А., Вершинина Е.А. Осложнения хирургического лечения искривления перегородки носа. *Российская ринология.* 2021;15:145–156. [Tsarapkin G.Yu., Kunelskaya N.L., Tovmasyan A.S., Kishinevsky A.E., Mусаeva M.M., Kochetkova T.A., Vershinina E.A. Complications of surgical treatment of nasal septum curvature. *Russian rhinology.* 2021;15:145–156. (In Russian)].
8. Guyuron B., Uzzo C. D., Scull H. A practical classification of septonasal deviation and an effective guide to septal surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery.* 1999;104(7):2202–2209.
9. Jin H.R., Lee J.Y., Jung W.J. New description method and classification system for septal deviation. *Journal of Rhinology.* 2007;14(1):27–31.

Оригинальные исследования

10. Buyukertan M., Keklikoglu N., Kokten G. A morphometric consideration of nasal septal deviations by people with paranasal complaints; a computed tomography study. *Rhinology*. 2003;41(1):21–24.
11. Клинические протоколы МЗ РК. б.м., Национальный научный центр развития здравоохранения. 2016. [Clinical protocols of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. Б.М., National Research Center for Health Development. 2016. (In Russian)] URK: <http://www.rcrz.kz>
12. Haight J.S., Cole P. The site and function of the nasal valve. *Laryngoscope*. 1983;1:49–55.
13. Spataro E., Most SP. Measuring Nasal Obstruction Outcomes. Review. *Otolaryngol, Clin. North Am.* 2018;5(51):883–895.
14. Yepes-Núñez J.J., Bartra J., Muñoz-Cano R. et al. Assessment of nasal obstruction: correlation between subjective and objective techniques. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2013;41(6):397–401.
15. Sipilä J., Suonpää J., Silvoniemi P. et al. Correlations between subjective sensation of nasal patency and rhinomanometry in both unilateral and total nasal assessment. *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 1995;57(5):260–300.
16. Tsang C.L.N., Nguyen T., Sivesind T., Cervin. Long-term patient-related outcome measures of septoplasty: a systematic review. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2018;275(5):1039–1048.
17. Quadrio M., Pipolo C., Corti S., Lenzi R., Mes. Review of computational fluid dynamics in the assessment of nasal air flow and analysis of its limitations. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2014;271(9):349–354.
18. Mohammadi H., Bahramian F. Boundary conditions in simulation of stenosed coronary arteries. *Cardiovasc. Eng.* 2009;9(3):83–91.

Поступила 21.11.2023

Принята в печать 19.12.2023

Информация об авторах

Назым Слямона Сагандыкова — д-р мед. наук, сотрудник департамента внутренней медицины, Корпоративный фонд «University Medical Center», <http://orcid.org/0000-0002-7274-8101>

Мадина Бауржанкызы Бауржан — директор НИИ Спорта КазАСТ, Академия физической культуры и массового спорта, <http://orcid.org/0000-0003-1244-8673>

Мохаммед Ибрагимович Шбайр — магистр здравоохранения, Клиника доктора Шбайр, директор клиники, <http://orcid.org/0000-0003-1199-2589>

Наталья Михайловна Папулова — канд. мед. наук, доцент, зав. учебной частью кафедры оториноларингологии, НАО «Медицинский университет Астана», <http://orcid.org/0000-0001-8375-2141>

Динара Сериковна Касенова — канд. мед. наук, доцент кафедры ЛОР болезней, НАО «Медицинский университет Астана», <http://orcid.org/0000-0002-2735-8331>

Баян Хасеновна Айгожина — сотрудник кафедры оториноларингологии, НАО «Медицинский университет Астана», <http://orcid.org/0000-0002-9735-4299>

Information about the authors

Nazym S. Sagandykova — Dr of Sci. (Med.), employee of the Department of Internal Medicine, Corporate Foundation University Medical Center, <http://orcid.org/0000-0002-7274-8101>

Madina B. Baurzhan — Director of the Research Institute of Sports KazAST, Academy of Physical Education and Mass Sports, <http://orcid.org/0000-0003-1244-8673>

Mohammed I. Shbair — MPH, Dr. Shbair Clinic, Clinic Director, <http://orcid.org/0000-0003-1199-2589>

Natalia M. Papulova — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the educational unit of the Department of Otorhinolaryngology, Astana Medical University, <http://orcid.org/0000-0001-8375-2141>

Dinara S. Kasanova — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Otorhinolaryngology Department, Astana Medical University, <http://orcid.org/0000-0002-2735-8331>

Bayan Kh. Aigozhina — employee of the Department of Otorhinolaryngology, Astana Medical University, <http://orcid.org/0000-0002-9735-4299>