

УДК 616.214.7/.8-008.1-073.173

*Н.О. Шушляпина**Харьковский национальный медицинский университет*

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НОСОВОГО ДЫХАНИЯ НА МИКРОУРОВНЕ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ РЕСПИРАТОРНО-ОБОНЯТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Предложен метод оценки влияния воздушного потока на слизистую оболочку носовой полости. Данный метод основан на разделении турбулентного воздушного потока на вихревое ядро и ламинарный пристеночный пограничный слой. Проведённые исследования показали, что с увеличением интенсивности дыхания (пропускаемого расхода воздуха) толщина ламинарного пограничного слоя уменьшается. При этом существенная разница в толщинах пограничного слоя наблюдается в области слабых и средних расходов при спокойном и умеренном дыхании. При форсированном дыхании толщина пограничного слоя резко уменьшается, особенно при суженных носовых ходах, что характерно для гипертрофического ринита. Полученные результаты требуют дальнейшего изучения, проведения независимой цитологической верификации и клинической оценки.

Ключевые слова: ламинарный пограничный слой, носовое дыхание, ольфактометрия, респираторно-обонятельные нарушения.

Введение

Полость носа имеет сложное анатомическое устройство с характерной узостью, изогнутостью носовых ходов и неровностью поверхности его стенок, благодаря которому осуществляется физиологически обоснованное сопротивление дыхательных путей. Известно, что 45% всего сопротивления дыхательных путей принадлежит полости носа и имеет своё функциональное обоснование, как то: давление струи воздуха на стенки слизистой оболочки, раздражение дыхательного центра и т. д. [1]. Среди причин, обуславливающих носовое сопротивление, искривление перегородки носа, патология носовых раковин и крючковидного отростка занимают ведущее место [2]. Авторы [3–5] объясняют это тем, что перегородка носа и носовые раковины находятся в самом центре потока воздуха, проходящего через нос при естественном дыхании. Однако не всегда при структурных нарушениях полости носа в виде искривления носовой перегородки, гипертрофии носовых раковин происходит расстройство дыхания. Возникает вопрос: с чем это связано? Известные эффекты, объясняющие механизм сопротивления полости носа, по всей видимости, не в полной

мере раскрывают проблему нарушения аэродинамики носа. Структурные аномалии полости носа проявляются симптомами носовой обструкции после 40–50-летнего возраста. Из этого следует, что в основе данной проблемы лежат процессы, которые определяют обструкцию не только на уровне макроструктур полости носа в виде гипертрофии носовых раковин, искривления носовой перегородки, но и более тонкие механизмы аэродинамических законов, которые до конца ещё не изучены.

В связи с этим диагностика нарушения носового дыхания с учётом оценки всех аэродинамических показателей весьма затруднительна и требует расширения диапазона исследуемых показателей. До сих пор в арсенале оториноларинголога нет универсально доступного и общепризнанного метода, позволяющего учитывать все функциональные характеристики носового дыхания. Но эта проблема коснулась не только функции дыхания. Так, изменение пропускной способности той или иной половины носа в большинстве случаев приводит и к обонятельному дефициту [6, 7].

Актуальность. До недавнего времени расстройствам обоняния человека не уделяли

© Н.О. Шушляпина, 2018

достаточно внимания ни медики, ни сами пациенты. В медицинских центрах всего мира обследование обоняния редко входит в перечень тех необходимых исследований и анализов, которые каждый пациент должен проходить регулярно на протяжении всей своей жизни. В последние годы было показано, что обоняние не только необходимо здоровому человеку, но и что его нарушения могут свидетельствовать о тяжёлых нервных заболеваниях [8]. Результаты многочисленных исследований последних лет убедительно показывают, что нарушение обоняния является симптомом различных заболеваний: болезни Паркинсона, болезни Айтгеймера, лобно-височной деменции, рассеянного склероза, хореи Гентингтона. Достаточно много доказательств того, что расстройство обоняния можно диагностировать задолго до манифестации болезни Паркинсона и болезни Айтгеймера [9]. Гипосмия может быть ранним признаком прогрессирующего нейродегенеративного процесса, проявляясь раньше, чем когнитивные и двигательные расстройства, являясь предиктором 5-летней смертности у пожилых людей [10], опережая такие факторы, как сердечная недостаточность, инсульт, диабет, гипертония, повреждение печени и даже рак [11]. Степень нарушения обоняния, особенно в комплексе с результатами визуализации рецепторных структур, во многих случаях помогает поставить диагноз и предположить дальнейшее течение нейродегенеративного процесса (его форму и тяжесть). Поэтому проблеме изучения аэродинамики носа на сегодняшний день уделяется достаточно много внимания [12–16]. Разрабатываются методы высокоточной компьютерной навигации и планирования для проведения высокоточных ринохирургических вмешательств [15–17]. К настоящему времени уже установлены основные физиологические характеристики носового дыхания, изучены распределения основных аэродинамических показателей по длине носовой полости [12–16]. Установлено, что в процессе дыхания проходящий через носовую полость воздушный поток представляет собой напорное движение массы воздуха по анатомически ограниченными стенками парным носовым каналам сложной конфигурации. Это допущение позволяет рассчитывать аэродинамические параметры на основе решения задачи течения воздуха по каналам с переменным поперечным сечением

с учётом условия несжимаемости воздуха при действующих скоростях потока [12, 13]. Учитывая, что форма носовой полости не круглая, целесообразно для проведения теоретических расчётов перейти к эквивалентным (гидравлическим) диаметрам носовых каналов, которые для каждого из них будут определяться отношением учетверённой площади к периметру соответствующих живых сечений.

Однако влияние воздушного потока на стенки носовой полости недостаточно изучено. Этот эффект способен стать теоретической основой при изучении патогенеза многих хронических заболеваний носа и придаточных пазух. Поэтому **целью** данного исследования явилось изучение характеристик пристеночного пограничного слоя в зависимости от конфигурации носовой полости и режимов дыхания.

Материал и методы

В работе использованы методы расчёта аэродинамических характеристик воздушного потока согласно [13–17] на основе данных спиральной компьютерной томографии верхних дыхательных путей и результатов задней активной риноманометрии при различных режимах дыхания. В настоящее время актуальной задачей является изучение влияния воздушного потока на слизистую оболочку носовой полости. При этом в основу была поставлена гипотеза о том, что воздушный поток в турбулентном режиме делится на турбулентное ядро и тонкий ламинарный пограничный пристеночный слой (рис. 1, *а, б*). Повышенная турбулизация воздушного потока будет способствовать высушиванию отдельных областей слизистой оболочки носовой полости и, как следствие, травматизации слизистой с последующей морфологической перестройкой её отдельных областей.

Оценить ширину δ ламинарного пограничного слоя в зависимости от гидравлического диаметра d_h , характеризующего конфигурацию носовой полости, и числа Рейнольдса, увеличение которого говорит о повышении турбулентности потока, можно по формуле авторов [18]

$$\delta = 32,4 \cdot d_h / Re^{0,875}.$$

Эта формула, согласно представлениям полуэмпирической теории турбулентности, позволяет связать основные характеристики воздушного потока и геометрические и физиологические характеристики носовой полости.

Результаты и их обсуждение. График зависимости толщины пограничного слоя от

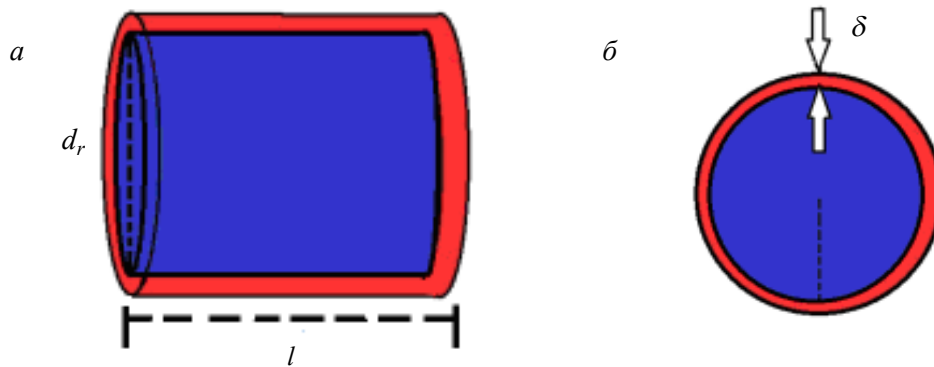


Рис. 1. Пограничный слой в идеализированном канале круглой формы:
a – вдоль длины канала, *б* – в поперечном сечении

числа Рейнольдса при характерных для носовой полости гидравлических диаметрах (4, 5 и 6 мм) приведён на рис. 2, из которого видно, что с увеличением турбулизации потока толщина пограничного слоя δ существенно уменьшается и при числах Рейнольдса более 10 000 фактически не зависит от гидравлического диаметра, характеризующего конфигурацию носовой полости. Толщина пограничного слоя существенно возрастает при спокойном дыхании (при числах Рейнольдса менее 2000), а при форсированном дыхании (при больших числах Рейнольдса) резко уменьшается, что необходимо учитывать при планировании ринохирургических оперативных вмешательств.

лическими диаметрами 9,5 и 4,8 мм. Рассматривая приведённые на рис. 3, *a* зависимости для характерных аксиальных СКТ-срезов в норме (рис. 3, *б*) и при гипертрофическом рините (рис. 3, *в*), который характеризуется существенным сужением носовых проходов и уменьшением их эквивалентного диаметра, можно сделать вывод, что толщина пограничного слоя сильно зависит от режима дыхания (пропускаемого расхода), причём при форсированном дыхании (расходах воздуха, близких к 1 л/с) разница в толщинах пограничного слоя между условной нормой и при сужении носовой полости существенно уменьшается. При спокойном дыхании (при расходах воздуха около 0,2 л/с) толщина по-

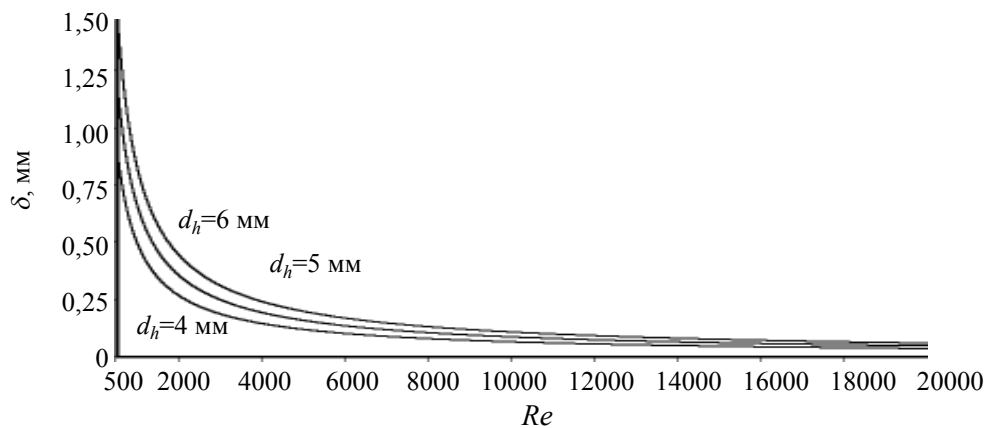


Рис. 2. Зависимость толщины пограничного слоя от числа Рейнольдса при характерных для носовой полости гидравлических диаметрах (4, 5 и 6 мм)

Зависимость толщины пограничного слоя в носовой полости от расхода воздуха приведена на рис. 3, *a*. Характерные аксиальные СКТ-срезы приведены на рис. 3, *б* и 3, *в*, причём первому соответствует состояние условной нормы, второму – хронический гипертрофический ринит с соответствующими гидрав-

граничного слоя будет существенно зависеть от эквивалентного диаметра носового канала.

Характерные зависимости толщины пограничного слоя от эквивалентного диаметра носовой полости приведены на рис. 4, *a*. При этом очевидно, что с ростом эквивалентного диаметра носовых проходов толщина погра-

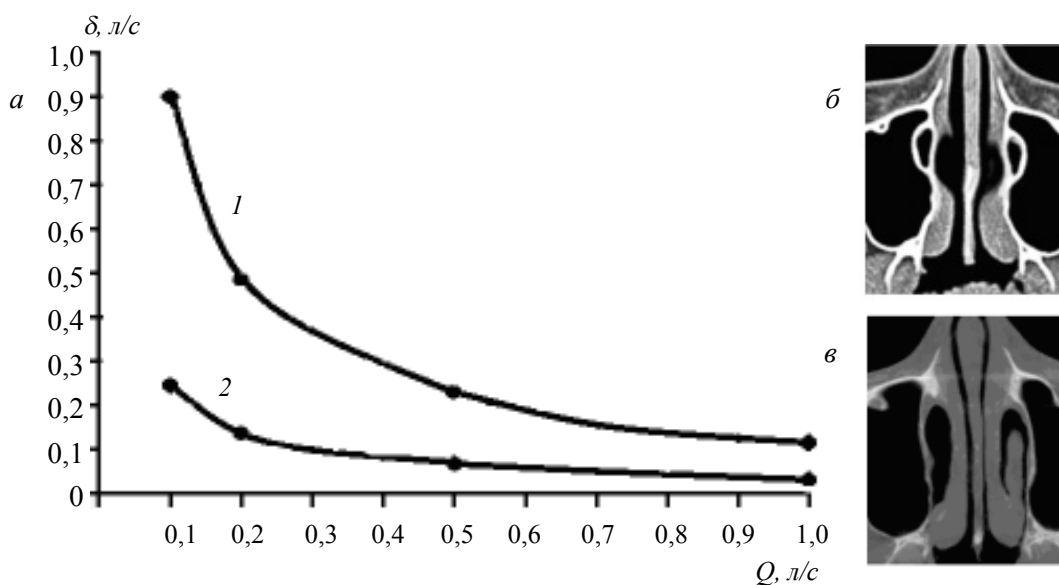


Рис. 3. Зависимость толщины пограничного слоя в носовой полости от расхода воздуха (а) при эквивалентных диаметрах 9,5 мм (1) и 4,8 мм (2) соответственно. Характерные аксиальные СКТ-срезы в норме (б) и при гипертрофическом рините (в)

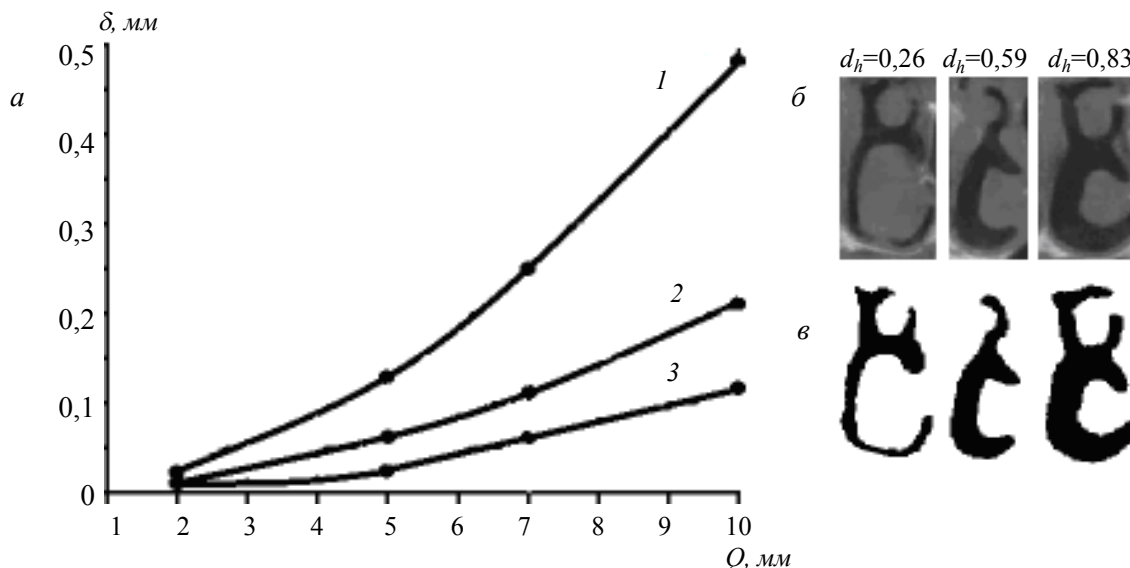


Рис. 4. Зависимость толщины пограничного слоя в носовой полости от эквивалентного диаметра сечений (а) при расходах воздуха 0,2 (1), 0,5 (2) и 1,0 (3) л/с; фронтальные сечения носовой полости (б) по СКТ-данным при гипертрофическом рините, вазомоторном рините и в норме, ниже показаны соответствующие сегментированные изображения живых сечений (в)

ничного слоя существенно увеличивается, что особенно заметно при форсированных режимах дыхания. Характерные фронтальные сечения носовой полости по СКТ-данным при гипертрофическом рините, вазомоторном рините и в норме с соответствующими сегментированными изображениями живых сечений приведены на рис. 4, б. При спокойном дыхании (см. рис. 2) с ростом гидравлического диаметра резко возрастает толщина пограничного слоя. Поэтому негативное влияние

воздушного потока будет проявляться прежде всего при повышенных расходах и сужениях носовой полости и зависеть от неоднородности слизистой оболочки носовой полости, которая при форсированном дыхании с большей вероятностью будет выходить за пределы ламинарного пограничного слоя.

Эти результаты требуют дальнейших клинических исследований, в первую очередь морфомикроскопических [19], связанных с всесторонним изучением неоднородности

слизистой оболочки носовой полости при различных патологических состояниях с учётом индивидуальной variability.

Выводы

При диагностике и планировании лечения хронических функциональных заболеваний носовой полости необходимо исследовать, помимо архитектоники носовой полости и макрохарактеристик воздушного потока в ней, микрохарактеристики воздушного потока. Пристеночное течение воздуха непосредственно влияет на слизистую оболочку носовой полости. Уменьшение толщины ламинарного пограничного слоя ведёт к высушиванию слизистой оболочки носовой полости и атрофии чувствительного эпителия в пределах обонятельной области, а в итоге к прогрессированию хронических респираторно-обонятельных патологий. Толщина пограничного слоя существенно зависит от конфигурации носовой полости – эквивалентного диаметра и режима дыхания. С увеличением интенсивности дыхания (пропускаемого расхода воздуха) толщина ламинарного пограничного слоя уменьшается. При этом существенная разница в толщинах пограничного слоя на-

блюдается в области слабых и средних расходов при спокойном и умеренном дыхании, а при форсированном дыхании эти различия хотя и сохраняются, но уже не столь заметны, асимптотически стремясь к нулю, особенно при суженных носовых ходах, характерных для гипертрофического ринита. Больным такой патологией следует рекомендовать умеренные физические нагрузки, не приводящие к форсированному режиму дыхания. Оценить негативное влияние воздушного потока на слизистую оболочку носовой полости можно путём определения аэродинамических характеристик верхних дыхательных путей при различных режимах дыхания и проведением сравнительного анализа толщины пограничного слоя с неоднородностями стенок носовой полости.

В перспективе ожидается независимая цитологическая верификация влияния воздушного потока на слизистую оболочку носовой полости и разработка соответствующих методов планирования ринохирургических вмешательств при лечении патологических состояний, связанных с нарушениями обоняния респираторного генеза.

Литература

1. Пухлик С.М. Затрудненное носовое дыхание / С.М. Пухлик // Ринология. – 2010. – № 2. – С. 63–75.
2. Морохоев В.И. Оптимизация методов диагностики и хирургической коррекции искривления перегородки носа / В.И. Морохоев // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАМН. – 2010. – № 6. – С. 73–78.
3. Ходзицкая В.К. Назальная обструкция: некоторые аспекты морфологии, этиопатогенеза, клиники и лечения / В.К. Ходзицкая, С.В. Ходзицкая // Український медичний часопис. – 2012. – № 1 (87) I–II. – С. 111–113.
4. Синдром назальной обструкции: алгоритм диагностики и терапии у детей и взрослых / А.И. Крюков, Н.Л. Кунельская, А.Ю. Ивойлов, И.И. Архангельская // Медицинский совет. – 2016. – № 6. – С. 8–10.
5. Пискунов Г.З. Можно ли считать эндомикроскопические методы риносинусологии доказательными методами хирургического лечения? / Г.З. Пискунов // Российская оториноларингология. – 2004. – № 3. – С. 81–85.
6. Huttenbrink K.-B. AWMF. Riechstörungen – Leitlinie zur Epidemiologie, Pathophysiologie, Klassifikation, Diagnose und Therapie [Electronic resource] // AWMF ONLINE – 2007. Access: <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/017-050.html>
7. Non-sinonasal-related olfactory dysfunction: A cohort of 496 patients / S. Fonteyn, C. Huart, N. Degouj et al. // Eur. Ann. Otorhinolaryngol. Head. Neck Dis. – 2014. – Vol. 131 (2). – P. 87–91.
8. Вознесенская А.Е. Расстройство обоняния человека как маркер нейродегенеративных заболеваний / А.Е. Вознесенская, М.А. Ключникова, Е.И. Родионова // Сенсорные системы. – 2011. – Т. 25, № 1. – С. 17–31.
9. Обонятельные расстройства у пациентов с нейродегенеративными заболеваниями / С.В. Морозова, Д.М. Саватеева, Е.И. Петрова // Неврологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 4–8.
10. Smell Loss Predicts Mortality Risk Regardless of Dementia Conversion / I. Ekstrom, S. Sjulund, S. Nordin et al. // J. Am. Geriatr. Soc. – 2017. – Vol. 65 (6). – P. 1238–1243. – DOI: 10.1111/jgs.14770.

11. Olfactory dysfunction predicts 5-year mortality in older adults / J.M. Pinto, K.E. Wroblewski, D.W. Kern et al // PLoS ONE. – 2014. – Okt. 1. – Vol. 9 (10). – DOI: org/10.1371/journal.pone.0107541.
12. The role of paranasal sinuses in the aerodynamics of the nasal cavities / H.F. Ismail, E. Osman, A.K. AL-Omari, O.G. Avrunin // International Journal of Life Science and Medical Research. – 2012. – Vol. 2, 3. – P. 52–55. – DOI: 10.5963/LSMR0203004.
13. Аврунин О.Г. Методы и средства функциональной диагностики внешнего дыхания / О.Г. Аврунин, Р.С. Томашевский, Х.И. Фарук. – Харьков: ХНАДУ, 2015. – 208 с.
14. Nosova Ya. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics / Ya. Nosova, O.G. Avrunin, V.V. Semenets // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – № 1 (1). – P. 64–68. – DOI: 10.30837/2522-9818.2017.1.064.
15. Інтелектуальні технології моделювання хірургічних втручань / О.Г. Аврунін, С.Б. Безшапочний, Є.В. Бодяньський та ін. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 224 с.
16. Безшапочний С.Б. Досвід застосування методу комп'ютерного планування хірургічного втручання у пацієнтів з хронічним фронтитом / С.Б. Безшапочний, А.В. Лобурець, О.Г. Аврунін // Світ медицини та біології. – 2017. – № 3. – С. 27–32.
17. The surgical navigation system with optical position determination technology and sources of errors // O.G. Avrunin, M. Alkhorayef, H.F.I. Saied, M.Y. Tymkovych // Journal of Medical Imaging and Health Informatics. – 2015. – Vol. 5. – P. 689–696.
18. Носова Я.В. Определение микрохарактеристик воздушного потока в носовой полости при дыхании / Я.В. Носова, О.Г. Аврунин, Х.И. Фарук // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 16 (1292). – С. 122–127. – DOI: 10.20998/2413-4295.2018.16.19.
19. Аврунин О.Г. Опыт разработки биомедицинской системы цифровой микроскопии / О.Г. Аврунин // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т. 8. – № 1. – С. 46–52.

References

1. Pukhlik S.M. (2010). Zatrudnennoie nosovoie dykhaniiie [Obstructed nasal breathing]. *Rinolohiia – Rhinology*, № 2, pp. 63–75 [in Russian].
2. Morokhoiev V.I (2010). Optimizatsiia metodov diahnostiki i khirurgicheskoi korreksii iskrivleniia perehorodki nosa [Optimization of diagnostic methods and surgical correction of nasal septum deviation]. *Biulleten Vostochno-Sibirskoho nauchnogo tsentra Sibirskoho otdeleniia RAMN – Bulletin of the East-Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*, № 6, pp. 73–78 [in Russian].
3. Khodzitskaia V.K., Khodzitskaia S.V. (2012). Nazalnaia obstruktsiia: nekotoryie aspekty morfolohii, etiopatoheneza, kliniki i lecheniia [Nasal obstruction: some aspects of morphology, etiopathogenesis, clinic and treatment]. *Ukrayinskyi medychnyi chasopys – Ukrainian medical journal*, № 1 (87) I–II, pp. 111–113 [in Russian].
4. Kriukov A.I., Kunelskaia N.L., Ivoilov V., Arkhanshelskaia I.I. (2016). Sindrom nazalnoi obstruktsii: alhoritm diahnostiki i terapii u detei i vzroslykh [Nasal obstruction syndrome: an algorithm for diagnosis and therapy in children and adults]. *Meditinskii sovet – Medical Council*, № 6, pp. 8–10 [in Russian].
5. Piskunov G.Z. (2004). Mozhno li schitat' endomikroskopicheskiie metody rinosinulohii dokazatelnyimi metodami khirurgicheskoho lecheniia? [Can endomicroscopic methods of rhinosinusology be considered as evidence-based methods of surgical treatment?]. *Rossiiskaia otorinolarinholohiia – Russian Otorhinolaryngology*, № 3, pp. 81–85 [in Russian].
6. Huttenbrink K.-B. (2007). AWMF. Riechstoerungen – Leitlinie zur Epidemiologie, Pathophysiologie, Klassifikation, Diagnose und Therapie [Electronic resource]. Access: <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/017-050.html>
7. Fonteyn S., Huart C., Deggouj N., Collet S., Eloy P., Rombaux P. (2014). Non-sinonasal-related olfactory dysfunction: A cohort of 496 patients. *Eur. Ann. Otorhinolaryngol. Head. Neck Dis.*, vol. 131 (2), pp. 87–91.
8. Voznesenskaia A.Ye., Kliuchnikova M.A., Rodionova Ye.I. (2011). Rasstroistvo obonianiia cheloveka kak marker neirodegenerativnykh zabolevaniy [Disorder of the human sense of smell as a marker of neurodegenerative diseases]. *Sensornyye sistemy – Sensory Systems*, vol. 25, № 1, pp. 17–31 [in Russian].

9. Morozova S.V., Savateieva D.M., Petrova Ye.I. (2014). Oboniatelnyie rasstroistva u patsientov s neurodegenerativnymi zabolevaniiami [Neurological Journal]. *Nevrolohicheskii zhurnal – Neurological Journal*, № 1, pp. 4–8 [in Russian].
10. Ekstrom I., Sjulund S., Nordin S., Nordin Adolfsson A., Adolfsson R., Nilsson L.G. et al. (2017). Smell Loss Predicts Mortality Risk Regardless of Dementia Conversion. *J. Am. Geriatr. Soc.*, vol. 65 (6), pp. 1238–1243. DOI: 10.1111/jgs.14770.
11. Pinto J.M., Wroblewski K.E., Kern D.W., Schumm L.P., McClintock M.K. (2014). Olfactory dysfunction predicts 5-year mortality in older adults. *PLoS ONE*, Okt. 1, vol. 9 (10). DOI: org/10.1371/journal.pone.0107541.
12. Ismail H.F., Osman E., AL-Omari A.K., Avrunin O.G. (2012). The role of paranasal sinuses in the aerodynamics of the nasal cavities. *International Journal of Life Science and Medical Research*, vol. 2, 3, pp. 52–55. DOI: 10.5963/LSMR0203004.
13. Avrunin O.G., Tomashevskii R.S., Faruk Kh.I. (2015). Metody i sredstva funktsionalnoi diahnostiki vneshnego dykhaniia [Methods and means of functional diagnostics of external respiration]. Kharkov: KhNADU, 208 p. [in Russian].
14. Nosova Ya., Avrunin O.G., Semenets V.V. (2017). Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, № 1 (1), pp. 64–68. DOI: 10.30837/2522-9818.2017.1.064
15. Avrunin O.H., Bezshapochnyi S.B., Bodianskyi Ye.V., Semenets V.V., Filatov V.O. (2018). Intelktualni tekhnolohii modeliuvannia khirurhichnykh vtruchan [Intelligent technologies of modeling of surgical interventions]. Kharkiv: KhNURE, 224 p. [in Ukrainian].
16. Bezshapochnyi S.B., Loburets A.V., Avrunin O.H. (2017). Dosvid zastosuvannia metodu kompiuternoho planuvannia khirurhichnogo vtruchannia u patsientiv z khronichnym frontytom [Experience of using the method of computer planning of surgical intervention in patients with chronic frontal]. *Svit medytsyny ta biologii – World of Medicine and Biology*, № 3, pp. 27–32 [in Ukrainian].
17. Avrunin O.G., Alkhoraief M., Saied H.F.I., Tymkovych M.Y. (2015). The surgical navigation system with optical position determination technology and sources of errors. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, vol. 5, pp. 689–696.
18. Nosova Ya.V., Avrunin O.G., Faruk Kh.I. (2018). Opredeleniie mikrokharakteristik vozdushnogo potoka v nosovoi polosti pri dykhanii [Definition of microcharacteristics of the air flow in the nasal cavity during breathing]. *Vestnik NTU «KHPi». Seriya: Novyye resheniia v sovremennykh tekhnolohiiakh – Bulletin of NTU «KPI». Series: New solutions in modern technologie*. Kharkov: NTU «KHPi», № 16 (1292), pp. 122–127. DOI: 10.20998/2413-4295.2018.16.19.
19. Avrunin O.H. (2009). Opyt razrabotki biomeditsynskoi sistemy tsifrovoi mikroskopii [Experience in the development of a biomedical digital microscopy system]. *Prikladnaia radioelektronika – Applied Radio Electronics*, vol. 8, № 1, pp. 46–52 [in Russian].

Н.О. Шушляпіна

ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК НОСОВОГО ДИХАННЯ НА МІКРОРІВНІ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ РЕСПІРАТОРНО-НЮХОВИХ ПОРУШЕНЬ

Запропоновано метод оцінки впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини. Даний метод засновано на розділі турбулентного повітряного потоку на вихрьове ядро та ламінарний пристігковий пограничний шар. Проведені дослідження показали, що зі збільшенням інтенсивності дихання (діючої витрати повітря) товщина ламінарного пограничного шару зменшується. При цьому істотна різниця в товщині пограничного шару спостерігається в ділянках малих і середніх витрат повітря, що відповідають спокійному та помірному диханню. При форсованому диханні товщина пограничного шару різко зменшується, особливо при звужених носових ходах, що характерно для гіпертрофічного риніту. Отримані результати потребують подальшого вивчення, проведення незалежної цитологічної верифікації та клінічної оцінки.

Ключові слова: ламінарний пограничний шар, носове дихання, ольфактометрія, респіраторно-нюхові порушення.

N.O. Shushliapina

EVALUATION OF NASAL BREATHING CHARACTERISTICS ON THE MICROLEVEL FOR DIAGNOSIS OF RESPIRATORY AND OLFACTORY DISORDERS

The method for analysis of the effect of airflow on the nasal mucosa is proposed in the paper. This method is based on the separation of turbulent air flow into a turbulent core and laminar boundary layer.

The studies have shown that with increasing respiration rate (volume air flow) the thickness of the laminar boundary layer decreases. At the same time, a significant difference in the thicknesses of the boundary layer is observed in the area of low and average flow rates with quiet and moderate nasal breathing. The thickness of the boundary layer decreases sharply during forced respiration, especially with constriction of nasal cavity, which is typical for hypertrophic rhinitis. These experimental results require further study, cytological verification, clinical evaluation and validation.

Key words: *laminar boundary layer, nasal breathing, olfactometry, respiratory olfactory disorders.*

Надійшла до редакції 21.11.18

Контактна інформація

Шушляпіна Наталя Олегівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри оториноларингології Харківського національного медичного університету.

Адреса: Україна, 61022, м. Харків, просп. Науки, 4.

Тел.: +380675886849.

E-mail: schusha75@ukr.net

ORCID: 0000-0002-6347-3150.