

DOI: 10.26693/jmbs04.05.160

УДК 616.211-089.168.1

Науменко А. Н. Криничко Л. Р. Резмак К. Ф. Мохаммед

ВОЗДУХООБМЕН В ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНОЙ ПАЗУХЕ В ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ У ПАЦИЕНТОВ С КИСТОЙ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНОЙ ПАЗУХИ ПОСЛЕ ГАЙМОРОТОМИИ ЧЕРЕЗ НИЖНИЙ НОСОВОЙ ХОД

Национальный медицинский университет имени А. А. Богомольца,
Киев, Украина

avm@bigmir.net

Поиск новых способов хирургического доступа к верхнечелюстной пазухе и усовершенствование уже существующих, является важным вопросом современной ринохирургии. В современной литературе существует множество компьютерных моделей, которые описывают течение потока воздуха при различных анатомических вариантах и патологии полости носа и околоносовых пазух, однако данные, которые касаются расчета числа Рейнольдса и скорости потока в сечении соустья верхнечелюстной пазухи при кисте верхнечелюстной пазухи, являются разрозненными и противоречивыми.

Цель исследования – рассчитать скорость воздушного потока в различных участках полости носа, число Рейнольдса, а также кратность обмена воздуха в верхнечелюстной пазухе у пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи в послеоперационном периоде после эндоназальной гайморотомии через нижний носовой ход.

Материал и методы. Под наблюдением находились 43 пациента с кистой верхнечелюстной пазухи, которым было проведено удаление кисты верхнечелюстной пазухи через нижний носовой ход. Всем пациентам было проведена компьютерная томография околоносовых пазух. Производилось вычисление скорости потока воздуха, число Рейнольдса в следующих сечениях полости носа – вход в нос, клапан носа, передний конец средней носовой раковины, соустье, хоана. Всем пациентам проводилось исследование функции внешнего дыхания с использованием масочного спирометра.

Результаты. Наибольшая скорость потока воздуха, как на выдохе, так и на вдохе наблюдалась в сечении клапана носа, а наименьшая в сечении хоан. Во всех исследуемых сечениях полости носа у пациентов в послеоперационном периоде, число Рейнольдса не превышало 2000 как на вдохе, так и на выдохе. В послеоперационном периоде, обмен 90 процентов воздуха в верхнечелю-

стной пазухе происходит в среднем за 214 дыхательных циклов.

Заключение. Скорость потока воздуха, проходящего через полость носа на вдохе и выдохе, в послеоперационном периоде у пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи, перенесших эндоназальную гайморотомию через нижний носовой ход, не отличается от пациентов без патологии.

При проведении оперативного вмешательства при удалении кисты верхнечелюстной пазухи через нижний носовой ход, кратность воздухообмена в пазухе не отличается от кратности воздухообмена у пациентов без патологии.

Ключевые слова: киста верхнечелюстной пазухи, эндоназальная гайморотомия, аэродинамика полости носа.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Данная работа является частью научно-исследовательской работы кафедры оториноларингологии НМУ имени А. А. Богомольца «Оптимізація хірургічних та консервативних підходів до лікування патології ЛОР-органів», № гос. регистрации 0117U002677.

Введение. На сегодняшний день, поиск новых способов хирургического доступа к верхнечелюстной пазухе и усовершенствование уже существующих, является важным вопросом современной ринохирургии, особенно, учитывая все более возрастающие требования к сохранению интактными неповрежденных патологическим процессом анатомических структур полости носа [1, 3]. В современной литературе существует множество описаний компьютерных моделей, которые описывают течение потока воздуха при различных анатомических вариантах и патологии полости носа и околоносовых пазух [2, 5, 7], однако данные, которые касаются расчета числа Рейнольдса и скорости потока в сечении соустья верхнечелюстной пазухи при кисте верхнечелюстной пазухи, а также в послеоперационном периоде

после операции гайморотомии через нижний носовой ход, являются разрозненными и противоречивыми [1, 6, 8]. Подробно описаны варианты аэродинамики полости носа при хроническом полипозном риносинусите [4], однако данные относительно аэродинамики при одонтогенной патологии верхнечелюстной пазухи являются недостаточными для того, чтобы утверждать, что данная проблема близка к разрешению.

Целью данного исследования было рассчитать скорость воздушного потока в различных участках полости носа, число Рейнольдса, а также кратность обмена воздуха в верхнечелюстной пазухе у пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи в послеоперационном периоде после эндоназальной гайморотомии через нижний носовой ход

Материал и методы исследования. Под наблюдением находились 43 пациента с кистой верхнечелюстной пазухи, обследование и лечение которых проводилось на базе ЛОР отделения Александровской клинической больницы г. Киева, которая является клинической базой Национального медицинского университета имени А. А. Богомольца.

Исследование проведено в соответствии с основными биоэтическими нормами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения научно-медицинских исследований с поправками (2000, с поправками 2008), Универсальной декларации по биоэтике и правам человека (1997), Конвенции Совета Европы по правам человека и биомедицине (1997). Письменное информированное согласие было получено у каждого участника исследования, и приняты все меры для обеспечения анонимности пациентов.

Всем пациентам было проведено удаление кисты верхнечелюстной пазухи через нижний носовой ход, при этом слизистая оболочка не повреждалась (Патент на изобретение «Спосіб ендоскопічної ендоназальної гайморотомії» № 112930, от 10.11.2016.) Данная работа проводилась в тесном сотрудничестве со стоматологами, и в подавляющем большинстве случаев киста верхнечелюстной пазухи была следствием перенесенного воспалительного процесса в верхней челюсти одонтогенного генеза. На момент проведения исследования полость рта была санирована. Из исследования исключались пациенты с полипозным риносинуситом, а также с риногенной патологией полости носа и околоносовых пазух, которым необходима была хирургическая коррекция данной патологии.

Всем пациентам была проведена компьютерная томография околоносовых пазух. В исследовании использовался томограф Planmеса, производ-

ства Финляндии, с дальнейшей обработкой информации с использованием программного обеспечения Romexis Viewer. При помощи данного программного обеспечения проводилось измерение размеров анатомических структур полости носа и околоносовых пазух. Для вычисления скорости потока воздуха и через сечение полости носа и числа Рейнольдса, использовалось лицензионное программное обеспечение MATLAB (The Mathworks, Natlick, MA, USA), структурные модели формировались с помощью программы MeshLab. Для анализа были приняты следующие сечения полости носа – вход в нос, клапан носовой раковины (СНР), соустье, хоана. Также проводилось вычисление числа Рейнольдса для каждого сечения. Всем пациентам проводилось исследование функции внешнего дыхания с использованием масочного спирометра. Исследование проводилось в течение 15 минут, причем начало фиксации результатов было не с самого начала исследования, а спустя 5 минут от начала дыхания через спирометр, и длилось 10 минут, что позволило максимально точно измерить следующие параметры – минутный объем дыхания, длительность вдоха, длительность выдоха.

Также всем пациентам в процессе предоперационной подготовки было проведено общеклиническое обследование. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения SPSS 13.

В исследовании не проводились оперативные вмешательства через переднюю стенку верхнечелюстной пазухи по следующим причинам – эндоназальные доступы являются состоятельными для достаточной визуализации верхнечелюстной пазухи и осуществления полноценного удаления оболочки кисты, в свою очередь, стоматологи и челюстно-лицевые хирурги настаивают на сохранении передней стенки верхнечелюстной пазухи, так-как интактная передняя стенка верхнечелюстной пазухи является более благоприятной при последующем проведении синусифта и имплантации зубов.

Результаты исследований и их обсуждение.

Результаты измерения скорости движения воздуха и числа Рейнольдса.

Исследование скорости потока воздуха, который проходит через полость носа имеет значение для оценки вероятности вихреобразования. Наибольшее значение имеет максимальная скорость, так-как вихреобразование прямо пропорционально скорости потока и обратно пропорционально длине периметра сечения, причем, площадь сечения имеет несоизмеримо меньшее влияние на данный процесс, чем длина периметра. То есть, чем больше периметр сечения и чем меньше скорость, тем

ниже вероятность образования турбулентных вихрей в потоке воздуха. Особое значение имеет турбулентность возле естественного соустья пазухи, так-как турбулентный поток приведет к более интенсивному воздухообмену в пазухе по сравнению с ламинарным потоком, причем при ламинарном потоке основными движущими силами воздухообмена являются движение воздуха в результате конвекции, движение воздуха в результате прямой диффузии из-за разности концентрации кислорода и азота во вдыхаемом воздухе и в пазухе, и влияния силы, возникающей в результате феномена Бернулли.

Результаты измерения скорости движения воздуха и числа Рейнольдса.

Исследование скорости потока воздуха, который проходит через полость носа имеет значение для оценки вероятности вихреобразования. Наибольшее значение имеет максимальная скорость, так-как вихреобразование прямо пропорционально скорости потока и обратно пропорционально длине периметра сечения, причем, площадь сечения имеет несоизмеримо меньшее влияние на данный процесс, чем длина периметра. То есть, чем больше периметр сечения и чем меньше скорость, тем ниже вероятность образования турбулентных вихрей в потоке воздуха. Особое значение имеет турбулентность возле естественного соустья пазухи, так-как турбулентный поток приведет к более интенсивному воздухообмену в пазухе по сравнению с ламинарным потоком, причем при ламинарном потоке основными движущими силами воздухообмена являются движение воздуха в результате конвекции, движение воздуха в результате прямой диффузии из-за разности концентрации кислорода и азота во вдыхаемом воздухе и в пазухе, и влияния силы, возникающей в результате феномена Бернулли.

Данные про скорость потока воздуха через сечения полости носа в послеоперационном периоде приведены в **таблице 1**. Наибольшая скорость потока воздуха, как на выдохе, так и на вдохе наблюдалась в сечении клапана носа, а наименьшая в сечении хоан. Что касается результатов измерения скорости потока на выдохе, то наблюдается статистически достоверное ($p < 0,05$) снижение скорости

Таблица 1 – Скорость потока воздуха проходящего через сечения полости носа в послеоперационном периоде

Сечение	Вдох, м/с	Выдох м/с
Вход в нос	4,2	3,7
Клапан носа	4,7	4,2
Передний конец СНР	3,1	2,6
Соустье	3,6	3,2
Хоана	1,7	1,7

потока при прохождении через все исследуемые сечения полости носа, что может свидетельствовать об асимметрии потоков воздуха в разных половинах полости носа на вдохе и на выдохе.

Расчет числа Рейнольдса проводился для максимальной скорости потока воздуха через определенное сечение, как на вдохе, так и на выдохе. При расчете принимались во внимание, такие показатели, как периметр сечения, площадь сечения, скорость потока, вязкость среды принималась из табличного значения для температуры 37 градусов. При этом принималось, что число Рейнольдса является безразмерной величиной.

Данные про расчет числа Рейнольдса в послеоперационном периоде приведены в **таблице 2**.

Таблица 2 – Расчет числа Рейнольдса при прохождении потока воздуха через сечения у пациентов в послеоперационном периоде

Сечение	Вдох, безразмерная величина	Выдох, безразмерная величина
Вход в нос	1360	1310
Клапан носа	1310	1330
Передний конец СНР	1480	1340
Соустье	1370	1350
Хоана	1630	1570

Во всех исследуемых сечениях число Рейнольдса не превышало 2000 как на вдохе, так и на выдохе. По данным литературы, увеличение числа Рейнольдса свыше 2000 свидетельствует о том, что струя потока, проходящая через данное сечение, приобретает турбулентный характер, что в свою очередь, приводит к увеличению вентиляции верхнечелюстной пазухи. В исследовании число Рейнольдса не превышало 2000, следовательно, у пациентов в послеоперационном периоде вероятность развития турбулентного потока при дыхании в состоянии покоя была минимальной.

Количество дыхательных циклов, за которое обновляется 90% воздуха в верхнечелюстной пазухе, показано на **рисунке 1**. Обмен 90 процентов



Рис. 1. Количество дыхательных циклов за которое обновляется 90% воздуха в верхнечелюстной пазухе

воздуха в верхнечелюстной пазухе происходит в среднем за 214 дыхательных циклов, что соответствует данным литературы, согласно которым, в норме объем 90 процентов воздуха пазухи обменивается за 250 – 320 дыхательных циклов.

Обсуждение полученных результатов. Проведенные исследования показали, что при вмешательстве на верхнечелюстной пазухе через нижний носовой ход скорость потока воздуха через исследуемые участки носовой полости статистически не отличаются от аналогичных показателей у здоровых лиц [1, 3]. Объем вентиляции пазухи в послеоперационном периоде на вдохе и выдохе также не отличается от объема вентиляции у здоровых лиц [5]. Число Рейнольдса во всех исследуемых сечениях у пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи не превышало 2000, что может свидетельствовать об отсутствии мелкого вихреобразования при прохождении воздушного потока [7, 8].

Выводы

1. Скорость потока воздуха, который проходит через полость носа на вдохе и выдохе, в после-

операционном периоде у пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи, перенесших эндоназальную гайморотомию через нижний носовой ход, является наибольшей в сечении клапана носа и входа в нос.

2. Во всех исследуемых сечениях полости носа у пациентов в послеоперационном периоде, число Рейнольдса не превышало 2000 как на вдохе, так и на выдохе.
3. При проведении оперативного вмешательства при удалении кисты верхнечелюстной пазухи через нижний носовой ход, в послеоперационном периоде, обмен 90 процентов воздуха в верхнечелюстной пазухе происходит в среднем за 214 дыхательных циклов.

Перспективы дальнейших исследований. В дальнейшем планируется продолжить изучение аэродинамики полости носа в сечении естественного соустья верхнечелюстной пазухи у пациентов с различной патологией полости носа, для оптимизации профилактики и лечения заболеваний околоносовых пазух.

References

1. Sommer F, Grossi AS, Scheithauer MO, Hoffmann TK, Stupp F, Briner HR, et al. Negative effects of stripe conchotomy on intranasal conditioning. *HNO*. 2019 May; 67(5): 373-8. PMID: 30767056. DOI:10.1007/s00106-019-0619-5
2. Urner LM, Kohler M, Bloch KE. Automatic Processing of Nasal Pressure Recordings to Derive Continuous Side-Selective Nasal Airflow and Conductance. *Front Physiol*. 2019 Jan 7; 9: 1814. PMID: 30666209. PMCID: PMC6330336. DOI: 10.3389/fphys.2018.01814
3. Chung SK, Kim DW, Na Y. Numerical study on the effect of uncinectomy on airflow modification and ventilation characteristics of the maxillary sinus. *Respir Physiol Neurobiol*. 2016 Jul; 228: 47-60. PMID: 26996072. DOI: 10.1016/j.resp.2016.03.011
4. Kumar H, Jain R, Douglas RG, Tawhai MH. Airflow in the Human Nasal Passage and Sinuses of Chronic Rhinosinusitis Subjects. *PLoS ONE*. 2016; 11(6): e0156379. PMID: 27249219. PMCID: PMC4889048. DOI: 10.1371/journal.pone.0156379
5. Na Y, Kim K, Kim SK, Chung SK. The quantitative effect of an accessory ostium on ventilation of the maxillary sinus. *Respir Physiol Neurobiol*. 2012 Apr 15; 181(1): 62-73. PMID: 22326723. DOI: 10.1016/j.resp.2012.01.013
6. Hood CM, Schroter RC, Doorly DJ, Blenke EJ, Tolley NS. Computational modeling of flow and gas exchange in models of the human maxillary sinus. *J Appl Physiol*. 2009; 107(4): 1195–203. PMID: 19608923. DOI: 10.1152/jappphysiol.91615.2008
7. Doorly DJ, Taylor DJ, Schroter RC. Mechanics of airflow in the human nasal airways. *Respir Physiol Neurobiol*. 2008; 163(1–3): 100–10. PMID: 18786659. DOI: 10.1016/j.resp.2008.07.027
8. Xiong GX, Zhan JM, Jiang HY, Li JF, Rong LW, Xu G. Computational fluid dynamics simulation of air-flow in the normal nasal cavity and paranasal sinuses. *American Journal of Rhinology*. 2008; 22(5): 477–82. PMID: 18954506. DOI: 10.2500/ajr.2008.22.3211

УДК 616.211-089.168.1

ОБМІН ПОВІТРЯ В ВЕРХНЬОЩЕЛЕПНІЙ ПАЗУСІ В ПІСЛЯОПЕРАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ У ПАЦІЄНТІВ З КІСТОЮ ВЕРХНЬОЩЕЛЕПНОЇ ПАЗУХИ ПІСЛЯ ГАЙМОРОТОМІЇ ЧЕРЕЗ НИЖНІЙ НОСОВИЙ ХІД

Науменко О. М., Криничко Л. Р., Резмак К.Ф. Мохаммед

Резюме. Пошук нових способів хірургічного доступу до верхньощелепної пазухи та удосконалення вже існуючих є важливим питанням сучасної ринохірургії. У сучасній літературі існує багато комп'ютерних моделей, які описують потік повітря при різних анатомічних варіантах та патології порожнини носа і навіколоносових пазух, проте дані, які стосуються розрахунку числа Рейнольдса і швидкості потоку в перетині співустья верхньощелепної пазухи при кісті верхньощелепної пазухи, є розрізненими і суперечливими.

Мета дослідження. Розрахувати швидкість повітряного потоку в різних ділянках порожнини носа, число Рейнольдса, а також кратність обміну повітря в верхньощелепної пазусі у пацієнтів з кістою верхньощелепної пазухи в післяопераційному періоді після ендоназальної гайморотомії через нижній носовий хід.

Матеріал і методи. Під спостереженням знаходилися 43 пацієнта з кістою верхньощелепної пазухи, яким було проведено видалення кісти верхньощелепної пазухи через нижній носовий хід. Всім пацієнтам було проведено комп'ютерну томографію навколоносових пазух. Проводилося обчислення швидкості потоку повітря, число Рейнольдса в наступних перетинах порожнини носа – вхід в ніс, клапан носа, передній кінець середньої носової раковини, сполучення, хоана. Всім пацієнтам проводилося дослідження функції зовнішнього дихання з використанням масочного спірометра.

Результати. Найбільша швидкість потоку повітря, як на видиху, так і на вдиху спостерігалася в перерізі клапана носа, а найменша – в перерізі хоан. У всіх досліджуваних перетинах порожнини носа у пацієнтів в післяопераційному періоді, число Рейнольдса не перевищує 2000 як на вдиху, так і на видиху. В післяопераційному періоді, обмін 90 відсотків повітря в верхньощелепної пазусі відбувається в середньому за 214 дихальних циклів.

Висновки. Швидкість потоку повітря, який проходить через порожнину носа на вдиху і видиху, в післяопераційному періоді у пацієнтів з кістою верхньощелепної пазухи, які перенесли ендоназальну гайморотомию через нижній носовий хід, не відрізняється від пацієнтів без патології. При проведенні оперативного втручання при видаленні кісти верхньощелепної пазухи через нижній носовий хід, кратність повітрообміну в пазусі не відрізняється від кратності повітрообміну у пацієнтів без патології.

Ключові слова: кіста верхньощелепної пазухи, ендоназальна гайморотомія, аеродинаміка порожнини носа.

UDC 616.211-089.168.1

Air Exchange in the Maxillary Sinus in the Postoperative Period in Patients with a Maxillary Sinus Cyst after Sinusotomy through the Lower Nasal Airway

Naumenko A., Krynychko L., Rezmak K. F. Mohammed

Abstract. There are many computer models that describe the airflow in various anatomical variants and the pathology of the nasal cavity and paranasal sinuses. The data that describe the Reynolds number and airflow velocity in the different section of the nasal cavity of the patients with cyst of the maxillary sinus are very different. The results of operation of the maxillary sinusotomy through the middle nasal airway are disjointed and contradictory. There is also a little information of aerodynamics in the odontogenic pathology of the maxillary sinus.

The purpose of the study was to calculate airflow velocity in various sections of the nasal cavity, and air exchange in the maxillary sinus in patients with cysts of the maxillary sinus in the postoperative period after endonasal maxillary sinusotomy through the lower nasal airway.

Material and methods. 43 patients with maxillary sinus cyst were examined. The cysts of the maxillary sinus through the lower nasal airway were removed; the intact structures of the middle nasal passage were remained. This work is carried out in close collaboration with dentists. In the vast majority of cases, the maxillary sinus cyst was the result of an inflammatory process in the upper jaw of odontogenic origin. At the time of the study, the oral cavity was sanitized. Patients with polypous rhinosinusitis, as well as with rhinogenic pathology of the nasal cavity and paranasal sinuses, who needed surgical correction of this pathology, were excluded from the study.

Results and discussion. Computer tomography of nasal sinuses was performed for all patients. We also conducted calculation of air flow velocity at the airways of the nasal cavity, the calculation of the Reynolds number. To calculate the parameters of external respiration, all patients were examined for external respiration using a mask spirometer.

Conclusion. In the postoperative period, the rate of air flow passing through the nasal cavity during inhalation and exhalation was the highest in the section of the nose valve and the entrance to the nose. In all the studied sections of the nasal cavity in patients in the postoperative period, the Reynolds number did not exceed 2000 both on inhalation and on exhalation. 90 percent of the air in the maxillary sinus was exchanged for an average of 214 respiratory cycles during surgery when removing a maxillary sinus cyst through the lower nasal airway in the postoperative period.

Keywords: maxillary sinus, airflow.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 07.06.2019 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування