

А.Н. НАУМЕНКО, Л.Р. КРИНИЧКО, МОХАММЕД К.Ф. РЕЗМАК

ОЦЕНКА ВОЗДУХООБМЕНА В ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНОЙ ПАЗУХЕ В ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ ПРИ ЭНДОНАЗАЛЬНОМ ХИРУРГИЧЕСКОМ ДОСТУПЕ ЧЕРЕЗ НИЖНИЙ И СРЕДНИЙ НОСОВЫЕ ХОДЫ

*Каф. оториноларингологии (зав. – проф. Ю.В. Деева)
Нац. мед. ун-та имени А.А. Богомольца*

Одним из важных вопросов в хирургии полости носа и околоносовых пазух является максимальное сохранение во время хирургического вмешательства анатомических структур, которые не повреждены патологическим процессом, поэтому поиск новых хирургических доступов и хирургических приемов при операциях на полости носа и околоносовых является актуальным [1].

На сегодняшний день существует множество компьютерных моделей, которые описывают течение потока воздуха при различных анатомических вариантах и патологии полости носа и околоносовых пазух [3, 5], однако данные, которые касаются расчета числа Рейнольдса и скорости потока в сечении соустья верхнечелюстной пазухи при интактном и удаленном крючковидном отростке, а также при расширенном соустье верхнечелюстной пазухи в результате операции гайморотомии через средний носовой ход, являются разрозненными и противоречивыми [4, 6]. Подробно описаны варианты аэродинамики полости носа при хроническом полипозном риносинусите [2], однако данные относительно аэродинамики при одонтогенной патологии верхнечелюстной пазухи являются недостаточными для того, чтобы утверждать, что данная проблема близка к разрешению.

Целью нашего исследования было рассчитать скорость воздушного потока в различных участках полости носа, а также кратность обмена воздуха в верхнечелюстной пазухе у пациентов с кистой верхнече-

люстной пазухи в послеоперационном периоде после эндоназальной гайморотомии через нижний и средний носовой ход.

Материалы и методы

Под нашим наблюдением находилось 112 пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи. Пациенты были подразделены на 3 клинические группы. В 1-ю группу вошли 44 пациента, которым было проведено удаление кисты верхнечелюстной пазухи через нижний носовой ход, при этом слизистая оболочка не повреждалась (патент на винахід «Спосіб ендоскопічної ендоназальної гайморотомії» № 112930, от 10.11.2016.) Также оставались интактными структуры среднего носового хода. Во 2-ю группу было включено 38 пациентов, которым было проведено удаление кисты верхнечелюстной пазухи через средний носовой ход путем расширения естественного соустья, при этом естественное соустье расширялось за счет резекции крючковидного отростка. В 3-ю группу (33 человека) были отобраны пациенты, которые не предъявляли жалоб на затруднение носового дыхания, и у которых в анамнезе не было хирургических вмешательств на структурах полости носа и околоносовых пазух. Данные пациенты проходили лечение у стоматолога или челюстно-лицевого хирурга и им было проведена компьютерная томография верхней челюсти, полости носа и околоносовых пазух с целью исключения патологии со стороны ЛОР-органов перед имплантацией зубов.

Исследования проводились 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 была необходима хирургическая коррекция данной патологии.

Пациентам не выполнялись хирургические 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 синуслифта и имплантации зубов.

Всем пациентам было проведена компьютерная томография околоносовых пазух. Использовался томограф Planmeca, производства Финляндии, с дальнейшей обработкой информации с использованием программного обеспечения Romexis Viewer. С использованием данного программного обеспечения проводилось измерение размеров анатомических структур полости носа и околоносовых пазух.

В дальнейшем 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 носа, передний конец средней носовой раковины, соустье, хоана. Также проводилось вычисление числа Рейнольдса для каждого сечения.

Всем пациентам проводилось исследование функции внешнего дыхания с ис-

пользованием масочного спирометра. Исследование проводилось в течение 15 мин., начало фиксации результатов выполнялось спустя 5 мин. от начала дыхания через спирометр, и длилось 10 минут, что позволило максимально точно измерить следующие параметры – минутный объем дыхания, длительность вдоха, длительность выдоха.

Пациентам 1-й и 2-й клинических групп в процессе предоперационной подготовки было проведено общеклиническое обследование.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения SPSS 13.

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.

В данной работе проведено измерение скорости потока воздуха через сечения полости носа и числа Рейнольдса в пред и послеоперационном периодах у пациентов первой и второй групп, и у пациентов третьей группы.

Статистически достоверных различий при исследовании скорости движения пото-

ка воздуха у пациентов 1-й и 2-й групп в предоперационном периоде выявлено не было.

Данные о скорости потока воздуха через сечения полости носа в послеоперационном периоде приведены в табл. 1.

Таблица 1

Скорость потока воздуха проходящего через сечения полости носа в послеоперационном периоде

Сечение	Группа					
	1-я		2-я		3-я	
	вдох	выдох	вдох	выдох	вдох	выдох
Вход в нос	4,3	3,8	4,2	3,3	4,2	3,7
Клапан носа	4,8	4,1	5,1	3,7	5,0	4,2
Передний конец СНР	3,2	2,7	2,4	2,1	3,3	3,1
Соустье	3,8	3,1	2,6	1,9	3,5	2,9
Хоана	1,8	1,4	2,0	1,3	1,7	1,2

Как можно видеть из данных, представленных в табл. 1, наибольшая скорость потока воздуха во всех группах, как на выдохе, так и на вдохе наблюдалась в сечении клапана носа, а наименьшая – в сечении хоан, при этом показатели у обследованных 1-й и 3-й групп статистически не отличались, что может свидетельствовать о том, что хирургическое вмешательство на верхнечелюстной пазухе, проведенное через нижний носовой ход, не оказывает влияния на перемещение струи воздуха через полость носа в послеоперационном периоде. Что касается данных, полученных при исследовании пациентов 2-й группы, то можно наблюдать снижение скорости потока воздуха на вдохе (2,4 м/с, $p < 0,05$) в сечении переднего конца средней носовой раковины, на вдохе – в сечении соустья верхнечелюстной пазухи (2,6 м/с, $p < 0,05$), при этом скорость потока в сечении соустья восстанавливается в среднем до 2,0 м/с, ($p > 0,05$), что сопоставимо с данными, полученными для 1-й и 3-й групп. Что касается результатов измерения скорости потока на выдохе, то наблюдается статистически достоверное ($p < 0,05$) снижение скорости 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 была взята из табличного значения для температуры 37⁰С. При этом принималось, что число Рейнольдса является безразмерной величиной. Данные про расчет числа Рейнольдса в послеоперационном периоде приведены в табл. 2.

Как можно видеть из данных, представленных в табл. 2, у обследованных 1-й и 3-й групп число Рейнольдса во всех исследуемых сечениях не превышало 2000 как на вдохе, так и на выдохе. Что касается пациентов 2-й группы, то в сечениях переднего конца средней носовой раковины и соустья верхнечелюстной пазухи наблюдается увеличение числа Рейнольдса на вдохе до 2630 и 2710, соответственно, а на выдохе – до 2590 и 2680, соответственно. Такое увеличение числа Рейнольдса обусловлено, в первую очередь, большим уменьшением соотношения периметр/площадь сечения относительно снижения скорости при уве-

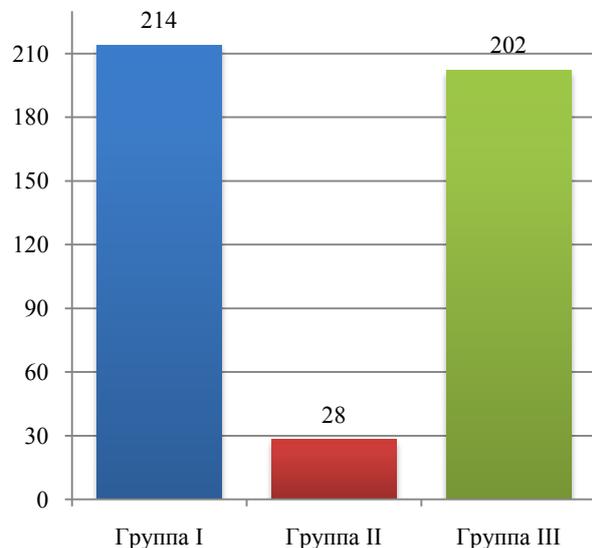
личении площади сечения. Увеличение площади сечения возникает при удалении крючковидного отростка и расширении соустья при проведении хирургического вмешательства на верхнечелюстной пазухе. Увеличение числа Рейнольдса свыше 2000 свидетельствует о том, что струя потока,

проходящая через данное сечение, приобретает турбулентный характер, что, в свою очередь, приводит к увеличению вентиляции верхнечелюстной пазухи у пациентов 2-й группы в сравнении с результатами, полученными у обследованных других групп.

Таблица 2

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

Сечение	Группа					
	1-я		2-я		3-я	
	вдох	выдох	вдох	вдох	выдох	вдох
Вход в нос	1350	1270	1370	1320	1390	1340
Клапан носа	1380	1310	1400	1340	1410	1350
Передний конец СНР	1450	1380	2630	2590	1500	1460
Соустье	1420	1360	2710	2680	1480	1420
Хоана	1620	1550	1670	1550	1640	1590



Количество дыхательных циклов, за которое обновляется 90 процентов воздуха в верхнечелюстной пазухе.

Количество дыхательных циклов, за которое обновляется 90 процентов воздуха в верхнечелюстной пазухе, представлено на рис. Как можно видеть из представленных данных, обмен 90 процентов воздуха в

верхнечелюстной пазухе происходит в 1-й исследуемой группе в среднем за 214 дыхательных циклов, в 3-й группе, в среднем, – за 202 дыхательных цикла. Статистически эти данные не отличаются ($p > 0,05$). Во 2-й группе обмен 90 процентов воздуха в пазухе происходит за 28 дыхательных циклов, что показывает более интенсивную вентиляцию пазухи по сравнению с пациентами, у которых не зафиксировано патологии полости носа и околоносовых пазух.

Обсуждение 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. Объем вентиляции пазухи в послеоперационном периоде на вдохе и выдохе статистически не отличается от объема вентиляции у здоровых лиц. При проведении хирургического вмешательства, при котором проводилось расширение соустья, наблюдалась следующая закономерность – на вдохе скорость потока воздуха существенно

уменьшается в сечении переднего конца средней раковины и соустья и восстанавливается в сечении хоаны. В свою очередь, на выдохе наблюдается уменьшение скорости потока воздуха в сечении хоан и во всех других участках, что может свидетельствовать о неравномерном объеме воздуха, который проходит через данную половину носовой полости во время вдоха и выдоха. Число Рейнольдса во всех исследуемых сечениях у пациентов 1-й и 3-й групп не превышало 2000, что может свидетельствовать об отсутствии мелкого вихреобразования при прохождении воздушного потока. Увеличение числа Рейнольдса более 2000 у пациентов 2-й группы в сечениях переднего конца средней носовой раковины и соустья верхнечелюстной пазухи за счет увеличения площади сечения и уменьшения периметра свидетельствует о высокой вероятности

вихреобразования при прохождении струи воздуха через эти сечения.

Выводы

1. Скорость потока воздуха, который проходит через полость носа на вдохе и выдохе, в послеоперационном периоде у пациентов с кистой верхнечелюстной пазухи, перенесших эндоназальную гайморотомию через нижний носовой ход, статистически не отличается от пациентов, которые в анамнезе не имели патологии полости носа и околоносовых пазух.

2. При проведении хирургического вмешательства при удалении кисты верхнечелюстной пазухи через нижний носовой ход, кратность воздухообмена в пазухе в послеоперационном периоде статистически не отличается от кратности воздухообмена у пациентов без патологии полости носа и околоносовых пазух.

Литература

1. 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. doi: 10.1016/j.resp.2016.03.011.
2. 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. doi: 10.1371/journal.pone.0156379.
3. 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. doi: 10.1016/j.resp.2012.01.013.
4. 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* (1985). 2009 Oct; 107(4): 1195-203. doi: 10.1152/jappphysiol.91615.2008.
5. Doorly DJ, Taylor DJ, Schroter RC. Mechanics of airflow in the human nasal airways. *Respir Physiol Neurobiol.* 2008 Nov 30;163(1-3):100-10. doi: 10.1016/j.resp.2008.07.027.
6. Xiong GX, Zhan JM, Jiang HY, Li JF, Rong LW, Xu G. Computational fluid dynamics simulation of airflow in the normal nasal cavity and paranasal sinuses. *Am J Rhinol.* 2008 Sep-Oct;22(5):477-82. doi: 10.2500/ajr.2008.22.3211.

Поступила в редакцию 03.06.2019

© А.Н. Науменко, Л.Р. Криничко, Мохаммед К.Ф. Резмак, 2019

ОЦІНКА ОБМІНУ ПОВІТРЯ В ВЕРХНЬОЩЕЛЕПНІЙ ПАЗУСІ В ПІСЛЯОПЕРАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ ПРИ ЕНДОЗАЛЬНОМУ ХІРУРГІЧНОМУ ДОСТУПІ ЧЕРЕЗ НИЖНІЙ І СЕРЕДНІЙ НОСОВІ ХОДИ

Науменко АН, Криничко ЛР, Резмак КФ Мохаммед

Каф. оториноларингології Нац. мед. ун-ту імені О.О. Богомольця

e-mail: avm@bigmir.net

А н о т а ц і я

Актуальність проблеми: Існують комп'ютерні моделі, які описують зміни потоку повітря при різних анатомічних варіантах і патології порожнини носа і навколоносових пазух, проте дані, які стосуються розрахунку числа Рейнольдса і швидкості потоку в перетині співустя верхньощелепної пазухи при інтактному та видаленому гачкоподібному відростку, а також при розширеному співусті верхньощелепної пазухи в результаті операції гайморотомії через середній носовий хід, є розрізненими і суперечливими. Також є незначна кількість даних щодо аеродинаміки при одонтогенній патології верхньощелепної пазухи.

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

Матеріал і методи: Було обстежено 112 пацієнтів з кістою верхньощелепної пазухи. Пацієнти були поділені на 3 клінічні групи. В 1-ю групу було включено 41 пацієнта, котрим було проведено видалення кисти верхньощелепної пазухи через нижній носовий хід, при цьому слизова оболонка не пошкоджувалася, а також залишалися інтактними структури середнього носового ходу. Во 2-ю групу вошли 38 пацієнтів, котрим було проведено видалення кисти верхньощелепної пазухи через середній носовий хід шляхом розширення природного співустя. В 3-ю групу були отобрані 33 пацієнта, у котрих патологія порожнини носа і околоносових пазух виявлена не була, но они проходили обстеження у отоларинголога перед імплантацією зубів.

Матеріал і методи: Було обстежено 112 пацієнтів з кістою верхньощелепної пазухи. Пацієнти були розподілені на 3 клінічні групи. До 1-ї групи було включено 41 пацієнта, яким було проведено видалення кисти верхньощелепної пазухи через нижній носовий хід, при цьому слизова оболонка не ушкоджувалася, а також залишалися інтактними структури середнього носового ходу. До 2-ї групи увійшли 38 пацієнтів, яким було проведено видалення кисти верхньощелепної пазухи через середній носовий хід шляхом розширення природного співустя. До 3-ї групи були відібрані 33 пацієнта, які проходили обстеження у отоларинголога перед імплантацією зубів, і у яких патологію порожнини носа і навколоносових пазух виявлено не було.

Всім пацієнтам було проведено комп'ютерну томографію навколоносових пазух. Використовувався томограф Planmeca, виробництва Фінляндії, з подальшою обробкою інформації з використанням програмного забезпечення Romexis Viewer. З використанням програмного забезпечення Romexis Viewer, MATLAB (The Mathworks, Natlick, MA, USA), MeshLab проводилось вимірювання розмірів анатомічних структур порожнини носа і навколоносових пазух, розрахунок швидкості потоку повітря при проходженні перерізів порожнини носа, розрахунок числа Рейнольдса. Для розрахунку показників зовнішнього дихання, всім пацієнтам проводилося дослідження функції зовнішнього дихання з використанням масочного спирометра. Статистична обробка отриманих даних проводилася з використанням програмного забезпечення SPSS 13.

Результати обстеження: Проведені дослідження показали, що при втручанні на верхньощелепній пазусі через нижній носовий хід швидкість потоку повітря через досліджувані ділянки носової порожнини статистично не відрізняється від аналогічних показників у здорових осіб. Обсяг вентиляції пазухи в післяопераційному періоді на вдиху і видиху статистично не відрізняється від обсягу вентиляції у здорових осіб. При проведенні хірургічного втручання, при якому проводилося розширення співустя, спостерігалось статистично значиме зменшення швидкості потоку повітря на вдиху в перерізі переднього кінця середньої раковини та співустя, і відновлення швидкості потоку в перетині хоани. У свою чергу, на видиху спостерігається зменшення швидкості потоку повітря в перерізі хоан і у всіх інших ділянках. Число Рейнольдса в усіх досліджуваних перерізах у пацієнтів 1-ї та 3-ї груп не перевищувало 2000. У пацієнтів 2-ї групи спостерігалось збільшення числа Рейнольдса більше 2000 в перерізі переднього кінця середньої носової раковини і співустя верхньощелепної пазухи за рахунок збільшення площі перерізу і зменшення периметра.

Висновок: Швидкість потоку повітря, який проходить через порожнину носа на вдиху і видиху, у пацієнтів з кістою верхньощелепної пазухи, які перенесли ендоназальную гайморотомію через нижній носовий хід, в післяопераційному періоді статистично не відрізняється від пацієнтів, які в анамнезі не мали патології порожнини носа і навколоносових пазух.

При проведенні хірургічного втручання при видаленні кісти верхньощелепної пазухи через нижній носовий хід, кратність повітрообміну в пазусі статистично не відрізняється від кратності повітрообміну у пацієнтів без патології порожнини носа і навколоносових пазух.

Ключові слова: верхньощелепна пазуха, повітряний потік.

AIR EXCHANGE IN THE MAXILLARY SINUS IN THE POSTOPERATIVE PERIOD AFTER MAXILLARY SINUSOTOMY THROUGH THE INNER AND MIDDLE NASAL AIRWAY

Naumenko A, Krynychko L, Rezmaq KF Mohammed

Bogomolets National Medical University

e-mail: avm@bigmir.net

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.

Purpose: 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 endonasalmaxillary sinusotomy through the lower and middle nasal airway.

Material and methods: 112 patients with maxillary sinus cyst were examined. Patients were divided into three clinical groups. The first group, 41 people, included patients who had removed the cysts of the maxillary sinus through the lower nasal airway, as well as intact structures of the middle nasal passage remained. The second group included 38 patients who had removed the maxillary sinus cyst through the middle nasal airway. In the third group, were selected 33 patients, who had not been diagnosed with nasal and nasal sinus pathology, but they were examined by an ENT specialist before implantation of the teeth.

Computer tomography of nasal sinuses was performed for all patients. The Planmeca Tomography, manufactured in Finland, was used, with the further processing of information using the software Romexis Viewer. Using the Romexis Viewer software and MeshLabit was measured the size of the anatomical structures of the nasal cavity and nasal sinuses, the 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. Statistical processing of the obtained data was carried out using SPSS software 13.

Results: The rate of air flow that passes through the nasal cavity on the inhalation and exhalation in the postoperative period in patients with cysts of the maxillary sinus that has undergone endonazal maxillary sinusotomy through the lower nasal airway, is statistically no different from those patients who had no pathology of the nasal cavity and nasal sinuses.

The volume of air exchange in the case of removal maxillary cyst through the lower nasal airway does not statistically differ from the volume of air exchange in patients without pathology of the nasal cavity and nasal sinuses.

Keywords: maxillary sinus, airflow.