

Н.О. ШУШЛЯПИНА, А.С. ЖУРАВЛЕВ, О.Г. АВРУНИН

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ НОСОВОГО ДЫХАНИЯ И ОБОНЯНИЯ

Харьков. нац. мед. ун-т

СУЧАСНІ АСПЕКТИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПЛАНУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ З МЕТОЮ ВІДНОВЛЕННЯ НОСОВОГО ДИХАННЯ ТА НЮХУ

Шушляпіна Н.О., Журавльов А.С., Аврунін О.Г. (Харьків)

Резюме

Відсутність чітких принципів сучасного комп'ютерного планування в ринохірургії суттєво обмежує можливості підвищення ефективності методів оперативного лікування, наприклад, по відновленню дихальної та нюхової функцій, і ускладнює впровадження стандартів та критеріїв доказової медицини. Розглядаються основні етапи методу комп'ютерного конфігураційного ринохірургічного планування, спрямованого на формування нормальної архітекtonіки структур носової порожнини.

Мета роботи – запропонувати сучасні підходи при плануванні функціональних хірургічних втручань, пов'язаних з відновленням дихально-нюхових розладів. Основні етапи комп'ютерного планування у функціональній ринохірургії:

- проведення томографічного, риноманометричного і ольфактометричного дослідження;
- побудова геометричної та аеродинамічної моделей верхніх дихальних шляхів і визначення ділянок порожнини носа, які мають максимальний аеродинамічний опір;
- віртуальне моделювання хірургічного втручання на основі комп'ютерної моделі порожнини носа, яка деформується;
- прогнозування аеродинамічних характеристик порожнини носа;
- верифікація за даними цитологічних досліджень слизової оболонки порожнини носа;
- контрольне обстеження пацієнта у віддаленому післяопераційному періоді.

Методи хірургічного планування на сучасному етапі повинні бути забезпечені точними числовими характеристиками відповідно до стандартів доказової медицини. Це вимагає подальшого вивчення механізмів патологічного процесу і методів функціональної діагностики. Програма реалізація розглянутих методів пройшла клінічну апробація на базі оториноларингологічної клініки Харківського національного університету. Об'єктивізація ефективності лікування у функціональній ринохірургії досягається за результатами функціонального риноманометричного дослідження у пацієнтів і за даними комп'ютерної ольфактометрії, які включають визначення і порівняння індексів ефективності носового дихання та порогів відчуття/розпізнавання доривекторів до і після хірургічного втручання.

Ключові слова: верхні дихальні шляхи, носове дихання, аеродинамічний носовий опір, функціональна ринохірургія.

MODERN ASPECTS OF COMPUTER PLANNING FOR SURGICAL FUNCTIONAL RECOVERY OF NASAL BREATHING AND OLFACTORY SENSE

*Shuslyapina N.O., Zhuravlev A.S., Avrunin O.G.**

Kharkiv National Medical University, Otorhinolaryngology department, Ukraine, Kharkiv

**Kharkiv National University of Radioelectronics, department of Biomedical engineering, Ukraine, Kharkiv*

Extended annotation

State of the problem: The functional rhinosurgical planning is directed for creating normal architectonic structures formation of the nasal cavity. The absence of clear principles for modern rhinosurgery computer planning significantly limits the possibility of increasing the effectiveness of methods of surgical treatment, such as

the recovery of the respiratory and olfactory functions and makes it difficult the implementation of standards and criteria of modern evidence-based medicine.

Objective: The aim is to offer modern approaches in planning of functional rhinosurgical interventions, associated with the recovery of respiratory and olfactory disorders.

The main steps in the functional computer planning rhinosurgery are:

- getting tomography, rhinomanometry and olfactometry surveys;
- designing of geometric and aerodynamic models of the upper respiratory tract;
- determining areas of the nasal cavity with a maximum aerodynamic resistance;
- virtual surgery simulation based on a deformable computer model of the nasal cavity;
- prediction of the aerodynamic characteristics of the nasal cavity;
- verification according to cytological tests of the mucous membrane of the nasal cavity;
- patient control tests of nasal breathing at visit in the late postoperative period.

Conclusions: The main steps of the method for computer configuration rhinosurgical planning are described in the article. Method of planning at this stage should be provided with precise numerical values to the standards of evidence-based medicine. It requires further study of the mechanisms of the pathological process and improve the methods of functional diagnostics. The main problem here is the calculation of the aerodynamic nasal resistance by the geometric characteristics of the nasal cavity with accounting the individual variability of the patient.

Software implementation of the methods is proposed and passed clinical testing in the clinic of Kharkiv National Medical University. Objectification of the effectiveness of treatment in functional rhinosurgery is achieved according to the results of the functional rhinomanometrical methods and computer olfactometry testing, which includes the determination and comparison of performance indexes for nasal breathing and thresholds of sense/recognition odorivectors before and after rhinosurgery.

Keywords: nasal airways, nasal breathing, aerodynamic nasal resistance, functional rhinosurgery.

На сегодняшний день технический прогресс и развитие новой информационной технологии дают возможность клиницисту опираться не на традиционные эмпирическо-описательные подходы, а на количественные инструментальные методы диагностики и лечения. Этому способствуют вводимые четкие стандарты диагностики и терапии, основанные на критериях доказательной медицины. Современные условия диктуют специалистам необходимость осваивать современное медицинское оборудование, знать его возможности и особенности применения в клинической практике.

С появлением методов рентгеновской компьютерной, магнитно-резонансной и позитронно-эмиссионной томографии стало возможным на ранних стадиях и, практически, неинвазивно диагностировать многие виды патологии ЛОР-органов [4, 10]. Постоянное совершенствование методов компьютерной томографии позволило существенно увеличить точность визуализации и привело к введению новых принципов и стандартов диагностики ЛОР-патологии. Однако технические средства компьютерной томографии, в основном, развивались с

акцентом на проведение чисто диагностических процедур. В настоящее время возможности компьютерной томографии еще недостаточно раскрыты при планировании ринохирургических вмешательств. При этом проблема операционного планирования с учетом возможностей современного диагностического и хирургического оборудования рассматривается достаточно обособленно, узкоспециализированно, без применения системного подхода. Отсутствие четких принципов современного компьютерного планирования в ринохирургии существенно ограничивает возможности повышения эффективности методов оперативного лечения, например, по восстановлению дыхательной и обонятельной функций и затрудняет внедрение стандартов и критериев доказательной медицины.

В литературе, посвященной применению КТ в ринологии, в основном рассматриваются проблемы, связанные с диагностикой различной патологии, изучаются вопросы комплексного применения средств визуализации, дающих топографо-анатомическую и функциональную информацию об исследуемом органе [4, 6, 8-10].

Аспекты хирургического планирования, по данным литературы [4, 6, 8-10], заключаются в выборе хирургического доступа, основанном, как правило, на эмпирическом подходе и опыте специалиста, а также на рассмотрении технических приемов на этапах выполнения операции. При этом обычно не проводится анализ эффективности осуществляемого на дооперационном этапе хирургического планирования, а также отсутствуют четкие количественные критерии методики прогнозирования и оценки достигнутого лечебного эффекта.

Цель работы – предложить современные подходы при планировании функциональных оперативных вмешательств, связанных с восстановлением дыхательно-обонятельных расстройств.

В функциональной ринологии применяются методы конфигурационного планирования хирургических вмешательств, которые направлены на восстановление необходимой анатомической формы носовой полости по заданным физиологическим показателям в соответствии с данными риноманометрии и ольфактометрии.

Материалы и методы

Под наблюдением находилось 11 больных в возрасте от 18 до 60 лет с обонятельными нарушениями респираторного генеза, у которых выполнялись исследования носа и околоносовых пазух с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии. Исходными данными служили наборы томографических срезов (dataset) с последующим построением фронтальных мультипланарных реконструкций (МПР). Расчеты проводились для каждого носового канала при обследовании 11 пациентов в оториноларингологической клинике Харьковского национального медицинского университета. Обследуемые с полипозным риносинуситом, а также перенесшие неоднократные хирургические вмешательства в полости носа и околоносовых пазухах, были исключены из исследования. У всех больных перед функциональными хирургическими вмешательствами проводились компьютерное планирование и аэродинамические расчеты носового сопротивления с учетом режима течения воздуха (ламинар-

ный или турбулентный) и вида дыхания (спокойное или форсированное).

Нами были рассмотрены этапы компьютерного планирования функциональных операций в ринологии, направленные на восстановление анатомической конфигурации дыхательно-обонятельной области. Но порой не всегда восстановление анатомической конфигурации ведет за собой восстановление функции органа. Поэтому основополагающим принципом при этих вмешательствах является обеспечение планирования операции точными данными функциональной диагностики с учетом проведения постоперационных функциональных обследований [4, 6, 8, 9].

Рассмотрим основные этапы выполнения функциональных хирургических вмешательств.

Первым этапом является проведение диагностических процедур, обеспечивающих планирование операции топографо-анатомическими данными и результатами функциональных исследований.

На втором этапе определяются цели хирургического вмешательства, анатомические структуры, подлежащие хирургическому воздействию, и формируется соответствующая последовательность технических приемов.

Третий этап предусматривает выбор оперативного доступа, формирование, при необходимости, управляющих воздействий на хирургический инструмент и/или моделирование анатомической конфигурации оперируемой структуры.

Четвертый этап – это прогнозирование результатов операции по степени восстановления утраченных функций. Как правило, он основывается на результатах статистических исследований или на использовании прогностических моделей.

Пятый этап представляет собой верификацию, выполняющуюся уже во время и после выполнения операции, и включает в себя альтернативные объективные методы подтверждения эффективности лечебного воздействия, например, по результатам биохимических и цитологических исследований.

Шестой этап включает в себя проведение контрольных обследований пациента

с целью объективной регистрации анатомо-функциональных изменений, полученных в результате хирургического вмешательства.

На седьмом этапе с помощью количественных показателей и критериев определяется общая эффективность хирургического вмешательства.

Основным направлением реализации компьютерного планирования в функциональной ринохирургии является восстановление физиологических функций носа и, прежде всего, дыхательной, нарушение ко-

торой со временем приводит к обонятельной дисфункции и другим нежелательным последствиям [8, 9]. В соответствии с предложенными этапами выполнения функциональных ринохирургических вмешательств, была осуществлена их практическая реализация на примере восстановления носового дыхания за счет устранения деформации внутриносовых структур (рис. 1), препятствующих поступлению одоривектора в верхний носовой ход к рецепторам обонятельного эпителия.

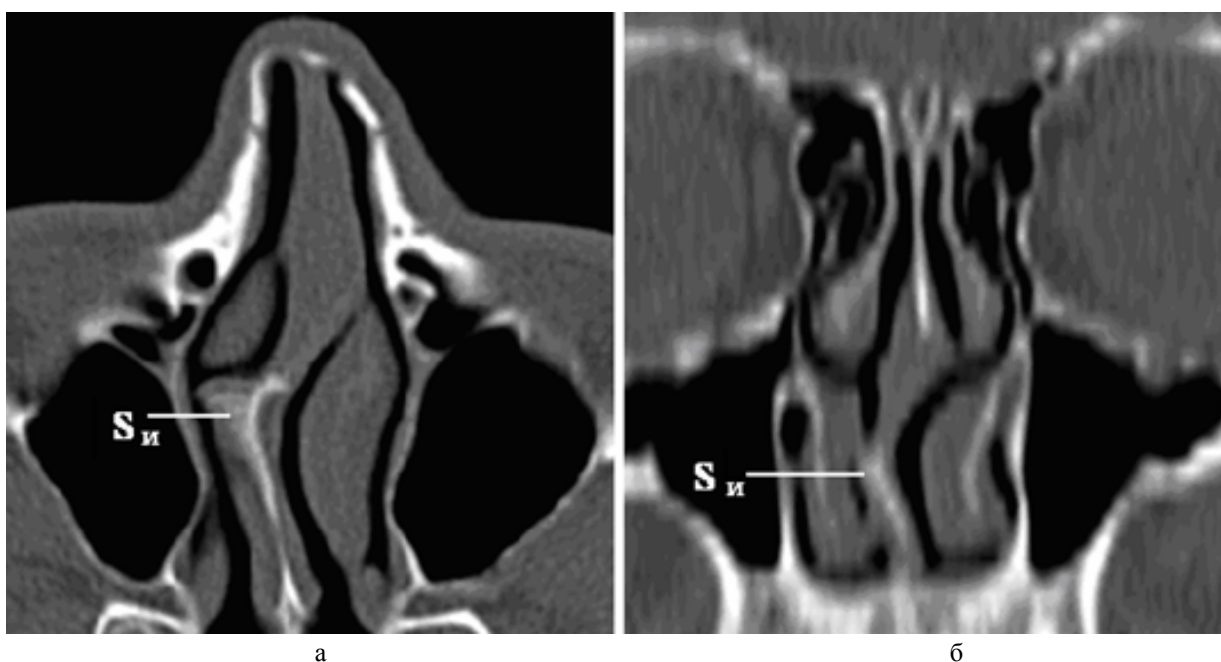


Рис. 1. Пример СКТ-картирования участка носовой полости при одностороннем искривлении носовой перегородки СИ вправо: а – исходный аксиальный СКТ-срез на уровне среднего носового хода; б – фронтальная МПР

Диагностический этап планирования операции при этом включает в себя томографическое исследование для определения анатомической конфигурации полости носа и околоносовых пазух, функциональную риноманометрию для получения точных данных о расходе $Q_{\Sigma H}$ воздуха через носовую полость и соответствующем перепаде давления Δp , а также ольфактометрию для выявления степени поражения обонятельного анализатора. При этом предельным физиологическим значением расхода может стать расход Q_P воздуха при форсирован-

ном дыхании ртом с последующим определением коэффициента эффективности носового дыхания: $K_{НД} = Q_{\Sigma H} / Q_P$. Методика определения обонятельных нарушений респираторного генеза заключается в разработанной оригинальной методике тестирования остроты обоняния на основе проведения задней активной риноманометрии (для дыхания обеими половинами носа или для каждой половины отдельно) с использованием специально разработанных ольфактометрических насадок с одоривентерами, устанавливаемых в воздушном тракте ри-

номанометра. Исследование обоняния позволяет в четкой последовательности оценить обонятельную чувствительность по валериане, а затем по уксусной кислоте и нашатырному спирту. Это достигается регулированием доступа воздуха, проходящего через ольфакторное вещество. Концентрация используемых растворов была подобрана опытным путем.

На втором этапе выполняется построение геометрической и аэродинамической моделей [1-3] верхних дыхательных путей и определение участков носовой полости, имеющих минимальную площадь сечения и, соответственно, максимальное аэродинамическое сопротивление и высокие скорости прохождения воздуха. При этом учитывается, что повышенная скорость воздуха является нежелательной и может приводить к хронической травматизации слизистой оболочки [9]. Затем определяются методика и аппаратура для выполнения реконструктивно-восстановительных операций на внутриносовых структурах полости носа.

На третьем этапе происходит виртуальное моделирование хирургического вмешательства путем формирования и работы с деформируемой компьютерной моделью носовой полости, построенной по фронталь-

ным мультипланарным реконструкциям томографических данных [1]. При этом в каждом сечении интерактивно задаются начальные опорные вершины либо произвольно (рис. 2а), либо в виде прямоугольной сетки (рис. 3а). При этом специалист выполняет перемещение начальных опорных вершин (рис. 2б и 3б), а специальная программа вычисляет новые координаты изменяемых анатомических объектов, как видно на рис. 2б, 3б и 3в. Следует учитывать, что такая виртуальная хирургия проводится с учетом ограничений, накладываемых на толщину костно-хрящевых структур и слизистой оболочки носовой полости, а также щадящих принципов, принятых в современной ринологической практике [8, 9].

На четвертом этапе вычисляются аэродинамические сопротивления A_L и A_R для левого и правого носовых ходов, соответственно, и результирующего сопротивления параллельных каналов A_1 .

Далее проводятся вычисления суммарного расхода воздуха для ламинарного и турбулентного режимов, соответственно, а также расходов воздуха в каждом носовом ходе. На основании этих данных осуществляется прогнозирование скоростей прохождения воздуха через виртуально сконфигурированные сечения носовых ходов [1, 2].

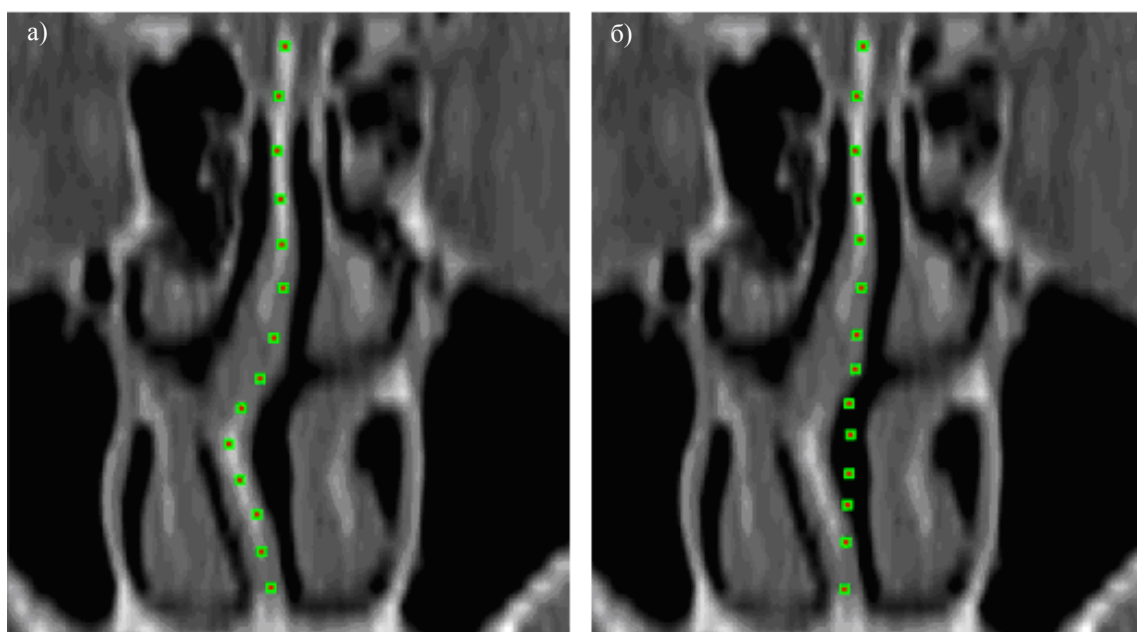


Рис. 2. Иллюстрация компьютерного моделирования посрезовой деформации внутриносовых структур по произвольно заданным начальным опорным точкам: а – исходное изображение; б – результат варпинга

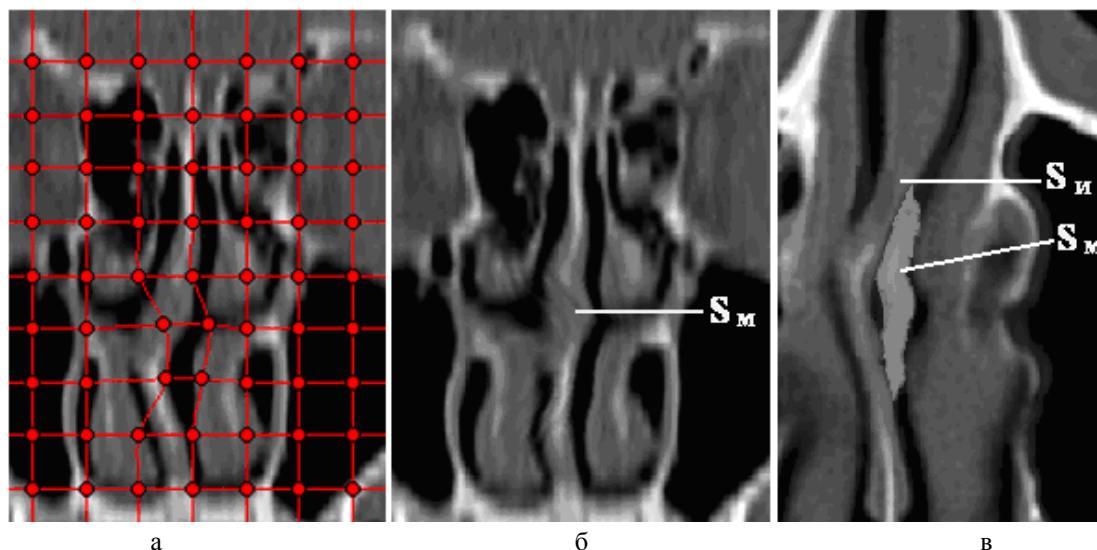


Рис. 3. Иллюстрация компьютерного моделирования посрезовой деформации внутриносовых структур по заданным в виде сетки начальным опорным точкам: а – исходное изображение; б – результат варпинга; в – результат варпинга на аксиальном СКТ-срезе (обозначение исходного $S_{И}$ и смоделированного $S_{М}$ положений носовой перегородки)

Следующий этап включает в себя цитологическое исследование слизистой оболочки, взятой во время операции и через 3-6 месяцев после вмешательства. При этом в автоматизированном режиме определяются соотношения мерцательных и бокаловидных клеток [9], а также изучается показатель рН секрета.

На шестом этапе выполняется контрольное обследование пациента для получения объективных данных о сформированной анатомической конфигурации носовой

полости и функциональных показателей носового дыхания после вмешательства, а также повторные ольфактометрические исследования. На рис. 4 приведены фронтальные мультипланарные реконструкции до (рис. 4а) и после (рис. 4 б) проведения септопластики для восстановления физиологического дыхания и разблокирования зоны, доступной для поступления в нее ольфакторных веществ, т.е. после операции по устранению искривления носовой перегородки (обозначена Sp).

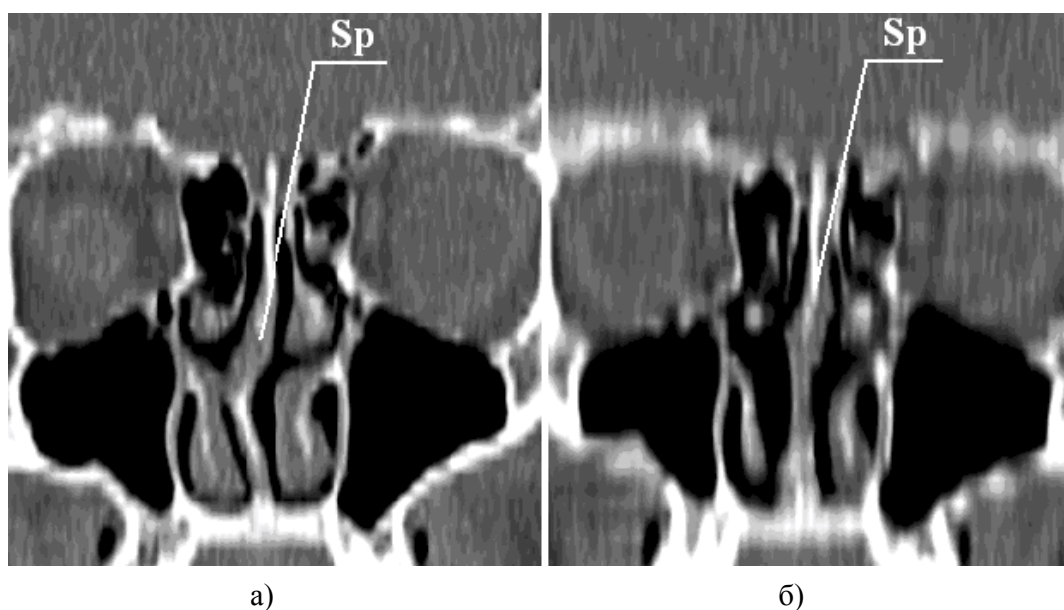


Рис. 4. Фронтальные МПР: а) до лечения, б) спустя 3 недели после риносептопластики

В завершение даётся оценка эффективности хирургического вмешательства, заключающаяся в определении отношений риноманометрических показателей и степени распознавания различных одоривекторов до и после хирургического вмешательства. Так, пороги ощущения и распознавания пахучих веществ через 3 недели после хирургического вмешательства в среднем снизились в 2 и 1,5 раза, соответственно, что подтверждено уменьшением энергетических характеристик (мощностью и энергией) дыхания при действии одоривекторов. По данным риноманометрии, общее носовое сопротивление за счет увеличения площади сечений носовой полости в среднем отделе уменьшилось в 1,7 раза.

Выводы и перспективы работы

Рассмотрены основные этапы метода компьютерного конфигурационного ринохирургического планирования, направленного на формирование нормальной архитектуры структур носовой полости. Методы хирургического планирования на современном этапе должны быть обеспечены точными числовыми характеристиками в соответ-

ствии со стандартами доказательной медицины. Это требует дальнейшего изучения механизмов патологического процесса и совершенствования методов функциональной диагностики.

Программная реализация рассмотренных методов прошла клиническую апробацию на базе оториноларингологической клиники Харьковского национального медицинского университета. Объективизация эффективности лечения в функциональной ринохирургии достигается по результатам функционального риноманометрического обследования пациента и данным компьютерной ольфактометрии, которые включают в себя определение и сравнение индексов эффективности носового дыхания и порогов ощущения/распознавания одоривекторов до и после хирургического вмешательства.

Перспективой работы является совершенствование методов и средств объективизации функциональных исследований, особенно связанных с нарушением обоняния респираторного генеза, и исчерпывающие клинические испытания предложенных методов компьютерного хирургического планирования.

Литература

1. Аврунин О.Г. Анализ изменения гидравлического диаметра при определении режима течения воздуха в полости носа // *Технічна електродинаміка*. – 2009. – Тем. випуск «СЄЕ», Т. 3. – С. 16-19.
2. Аврунин О.Г. К определению аэродинамических характеристик верхних дыхательных путей // *Технічна електродинаміка*. – 2010. – Тем. випуск «СЄЕ», Т.2. – С. 279-284.
3. Аврунин О.Г. О роли воздухоносных пазух в аэродинамике носовой полости / О.Г. Аврунин, Н.И. Белецкий, А.И. Березняков // *Біофізичний вісник*. – 2008. – Т. 20, № 1. – С. 88-95.
4. Гарюк Г.И. Опыт применения спиральной компьютерной томографии с последующей виртуальной эндоскопией для планирования малоинвазивных хирургических вмешательств в ринологии / Г.И. Гарюк, А.Ю. Меркулов // *Ринологія*. – 2004. – № 3. – С. 32-34.
5. Коваленко В.Е. Методика количественной оценки нейроно-глиально-капиллярных отношений в структурах мезга / В.Е. Коваленко, А.Ю. Степаненко // *Збірник тез наукової конференції молодих вчених «Медицина третього тисячоліття»*. – Харків: ХДМУ, 2001. – С. 19-20.
6. Олешкевич Ф.В., Олешкевич А.Ф. *Нейрохирургия. Операции на головном мозге* / Ф.В. Олешкевич, А.Ф. Олешкевич // Минск: Высшая школа, 1993. – 294 с.
7. Пилипенко Н.И. Современная лучевая терапия в клинической практике // *Международный медицинский журн.* – 2000. – Т.6, №1. – С. 85-89.
8. Пискунов Г.З. Современная оценка функциональной риносинусохирургии // *Рос. ринология*. – 2008. – № 4. – С. 34-37.
9. Пискунов С.З. *Функциональная анатомия и хирургия носа и околоносовых пазух* / С.З. Пискунов, Г.З. Пискунов, В.В. Харченко, Курск: Труд, 2004. – 115 с.
10. Щурук Г.З. *Можливості використання комп'ютерної томографії з об'ємною реконструкцією в діагностиці захворювань порожнини носа, навколоносових пазух і лицьового черепа* // *Журн. вушних, носових і горлових хвороб*. – 2001. – № 2. – С. 64-69.

References

1. Avrunin O.G. Analysis of changes of the hydraulic diameter in determining the mode of air flow in the nasal cavity. *Technical electrodynamics*. 2009; 3: 16-9. Russian.
2. Avrunin OG. By definition, the aerodynamic characteristics of the upper respiratory tract. *Technical electrodynamics*. 2010;2:279-284. Russian.
3. Avrunin OG, Beleckiy NI, Bereznyakov AI. On the role of pneumatic sinuses in the aerodynamics of the nasal cavity. *Biophysical journal*. 2008; 20(1): 88-95. Russian.
4. Garyuk GI, Merkulov AY. Experience of application of spiral CT virtual endoscopy followed by planning for minimally invasive surgery in rhinology. *Rhinology*. 2004; (3): 32-4. Russian.
5. Kovalenko VE, Stepanenko AV. Methodology for quantifying neuronal-gliial-capillary relations in brain structures. Abstracts of scientific conference of young scientists *Medicine of the third millennium*. – Kharkiv. – KNMU, 2001. – P. 19-20. Russian.
6. Oleshkevich FV, Oleshkevich AV. *Neurosurgery. Operations on human brain*. – Minsk: Visheysha shkola, 1993. – 294 p. Russian.
7. Pilipenko N.I. Modern radiation therapy in clinical practice. *International medical journal*. 2000; 6(1): 85-9. Russian.
8. Piskunov G.Z. Modern evaluation of functional rhinosurgery // *Rossijskaja ringologija*. – 2008. – N 4. – P. 34-37. Russian.
9. Piskunov SZ, Piskunov GZ, Kharchenko VV. *Functional anatomy and surgery of the nose and paranasal sinuses*. – Kursk: Trud, 2004. – 115 p. Russian.
10. Shuruk G.Z. Possibilities of using of volume CT reconstruction in the diagnosis of diseases of the nasal cavity, paranasal sinuses and facial skull. *Zhurn. vushnyh, nosovyh i gorlovyh hvorob*. 2001; (2): 64-9. Ukrainian.

Поступила в редакцію 19.11.14.

© Н.О. Шушляпина, А.С. Журавлев, О.Г. Аврунин, 2014