

УДК 616.216.2-002

## ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КОМП'ЮТЕРНОГО ПЛАНУВАННЯ ХІРУРГІЧНОГО ВТРУЧАННЯ У ПАЦІЄНТІВ З ХРОНІЧНИМ ФРОНТИТОМ

Лобурець А.В. \*, Безшапочний С.Б. \*, Аврунін О.Г. \*\*

\* ВДНЗ України «Українська медична стоматологічна академія»,  
кафедра оториноларингології з офтальмологією, м. Полтава

\*\* Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра  
біомедичної інженерії, м. Харків

*Робота виконана в рамках планової науково-дослідної роботи «Розробка нових медичних технологій в діагностиці та лікуванні патології верхніх дихальних шляхів» (№ держреєстрації 0111U006761)*

### **Анотація**

*У статті представлено результати проведеного комп'ютерного конфігураційного планування об'єму хірургічних втручань 56 пацієнтів, що знаходились на стаціонарному лікуванні з приводу хронічного фронтиту. Проведено аналіз риноманометричних показників тарозрахунків дослідження аеродинаміки повітряногоопору носового дихання за даними спіральної комп'ютерної томографії до та після хірургічного лікування у пацієнтів основної групи (n=27), яким виконана ендоназальна фронтотомія з корекцією внутрішньоносових структур, та контрольної (n=29), яким виконана ендоназальна фронтотомія. Окремо представлені розширені результати дослідження двох пацієнтів. Показники риноманометрії до хірургічного втручання та через 4 тижні після мали статистично достовірні відмінності у пацієнтів основної групи, яким була виконана ендоназальна фронтотомія з корекцією внутрішньоносових структур ( $p < 0,001$ ). Показники риноманометрії у пацієнтів контрольної групи, яким виконана фронтотомія без подібної корекції, не мали статистично достовірних відмінностей ( $p = 0,168$ ). Таким*

чином, корекція внутрішньоносових структур змінює аеродинамічний носовий опір на більшій ділянці, і в широкому діапазоні значень, а без корекції – тількина ділянці, що безпосередньо примикає до ділянки співустя, а також за рахунок загального зменшення набряку слизової оболонки порожнини носа. Комп'ютерне планування дозволяє підвищити ефективність проведення функціональних ринологічних втручань на 32%. Для його реалізації потрібні високоточні методи діагностики і впровадження достатньо складних процедур конфігураційного віртуального моделювання хірургічних втручань.

**Ключові слова:** хронічний фронтит, комп'ютерне конфігураційне планування, риноманометрія.

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ФРОНТИТ**

**Аннотация**

В статье представлены результаты проведенного компьютерного конфигурационного планирования объема хирургических вмешательств 56 пациентов, находящихся на стационарном лечении по поводу хронического фронтита. Проведен анализ риноманометрических показателей и расчетов исследования аэродинамики воздушного сопротивления носового дыхания по данным спиральной компьютерной томографии до и после хирургического лечения у пациентов основной группы ( $n = 27$ ), которым выполнена эндоназальная фронтотомия с коррекцией внутриносовых структур, и контрольной ( $n = 29$ ), которым выполнена эндоназальная фронтотомия. Отдельно представлены расширенные результаты исследования двух пациентов. Показатели риноманометрии до хирургического вмешательства и через 4 недели после имели статистически достоверные различия у пациентов основной группы, которым была выполнена эндоназальная фронтотомия с коррекцией внутриносовых структур ( $p < 0,001$ ). Показатели риноманометрии у пациентов контрольной группы, которым выполнена фронтотомия без подобной коррекции не имели статистически достоверных различий ( $p = 0,168$ ). Таким образом, коррекция внутриносовых структур меняет

*аэродинамическое носовое сопротивление на большем участке, и в широком диапазоне значений, а без коррекции - только на участке, непосредственно примыкающем к участку соустья, а также за счет общего уменьшения отека слизистой оболочки полости носа. Компьютерное планирование позволяет повысить эффективность проведения функциональных ринологических вмешательств на 32%. Для его реализации требуются высокоточные методы диагностики и внедрение достаточно сложных процедур конфигурационного виртуального моделирования хирургических вмешательств.*

**Ключевые слова:** *хронический фронтит, компьютерное конфигурационное планирование, риноманометрия.*

***EXPERIENCE OF THE COMPUTER CONFIGURATION PLANNING OF SURGICAL INTERFERENCE IN PATIENTS WITH CHRONIC FRONTAL SINUSITIS***

**Abstract**

*The article represents the results of the computer configuration planning of the value of surgical interference of 56 patients who underwent inpatient treatment of chronic frontal sinusitis. The analysis of rhinomanometry indicators and the research of aerodynamics of air resistance of nasal breathing were performed according to computer tomography before and after surgery within the patients of the main group (n = 27) who underwent endonasal frontotomy correction intranasal structures (INS) and controls (n = 29) – by which was made the endonasal frontotomy. Extensive results of the study of two patients are presented separately. Statistically significant differences in the indicators of rhinomanometry before and after 4 weeks after surgery were observed in the patients of the main group who performed endonasal frontotomy with INS correction ( $p < 0.001$ ). Rhinomanometry indicators in the control group of patients who underwent frontotomy without correction INS, did not have a statistically significant difference ( $p = 0.168$ ). Thus, the correction of INS changes the aerodynamic nasal resistance in a larger area, and in a wide range of values; without correction INS - only at the site that immediately adjacent to the anastomosis*

*site, and also due to a general decrease in the edema of the mucous membrane of the nasal cavity. Computer planning makes it possible to increase the effectiveness of functional rhinological interference by an average 32%. But its implementation needs highly accurate diagnostic methods and cumbersome procedures of the virtual simulation of surgical interference.*

**Key words:** *chronic frontal sinusitis, computer configuration planning, rhinomanometry, frontal sinus surgery.*

### **Актуальність.**

Емпіричний метод прогнозування в медицині виник ще за часів Гіппократа і базувався на встановленні аналогій між двома подіями до- та після втручання. Сучасні методи прогнозування засновані на математичному аналізі даних і реалізуються за допомогою електронної обчислювальної техніки[4].

Комп'ютерне конфігураційне планування хірургічних втручань у функціональній ринології призначене для прогнозування функціональних результатів операції за даними віртуального моделювання зміни архітекtonіки порожнини носа. Відповідно, метод заснований на комп'ютерному моделюванні аеродинамічних процесів при русі повітря в порожнині носа в процесі дихання, а також аналізу взаємозв'язку геометричних і фізіологічних характеристик верхніх дихальних шляхів [1, 3].

Хірургічні втручання із використанням екстраназальних і ендоназальних доступів потребують у подальшому відновлення структур та фізіології лобових пазух, що на сьогодні залишається багатокомпонентною і багатоетапною проблемою [2, 5]. З точки зору фізіології носа і навколоносових пазух, серед способів хірургічного лікування синуситу, спрямованих на відновлення функціонування співустья ураженого синусу з порожниною носа, найбільш фізіологічними є ті варіанти, при яких мінімально травмується слизова

оболонка порожнини носу та навколоносових пазух. При цьому необхідно враховувати, що основною вимогою в сучасній функціональній ринології є тільки зміна конфігурації (корекція) при якомога меншій резекції анатомічних об'єктів.

Тому, одним із пріоритетних завдань для малоінвазивної хірургії, є щадне відношення до слизової оболонки порожнини носа і навколоносових пазух (ННП). Ці завдання частково вирішуються з приходом сучасних методик комп'ютерного планування.

**Мета:** дослідити клінічну ефективність використання способу планування ринохірургічних втручань у пацієнтів з хронічними формами фронтиту та супутніми функціональними порушеннями внутрішньоносових структур.

#### **Матеріали та методи:**

За даними спіральної комп'ютерної томографії (СКТ) ННП та риноманометричного дослідження проведено комп'ютерне планування хірургічного лікування у 56 пацієнтів, які знаходились на стаціонарному лікуванні в ЛОР відділенні ПОКЛ ім. Скліфосовського з приводу хронічного фронтиту.

Пацієнти були поділені на 2 групи. Основна група – 27 пацієнтів, яким виконувалась традиційна функціональна фронтотомія типу Draf II з корекцією внутрішньоносових структур (ВНС). Контрольну групу склали пацієнти, яким була виконана ендоназальна фронтотомія типу Draf II без корекції ВНС (29 пацієнтів).

Спосіб планування функціональних ринохірургічних втручань, який складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтраскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини,

побудови аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів на основі єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів для визначення витрати  $Q$  повітря в верхніх дихальних шляхах за формулою, яка дозволяє враховувати режим течії повітря при носовому диханні, віртуального моделювання корекції форми анатомічних структур шляхом зміщення кісткових утворень та скорочення об'єму слизової оболонки на просторовій сегментованій лофтинговій моделі повітряних шляхів порожнини носа для зменшення локальних аеродинамічних опорів носових ходів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання та прогнозування результатів оперативного втручання щодо покращення повітряної провідності носових ходів за формулами  $K_Q = Q_2 / Q_1 \cdot 100\%$  та  $K_R = R_1 / R_2 \cdot 100\%$ , які характеризують процентні співвідношення між існуючими  $Q_1, R_1$  та прогнозованими  $Q_2, R_2$  параметрами витрати повітря та аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів відповідно, за даними єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів визначають локальні аеродинамічні опори вздовж порожнини носа, виявляють максимальний з них, а результуюча витрата  $Q$  повітря в верхніх дихальних шляхах обчислюється за формулою

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{\lambda \rho}{r} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta l_i}{S_i^2} + \max \left( \frac{\xi_j \cdot \rho}{2S_j^2} \right)}},$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску повітря носовому ході,

$\lambda = 64 / \text{Re}$  для ламінарного та  $\lambda = 0,32 / \text{Re}^{0,25}$  для турбулентного режимів течії повітря відповідно;

$\text{Re}$  – число Рейнольдса для режиму течії повітря в носовій порожнині;

$\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$  – щільність повітря;

$r$  – усереднений радіус перетину носового ходу;

$\Delta l_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки носового ходу;

$S_i$  – площа перетину  $i$ -ї ділянки носового ходу;

$N$  – кількість ділянок носового ходу;

$S_j$  – площа перетину  $j$ -ї локальної ділянки носового ходу;

$\xi_j$  – коефіцієнт локального аеродинамічного опору  $j$ -ї локальної ділянки носового ходу, з урахуванням не тільки втрат тиску за довжиною носової порожнини, а і враховуючи втрати тиску на локальних аеродинамічних опорах.

Побудова моделей комп'ютерного планування ринохірургічних операцій проведена на розробленому на кафедрі біомедичної інженерії ХНУРЕ оригінальному програмному забезпеченні Rhinoplan. V1.a.

Статистична обробка отриманих даних проводилась пакетом програм Statistica. Отримані результати статистично оцінювали за  $t$ -критерієм Стьюдента. Показники наведені у вигляді  $M \pm m$  (середнє значення  $\pm$  похибка середнього). Різниця вважалась вірогідною при значеннях  $p < 0,05$ .

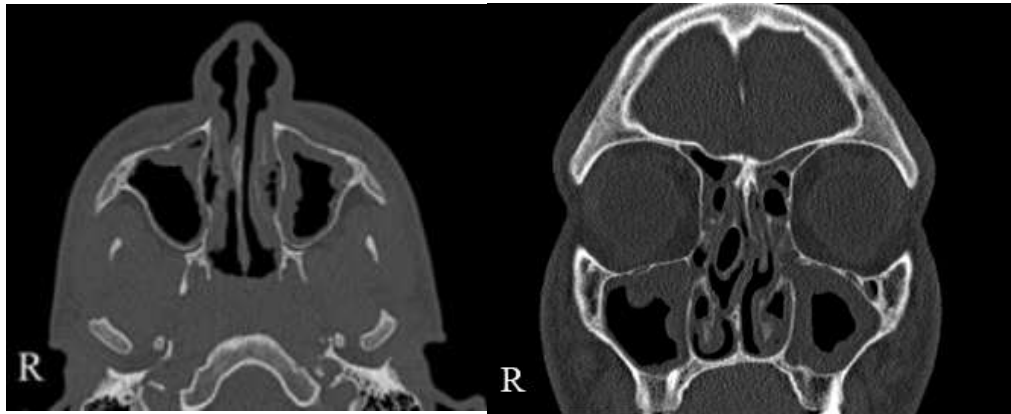
### **Результати дослідження та їх обговорення:**

Розглянемо визначення аеродинамічного носового опору при проведенні конфігураційного хірургічного планування на прикладі двох пацієнтів, яким з приводу причин, не пов'язаних з ЛОР-патологією було виконано повторну СКТ ННП після хірургічного лікування. Так з'явилась можливість порівняти прогнозовані результати корекції ВНС з фактичними, після виконаної операції.

**Пацієнт 1.** У передопераційному періоді виконувалися обстеження функції носового дихання за даними динамічної задньої активної риноманометрії (ЗАРМ), а також інтраскопічне картування за даними СКТ. Аксіальна СКТ-томограма і мультипланарна реконструкція верхніх дихальних шляхів у фронтальній проекції наведені на рис. 1, а і б, відповідно. На рис. 1 (а, б) показано, що у пацієнта мали місце ознаки двобічного гіперпластичного полісинуситу, гребінь переділочки носа, *concha bullosa* справа. При проведенні

ендориноскопії виявлено гребінь переділки носа справа (рис. 2, а), слизово-гнійні виділення в ділянці остіомеатального комплексу.

За результатами діагностичних досліджень було виконано комп'ютерне планування хірургічного втручання, яке показало, що шляхом виконання функціональної ринохірургічної операції, що включала в себе полісинусотомію та корекцію ділянки гребня переділки носа, можна знизити аеродинамічний опір правого і лівого носових каналів до величини у 1,7 – 1,8 разів (рис. 1, д, е). Фактично за результатами СКТ і ЗАРМ через 4 тижні після операції встановлено, що аеродинамічний опір правої половини носа знизився в 1,4 рази, лівої – в 1,2 рази (рис. 1, в, г, д, е). Прогностична ефективність комп'ютерного планування склала близько 70%. При ендоскопічному огляді порожнини носа через 1 місяць після операції даних за запальну ЛОР патологію не виявлено (рис. 2, б).



а

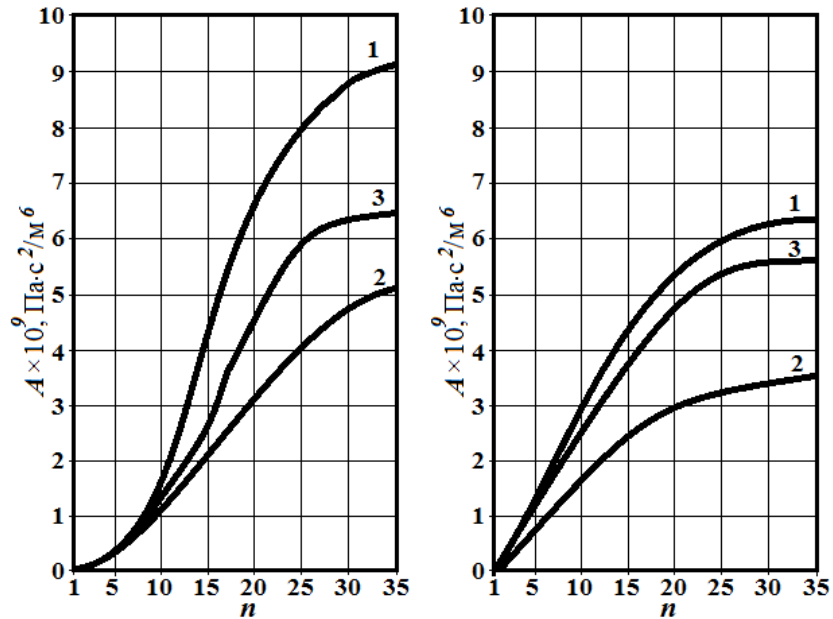
б





В

Г



Д

Е

Рис. 1. - Ілюстрація результатів функціональної ринохірургії з урахуванням комп'ютерного планування: а) вихідна аксіальна СКТ, б) вихідна фронтальна МПР, в) аксіальна СКТ в післяопераційному періоді через 3 тижні, г) фронтальна МПР в післяопераційному періоді через 3 тижні, зміна аеродинамічного носового опору для правого (д) і лівого (е) носових каналів (1 - передопераційні дані, 2 - прогнозовані дані, 3 - дані фактичного результату операції через 3 тижні)

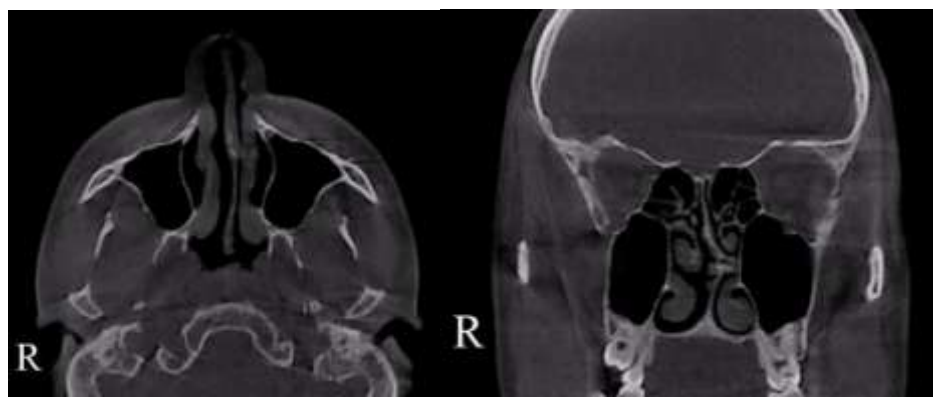


а

б

Рис. 2. Ендориноскопія: а - до операції (після анемізації слизової оболонки порожнини носа); б - Через 1 місяць після операції.

**Пацієнт 2.** Аксіальна СКТ-томограма і мультипланарна реконструкція верхніх дихальних шляхів у фронтальній проекції наведені на рис. 3, а і б, відповідно. За даними СКТ (рис. 3) та ендоскопічного обстеження (рис. 4) визначались запальні зміни в лівій лобній пазусі (на рис. 3, б не видно), гребінь носової переділки. За результатами діагностичних досліджень було виконано комп'ютерне планування хірургічного втручання, яке показало, що шляхом виконання комплексного ринохірургічного втручання, що складалось з корекції переділки носу (септопластика) та лівобічної ендоназальної фронтотомії, можна знизити аеродинамічний опір правого носового каналу в 1,2 рази, і лівого носового каналу – до 2-х разів (рис. 3, д, е). Фактично за результатами СКТ і ЗАРМ через 4 тижні після операції встановлено, що аеродинамічний опір правої половини носа за рахунок післяопераційного набряку збільшився в 1,16 разів (рис. 3, в, г, д, е), а лівої – зменшився в 1,53 рази. Прогностична ефективність комп'ютерного планування склала близько 60%. При ендоскопічному огляді порожнини носа через 1 місяць після операції даних за запальну ЛОР патологію виявлено не було (рис. 4, б).



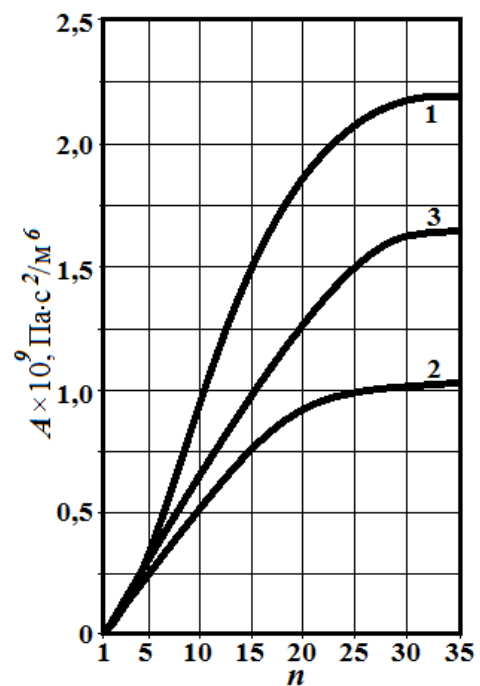
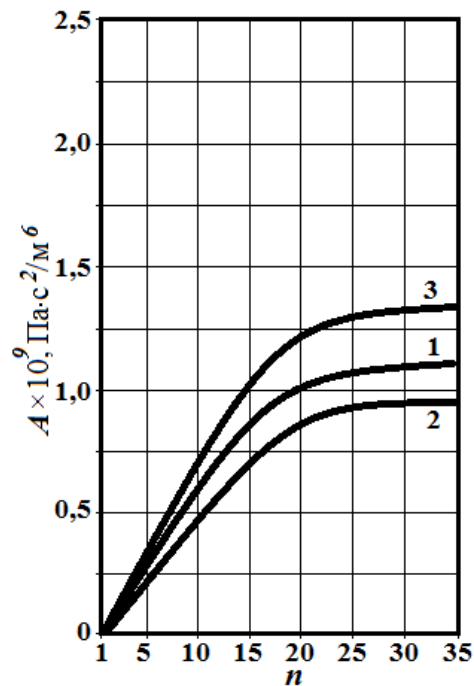
а

б



B

Г



Д

Е

Рис. 3. – Ілюстрація результатів функціональної ринохірургії з урахуванням комп'ютерного планування: а) вихідна аксіальна СКТ, б) вихідна фронтальна МПР, в) аксіальна СКТ в післяопераційному періоді через 4 тижні, г) фронтальна МПР в післяопераційному періоді через 4 тижні, зміна аеродинамічного носового опору для правого (д) і лівого (е) носових каналів (1 – передопераційні дані, 2 – прогнозовані дані, 3 – дані фактичного результату операції через 4 тижні)



а

б

Рис. 4. Риноскопичне фото (ліва половина носа): а - до операції (після анемізації слизової оболонки порожнини носа); б - Через 1 місяць після операції.

#### **Результати дослідження аеродинамічного носового опору за даними риноманометрії і спіральної комп'ютерної томографії**

Дані дослідження повітряного опору носового дихання, отримані на основі риноманометричного дослідження визначались за формулою  $A_{ЗАРМ} = \frac{\Delta p}{Q}$  і представлені на рис. 5. В доопераційному періоді в основній групі пацієнтів  $A_{ЗАРМ} = 2,15 \pm 0,11$  (М $\pm$ m; кПа $\cdot$ с/л=Па $\cdot$ с/м<sup>3</sup> $\cdot$ 10<sup>6</sup>), після хірургічного лікування  $A_{ЗАРМ} = 1,43 \pm 0,09$  (М $\pm$ m; кПа $\cdot$ с/л=Па $\cdot$ с/м<sup>3</sup> $\cdot$ 10<sup>6</sup>). В контрольній групі: до операції  $A_{ЗАРМ} = 1,41 \pm 0,07$  (М $\pm$ m; кПа $\cdot$ с/л=Па $\cdot$ с/м<sup>3</sup> $\cdot$ 10<sup>6</sup>), після операції  $A_{ЗАРМ} = 1,29 \pm 0,05$  (М $\pm$ m; кПа $\cdot$ с/л=Па $\cdot$ с/м<sup>3</sup> $\cdot$ 10<sup>6</sup>). Показники риноманометрії до хірургічного втручання та через 4 тижні після мали статистично достовірні відмінності у пацієнтів основної групи, яким була виконана ендоназальна фронтотомія з корекцією ВНС ( $p < 0,00001$ ). Показники риноманометрії у пацієнтів контрольної групи, яким виконана фронтотомія без корекції ВНС, не мали статистично достовірних відмінностей ( $p = 0,168$ ). Таким чином, корекція внутрішньоносових структур змінює аеродинамічний носовий опір на більшій ділянці, і в широкому діапазоні значень, а без корекції - тільки на ділянці, що

безпосередньо примикає до ділянки співустя, а також за рахунок загального зменшення набряку слизової оболонки порожнини носа.

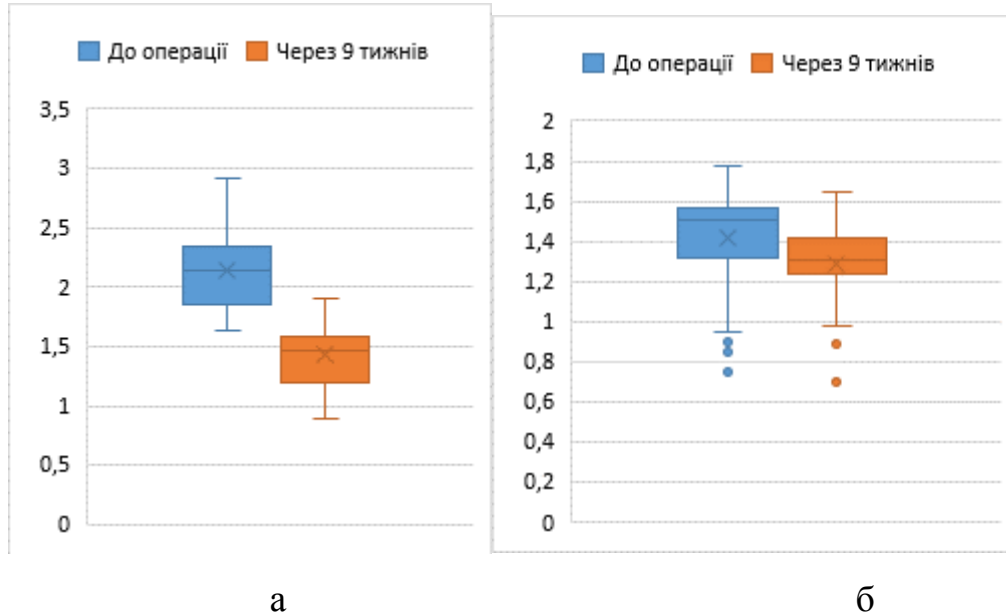


Рис.5. Співвідношення риноманометричних показників до операції та через 9 тижнів у пацієнтів: а – основної групи; б – контрольної групи.

При аналізі даних СКТ визначена величина аеродинамічного носового опору за формулою  $A_{СКТ} = \frac{\Delta p}{Q^2}$ . У пацієнтів основної групи показник  $A_{СКТ} = 2,82 \pm 0,21$  (M $\pm$ m; Па·с/м<sup>6</sup>·10<sup>9</sup>), у пацієнтів контрольної групи -  $A_{СКТ} = 1,06 \pm 0,06$  (M $\pm$ m; Па·с/м<sup>6</sup>·10<sup>9</sup>). У пацієнтів контрольної групи отримані дані відповідають середньостатистичним показникам норми для даного дослідження. У пацієнтів основної групи показники свідчили про наявність порушень ВНС, які полягали в порушенні аеродинамічного носового опору.

### Висновок:

Використання даного способу дає можливість на етапі хірургічного планування провести кількісну оцінку післяопераційного покращення функціональних результатів оперативного втручання, причому, що особливо

важливо, з урахуванням післяопераційної зміни локальних аеродинамічних опорів, що спостерігається більш, ніж в 80% випадків при функціональній септопластиці.

Комп'ютерне планування дозволяє підвищити ефективність функціональних ринологічних втручань в середньому на 32%. Для його реалізації потрібні високоточні методи діагностики і впровадження достатньо складних процедур конфігураційного віртуального моделювання хірургічних втручань.

### **Список літератури:**

1. Аврунин О. Г. Принципы компьютерного планирования функциональных оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин // Технічна електродинаміка, тем випуск «Силовая електроніка та енергоефективність». – 2011. – Ч. 2. – С. 293-298.
2. Волков А.Г. Восстановление анатомии и физиологии лобных пазух после их раскрытия / Волков А.Г // Успехи современного естествознания №1, 2006 стр. 50
3. Книгавко, Ю.В. Расчет функциональных параметров, определяющих показания к проведению ринопластики / Ю.В. Книгавко, О.Г. Аврунин, Х. Фарук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.– 2013.– № 2/10 (62). – С. 24–27.
4. Тарасова С.А. Прогнозирование в клинической медицине // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XXX междунар. научно-практ. конф. Часть II. - Новосибирск: СибАК, 2014.
5. Eloy J.A. High-resolution computed tomography analysis of the frontal sinus ostium: a pilot study / J.A.Eloy, D.M.Neskey, R.Vivero [et al.] // JAm J Otolaryngol. – 2013. – Vol. 34. – № 2. – P. 99-102.

Лобурец Андрей Валерьевич- очный аспирант кафедры оториноларингологии с офтальмологией, [anjeyloburets@gmail.com](mailto:anjeyloburets@gmail.com); 095-901-20-11