

Харківський національний університет радіоелектроніки
РЕФЕРАТ
роботи «Інтелектуальні технології функціональної діагностики
та моделювання хірургічних втручань»

1. **Аврунін** Олег Григорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.
2. **Безшапочний** Серій Борисович, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри оториноларингології з офтальмологією вищого державного навчального закладу України «Українська медична стоматологічна академія».
3. **Бодянський** Євгеній Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри штучного інтелекту, науковий керівник проблемної науково-дослідної лабораторії автоматизованих систем управління Харківського національного університету радіоелектроніки .
4. **Злепко** Сергій Макарович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Вінницького Національного технічного університету.
5. **Калашник** Михайло Васильович, кандидат медичних наук, доцент, завідувач оториноларингологічним відділенням клінічного закладу Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф (КЗ ЦЕМД та МК) «Харківська обласна клінічна лікарня», доцент кафедри оториноларингології Харківського національного медичного університету.
6. **Лисенко** Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» .
7. **Павлов** Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Вінницького Національного технічного університету.
8. **Філатов** Валентин Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки.

Актуальність. Прогрес сучасної медицини значною мірою обумовлений широким впровадженням та використанням передових досягнень в інформаційних технологіях та приладобудуванні. Сьогодні у всіх індустріально розвинених країнах світу однією з найбільш актуальних соціальних проблем є розробка та впровадження нових медичних технологій для підвищення якості надання медичної допомоги. Підвищення ефективності стандартів надання медичної допомоги населенню є найбільш актуальним соціальним завданням у всіх розвинених країнах світу, що підтверджується Рамковою програмою Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт 2020» (Program EU "Horizon 2020 / H2020"), яка активно впроваджується протягом 2014–2020 рр.. Одним з пріоритетних напрямків цієї програми є «Соціальні виклики» з тематикою «Охорона здоров'я, демографічні зміни та добробут», що спрямовано на поліпшення здоров'я і самопочуття європейських громадян протягом усього життя.

Тому, використання науково-технічного та виробничого потенціалу для удосконалення і розробки інноваційних методів і засобів медичного призначення, є стратегічно важливим завданням для галузі української біомедичної інженерії та розвитку інформаційних технологій при формуванні та підтримки діагностичних рішень.

Сучасна медична діагностика базується на доказовому підході, який заснований на використанні високоточної апаратури і нових інформаційних технологіях для отримання достовірних кількісних даних про стан організму людини. В даний час найбільш активна еволюція спостерігається у функціональних методах діагностики, які спрямовано на реєстрацію кількісних показників фізіологічних функцій будь-якого органу, або всього організму та виявлення порушень в залежності від конкретної патології. Ця інформація особливо корисна для практикуючих лікарів-клініцистів, так як дозволяє зв'язати анатомо-морфологічні та фізіологічні параметри досліджуваного органу для уточнення картини патологічного процесу. Функціональні дослідження активно застосовуються також в спортивній медицині, при професійному відборі та профілактичних оглядах для визначення фізичних можливостей людини.

Але, просте підвищення точності вимірювань фізіологічних показників не дозволяє сформувати та обґрунтувати чітку кореляцію між суб'єктивними відчуттями пацієнта та діагностичними даними. Тому, тільки сучасні інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень дозволяють підвищити достовірність результатів діагностичних досліджень за рахунок використання спеціалізованих методів обробки даних та надання клініцисту додаткової, розширеної інформації щодо патологічного процесу.

Однак, методи та апаратні засоби функціональних досліджень і медичної візуалізації в основному удосконалювалися з акцентом на проведення виключно діагностичних процедур і, як їх логічний розвиток, в останньому десятиріччі став розвиватися напрямок комп'ютерного моделювання та планування хірургічних втручань. Проблема розробки

інтелектуальних технологій моделювання хірургічних втручань з урахуванням можливостей сучасного діагностичного та хірургічного обладнання розглядалася досить відособлено, вузькоспеціалізовано, без застосування системного підходу. При цьому відсутність теоретичних основ і чітких принципів сучасних інтелектуальних технологій моделювання хірургічних втручань суттєво обмежує можливості підвищення ефективності методів оперативного лікування та ускладнює перехід хірургічних процедур до сучасних стандартів і критеріїв доказової медицини.

Складність методів планування хірургічних втручань на сучасному етапі диктується, насамперед, комплексністю діагностичних і лікувальних задач, які стоять перед фахівцем в умовах великої кількості технічних засобів і надходження різномірної за своєю структурою інформації. При цьому особлива увага має приділятися розробці інструментальних методів функціональної діагностики, за об'єктивними даними яких реалізуються процедури планування хірургічного втручання.

Але, не зважаючи на розвиток технічних засобів в функціональній діагностиці сьогодні актуальною залишається проблема повторюваності даних під час вимірювання фізіологічних параметрів організму людини в умовах відсутності еталону. Такі методи на сучасному етапі вимагають введення чітких і наочних критеріїв, необхідних для прийняття обґрунтованих діагностичних рішень, прогнозування та визначення ефективності функціональних оперативних втручань на доказовому рівні, реалізувати які можливо тільки за рахунок застосування інтелектуальних технологій обробки та аналізу даних.

Тому, **метою роботи** є створення інтелектуальних технологій функціональної діагностики та моделювання хірургічних втручань, які засновано на методах інструментальної доказової діагностики, віртуального моделювання та прогнозування результатів оперативних втручань.

Розробка базується на багаторічному досвіді вітчизняних спеціалістів в галузі медичного приладобудування та інформаційних технологій, співробітництві із ведучими медичними центрами та закордонними інститутами, що дозволило створити біотехнічний комплекс світового рівня, в якому використовуються сучасні технічні рішення, складні біофізичні моделі, інтелектуальні технології та структурні форми для підвищення достовірності результатів діагностики та ефективності проведення хірургічного лікування.

Вітчизняних та прямих аналогів в світі запропонованому комплексу немає, а кількість вагомих закордонних публікацій підтверджує, що це перша системна розробка в галузі біомедичної інженерії щодо віртуального моделювання та комп'ютерного планування хірургічних втручань на основі інтелектуальних технологій обробки та аналізу даних.

Наукова новизна роботи складається в тому, що

- вперше розроблено теоретичні основи та концепцію створення інтелектуальних технологій функціональної діагностики та моделювання

хірургічних втручань, які базуються на вирішенні конфігураційних та траєкторних задач і об'єднанні функціональних та анатомічних діагностичних даних, що дозволяє розробляти сучасні автоматизовані біотехнічні комплекси доказової інструментальної діагностики та хірургічного лікування;

- набула подальшого розвитку концепція побудови діагностичних засобів для тестування носового дихання, яка за рахунок застосування методу, що реалізує принцип динамічної задньої активної риноманометрії при форсованому диханні та інтелектуальних технологій обробки даних, дозволяє забезпечити об'єктивну оцінку аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів при максимальній фізіологічності вимірювальних процедур з урахуванням індивідуальної варіабельності;

- вперше на основі інтелектуального аналізу показників назальної аеродинаміки на мікрорівні проведено теоретичне обґрунтування механізму травмування слизової оболонки носової порожнини повітряним потоком, яке ґрунтується на визначенні та порівнянні відповідних величин товщини ламінарної пристінкової течії повітря і шорсткості слизової оболонки, що дозволяє підвищити адекватність методів діагностики та хірургічного лікування патологій, що пов'язані з порушеннями носового дихання;

- вперше розроблено метод комп'ютерного моделювання та конфігураційного планування ринохірургічних втручань, що заснований на комплексній аеродинамічній моделі верхніх дихальних шляхів, яка ґрунтується на об'єднанні анатомічних даних комп'ютерної томографії і функціональних результатів риноманометрії, що дозволяє на основі віртуального моделювання коригуючих хірургічних втручань за даними деформувальної варпінгової математичної моделі прогнозувати функціональні результати операції в залежності від режимів дихання та індивідуальної фізіологічної варіабельності.

- вперше розроблено концепцію формування мінімально травматичної траєкторії нейрохірургічного доступу, який базується на інтелектуальній технології побудови карти індексів ризику пошкодження анатомо-функціональних структур мозку, що дозволяє підвищити ефективність нейронавігації та знизити ризик післяопераційних ускладнень.

- запропоновано метод моделювання коригуючих офтальмологічних втручань при лікуванні косоокості, який заснований на тривимірній моделі очорухового апарату та введення геометричних властивостей очного яблука в офтальмологічній сферичній системі координат та дозволяє враховувати показники індивідуальної анатомічної мінливості при комп'ютерному плануванні хірургічних втручань.

- удосконалено метод діагностування артеріальних патологій системи кровообігу людини, який відрізняється від існуючих тим, що за рахунок використання експертних баз знань щодо основних гемодинамічних показників дозволяє на доказовому рівні конкретизувати ступінь тяжкості

захворювання та отримати прогностичні показники з урахуванням індивідуальної варіабельності;

- розвинуто теорію та узагальнено методи і принципи побудови засобів аудіометрії та акустичної імпедансометрії, що дозволило на основі отриманих аналітичних виразів рівнянь вимірювання і відтворення визначити шляхи підвищення їх точності, а також розширити функціональні можливості за рахунок реалізації методу ВЧ аудіометрії не лише при повітряному, а і кістковому проведенні звуків, врахування віку та статі обстежуваних при формуванні висновку про стан їх слуху, автоматизації процедури дослідження, реалізації додаткових режимів обстеження та подальшої інтеграції методів аудіометрії і акустичної імпедансометрії в одному засобі.

Практична значимість роботи полягає в тому, що:

- реалізовано розроблені інтелектуальні технології в діагностичних пристроях з розширеними функціональними можливостями, створено відповідні методичні рекомендації щодо проведення інструментальної діагностики та комп'ютерного планування хірургічних втручань, що в перспективі дозволить вирішити проблему оснащення медичних центрів високоякісним і недорогим вітчизняним обладнанням;

- розроблено методики атестації, перевірки та попередньої клінічної апробації діагностичних пристроїв, а також розроблено основні медико-технічні вимоги та практичні рекомендації для проектування біотехнічних комплексів віртуального моделювання та комп'ютерного планування хірургічних втручань в різних галузях медицини⁴

- розширені уявлення щодо фізіології верхніх дихальних шляхів за рахунок розроблених математичних моделей та інтелектуальних технологій обробки даних, що дозволяє отримати підтримку прийняття діагностичних рішень з урахуванням індивідуальної варіабельності;

- результати роботи впроваджено у виробництві, при створенні перспективних планів виготовлення медичної апаратури, в різних клінічних закладах України та при викладанні дисциплін в декількох ВНЗ України.

Виконано спільні наукові розробки з Харківським національним медичним університетом, Українською медичною стоматологічною академією (м. Полтава), Національним технічним університетом України «Київський Політехнічний Інститут», Вінницьким національним технічним університетом, КЗ ЦМД та МК «Харківська обласна клінічна лікарня».

Короткий зміст роботи. Виходячи з практичного досвіду, у роботі запропоновано концепцію, що заснована на інтелектуальних технологіях функціональної діагностики, віртуального моделювання та комп'ютерного планування хірургічних втручань в оториноларингології, офтальмології, нейрохірургії, пластичній та судинній хірургії, яка базується на принципах траєкторного та конфігураційного віртуального моделювання хірургічних втручань (див. рис. 1). Принцип конфігураційного віртуального моделювання оперативних втручань заснований на дослідженні комплексної морфо-

функціональної моделі анатомічної області та прогнозуванні функціональних результатів лікування за рахунок модифікації геометричних властивостей анатомічних структур. Принцип траєкторного віртуального моделювання оперативних втручань заснований на розв'язанні задачі визначення оптимального (за критерієм найменшого травматизму) хірургічного доступу до визначеної анатомічної області.

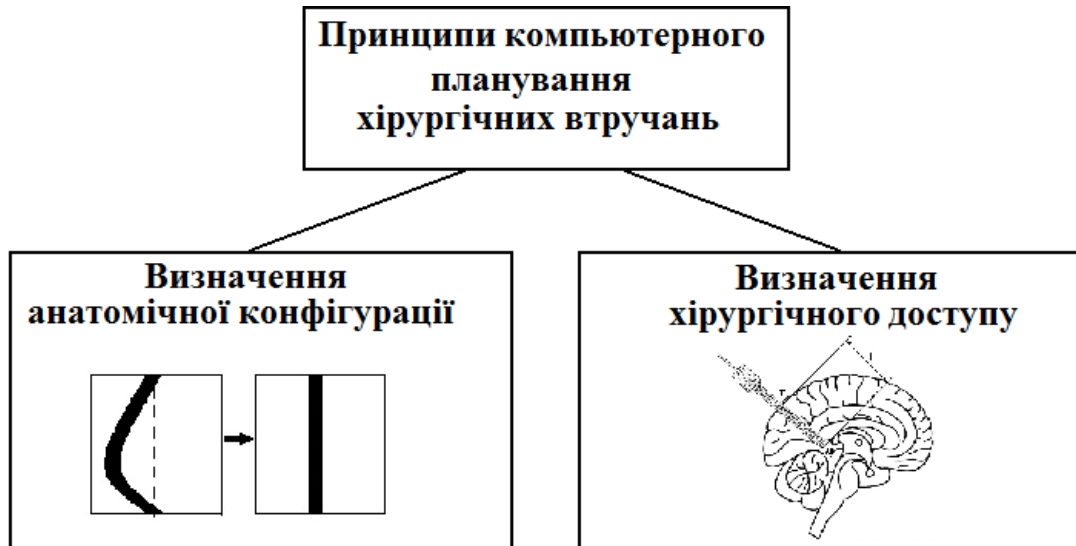


Рис 1. Класифікація принципів комп'ютерного планування хірургічних втручань

Запропоновано біотехнічний комплекс комп'ютерного планування хірургічних втручань (див рис. 2), до складу якого входять системи інтроскопічної діагностики, що дозволяє здійснити анатомічне картування структур, що підлягають оперативному втручанню, системи функціональної діагностики, яка дозволяє отримати дані щодо функціонування досліджуваних структур, системи комп'ютерного планування хірургічних втручань, в якій виконується формування вихідних параметрів до хірургічної апаратури на основі проведення віртуального моделювання та прогнозування анатомо-функціональних результатів оперативних втручань.

Авторами запропоновано, що до складу системи комп'ютерного планування хірургічних втручань (див. рис. 3) входять модуль побудови комплексної анатомо-функціональної моделі, яка формується за даними інтроскопічного обстеження та результатами функціональної діагностики, модулі віртуального моделювання хірургічних втручань, прогнозування результатів та формування вихідних даних щодо управління хірургічною апаратурою, та модуль незалежної, наприклад, цитологічної, верифікації отриманих результатів. В модулі візуалізації та швидкого прототипування виконується відображення результатів роботи на всіх етапах функціонування системи та можливе виготовлення натурних 3D-моделей для наочного фантомного моделювання оперативних втручань.

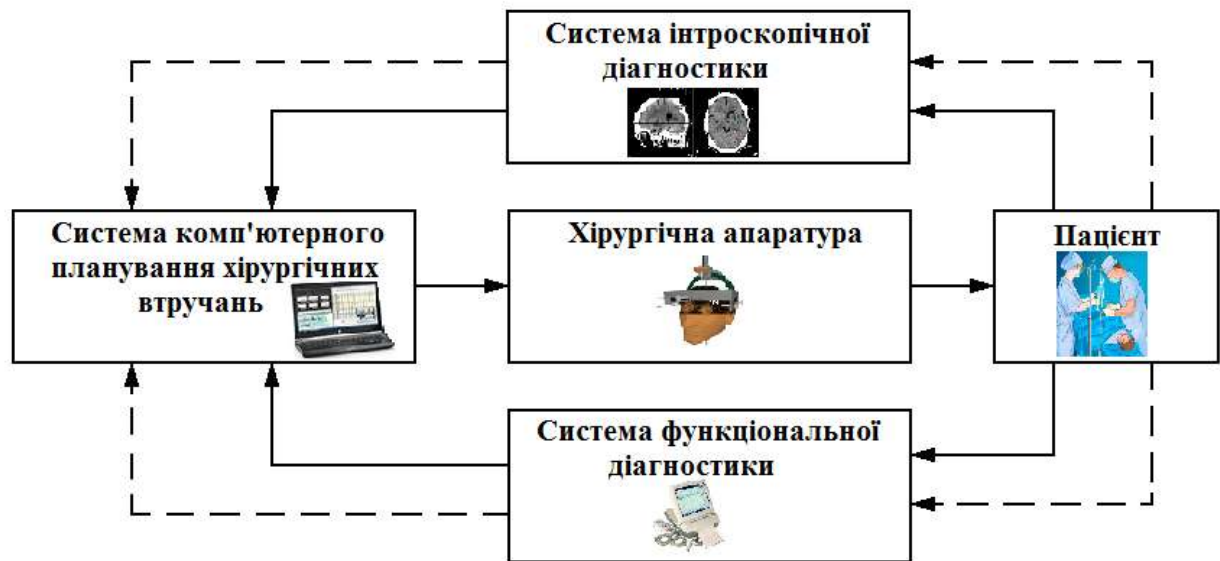


Рис 2. Біотехнічний комплекс інструментальної діагностики та комп'ютерного планування хірургічних втручань

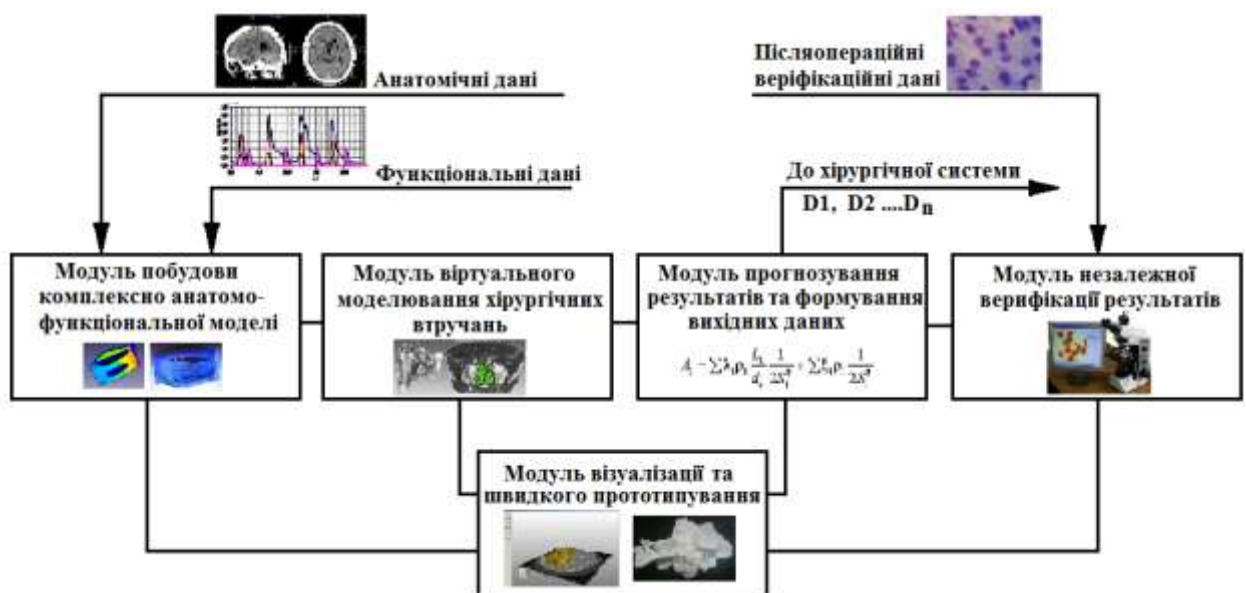


Рис 3. Система комп'ютерного планування хірургічних втручань, роботу якої проілюстровано на прикладі функціональної ринохірургії

Таким чином, запропонований біотехнічний комплекс щодо моделювання та комп'ютерного планування хірургічних втручань на основі інтелектуальних технологій обробки та аналізу діагностичних даних реалізовано в риноларингології, отології, офтальмології, нейрохірургії, пластичній та судинній хірургії (див. рис. 4).

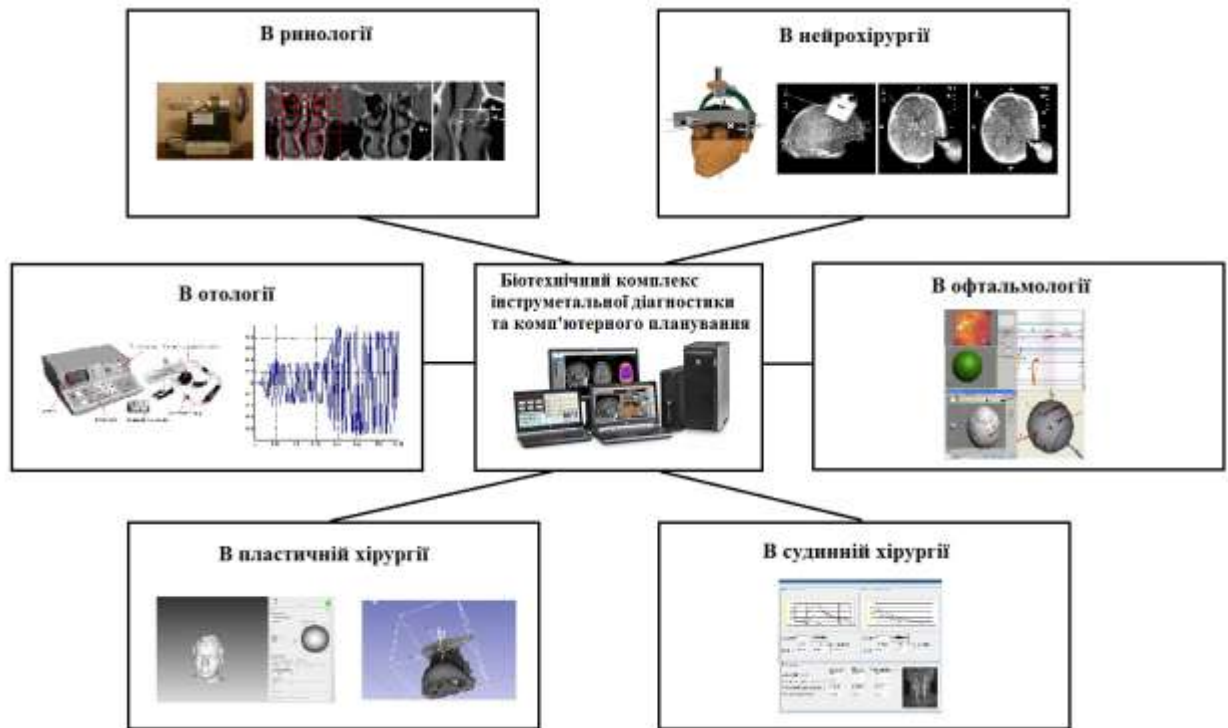


Рис 4. Галузі застосування біотехнічного комплексу,
де вже отримано практичне впровадження

Розробка має виражений комплексний соціально-економічний ефект, який досягається безпосереднім зниженням вартості запропонованих засобів в порівнянні з відомими аналогами, врахуванням зниження витрат на перебування хворого в стаціонарі і оплати лікарняних листів, зниженням рецидивів захворювання та зменшенням виробничих втрат через хворобу працівника за рахунок скорочення часу перебування на стаціонарному лікуванні.

В роботі послідовно вирішуються завдання щодо створення інтелектуальних технологій об'єктивної інструментальної діагностики та комп'ютерного планування хірургічних операцій в різних областях медицини, що потребують високоточного сучасного обладнання. Це дозволяє фахівцям різних галузей знайомитися з запропонованими розробками та підготуватись до їх використання в практичній діяльності. Майбутнє удосконалення комп'ютерного моделювання хірургічних втручань полягає в знаходженні можливостей подальшої формалізації методів моделювання медичних впливів, розробки математичних моделей і методики прогнозування та оцінки впливу ступеня корекції анатомічних і функціональних структур на фізіологічні показники.

Встановлено, що при траєкторному принципі для забезпечення оптимального за критерієм найменшої інвазивності хірургічного доступу необхідно введення функції інтегральної інвазивності траєкторії хірургічного інструменту, яка заснована на використанні індексів інвазивності анатомо-функціональних структур мозку в залежності від рівня небезпеки ушкодження. Використання ступеневої інтегральної функції інвазивності

дозволяє ранжувати можливі траєкторії хірургічного доступу без ефекту накопичуючого перекривання при загальній кількості індексів інвазивності, що забезпечує вичерпне картування черепу та структур головного мозку за ступенем ризику операційних ушкоджень та дозволяє створити базу даних оперативних доступів з інтелектуальними технологіями підтримки прийняття рішень при урахуванні індивідуальної анатомічної варіабельності.

При конфігураційному принципі виникає необхідність об'єднувати висновки аеродинамічного моделювання за даними комп'ютерної томографії та результати риноманометричної діагностики для адекватної інтерпретації та незалежної верифікації методів тестування носового дихання.

Методи визначення аеродинамічних характеристик носової порожнини на основі інтелектуальної обробки даних комп'ютерної томографії дозволяють проводити віртуальне моделювання корекції ендоназальних структур, що робить їх більш перспективними відносно стандартної риноманометрії за рахунок можливості використовувати їх прогностичні результати при комп'ютерному плануванні функціональних ринохірургічних втручань. При чому, поєднання сучасної елементної бази з новими інформаційними технологіями та методами інтелектуального аналізу даних дозволяє відкрити нові закономірності щодо фізіологічних процесів та, наприклад, провести дослідження впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини на мікрорівні та виявити механізми розвитку хронічних захворювань верхніх дихальних шляхів, що пов'язано з респіраторними порушеннями.

Розроблено методики метрологічної атестації, повірки та експлуатації щодо оригінального приладу тестування носового дихання, що дозволяє створити практичні рекомендації для проведення риноманометричної діагностики, які пов'язано з коректним розміщенням вимірювальних та допоміжних засобів, обробкою та аналізом даних, що може дозволити уникнути грубих промахів при інтерпретації результатів при тестуванні носового дихання.

Встановлено, що при моделюванні хірургічного втручання на тканинах обличчя людини на основі розробленого методу переміщення зв'язаних елементів об'єму, для збереження просторової конфігурації анатомічних структур щільність вокселів віртуальної моделі має складати не менш ніж 5000 елементів на кубічний сантиметр, а для комп'ютерного моделювання функціонального ринохірургічного втручання – не менше ніж 7000 вокселів на кубічний сантиметр тканини, що пов'язано з точністю побудови геометричної моделі для подальшого визначення аеродинамічних характеристик повітряного потоку.

Розроблено, удосконалено і експериментально апробовано метрологічне методичне та апаратне забезпечення аудіометрів та аналізаторів середнього вуха з розширеними функціональними можливостями, яке є основою для проведення подальших робіт по створенню і вдосконаленню в Україні системи метрологічного забезпечення в області високочастотної аудіометрії та акустичної імпедансометрії. Ці засоби надають змогу вирішити проблему

раннього діагностування і профілактики порушень слуху у різних груп населення.

Розроблений метод комп'ютерного моделювання офтальмологічних втручань, який на основі розрахунку моментів сил окоорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука дозволяє визначати результуючого моменту сил всього комплексу очних м'язів та прогнозувати наслідки оперативного втручання.

Розроблено програмні засоби для траєкторного комп'ютерного планування та дослідний макет апаратно-програмного засобу для хірургічної навігації. Визначено основні медико-технічні вимоги до системи комп'ютерного планування та практичні рекомендації щодо її експлуатації.

Робота висвітлює багаторічний досвід, здобутий авторами у співробітництві з видатними вченими, науково-дослідними технологічними інститутами України, в міжнародній співпраці з Інститутом мультифазних процесів Університета ім. В. Лейбніца (м. Ганновер, Німеччина) в рамках проектів BMBF, DAAD, Erasmus+.

За тематикою роботи опубліковано 324 наукових праць, з яких:

- монографій – 25;
 - навчальних посібників – 2
 - патентів та винаходи – 33;
 - статей у наукових журналах – 193, з них опубліковано в зарубіжних виданнях – 57;
 - тез доповідей на наукових конференціях – 69;
 - дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук – 3;
 - дисертацій на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук – 29;
 - дисертацій на здобуття вченого ступеня кандидата медичних наук – 1;
- h-індекс по роботі в Scopus – 8, h-індекс по роботі d Google Scholar – 11

Автори:

Аврунін О.Г.



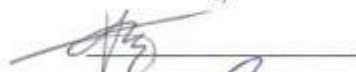
Безшапочний С.Б.



Бодянський Є.В.



Злепко С.М.



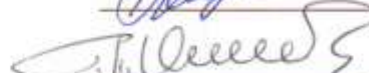
Калашник М.В.



Лисенко О.М.



Павлов С.В.



Філатов В.О.

