

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

КУХАРЕНКО ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 004.94:615.471

**КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ПЕРЕДОПЕРАЦІЙНОГО ПЛАНУВАННЯ
ХІРУРГІЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ПАТОЛОГІЇ ОКОРУХОВОГО АПАРАТУ
ЛЮДИНИ**

Спеціальність 05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: **АВРУНІН Олег Григорович**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Офіційні опоненти: **КІПЕНСЬКИЙ Андрій Володимирович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету інтегральної підготовки, проф. кафедри промислової та біомедичної електроніки Національного технічного університету «ХПІ»

ПАВЛОВ Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та фотоніки, проректор з наукової роботи Вінницького національного технічного університету

Захист відбудеться «01» липня 2014 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.052.05 у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14, корпус 1, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «29» травня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор техн. наук, доцент



І.В. Лисицька

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Серед усіх захворювань очей значний відсоток приходить на косоокість. На сьогоднішній день проблеми косоокості повністю не вирішені. Відповідно до медичної статистики 4–5 % дітей страждають на косоокість. Основним способом усунення косоокості залишається оперативне втручання. Суть будь-якої операції з приводу косоокості полягає в зміні тонуусу, тобто сили дії того чи іншого окорухового м'яза, чи в зміні місця прикладання цієї сили. Емпіричним шляхом було створено методику операції і схеми хірургічного лікування, які з більшим чи меншим успіхом дозволяли усунути косоокість у більшості хворих. При цьому горизонтальну співдружну косоокість (збіжна, розбіжна, альтернуюча) навчилися оперувати досить успішно, вертикальну – значно гірше, а А-V-X синдроми, не дивлячись на те, що їх активно почали оперувати ще в кінці п'ятидесятих років ХХ сторіччя, до останнього часу, гарантовано корегувати не навчився ніхто, хоч цьому питанню присвячено багато праць, як класиків, так і сучасних авторів: Halswanter T., Hoerantner R., Priglinger S., Jampel R. S., Koene A. R., Bartels M., Birch-Hirschfeld A., Cords R., Sachsenweger R., Scott A. B., Bit B. B., Аветисов Е. С., Ємченко В.І., Ковалевський Е. І., Хватова А. В.

Таким чином, приступаючи до операції, офтальмолог-хірург розраховує тільки на свій власний досвід. Емпіричні методи тут мало ефективні через велику різноманітність і складність такої косоокості. Тому для подальшого підвищення ефективності хірургії косоокості, розробка комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції окорухового апарату є актуальною.

Такі комп'ютерні системи існують, вони мають у своєму складі тривимірну модель окорухового апарату, але вони в кращому випадку можуть слугувати допоміжним навчальним стендом для ознайомлення з будовою окорухового апарату тому, що не мають у своєму складі кількісних показників для визначення параметрів, необхідних для хірургічної корекції.

Розробка нової комп'ютерної системи дозволить уявити можливі причини та механізми розвитку певних форм косоокості, а також прогнозувати результати хірургічних втручань на окорухових м'язах. Користуючись комп'ютерною системою передопераційного планування хірургічної корекції окорухового апарату, офтальмолог-хірург зможе вибрати оптимальну тактику хірургічного лікування і дозування оперативних втручань для конкретного хворого.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Основою роботи є результати теоретичних і практичних досліджень, виконаних автором у рамках науково-дослідної роботи за держбюджетними темами Харківського національного університету радіоелектроніки «Дослідження теоретичних та технічних принципів діагностики, оцінки та корекції медико-соціального стану людини», УДК 004.3189-181.4, ДР 0109U000664; «Розробка методів та інформаційно-аналітичних систем обліку і експрес-діагностики студентів з особливими освітніми потребами», № 279-1, ДР 0113U000364; «Дослідження теоретичних та технічних принципів діагностики, оцінки та корекції медико-соціального стану людини», № 247-1, ДР 0113U000364.

Метою роботи є розробка комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції окорухового апарату.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати існуючі моделі окорухового апарату людини та методи їх побудови;
- розробити математичну модель окорухового апарату для передопераційного планування;
- розробити метод визначення координат анатомічних утворень на поверхні моделі очного яблука;
- розробити метод розрахунку моментів сил окорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука;
- розробити алгоритми і програмний засіб для практичної реалізації математичних моделей.

Об'єктом дослідження є процес встановлення очного яблука людини в первинну позицію під дією всього комплексу м'язів.

Предметом дослідження є комп'ютерна система передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини.

Методи дослідження. Виконані дослідження базуються на положеннях і методах системного аналізу, теорії нейронних мереж, методах геометричних афінних перетворень, методах математичного моделювання і методах дискримінантного аналізу та статистичної обробки даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

- уперше розроблено метод визначення координат на поверхні моделі очного яблука, який за рахунок визначення геометричних властивостей очного яблука дозволяє проводити комп'ютерне планування хірургічних втручань;
- уперше розроблено метод розрахунку моментів сил окорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука, що заснований на визначенні результуючого моменту сил всього комплексу очних м'язів та дозволяє визначити відхилення очного яблука від первинної позиції;
- запропоновано метод створення тривимірної моделі окорухового апарату, який за рахунок введення геометричних властивостей очного яблука в офтальмологічну сферичну систему координат, дозволяє враховувати індивідуальну анатомічну мінливість при комп'ютерному плануванні хірургічних втручань.

Обґрунтованість та достовірність результатів роботи підтверджується збігом результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також результатами реалізації в умовах реального передопераційного планування.

Практична значимість роботи. Отримані наукові результати мають практичне значення, що підтверджується патентами та актами впровадження результатів.

1. Розроблена комп'ютерна система дозволяє прогнозувати результат операції на окорухових м'язах, що може бути використано в медичних закладах для підвищення ефективності хірургічних втручань на косоокість.

2. Розроблені основні медико-технічні вимоги та практичні рекомендації для проектування.

3. Тривимірна комп'ютерна модель окорухового апарату дає можливість уявити причини та механізми розвитку певних форм косоокості, може бути використана як наглядний посібник для студентів і може застосовуватись у лікувальній практиці без додаткового тривалого навчання медичного персоналу. Одержані результати засто-

совуються під час проведення оперативних втручань в Кременчуцькій дитячій міській лікарні, при виконанні держбюджетної тематики і в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки.

Особистий внесок здобувача. Усі результати у публікації [2] отримані автором самостійно. У публікаціях у співавторстві особистий внесок здобувача є визначальним: у [1,6,7,8,17,18] запропоновані обчислювальні методи для комп'ютерної системи передопераційного планування – метод розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука та метод визначення моментів сил на поверхні моделі очного яблука; у [3,11,15] запропонована математична модель окорухового апарату, де анатомічні утворення на поверхні моделі очного яблука мають відповідну протяжність; у [4,9,10] запропонована тривимірна модель окорухового апарату з анатомічними утвореннями на його поверхні; у [5,12,13,14,16] запропоновані медико-технічні вимоги, проведена перевірка адекватності комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості та наведено кілька прикладів різноманітності її застосування, а також створено базу даних пацієнтів.

Апробація роботи. Основні результати та положення роботи доповідалися і обговорювалися на наукових семінарах і конференціях:

- 6 – 8 Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Фізичні поля технічних та біологічних об'єктів», м. Кременчук, 2007–2009 рр.;

- Міжнародній науковій конференції, присвяченій 100 – річчю з дня народження академіка Н. О. Пучківської «Сучасні аспекти клініки, діагностики та лікування очних хвороб», м. Одеса, 2008 р.;

- 4 Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики, физики и химии» (БФФХ – 2008), м. Севастополь, 2008 р.;

- IX – XII Міжнародних науково-технічних конференціях «Фізичні процеси та поля біологічних об'єктів», м. Кременчук, 2010–2013 рр.;

- 4 Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ – 2011), м. Харків, 2011 р.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковані у 18 наукових працях, із них 4 статті – у професійних виданнях ВАК України, 1 стаття – у виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз даних EBSCO, «American Chemical Society», «Index Copernicus», «WorldCat», РИНЦ, «Directory of Open Access Journals» (DOAJ), «ResearchBib», «Directory Indexing of International Research Journals», «Ulrich's Periodicals Directory», DRIVER, «Bielefeld Academic Search Engine» (BASE), Web of Science тощо, 11 тезах доповідей та у 2 патентах України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаної літератури та додатка. Дисертаційна робота викладена на 136 сторінках, із них 106 сторінок основного тексту, та містить 68 рисунків, 14 таблиць, 107 найменувань у списку використаної літератури на 11 сторінках і 9 додатків на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначені об'єкт, предмет і методи дослідження, наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведено дані про публікації та особистий внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, відомість про апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розглянута будова і моделі окорухового апарату людини. Цій тематиці присвячено багато праць, як новітніх авторів так і класиків. Існуючі на даний момент експериментальні моделі штучного ока, а саме моделі окорухового апарату, мають ряд недоліків, найголовнішим із яких є те, що прикріплення окорухових м'язів до склери розглядаються як точки на поверхні очного яблука, хоча насправді зони прикріплення мають досить значну протяжність, яка суттєво впливає на особливості біомеханіки окорухового апарату. У багатьох працях не розглядається детально зміна дії окорухових м'язів при виведенні очного яблука із первинної позиції погляду. У багатьох моделях і публікаціях не наводиться математичний апарат або він має спрощену форму. Деякі моделі виконують функцію тільки ознайомчу. У розділі було детально розглянуто програму SEE++ – сучасну комп'ютерну систему для окорухового апарату, яка використовується в хірургічній практиці, розроблену Австрійським університетом ім. Лінца. Завдання цього програмного забезпечення – моделювання і діагностика окорухових структур людини та можливість проведення і планування операцій. Джоел Міллер – автор Orbit™ моделі, яка входить до складу SEE++, наводить одинадцять зауважень щодо побудови моделі SEE++ та її функціонування. До недоліків цього програмного забезпечення можна віднести наступне: не розглядається детально зміна дії окорухових м'язів при виведенні очного яблука із первинної позиції погляду; комп'ютерна модель не передбачає результат операції і не може пропонувати хірургічний метод усунення косоокості; не враховує такі параметри, як радіус ока та пружність м'яза.

На основі проведеного огляду комп'ютерних моделей та інших методів дослідження окорухового апарату було сформовано мету і завдання дослідження, що полягає у створенні комп'ютерної системи для допомоги лікарям-офтальмологам, яка б змогла передбачити результати хірургічних втручань на окорухових м'язах хворих з відповідними математичними моделями та алгоритмами роботи програмного забезпечення.

Другий розділ присвячено розробці основи для планування оперативних втручань на окорухових м'язах, а саме, побудові тривимірної моделі окорухового апарату, модуля передопераційного планування та модуля додаткових обчислень. Запропоновано метод визначення моментів сил на поверхні моделі очного яблука, який полягає в наступному:

$$Mx_i = -Fy_i \cdot z_i + Fz_i \cdot y_i ,$$

$$My_i = Fx_i z_i - Fz_i x_i ,$$

$$Mz_i = -Fx_i \cdot y_i + Fy_i \cdot x_i ,$$

де Fx_i , Fy_i , Fz_i – проекції вектора сили тяги, що діє в i -й точці, на осі OX , OY та OZ

відповідно, а Mx_i , My_i , Mz_i – моменти цієї сили відносно відповідних осей після обертання.

Також запропоновано метод визначення координат на поверхні моделі очного яблука. При цьому методі сферичні координати можна визначити таким чином:

$$\theta^\circ = \begin{cases} \arctg \frac{x}{z} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}, \\ 180^\circ + \arctg \frac{x}{z} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}, \text{ нпу } z < 0, \\ 360^\circ + \arctg \frac{x}{z}, \text{ нпу } z > 0, x < 0, \end{cases}$$

$$\varphi^\circ = \arctg \frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}} \cdot \frac{180^\circ}{\pi},$$

де x , y , z – декартові координати анатомічних утворень на поверхні моделі очного яблука, φ , θ – сферичні координати моделі очного яблука.

Математична модель окорухового апарату з векторами сили тяги реалізована в програмному забезпеченні SciLab Free (безкоштовний пакет для виконання математичних розрахунків), у якій кожний м'яз окорухового апарату умовно розподілений на п'ять ділянок. На кожній ділянці результуючий вектор сили тяги (рис. 1).

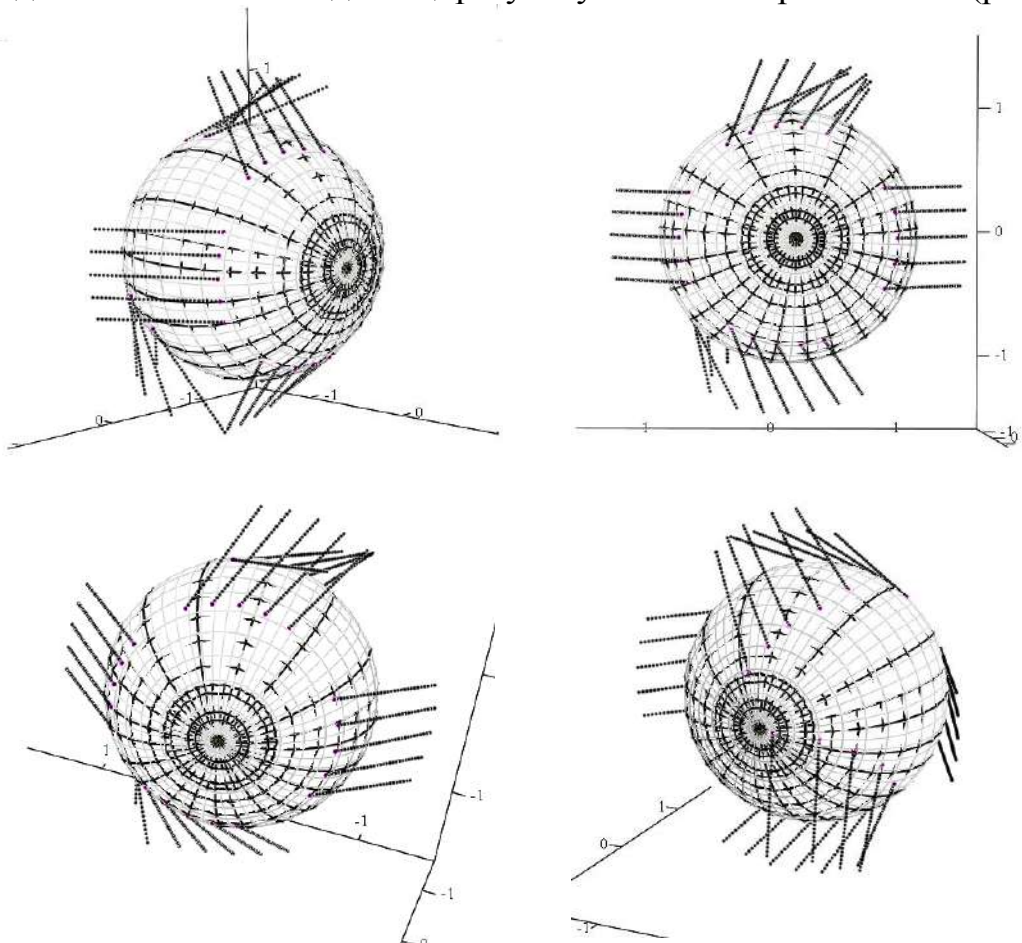


Рисунок 1 – Математична модель окорухового апарату в програмному забезпеченні SciLab Free

Однією з переваг запропонованої математичної моделі є те, що кріплення м'яза до поверхні очного яблука розглядається не як точка, а як деяка поверхня, яка має довжину і ширину. Математична модель модуля передопераційного планування представлена системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} |dM| = |dF| \cdot r \cdot d\omega; \\ dF = k \cdot dS; \\ \Delta_x = -r \sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2} d\alpha; \\ \Delta_y = -r \sqrt{1 - \left(\frac{y}{r}\right)^2} d\beta; \\ \Delta_z = -r \sqrt{1 - \left(\frac{z}{r}\right)^2} d\gamma; \\ \bar{M}_{MRS} = \int (\bar{F} \times \bar{r}) dS_{MRS} = \iint_{\Omega} dudv \begin{vmatrix} \bar{ex} & \bar{ey} & \bar{ez} \\ Fx_{MRS} & Fy_{MRS} & Fz_{MRS} \\ x & y & z \end{vmatrix} \cdot \sqrt{S_{xMRS}^2 + S_{yMRS}^2 + S_{zMRS}^2}; \\ \bar{M}_{MRI} = \int (\bar{F} \times \bar{r}) dS_{MRI} = \iint_{\Omega} dudv \begin{vmatrix} \bar{ex} & \bar{ey} & \bar{ez} \\ Fx_{MRI} & Fy_{MRI} & Fz_{MRI} \\ x & y & z \end{vmatrix} \cdot \sqrt{S_{xMRI}^2 + S_{yMRI}^2 + S_{zMRI}^2}; \\ \bar{M}_{MRM} = \int (\bar{F} \times \bar{r}) dS_{MRM} = \iint_{\Omega} dudv \begin{vmatrix} \bar{ex} & \bar{ey} & \bar{ez} \\ Fx_{MRM} & Fy_{MRM} & Fz_{MRM} \\ x & y & z \end{vmatrix} \cdot \sqrt{S_{xMRM}^2 + S_{yMRM}^2 + S_{zMRM}^2}; \\ \bar{M}_{MRL} = \int (\bar{F} \times \bar{r}) dS_{MRL} = \iint_{\Omega} dudv \begin{vmatrix} \bar{ex} & \bar{ey} & \bar{ez} \\ Fx_{MRL} & Fy_{MRL} & Fz_{MRL} \\ x & y & z \end{vmatrix} \cdot \sqrt{S_{xMRL}^2 + S_{yMRL}^2 + S_{zMRL}^2}; \\ \bar{M}_{MOI} = \int (\bar{F} \times \bar{r}) dS_{MOI} = \iint_{\Omega} dudv \begin{vmatrix} \bar{ex} & \bar{ey} & \bar{ez} \\ Fx_{MOI} & Fy_{MOI} & Fz_{MOI} \\ x & y & z \end{vmatrix} \cdot \sqrt{S_{xMOI}^2 + S_{yMOI}^2 + S_{zMOI}^2}; \\ \bar{M}_{MOS} = \int (\bar{F} \times \bar{r}) dS_{MOS} = \iint_{\Omega} dudv \begin{vmatrix} \bar{ex} & \bar{ey} & \bar{ez} \\ Fx_{MOS} & Fy_{MOS} & Fz_{MOS} \\ x & y & z \end{vmatrix} \cdot \sqrt{S_{xMOS}^2 + S_{yMOS}^2 + S_{zMOS}^2}; \\ \bar{M}_{MRL} + \bar{M}_{MOS} + \bar{M}_{MOI} + \bar{M}_{MRM} + \bar{M}_{MRI} + \bar{M}_{MRS} = 0, \end{array} \right.$$

де dM – приріст моменту сили довільного м'яза, dF – приріст сили довільного м'яза, r – радіус ока, $d\omega$ – приріст кута повороту, k – коефіцієнт пружності м'яза, dS – при-

ріст площини м'яза, $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ – відстань, на яку необхідно змістити точки прикріплення відповідного м'яза, для того, щоб око обернулося в початкову позицію, x, y, z – декартові координати точки м'яза на поверхні моделі окорухового апарату, $d\alpha, d\beta, d\gamma$ – прирости кутів обертання відносно кожної з осей декартової системи координат, $\bar{M}_{MRS}, \bar{M}_{MRI}, \bar{M}_{MRM}, \bar{M}_{MOS}, \bar{M}_{MOI}, \bar{M}_{MRL}$ – вектори моментів сил відповідних м'язів, du, dv – елементи площі довільного м'яза, F_x, F_y, F_z – проекції вектора тяги i -го м'яза на кожну з осей тривимірної декартової системи координат.

У роботі запропоновано використовувати метод прийняття рішень та основі побудованої нейронної мережі для передопераційного планування у умовах апіорної невизначеності (рис. 2).

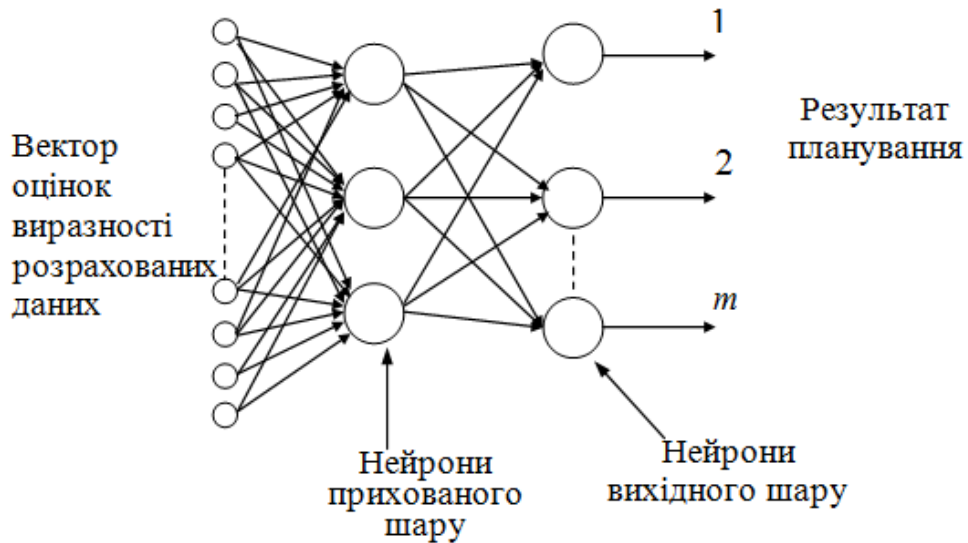


Рисунок 2 – Структура нейронної мережі

$$P(H : S) = P(S : H) * P(H) / (P(S : H) * P(H) + P(S : \bar{H}) * P(\bar{H})),$$

$$P(H : S) = P(H : S) * P(A) + P(H : (S) * (1 - P(A)),$$

де $P(A) = 0,5 + 0,1 \cdot A$.

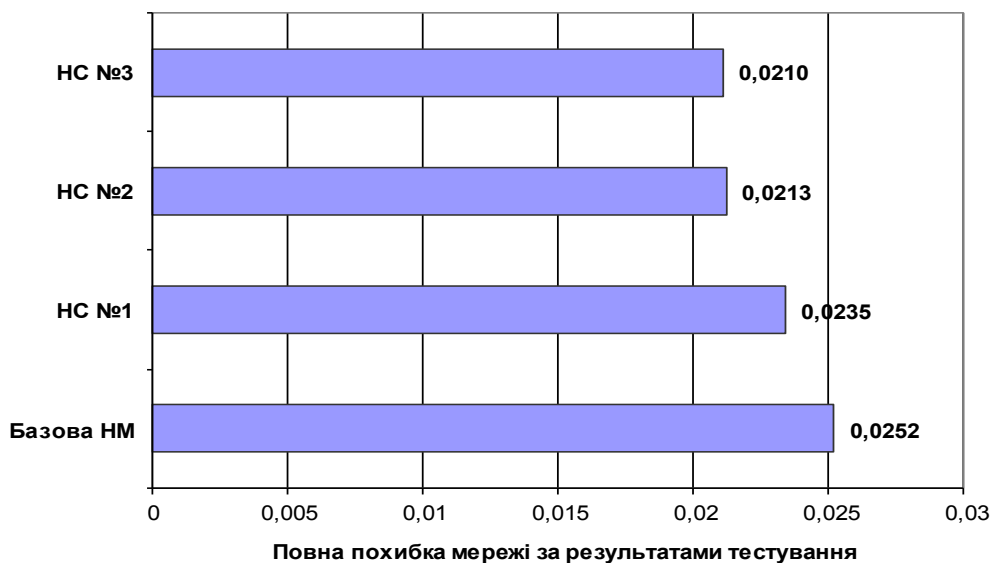


Рисунок 3 – Графік порівняння повної похибки мереж за результатами тестування

Визначення результату прогнозування можна представити як подію, яка виникає при виявленні сукупності вхідних даних про патологію окорухового апарату у пацієнта. Ймовірність настання деякої події може набирати значення від 0 (подія ніколи не настане тобто не буде здійснено передопераційне планування або результат планування буде помилковий) до 1 (подія настане у будь-якому випадку, тобто результат планування буде вірний). Ймовірність позначимо символом $P(H)$, де H – гіпотетична подія, що цікавить нас. Якщо є ймовірність настання події $P(H)$, то є також ймовірність ненастання цієї події $P(\bar{H})$. Обидві величини пов'язані співвідношенням $P(H) + P(\bar{H}) = 1$. Спільна ймовірність настання двох подій, наприклад, ймовірність одночасного існування гіпотетичної події H (результату передопераційного планування) і розрахованого моменту сили деякої ділянки відповідного окорухового м'яза S позначається $P(H:S)$.

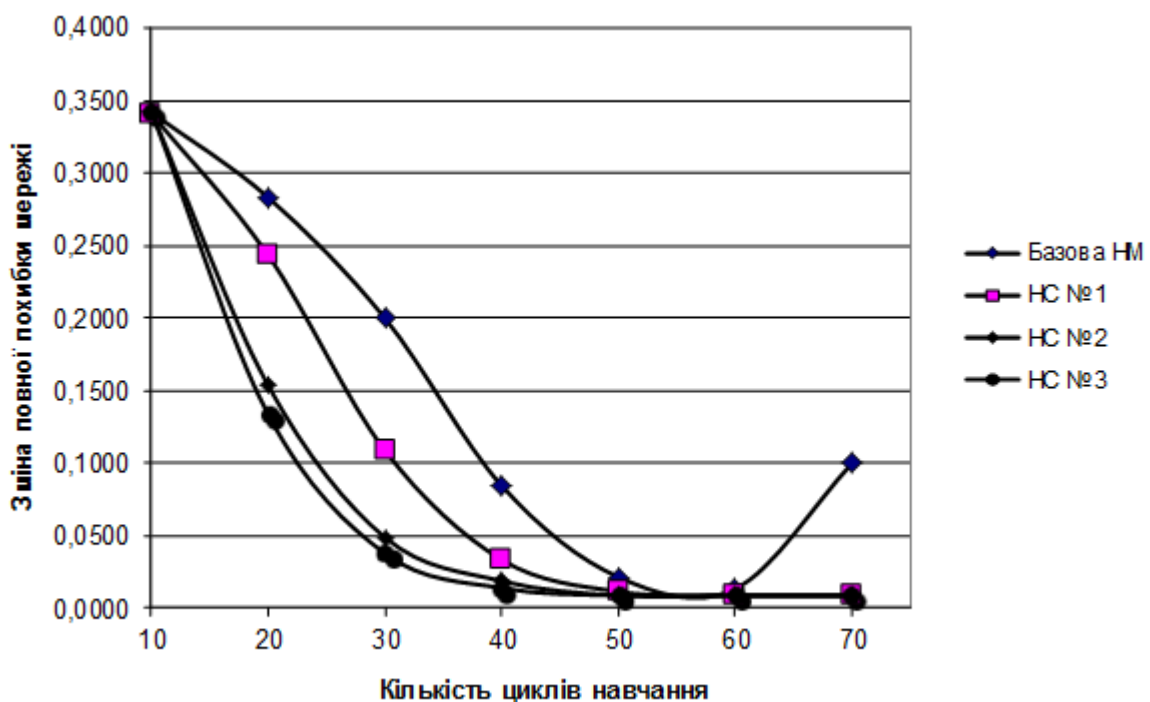


Рисунок 4 – Графік динаміки навчання нейронних мереж

Випробування комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості на основі нейронної мережі у медичному закладі показали її високу ефективність, що підтверджено актом випробувань. Для експериментів із використанням знань для синтезу архітектури нейронної мережі прямого поширення розроблено методи, що реалізують процес медичного планування хірургічних втручань на окоруховому апараті в офтальмології. Порівняльний аналіз трьох нейронних мереж показав, що нейрона мережа, побудована і навчена з використанням значень ймовірностей симптомів захворювань, навчається швидше і не схильна до перенавчання (рис. 3, 4). Зважаючи на матеріал, представлений вище, було синтезовано структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини (рис. 5).



Рисунок 5 – Синтезована структурна схема комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини

Третій розділ присвячено розробці комп'ютерної системи. Створення тривимірної моделі окорухового апарату людини було доцільно виконати у зручному, безкоштовному, з відкритим кодом програмному забезпеченні Lazarus (рис. 6, 7).

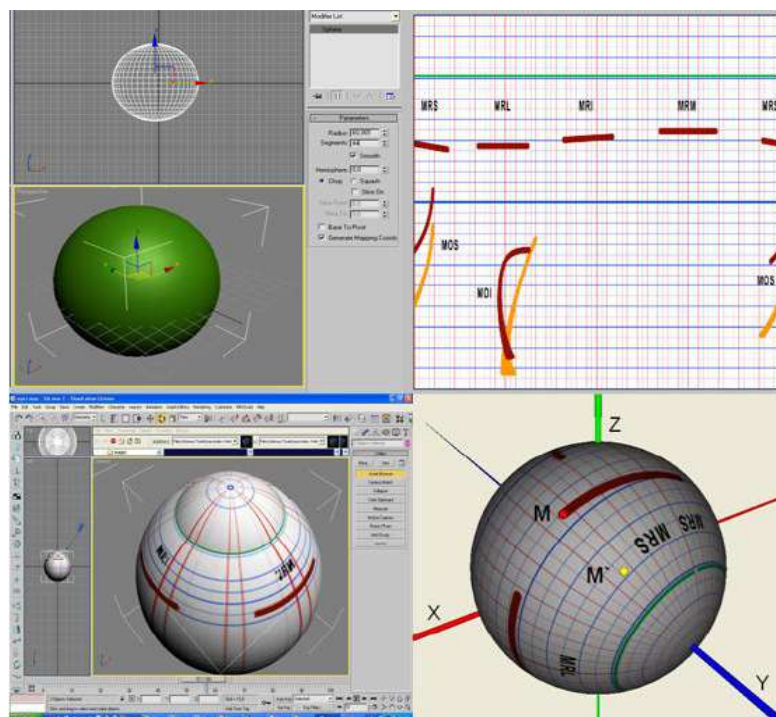


Рисунок 6 – Етапи формування тривимірної моделі окорухового апарату людини

Розроблена комп'ютерна система передопераційного планування хірургічної корекції косоокості представляє собою програмне забезпечення на мові високого рівня програмування, яке поєднує у собі різні складні математичні моделі та алгоритми роботи складових системи, і оснащена зручною базою даних для зберігання всієї необхідної інформації про пацієнтів.

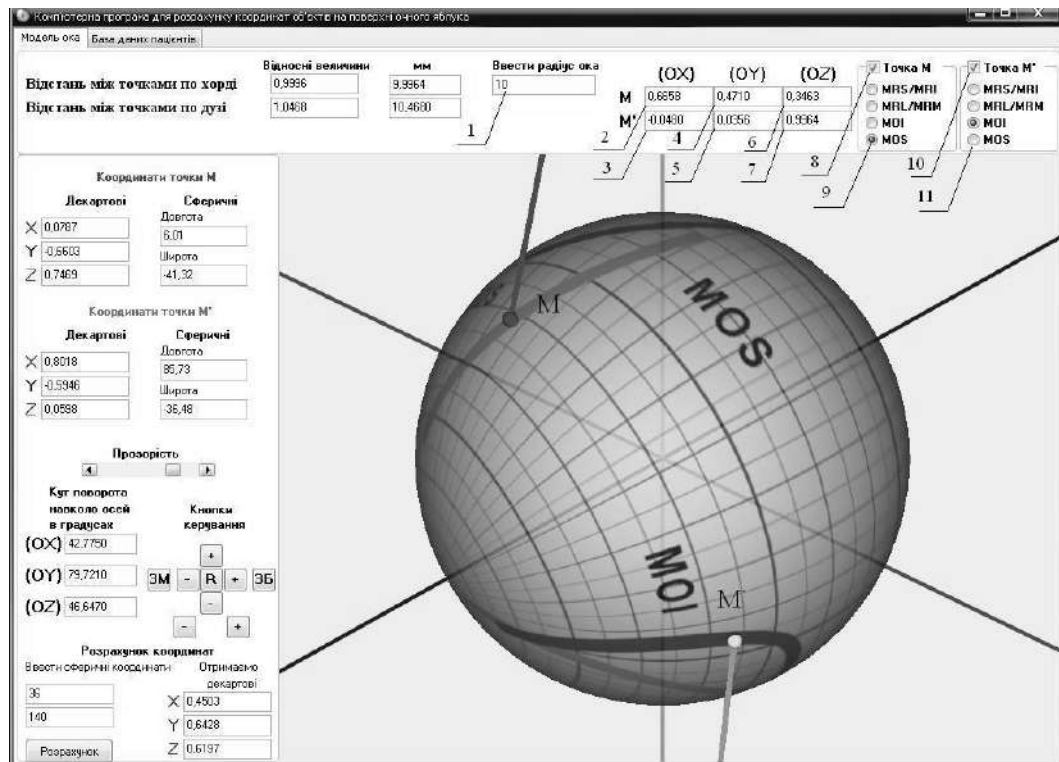


Рисунок 7 – Робота комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції очорухового апарату людини

Четвертий розділ присвячено аналізу результатів досліджень.

Приклад використання комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості. Хворий М. 5 років, діагноз V-синдром. Передопераційне планування має такий вигляд. Для роботи комп'ютерної системи необхідно мати дані: кут відхилення від первинної позиції (кут косоокості) та радіус ока. Методом призмової страбометрії визначено кут косоокості – 10° (при погляді униз, відхилення до носа), ультразвуковим дослідженням визначено радіус очного яблука – 12 мм. Після запуску комп'ютерної системи з'являється робоче вікно із зображенням моделі очного яблука із нанесеною на його поверхню координатною сіткою сферичної системи координат з кроком 5 град. та осями тривимірної декартової прямокутної системи координат (рис. 8). На поверхні моделі зображено також основні анатомічні деталі: зони прикріплення очорухових м'язів та межі рогівки. У вікно 2 необхідно ввести радіус ока в міліметрах, у даному випадку – 12. Далі необхідно зайти в меню “Передопераційне планування” – 1. У новому вікні необхідно ввести кут косоокості в градусах, у даному випадку – 10 (вікно 3). У меню “Очікувана гіперфункція м'яза” обирається тип м'яза – MOS та “Очікуваний варіант хірургічного втручання” – резекція. Якщо користувач не вибере тип м'яза, то комп'ютерна система зробить це автоматично, залежно від кута відхилення відносно декартової осі (OX, OY, OZ). Якщо користувач не може вибрати тип операції, комп'ютерна система обирає залежно від величини кута девіації. Тобто при малих кутах косоокості тип операції, як правило – резекція (видалення частини м'язового волокна). А при великих відповідно – рецесія (пересадження м'яза). Далі необхідно натиснути кнопку “Виконати планування” (кнопка 9). У вікні 8 відобразиться

результат планування – 6 мм. Тобто результат передопераційного планування V – синдрому з відхиленням в 10 град. – це резекція MOS 6 мм. Кнопкою 10 можна закрити передопераційне планування. В головному вікні можна наочно побачити процес планування з детальним розрахунком моментів сил. Між точками, які знаходяться на поверхні моделі очного яблука з анатомічними утвореннями MOS, відстань становить 6 мм. Комп'ютерна система пропонує оптимальний варіант рішення поставленої задачі. Якщо відхилення від первинної позиції (кут косоокості) відносно однієї осі декартової системи координат, то в цьому випадку будуть задіяні прямі м'язи, якщо відносно двох осей, то треба задіяти косі м'язи. Тобто комп'ютерна система аналізує вхідні дані і пропонує вирішити поставлене завдання починаючи з простого методу усунення косоокості і закінчуючи складним з мінімальним хірургічного втручання і мінімальним часом знаходження пацієнта під наркозом. Планувати оперативне втручання відразу на всіх окорухових м'язах не можна, оскільки це не тільки важко для хірурга, але й можливе виникнення ускладнень у пацієнта.

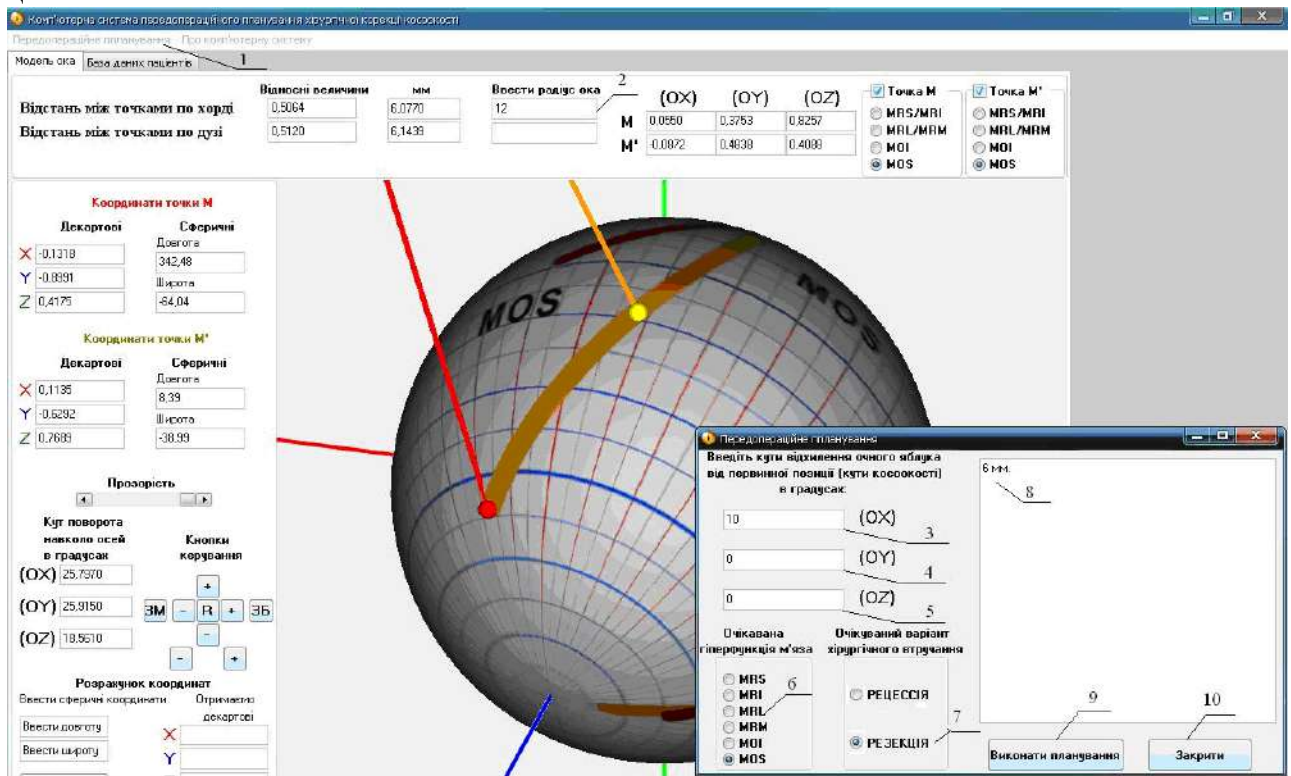


Рисунок 8 – Схема передопераційного планування із застосуванням комп'ютерної системи, діагноз V-синдром

У моделі статистичного аналізу фактором є кут відхилення очного яблука від первинної позиції, а відгуком є резекція окорухового м'яза. Вдалі операції становлять 67 %, розрахунки проведено офтальмологом, а за результатами розрахунків комп'ютерної системи вдалі операції складають 94 %. Тобто комп'ютерна система на 27 відсотків ефективніша. Оцінена адекватність моделі за критеріями Фішера і Стюдента (перша група даних).

Рівняння лінійної регресії має вигляд:

$$y = 0,524783 + 0,979764 \cdot x.$$

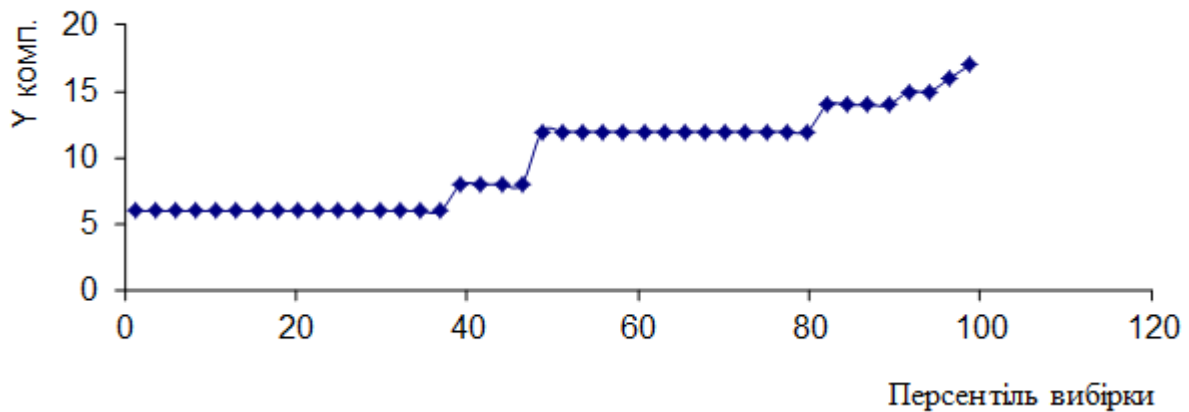


Рисунок 9 – Графік залежності розрахунків величини резекції MOS комп'ютерної системи від персентіля вибірки (нормальний розподіл експериментальних даних)

Тісноту лінійного зв'язку оцінює коефіцієнт кореляції $R = 0,99392$. Тісноту лінійного зв'язку між змінними можна оцінити на підставі шкали Чеддока, як вельми високу. Середньоквадратичне відхилення значень залишкового ряду становить:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-1}} = 0,65496.$$

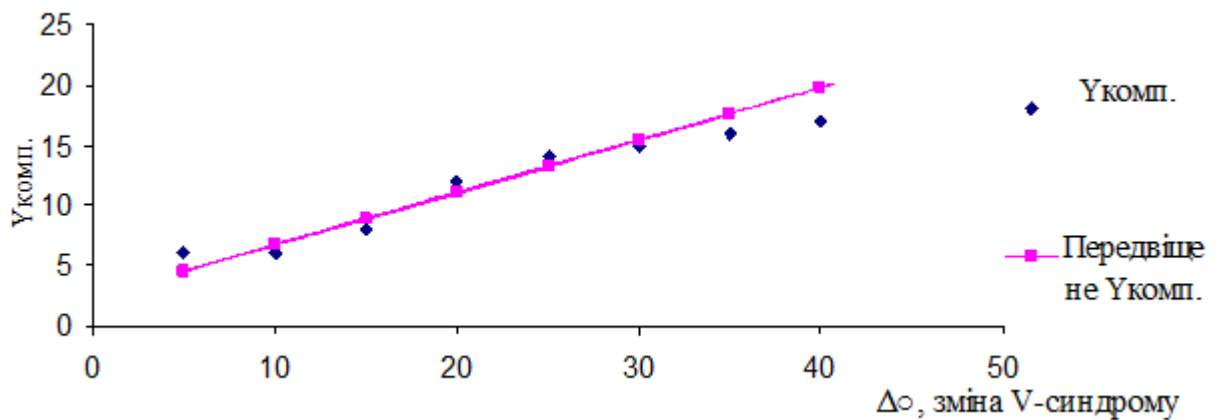


Рисунок 10 – Графік підбору експериментальних даних (розрахунків комп'ютерної системи – величини резекції окорухового м'яза від кута відхилення очного яблука)

Значення $R^2 = 0,987877$, тобто значення змінної y на 98 % залежить від x . Можна зробити висновок, що дане рівняння значиме. Якість моделі визначає середня помилка апроксимації:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right| \cdot 100 \% = 4,180136 \%.$$

Якість побудованої моделі оцінюється як добре, оскільки $\bar{A}$ не перевищує 10 %. Фактичне значення F -критерію становить 1874,298. Табличне значення критерію при п'ятивідсотковому рівні значущості і мірах свободи $k_1 = 1$ і $k_2 = 25 - 2 = 23$, $F_{таб} = 4,28$. Оскільки фактичне значення $F > F_{таб}$, то рівняння регресії визнається

статистично значимим. Оцінку статистичної значимості параметрів регресії і кореляції проведено за допомогою t-статистики Стюдента і шляхом розрахунку довірчого інтервалу кожного з параметрів.

Аналіз верхньої і нижньої меж довірчих інтервалів призводить до висновку про те, що з вірогідністю $p = 1 - \alpha = 0,95$ параметрів a і b , знаходячись у вказаних межах, не набувають нульових значень, тобто є статистично значимими і істотно відмінні від нуля.

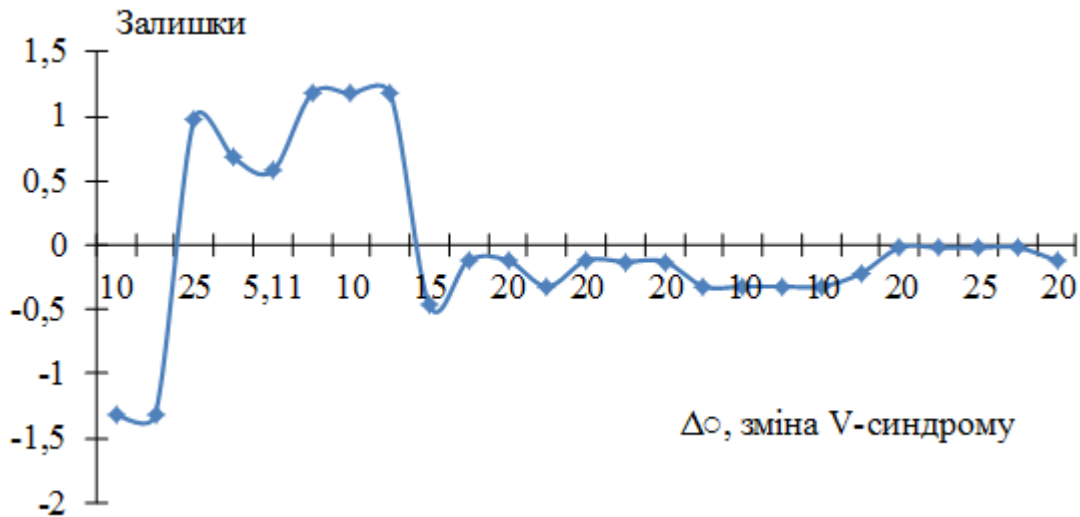


Рисунок 11 – Графік залишків

Оцінка адекватності моделі на основі дослідження нормальності розподілу залишкової компоненти на основі RS -критерію (рис. 9–11): $e_{max} = 1.177574$, $e_{min} = -1.32243$, $S = 0.65496$, $RS = 3.817033$. Табличне значення RS -критерію при $n = 25$, $\alpha = 0.01$: (3.33;4.69). Набуте значення критерію потрапляє в даний інтервал, отже, залишкова послідовність підкоряється нормальному закону. Модель адекватна за RS -критерієм.

Результати дискримінантного аналізу вхідних параметрів, які впливають на результат передопераційного планування. Розглянемо використання моделі лінійної дискримінації для оцінювання ймовірностей помилок запропонованого методу передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату. Вхідними даними є результати обстеження на базі офтальмологічного відділення Кременчуцької дитячої міської лікарні. У першій групі даних – результати обстеження сорока двох пацієнтів.

Відстань Махаланобіса розраховується за формулою:

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i} \right)^2},$$

де $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$ і $\sigma_i^{(0)}$, $\sigma_i^{(1)}$ – середнє значення і середньоквадратичне відхилення відповідних показників і пов'язана з ним ймовірність помилки прийняття рішення буде визначатися за формулою:

$$P_{ном} \leq 1 - \Phi(\delta / 2), \text{ при цьому } \sigma_i = \max(\sigma_i^{(0)}, \sigma_i^{(1)}).$$

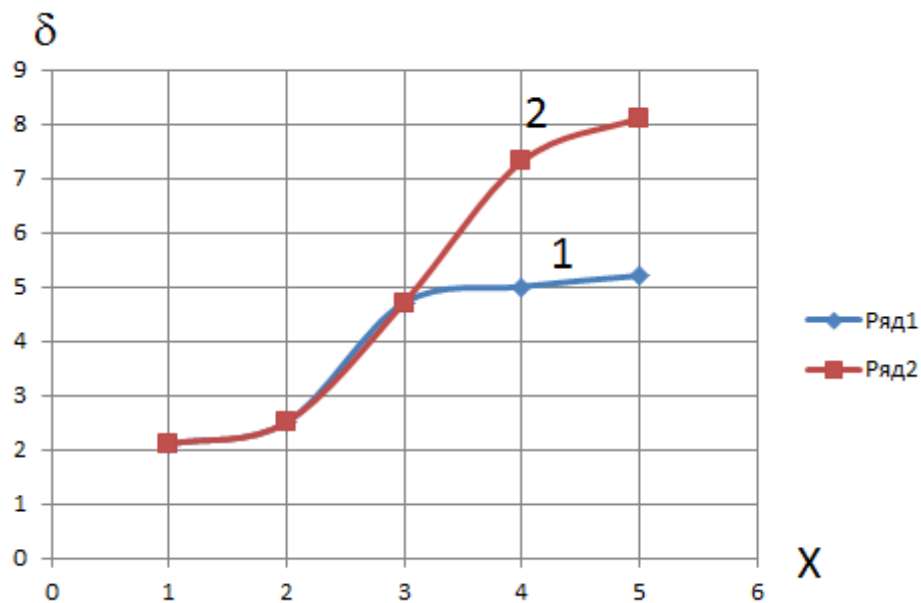


Рисунок 12 – Результати розрахунків дискримінантних характеристик п'яти параметрів (розрахунок відстані Махаланобіса, δ)

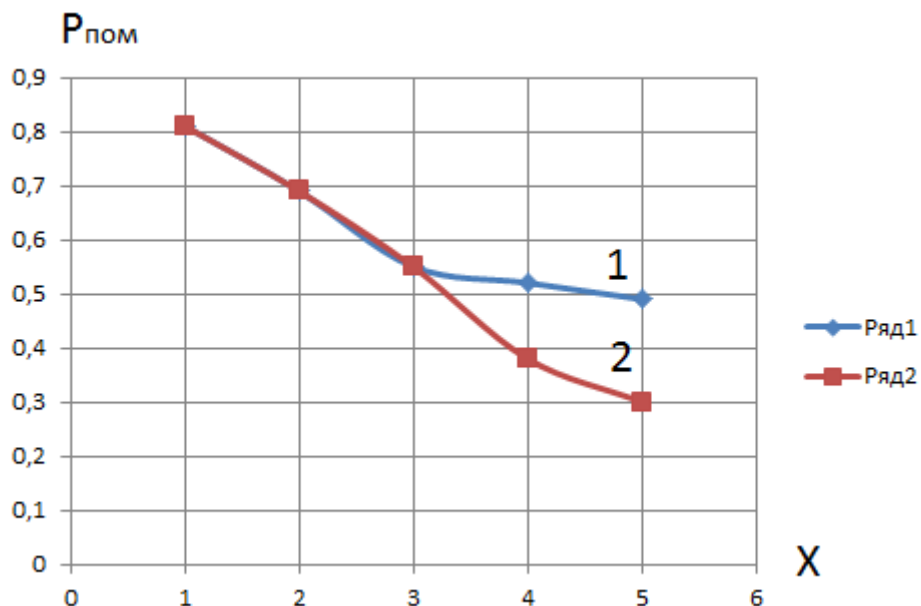


Рисунок 13 – Результати розрахунків дискримінантних характеристик п'яти параметрів (розрахунок ймовірності помилки, $P_{\text{пом}}$)

З формул, наведених вище, видно, що ймовірність помилки тим менша, чим більше нормований по дисперсії квадрат відстані між векторами середніх. Таким чином у розрахунках брали участь п'ять інформативних параметрів. Крива під номером один (рисунок 12) є результатом розрахунків дискримінантних характеристик п'яти основних параметрів, на яких базувався офтальмолог при виконанні оперативних втручань. Крива під номером два – результат розрахунків дискримінантних характеристик п'яти основних параметрів, на яких базується комп'ютерна система передопераційного планування. Ймовірності помилок комп'ютерного планування при урахуванні четвертого і п'ятого параметрів м'язів зменшена на 14 % та 19 % відповідно. Це пояснюється врахуванням в математичній моделі топографо-анатомічних даних при визначенні ділянок прикріплення окорухових м'язів.

З рисунку 13 видно, що всі параметри впливають на ймовірність прийняття діагностичного рішення і не можуть бути виключеними з розрахунків.

У **висновках** наведено основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У **додатку** наведено статистичну обробку результатів проведених досліджень, таблиці обчислень моментів сил окорухових м'язів, акти впровадження результатів дисертації.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена актуальна науково-практична задача – розробка комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини. Основні результати полягають у тому, що:

- на основі аналізу існуючих моделей окорухового апарату, методів та систем офтальмологічного хірургічного планування виявлено їх недоліки, основними з яких є використання спрощеного математичного апарату, що не враховує геометричні властивості і біологічні параметри очного яблука та відсутність адекватного комп'ютерного планування та прогнозування хірургічної корекції патології окорухового апарату;

- для підвищення достовірності методів прогнозування оперативних втручань на окорухових м'язах розроблено метод визначення координат прикріплень м'яза до поверхні очного яблука, який за рахунок визначення геометричних характеристик очного яблука дозволяє проводити комп'ютерне планування хірургічних втручань;

- розроблено метод розрахунку моментів сил окорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука, який дозволяє підвищити достовірність визначення результуючого моменту сили всього комплексу очних м'язів та визначити відхилення очного яблука від первинної позиції. Метод розглядає кріплення м'яза до поверхні очного яблука не як точку, а як деяку протяжність. Виходячи з похибки апроксимації (менше 1%), протяжність з відповідними довжиною та шириною доцільно розподілити на п'ять прямокутників ділянок;

- для реалізації запропонованих методів розрахунку моментів сил та координат анатомічних утворень розроблена модель окорухового апарату, що дозволяє трьохвимірну візуалізацію м'язів очного яблука та діючих моментів сил при проведенні передопераційного хірургічного планування;

- розроблений метод створення тривимірної моделі окорухового апарату, який за рахунок введення геометричних властивостей очного яблука в офтальмологічній сферичній системі координат, дозволяє враховувати індивідуальну анатомічну мінливість при комп'ютерному плануванні хірургічних втручань;

- отримана регресійна модель статистичної залежності між кутом відхилення очного яблука від первинної позиції та обсягу резекції окорухового м'яза є адекватною за критеріями Стюдента та Фішера (середня помилка не перевищує 10 %). Проведено дискримінантний аналіз між вихідними даними інтерактивного та комп'ютерного планування, за результатами якого зменшені ймовірності помилок при урахуванні площі м'язів та результуючого моменту сили на 14 % та 19 % відповідно. Це пояснюється врахуванням в математичній моделі додаткових топографо-анатомічних даних при визначенні ділянок прикріплення окорухових м'язів.

Використання запропонованої комп'ютерної системи в передопераційному хірургічному плануванні за даними попередньої клінічної апробації дозволило підвищити ефективність хірургічного втручання на 27 %, також скорочується час перебування пацієнта під наркозом за рахунок підвищення швидкості та наочності отримання необхідних розрахунків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Статті у журналах України, занесених до міжнародних наукометричних баз даних

1. Кухаренко Д. В. Етапи створення комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін // Східно-Європейський журнал передових технологій. Серія: Інформаційно-керуючі системи. – Харків: ПП «Технологічний Центр», 2013. – 6/9 (69), 2013. – С. 26–31. (EBSCO, «American Chemical Society», «Index Copernicus», «WorldCat», РИНЦ, «Directory of Open Access Journals» (DOAJ), «ResearchBib», «Directory Indexing of International Research Journals», «Ulrich's Periodicals Directory», DRIVER, «Bielefeld Academic Search Engine» (BASE), Web of Science)

Статті у провідних фахових виданнях України

2. Кухаренко Д. В. Створення тривимірної комп'ютерної програми для моделювання зон прикріплень окорухових м'язів до поверхні моделі очного яблука / Д. В. Кухаренко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КДПУ, 2009. – Вип. 4/2009 (57), частина 2. – С. 50–52. («УКРАЇНІКА НАУКОВА», реферативний журнал «ДЖЕРЕЛО»)

3. Кирилах Н. Г. Створення математичного апарату для доопераційного планування хірургічної корекції / Н. Г. Кирилах, В. О. Мосьпан, Д. В. Кухаренко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КНУ, 2011. – Вип. 1/2011 (66), частина 1. – С. 43–46. («УКРАЇНІКА НАУКОВА», реферативний журнал «ДЖЕРЕЛО»)

4. Математична модель комп'ютерної системи для доопераційного планування окорухового апарату людини / [Д. В. Кухаренко, Т. В. Мунтян, В. О. Мосьпан, В. І. Ємченко] // Науковий журнал «Нові технології». Вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – Кременчук : КУЕІТУ, 2011. – № 2 (32) червень 2011. – С. 81–89.

5. Кухаренко Д. В. Медико-технічні вимоги та практичне застосування комп'ютерної системи передопераційного планування / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін, Т. В. Мунтян // Науковий журнал «Нові технології». Вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – Кременчук : КУЕІТУ, 2013. – № 3–4 (41–42) грудень 2013. – С. 70–75.

Матеріали конференцій

6. Моделювання зміни координат прикріплення окорухових м'язів до очного яблука під час поворотів останнього / [В. О. Мосьпан, Н. Г. Кирилах, В. І. Ємченко, Д. В. Кухаренко,] // Матеріали VI-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції

«Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 2007. – Кременчук : КДПУ, 2007. – С. 70–72.

7. Емченко В. И. Компьютерная программа для определения координат анатомических образований на поверхности глазного яблока / В. И. Емченко, В. А. Мосьпан, Д. В. Кухаренко // Материалы международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.А. Пучковской «Современные аспекты клиники, диагностики и лечения глазных болезней», Одесса, 2008 г. – Одесса, 2008. – С. 360–361.

8. Ємченко В. І. Комп'ютерна програма для визначення координат анатомічних утворень на поверхні моделі очного яблука / В. І. Ємченко, В. О. Мосьпан, Д. В. Кухаренко // Матеріали 4-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні питання теоретичної і прикладної біофізики, фізики і хімії» (БФФХ-2008), Севастополь, 2008 р. – Севастополь : Севастопольський національний технічний університет, 2008. – С. 71–72.

9. Мосьпан В. О. Створення тривимірної моделі очного яблука з анатомічними утвореннями на його поверхні з використанням мови високого рівня програмування Borland Delphi 7.0 / В. О. Мосьпан, В. І. Ємченко, Д. В. Кухаренко // Матеріали VII-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 2008 р. – Кременчук : КДПУ, 2008. – С. 67–68.

10. Створення тривимірної моделі очного яблука з розрахуванням моментів сил, що діють на будь-яку точку в зоні прикріплення окорухових м'язів до поверхні очного яблука / [В. О. Мосьпан, В. І. Ємченко, Д. В. Кухаренко, Н. Г. Кирилах] // Матеріали VIII-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 2009 р. – Кременчук : КДУ, 2009. – С. 242–244.

11. Моделювання окорухового апарату людини для доопераційного планування хірургічної корекції косоокості / [В. О. Мосьпан, В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилах, Д. В. Кухаренко,] // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 2010 р. – Кременчук : КрНУ, 2010. – С. 105–106.

12. Кухаренко Д.В. Практичне використання комп'ютерної системи доопераційного планування хірургічної корекції окорухового апарату людини / Д. В. Кухаренко, В. О. Мосьпан, В. І. Ємченко, // Матеріали 4-го Міжнародного радіоелектронного форуму «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» (МРФ-2011), Харків, 2011. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – Том III «Актуальні проблеми біомедичної інженерії». – С. 38–40.

13. Кухаренко Д. В. Використання комп'ютерної системи при плануванні хірургічного лікування косоокості / Д. В. Кухаренко, В. І. Ємченко, В. О. Мосьпан, О. М. Солошин // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 4 – 6 лист. 2011 р. – Кременчук : КрНУ, 2011. – С. 133–134.

14. Кухаренко Д. В. Створення бази даних пацієнтів для комп'ютерної системи / Д. В. Кухаренко // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». Серія: Моделювання

процесів у технічних і біологічних системах і об'єктах, Кременчук, 9 – 12 лист. 2012 р. – Кременчук : КрНУ, 2012. – С. 108–110.

15. Кухаренко Д. В. Аналіз математичного апарату комп'ютерної системи перед-операційного планування хірургічної корекції косоокості / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 8 – 10 лист. 2013 р. – Кременчук : КрНУ, 2013. – С. 164–166.

16. Кухаренко Д. В. Оцінка адекватності комп'ютерної системи перед-операційного планування хірургічної корекції косоокості / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 8 – 10 лист. 2013 р. – Кременчук : КрНУ, 2013. – С. 166–168.

17. Пат. № 37269 Україна, МПК А61В 3/00. Спосіб розрахунку координат об'єктів на поверхні очного яблука / Д. В. Кухаренко, В. О. Мосьпан, В. І. Ємченко; заявник та патентовласник Кухаренко Дмитро Володимирович. – № u200806807; заявл. 19.05.2008; опубл. 25.11.2008. Бюл. № 22.

18. Пат. № 80907 Україна, МПК А61В 3/00. Спосіб розрахунку моментів сил окорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука / Д. В. Кухаренко, В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилах; заявник та патентовласник Кухаренко Дмитро Володимирович. – № u201300461; заявл. 14.01.2013; опубл. 10.06.2013. Бюл. № 11.