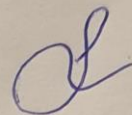


**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕДИЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
імені П. Л. ШУПИКА**



КОВТУН НАТАЛЯ МИХАЙЛІВНА

УДК 617.761-009.11:535-4-047.44](043.3)

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ
СТАНУ ОКОРУХОВИХ М'ЯЗІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛЯРИЗОВАНОГО
СВІТЛА**

14.01.18 – офтальмологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата медичних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківській медичній академії післядипломної освіти, МОЗ України.

Науковий керівник: доктор медичних наук, професор
Дьомін Юрій Альбертович,
Харківська медична академія
післядипломної освіти, МОЗ України,
завідувач кафедри офтальмології

Офіційні опоненти: доктор медичних наук, професор
Шаргородська Ірина Василівна,
Національна медична академія
післядипломної освіти імені П. Л. Шупика,
МОЗ України, професор кафедри
офтальмології

доктор медичних наук, старший науковий
співробітник
Бойчук Ірина Михайлівна,
ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної
терапії імені В. П. Філатова НАМН
України», старший науковий співробітник
лабораторії розладу бінокулярного зору.

Захист відбудеться “28” січня 2021 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.613.05 при Національній медичній академії післядипломної освіти імені П. Л. Шупика МОЗ України, за адресою: 03057, м. Київ, вул. Зоологічна, 3, Універсальна клініка «Оберіг», корпус «В», 4 поверх, аудиторія.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національної медичної академії післядипломної освіти імені П. Л. Шупика, МОЗ України (04112, м. Київ, вул. Дорогожицька, 9).

Автореферат розісланий «23» грудня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.613.05
кандидат медичних наук, доцент



Н. С. Лаврик

Підписано до друку 21.12.2020.
Умов.друк.арк. 0,89 арк. Формат 60х84 ¹/₁₆. Папір офсетний.
Друк електрографічний.
Гарнітура Times New Roman. Тираж 100 прим. Зам. №25.

Віддруковано в міні типографії ТОВ «Фенікс»
(Свідоцтво про внесення до державного реєстру
суб'єктів видавничої справи серії ДК№1209 від 27.03.2003)
03148, м. Київ, вул. Гната Юри, 9,
тел./факс: (044) 407-11-91, e-mail: fenixz2@ukr.net , www.fenix-design.com

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування теми дисертації. Серед захворювань дитячого віку косоокість займає особливе положення, оскільки має важливе соціальне значення, що пов'язане не тільки з косметичним недоліком, який створює негативний вплив на розвиток та психологічний стан дитини. Основні загрози косоокості полягають у формуванні неповноцінної зорової системи, в якій відсутній бінокулярний зір, та у безповоротній втраті зорових функцій при тривалому існуванні амбліопії, що обмежує можливості вибору професії та робить негативний вплив на якість життя людини (Coats D. K., Paysse E. A. et.al., 2000; Granet D. B., 2010; Mojon-Azzi S. M. Kunz A., Mojon D. S., 2010; Durnian J. M., Noonan C. P., Marsh I. B., 2010; McBain H. B., Au C. K., Hancox J., 2014).

Патологія очорухового апарату, яка викликає косоокість, і порушення бінокулярного зору мають значну питому вагу в структурі захворювань органу зору у дітей (von Noorden G. K., Campos E. C., 2001; Hashemi H., Pakzad R., Heydarian Set. al., 2019; Моїсєєнко Р. О., Голубчиков М. В., Слабкий Г. О., Риков С. О., 2019). За результатами епідеміологічних досліджень кількість дітей хворих на косоокість у віці до 14-ти років у світі становить 182,9 млн., у країнах СНГ – 4,97 млн, у Європі – 7,58 млн (Риков С. О., Варивончик Д. В., Піменов А. А., 2005; Ларионова О. В., Дравица Л. В., 2019). На явну косоокість страждають 0,5-7,0 % дітей, в структурі дитячої очної патології косоокість посідає друге місце після аномалій рефракції. У дитячих очних стаціонарах хворі з косоокістю складають від 15 до 35% (Канюков В. Н., Чеснокова Е. Ф., 2010; Mohnney V. G., McKenzie J. A., 2010; Cotter S. A., Varma R., Tarczy-Hornoch K., 2011; Сенякіна А. С., 2013; Кащенко Т. П., Райгородский Ю. М., Корнюшина Т. А., 2017; Бойчук І. М., Мазур В. П., 2017). За даними різних авторів на косоокість страждає кожна 20-та людина у світі (Stidwill D., 1997; Пасечнікова Н. В., Бушуєва Н. М., Бойчук І.М. та співавтор., 2008; Щадних О. М., 2019). Косоокість є досить поширеним захворюванням в Україні, на яке страждає від 3% до 7% дитячого населення (Венгер Л. В., 2010; Слабкий Г. О., Шафранський В. В., Дудіна О. О., 2016).

Попередження та усунення косоокості з одночасним відновленням втрачених зорових функцій – важливе науково-прикладне завдання сучасної медицини, вирішення якого утруднене, оскільки однакові зовнішні прояви косоокості у вигляді відхилення ока від нормального положення можуть бути обумовлені різними причинами. З позицій біомеханіки відхилення ока в ту чи іншу сторону виникає за різних анатомічних, функціональних і анатомічно-функціональних порушень екстраокулярних м'язів (ЕОМ) (Пеньков М. А., 1978, 1983; Водовозов А. М., Ковилін, 1983; Кочина М. Л., 1996, 2008, 2009; Босенко Т. О., 1994; Dobbs M. D., Mawn L. A., Donahue S. P., 2011). Успішність лікування косоокості, зумовленої патологією ЕОМ, залежить від правильності виявлення ураженого м'яза і, виходячи з цього, вибору оптимальної тактики лікування. Це визначає актуальність розроблення сучасних об'єктивних методів діагностики патології ЕОМ.

В даний час для дослідження стану ЕОМ за косоокості використовуються координетрія, комп'ютерна томографія, оптико-електронний метод, методи фото- і

відеодіагностики, хронаксиметричний електро-діагностики, контактної термометрії, ультразвукового дослідження (Турчин М. В., 1999; Грідін В. М., 2008; Пантелєєва О. Г., 2007; Лобанова Л. С., 2008; Бойко Э. В., Ковалевская И. С., Коскин С. А. и др., 2011; Demer J. L., Clark R. A, 2014; Pihlblad M. S., Erenler F., Sharma A., 2016). Більшість перерахованих методів дослідження ЕОМ не дозволяють визначити їх анатомо-функціональний стан, що впливає на успішність лікування косоокості.

Розроблення нових методів дослідження і діагностики патології ока і зорової системи, заснованих на їх біофізичних властивостях, є актуальним завданням сучасної офтальмології. Є свідчення про гіпотензивний вплив зеленого монохроматичного світла на внутрішньоочний тиск здорових та глаукоматозних очей (Сергієнко М. М., Шаргородська І. В., 2003). Отримані дані щодо впливу поліхроматичного поляризованого світла на організм людини, що визначає виникнення широкого спектру профілактичних та лікувальних ефектів (Гуляр С. О., 2000-2019; Шаргородська І. В., Ніколайчук Н. С., 2019). У зв'язку з цим значний теоретичний і практичний інтерес представляє розроблення і подальше вдосконалення об'єктивних методів дослідження ока в поляризованому світлі.

Таким чином, актуальним і доцільним є розроблення об'єктивного неінвазивного методу, який дозволить індивідуалізовано визначити патологію ЕОМ, оптимально обирати тактику лікування та підвищити його ефективність, що вирішить важливе науково-прикладне завдання сучасної офтальмології. Це обумовило актуальність і визначило мету та завдання даного дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження дисертаційної роботи є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри офтальмології ХМАПО МОЗ України: «Функціональні, клінічні та морфологічні зміни при запальній та судинній патології органу зору, методи лікування» (№ державної реєстрації 0114U000522, термін виконання 2014-2019 роки), в якій автор була співвиконавцем і виконувала фрагменти дослідження.

Мета дослідження – підвищити ефективність діагностики розладів анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів на очах хворих на співдружну косоокість із застосуванням удосконаленого методу оцінки інтерференційної картини рогової оболонки.

Завдання дослідження:

1. Дослідити при застосуванні поляризованого світла вплив анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів на напружено-деформований стан рогівки ока та обґрунтувати можливість його застосування.
2. Проаналізувати розподіл внутрішніх напружень у рогівці ока в залежності від стану екстраокулярних м'язів в умовах моделювання.
3. Визначити за результатами моделювання зв'язок параметрів інтерференційних картин рогівки з анатомо- функціональним станом екстраокулярних м'язів. Встановити інформативні показники поляризаційно-оптичних властивостей рогівки без патології та при співдружній косоокості.
4. Розробити метод оцінювання анатомо-функціонального стану екстраокулярних

м'язів на основі використання поляризаційно-оптичних властивостей рогівки.

5. Розробити математичну модель діагностики співдружньої косоокості з урахуванням анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів.

Об'єкт дослідження – співдружня косоокість – МКХ-10 (код H50.4).

Предмет дослідження – поляризаційно-оптичні властивості рогівки на очах без патології та у хворих на співдружню косоокість; маркери напружено-деформованого стану рогівки ока, особливості впливу анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів на параметри інтерференційних картин рогівки у хворих на співдружню косоокість; моделювання напружено-деформованого стану ока при співдружній косоокості на основі терії тонких оболонок та кінцево-елементарного аналізу.

Методи дослідження. Офтальмологічні: візометрія, біомікроскопія, авторефрактометрія, офтальмоскопія, скіаскопія, визначення кута косоокості за Гіршбергом, визначення характеру зору, визначення типу косоокості за тестом з прикриттям ока, визначення стану екстраокулярних м'язів методом оцінювання рухливості очей у восьми напрямках погляду; визначення розподілу внутрішніх напружень у рогівці ока у поляризованому світлі; математичне моделювання: розрахунок та побудова розподілу внутрішніх напружень у рогівці ока з використанням моделей ока на основі теорії тонких оболонок та кінцево-елементарного аналізу; статистичні: описові статистики, непараметричні критерії порівняння вибірок, нечітка логіка.

Наукова новизна одержаних результатів. Доповнено наукові знання про діагностичне значення застосування інтерференційних картин, що одержані за допомогою поляризаційного світла, для оцінки стану передньої частини фіброзної капсули ока, а саме: рогової оболонки, перілімбальних утворень, екстраокулярних м'язів, та створення набору еталонів і визначення інтервалів значень їх параметрів, що відповідають різним структурним, функціональним і анатомо-функціональним варіантам.

Доповнено наукові знання про анатомо-функціональний стан екстраокулярних м'язів у хворих на співдружню косоокість за характером поляризаційно-оптичних властивостей рогівки, а саме: за даними інтерференційних картин рогівки хворих на збіжну косоокість у $73 \pm 3,4\%$ спостерігається дисбаланс дії горизонтальних м'язів, про що свідчать кути між відрізками діагоналей інтерференційного ромба, у середньому $(90 \pm 5,0)^\circ$, та співвідношення довжин відрізків діагоналей, що не перевищує 1,1–1,2, а у $27 \pm 3,4\%$ випадків має місце зміщення верхнього прямого м'яза у медіальному напрямку, про що свідчить зміщення верхнього кута інтерференційного ромбу у медіальному напрямку, а також значення кутів між відрізками діагоналей інтерференційного ромбу, що відносяться до верхнього квадранту – $80 \pm 5,5^\circ$ та $100 \pm 6,7^\circ$; при розбіжній косоокості в 100% випадків на інтерференційних картинах виявлено зміщення верхнього кута інтерференційного ромбу у латеральному напрямку, що супроводжується збільшенням медіального кута між відрізками діагоналей та зменшенням латерального кута, які відносяться до верхнього квадранту, та відповідають латеральному зміщенню верхнього

прямого м'яза від лінії дії, а у $51 \pm 7,3\%$ випадків кути верхнього квадранту інтерференційного ромбу відрізняються між собою у середньому на 32^0 ($p < 0,05$), а у $49 \pm 7,3\%$ – на 15^0 ($p < 0,05$), тобто ступенем зміщення верхнього прямого м'язу у латеральному напрямку.

Встановлено, що у здорових осіб без косоокості форми інтерференційних картин мають ознаки асиметрії у $72 \pm 6,1\%$ випадків, що вказує на анатомо-функціональну асиметрію прямих екстраокулярних м'язів.

Вперше з використанням моделей напружено-деформованого стану рогівки ока показано, що збільшення зусиль з боку внутрішнього, верхнього та нижнього прямих м'язів призводить до збільшення напруження у всій центральній зоні рогівки, що може бути використано для діагностики співдружної косоокості.

Вперше розроблено математичну модель діагностики співдружної косоокості на основі моделювання напружено-деформованого стану рогівки ока та кінцево-елементарного аналізу з урахуванням анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів. Визначення патології екстраокулярних м'язів відбувається на основі класифікації інтерференційних картин з використанням удосконалених моделей, які дозволяють встановити анатомічні особливості прикріплення м'язів, або характер їх дії відносно місця прикладання зусилля за даними співвідношення відрізків діагоналей інтерференційного ромбу, та зміщення кутів ізохроми в межах від 1^0 до 5^0 ($p < 0,05$).

Практичне значення одержаних результатів. 1) Розроблено метод дослідження та реєстрації інтерференційних картин очей за допомогою веб-камери, оснащеної поляроїдним блоком, в якому розташовані світлодіоди для освітлення рогівки та поляроїдні фільтри у схрещеному положенні. ІК, яка спостерігається на рогівці у поляризованому світлі обробляється програмним модулем у автоматизованому режимі.

2) Удосконалено класифікацію інтерференційних картин очей з горизонтальною косоокістю, що дозволяє визначити стан екстраокулярних м'язів в автоматичному режимі за двоетапним алгоритмом: на першому етапі відбувається розподіл параметрів інтерференційних картин на кластери за значеннями всіх кутів між відрізками діагоналей інтерференційного ромбу, а на другому етапі – за значеннями довжин відрізків його діагоналей. Для визначення всіх варіантів зміщення місця прикладання зусиль прямих екстраокулярних м'язів від лінії дії при співдружній косоокості запропоновано враховувати наступні зміни форми інтерференційних картин: відрізки діагоналей інтерференційного ромбу та кути між ними, кути між відрізками діагоналей інтерференційного ромбу та відповідними меридіанами ока, що підвищує точність визначення порушення дії прямих екстраокулярних м'язів.

3) Запропоновано математичну модель діагностики співдружної косоокості з урахуванням анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів, що містить блоки одержання зображень інтерференційних картин та їх параметризації, базу даних, в якій зберігається інформація про досліджувану особу у вигляді записів з датою огляду, що поєднується зі знімком інтерференційної картини рогівки ока. Знімок інтерференційної картини після параметризації та визначення

інформативних параметрів класифікується з використанням розроблених моделей до відповідного кластеру, що допомагає визначити наявну патологію екстраокулярних м'язів

Впровадження в практику. Розроблено і впроваджено в лікувально-профілактичну роботу закладів охорони здоров'я України математичну модель діагностики співдружньої косоокості, яку впроваджено в практичну роботу дитячих офтальмологічних відділень КНП «Харківська міська клінічна лікарня №14 ім. проф. Л. Л. Гіршмана» (м. Харків), КП «Дніпропетровська клінічна офтальмологічна лікарня» (м. Дніпро), Київського центру терапії і мікрохірургії ока (ТОВ «Тримедекс») (м. Київ), медичного центру «Візекс» (м. Львів), ТОВ «Офтальміка» (м. Харків).

Результати досліджень включені в програму занять на кафедрах офтальмології та клінічної інформатики і інформаційних технологій в управлінні охороною здоров'я Харківської медичної академії післядипломної освіти.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є особистою науковою працею здобувача. Разом з науковим керівником, д. мед. н., професором Ю. А. Дьоміним визначено мету, завдання та методологію проведення дослідження. Здобувачем особисто виконано офтальмологічне обстеження та дослідження у поляризованому світлі 296 очей 148 хворих на співдружню косоокість та 40 очей 20 осіб без патології; визначено інформативні параметри 336 інтерференційних картин. Використовуючи удосконалені моделі напружено-деформованого стану рогівки ока здобувач особисто визначила особливості зміни форми та параметрів розрахункових ізохром за різного анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів; розробила метод визначення патології екстраокулярних м'язів з використанням поляризаційно-оптичних властивостей рогівки. Сумісно з д. біол. н., професором М. Л. Кочиною та к. тех. н. О. Г. Фірсовою розроблено метод оцінки анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів пацієнтів для діагностики співдружньої косоокості і програмний модуль для його практичного використання. Всі розділи дисертації написані та оформлені дисертантом особисто. У наукових працях, опублікованих за темою дисертаційного дослідження в співавторстві, дисертанту належить провідна роль у зборі клінічного матеріалу, статистичній обробці та аналізі отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації обговорені на: міжнародних науково-практичних конференціях: The European Scientific and practical congress «GlobalScientificUnity 2014» (Prague, 2014); Scientific and practical congress «ScientificAchievements» (Vienna, 2015); 6th International scientific and practical conference «Scientific achievements of modern society» (Liverpool, United Kingdom, 2020); національних з'їздах, конгресах, симпозіумах: XIII-му з'їзді офтальмологів України (Одеса, 2014); II з'їзді «Медична і біологічна інформатика і кібернетика» (Київ, 2015); науково-практичних конференціях державного рівня: IV конференції студентів та молодих вчених «Актуальні питання теоретичної та практичної медицини» (Суми, 2016); наукових конференціях офтальмологів (Одеса, 2015, 2017).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені у 15 публікаціях: 5 статей у виданнях згідно «Переліку наукових фахових видань України» (з них 1 – в наукометричному виданні, проіндексованому у базі даних Scopus), 1 стаття – у виданні іншої держави, що входить до Європейського Союзу. Крім того опубліковано 8 тез доповідей в матеріалах конгресів та науково-практичних конференцій, включаючи 3 іноземні.

Структура дисертації. Дисертаційна робота викладена українською мовою на 153 сторінках друкованого тексту. Робота містить анотацію, зміст, вступ, два розділи самостійних досліджень, аналіз та узагальнення отриманих результатів, висновки, практичні рекомендації, список використаних джерел літератури з 332 найменувань (114 з яких – іноземні), 2 додатки. Робота має 58 рисунків та 20 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Матеріал та методи. Дослідження було виконано на кафедрі очних хвороб Харківської медичної академії післядипломної освіти, на базі відділення №1 мікрохірургії ока (дитяче відділення) КЗОЗ «Харківська міська клінічна лікарня №14 ім. професора Л.Л. Гіршмана» і на базі Міжнародного медичного центру «Офтальміка» (м. Харків).

Всі дослідження проведені з дотриманням основних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, Хельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964 року з подальшими доповненнями, включаючи версію 2000 року).

В основну групу були включені 148 дітей та підлітків зі співдружньою косоокістю (основна група) у віці від 4 років до 18 років, батьки яких надали інформовану згоду на участь в клінічному обстеженні дитини в рамках дослідження. У дослідженні не брали участь хворі з паралітичною та атиповими формами косоокості; з акомодатійною косоокістю; хворі, неспроможні дотримуватися вимог дослідження і проходити процедури дослідження; хворі, батьки яких не дали згоду на проведення клінічного обстеження. Групу порівняння склали 20 дітей (40 очей) без патології зорової системи, батьки яких надали інформовану згоду на участь у дослідженні.

Для визначення особливостей інтерференційних картин (ІК) у нормі у дослідженні взяли участь 20 здорових дітей, для перевірки розробленої математичної моделі діагностики співдружньої косоокості з урахуванням анатомо-функціонального стану ЕОМ було використано 44 ІК здорових дітей у віці 9-12 років та 25 ІК хворих на співдружню косоокість.

У основній групі було 65 (44±4,1)% хворих чоловічої статі та 83 (56±4,1)% – жіночої. Вірогідна більшість хворих на косоокість була у вікових групах 4-6 років ($\chi^2=19,5$; $p=0,0000$) та 7-10 років ($\chi^2=96,6$; $p=0,0000$). Вірогідних відмінностей у вікових групах за частотою трапляння хворих чоловічої та жіночої статі не виявлено.

Верифікацію діагнозу співдружня косоокість проводили на основі анамнестичних даних, результатів загального та інструментального

офтальмологічного обстеження згідно наказів МОЗ України №8 від 10.01.2005 року та №827 від 08.12.2015 року.

За результатами рефрактометрії та скіаскопії було встановлено, що у досліджуваній групі хворих гіперметропію слабого ступеня мали 71 ($48 \pm 4,1$)% осіб, середнього – 41 ($28 \pm 3,7$)%, високого – 11 ($7,4 \pm 2,1$)%. Еметропічна рефракція була у 20 ($13,5 \pm 2,9$)% обстежених, у більшості старшого віку, міопічна – у 4 ($3,1 \pm 0,4$)%. Таким чином, вірогідна ($\chi^2=78,05$; $F=0,000000$) більшість обстежених хворих мала гіперметропію слабого та середнього ступеня. Складний гіперметропічний астигматизм спостерігався у 16 ($11 \pm 2,6$)% хворих.

Монолатеральна косоокість спостерігалася у 82 ($55 \pm 4,1$)% випадках, альтернуюча – у 66 ($45 \pm 4,1$)% випадках. Збіжна косоокість була у 120 ($81 \pm 3,2$)% осіб, розбіжна – у 28 ($19 \pm 3,2$)%, тобто у вірогідній ($\chi^2=114,38$; $F=0,000000$) більшості випадків хворих була збіжна косоокість. У всіх 148 хворих визначався загальний кут косоокості. У вірогідної ($\chi^2=26,67$; $F=0,000000$) більшості хворих спостерігалися кути косоокості 5° - 15° за Гіршбергом, у 34% хворих були кути – 20° - 25° , більші кути косоокості спостерігалися у 21% хворих.

Серед обстежених монокулярний зір мали 144 ($97 \pm 1,4$)% хворих, нестійкий бінокулярний – 3 ($2,0 \pm 1,2$)% та 1 ($1,0 \pm 0,8$)% – одночасний. Таким чином, вірогідна більшість ($\chi^2=270,49$; $F=0,000000$) всіх обстежених хворих мала монокулярний зір. Центральна фіксація була встановлена у всіх обстежених. Всі хворі після обстеження та реєстрації ІК були прооперовані. Після операції остаточні кути косоокості у 5° - 15° мали 54 ($36 \pm 3,9$)% хворих, тобто у вірогідної ($\chi^2=21,62$; $F=0,00005$) більшості хворих вдалося отримати ортотропію.

Дослідження та реєстрація ІК очей хворих на співдружну косоокість та здорових осіб проведені за допомоги веб-камери, оснащеної поляроїдним блоком, в якому розташовані світлодіоди для освітлення рогівки та поляроїдні фільтри у схрещеному положенні. ІК, яка спостерігається на рогівці у поляризованому світлі, має вигляд фігури, східної з ромбом, розташованої по її периферії. Ромб утворений смугами різного забарвлення – ізохромами. ІК перетинають ізокліни, які мають вигляд темного хреста, розташованого у центрі картини. На рисунку 1(а) наведено фотографію, на рисунку 1(б) – схему ІК, на якій позначено параметри, що визначалися в ході дослідження.

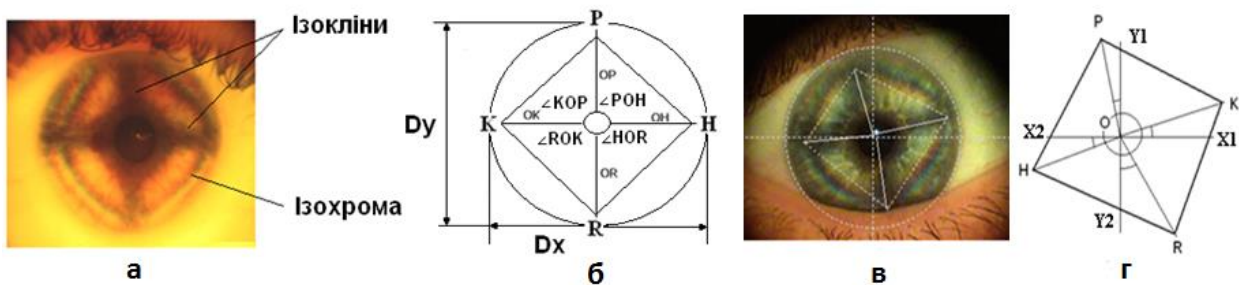


Рис. 1. Зображення ІК нормального ока (а), з косоокістю – (в); схеми ізохром в нормі (б) та за косоокості (г).

На схемі (рис. 1, б) зображено відрізки діагоналей інтерференційного ромбу (ОК, ОН, ОР, ОР) та кути між ними ($\angle KOP$, $\angle PON$, $\angle HOR$, $\angle ROK$). Ці параметри ІК запропоновано для її описання у випадках, коли більшість кутів інтерференційного ромбу (ІР) розміщені на відповідних меридіанах. Для випадків зміщення кутів ІР від меридіанів (рис. 1, в) нами запропоновано визначати ще кути між відрізками його діагоналей та відповідними меридіанами рогівки (рис. 1, г), що дозволяє врахувати всі можливі зміни форми ІК.

РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Всього було проведено реєстрацію 296 ІК очей хворих на косоокість. При проведенні досліджень ІК за монолатеральної косоокості було враховано лише очі, що відхиляються, всього 82 ока. За альтернуючої косоокості було враховано ІК 132 очей. Таким чином, всього було використано 214 ІК хворих на косоокість. Для визначення кількісних показників ІК у нормі було досліджено 40 очей здорових осіб (група порівняння).

Проведене порівняння ІК правого та лівого ока у нормі не виявило вірогідних відмінностей у їх параметрах, тому усі картини аналізувалися без урахування ока за однією схемою. Відрізок діагоналі ізохромі ОК завжди відповідав внутрішньому прямому м'язу, ОН – зовнішньому, ОР – верхньому, ОР – нижньому (рис. 1, б). Відповідно цьому були позначено кути між відрізками діагоналей.

За всіма ІК було визначено інформативні параметри – довжини відрізків діагоналей ІР та кути між ними. Всього було визначено 1712 показників (376 – у хворих з розбіжною косоокістю та 1336 – зі збіжною). Результати розрахунку середніх значень кутів між відрізками діагоналей та співвідношень відрізків горизонтальної (ОК/ОН) та вертикальної (ОР/ОР) діагоналей у нормі та за косоокості наведено у таблиці 1. Аналізуючи результати (табл.1) можна зазначити, що за обома видами косоокості середні співвідношення відрізків горизонтальної та вертикальної діагоналі вірогідно не відрізняються. Значення співвідношень вказують на те, що відрізки відповідної діагоналі відрізняються у середньому на 10%. Відсутність вірогідних відмінностей у цих співвідношеннях може бути пов'язана з тим, що групи не було поділено відповідно причинам виникнення відхилення ока.

Відомо, що за збіжної косоокості існує декілька причин відхилення ока, пов'язаних зі станом ЕОМ. Причому однією з визначених причин було порушення балансу дії ЕОМ, що може відбуватися шляхом наближення або віддалення місця прикріплення м'яза до склери, або посилення/ослаблення його дії. Такі зміни стану ЕОМ призводять до асиметрії ІК. Коли розраховувалися середні значення відрізків діагоналей для всіх очей хворих з відповідним видом косоокості ознаки асиметрії ІК були втрачені. Порівняння відповідних кутів ІР за збіжної та розбіжної косоокості показало, що всі чотири кути відрізняються вірогідно. Також вірогідно відрізняються $\angle KOP$ та $\angle PON$ за розбіжної косоокості.

У багатьох випадках частково акомодативної та неакомодативної косоокості відхилення очей можуть бути наслідком анатомо-функціонального стану ЕОМ.

Таблиця 1

**Значення показників інтерференційних картин
у пацієнтів основної групи та групи порівняння, n=254**

Вид косоокості		Параметри ІК					
		OK/ OH	OP/ OR	∠KOP	∠PON	∠HOR	∠ROK
Основна група	Збіжна, n=167	1,1±0,1	1,1±0,2	89,1±7,5* U=8,7; p=0,0000	89,3±8,8* U=-7,0; p=0,0000	93,1±7,5* U=-3,1; p=0,0019	88,4±9,1* U=1,9; p=0,047
	Розбіжна, n=47	1,1±0,1	1,1±0,2	102,2±6,2	78,4±6,6** Z=5,8; p=0,0000	89,7±7,5	90,5±5,7
Група порівняння, n=40		1,1±0,09	1,1±0,07	90±4,1	90±3,2	90±2,7	90±3,0

Примітка: * - відмінності у середніх значеннях показника між групами за збіжної та розбіжної косоокості вірогідні за критерієм Манна-Уїтні, $p<0,05$; ** - відмінності у значеннях $\angle KOP$ та $\angle PON$ за розбіжної косоокості вірогідні за критерієм Вілкоксона, $p<0,05$; n – кількість очей.

Анатомічні порушення ЕОМ можуть бути обумовлені аномаліями їх прикріплення до склери. Ці аномалії можуть проявлятися зсувом місця прикріплення м'яза або групи м'язів як уздовж лінії їх дії (що еквівалентно посиленню або послабленню дії м'язів), або в бік від лінії дії. У другому випадку м'язи вертикальної дії можуть викликати відхилення очного яблука у горизонтальному напрямку, а горизонтальної – у вертикальному. Діагностика ураження ЕОМ у разі такої причини косоокості представляє значну складність, оскільки, відповідно до існуючих методів, лікар досліджує напрямки відхилення очей від ортофорічного положення і визначає тактику хірургічного лікування за існуючими стандартними уявленнями. Якщо око відхиляється у горизонтальному напрямку, то проводять хірургічну корекцію м'язів горизонтального дії, не враховуючи можливість біомеханічно більш складного механізму. Зазвичай таке хірургічне лікування може призвести до неочікуваного ефекту у вигляді гіперфекту або у наявності остаточного кута.

Косоокість, обумовлено посиленням або ослабленням сили дії м'яза або групи м'язів, зазвичай проявляється відхиленням ока в бік сильнішого м'яза. За даними гістологічних досліджень така косоокість при тривалому існуванні, в кінцевому підсумку, призведе до появи структурних порушень м'язів, оскільки м'яз, який гіперфункціонує, гіпертрофується, тоді як його антагоністи стають більш тонкими та атрофічними (Жукова О. В., Золотарев А. В., зі співавт, 2014). Можливі варіанти, коли косоокість обумовлена як зміщенням місця докладання зусиль м'язів, так і відсутністю рівноваги їх дією.

Поляризаційно-оптичний метод, заснований на дослідженні форми ІК, що спостерігається на роївці, дозволяє диференціювати причини виникнення відхилень очей в кожному конкретному випадку. Дія прямих ЕОМ вносить найбільш суттєвий внесок у формування ІК саме у вигляді ромба. Ослаблення зусилля з боку одного з м'язів призводить до округлення відповідного йому кута

ІР і зменшення довжини відповідного йому відрізка діагоналі. При збільшенні м'язового зусилля відбувається витягування відповідного кута і збільшення довжини відрізка діагоналі. Експериментальним шляхом було встановлено, що зміщення місця прикріплення м'яза до склери впливає на силу його дії. Якщо м'яз зміщено уздовж лінії його дії, то це еквівалентно зміни зусилля, а зміщення в сторону від лінії дії може призводити до більш складної зміни фігури ромба.

Для розроблення методу визначення анатомо-функціонального стану прямих ЕОМ з використанням поляризованого світла було побудовано моделі напружено-деформованого стану рогівки для різних варіантів їх патології. Перший варіант розрахунку було виконано з використанням моделі напружено-деформованого стану рогівки на основі теорії тонких оболонок (Пеньков М. О., Алтухер Г. М., Кочина М. Л., 1981). За розрахунковими лініями рівних напружень (ізохромами) нами було визначено їх параметри та встановлено особливості зміни їх форми за різних станів ЕОМ. На рисунку 2 наведено приклад розрахункових ізохром для випадків зміщення внутрішнього прямого м'яза вздовж лінії дії в бік від лімба (рис. 2, а-в) та до лімба (рис. 2, д-ж). На рисунку 3 наведено розрахункові ізохром для випадків зміщення внутрішнього прямого м'яза від лінії дії за часовою стрілкою (рис. 3, а-в) та проти часової стрілки (рис. 3, г-е). Всього з використанням цієї моделі було побудовано 46 розрахункових ізохром та визначено їх геометричні параметри, які було використано при розробленні метода оцінювання стану ЕОМ за ІК.

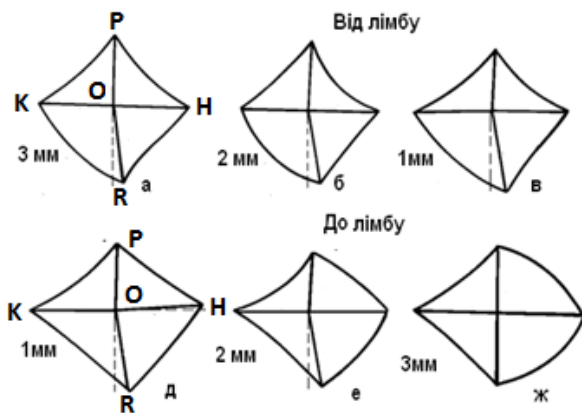


Рис. 2. Розрахункові ізохром для випадків зміщення внутрішнього прямого м'яза вздовж лінії дії

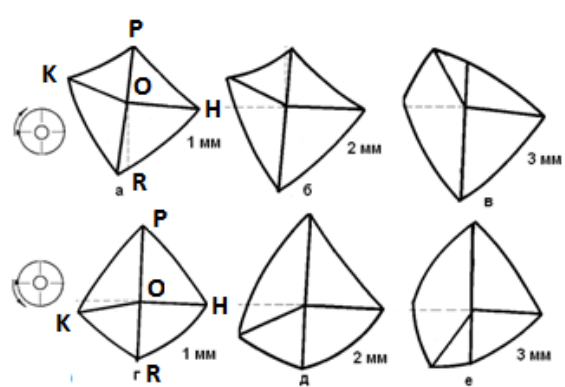


Рис. 3. Розрахункові ізохром для випадків зміщення внутрішнього прямого м'яза від лінії дії

З використанням методу кінцево-елементного аналізу було розроблено модель напружено-деформованого стану ока, за допомоги якої було побудовано 93 картини розподілу внутрішніх напружень у рогівці. Для прикладу на рисунку 4 наведено розподіли внутрішніх напружень у рогівці за різних варіантів зміщення місця прикладання зусиль внутрішнього прямого м'яза. Окрім того, було побудовано розподіли внутрішніх напружень у випадках збільшення зусиль по черзі кожного з прямих м'язів від 0,4 до 0,7 Н. Проведені розрахунки дозволили підтвердити наявні уявлення про природу та параметри ІК за патології ЕОМ.

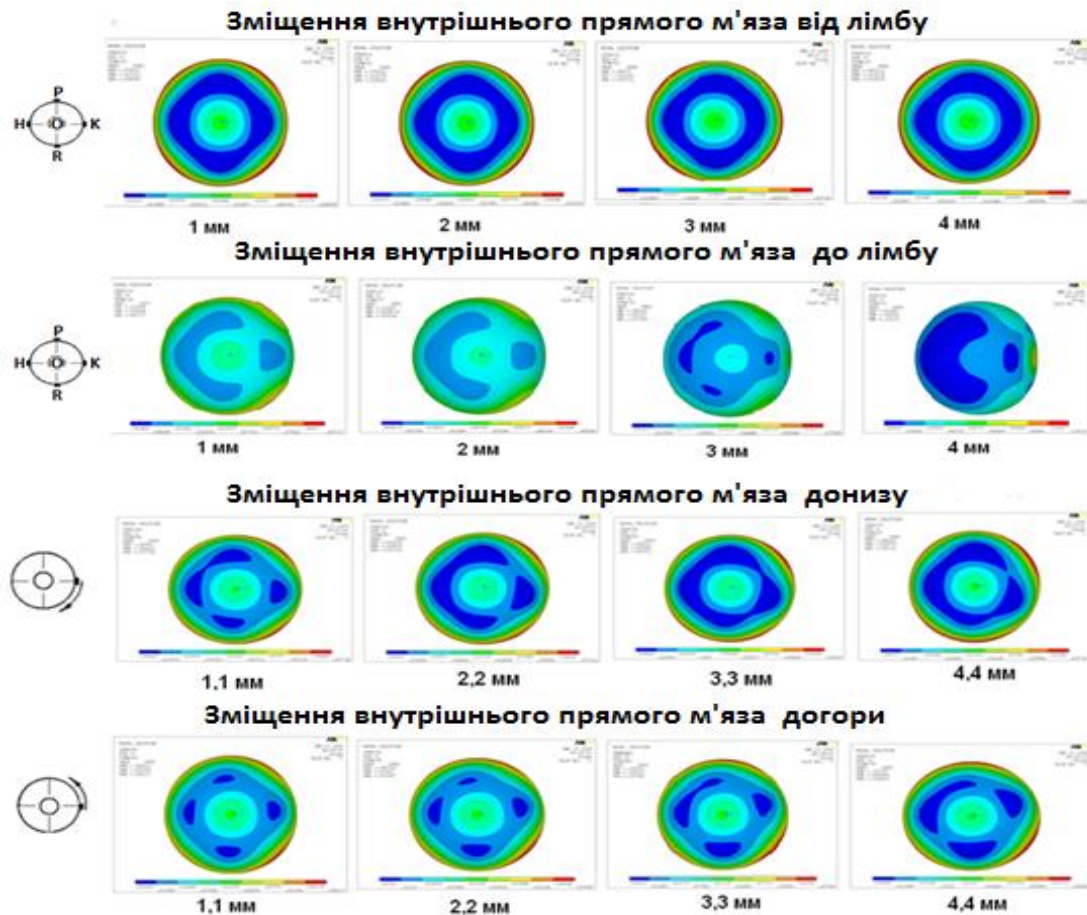


Рис. 4. Розподіл внутрішніх напружень у рогівці за різних варіантів зміщення внутрішнього прямого м'яза від нормального положення

Новими результатами проведеного дослідження є виявлення збільшення напружень у всій центральній зоні рогівки при збільшенні зусиль з боку внутрішнього, верхнього та нижнього прямих м'язів та відсутності перерозподілу напружень при збільшенні зусилля з боку зовнішнього прямого м'яза. У всіх цих випадках суттєвої асиметрії ІК не спостерігається.

Для практичного використання одержаних результатів необхідно було розробити метод класифікації параметрів ІК та розробити математичну модель діагностики співдружної косоокості з урахуванням анатомо-функціонального стану ЕОМ. Оскільки практично всі хворі з досліджуваної групи мали горизонтальну косоокість метод визначення патології ЕОМ розроблявся для випадків збіжної та розбіжної косоокості. Всього для цього було використано показники ІК 166 очей зі збіжною косоокістю та 47 – з розбіжною.

Під час оброблення параметрів ІК у кожній групі хворих (зі збіжною або розбіжною косоокістю) було проведено кластеризацію показників з використанням алгоритму нечітких *c*-середніх у два етапи. На першому етапі розподіл на кластери проведено за значеннями кутів між діагоналями ІР, на другому – за значеннями довжини відрізків його діагоналей. В результаті у кожній групі було виділено по два кластери, а у кожному кластері – по два субкластери. Після цього за параметрами ІК віднесених до відповідного кластеру було побудовано їх «портрети» (рис. 5).

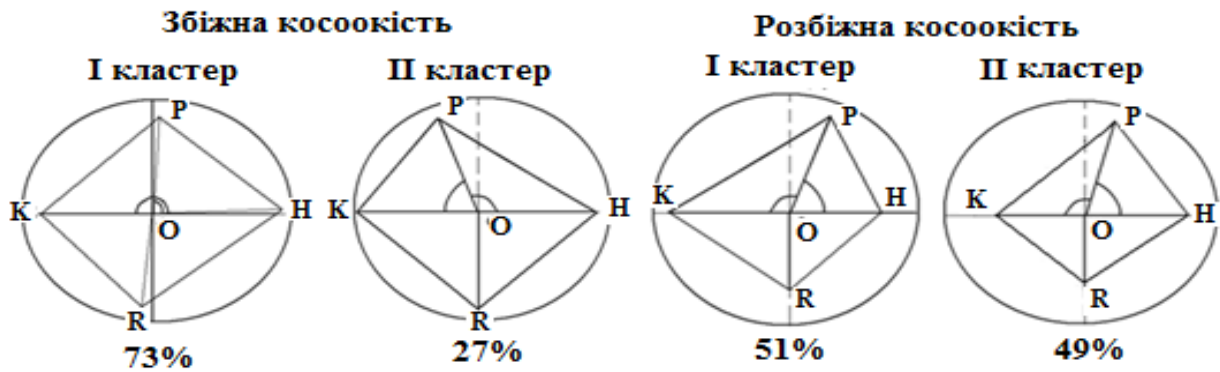


Рис. 5. «Портрети» кластерів за збіжної та розбіжної косоокості (позначено відсоток інтерференційних картин, віднесених до відповідного кластеру)

Якщо при дослідженні ІК у хворих на збіжну косоокість виявляються кути між відрізками діагоналей ІР у межах $(90 \pm 5,0)^{\circ}$, а співвідношення відрізків горизонтальної діагоналі становлять 1,1–1,2, то має місце дисбаланс дії горизонтальних м'язів, який може бути усунений стандартною операцією рецесії-резекції. Обсяг хірургічного утручання у цих випадках регламентується відповідним протоколом в залежності від наявного кута косоокості. Проведений нами аналіз історій хвороби хворих, віднесених до першого кластеру, показав, що більшість з них мали кути відхилення очей у межах $5\text{--}25^{\circ}$ за Гіршбергом. У результаті хірургічного лікування практично у всіх випадках вдалося отримати ортотропію.

До другого кластеру за збіжної косоокості віднесено 45 хворих (27%), Основною відмінністю параметрів їх ІК є те, що вірогідно відрізняються кути між діагоналями ІР, що віднесені до верхнього квадранту. Це проявляється зміщенням верхнього кута ІР у медіальному напрямку. У середньому у другому кластері $\angle KOP$ дорівнює $(80 \pm 5,5)^{\circ}$ ($p < 0,05$), а $\angle POH$ – $(100 \pm 6,7)^{\circ}$ ($p < 0,05$). Порівняння експериментальних та розрахункових ІК дозволило встановити, що до другого кластеру віднесено хворих, в яких збіжна косоокість зумовлена зміщенням місця прикладання верхнього прямого м'яза медіально. У цих хворих хірургічне утручання на м'язах горизонтальної дії у 40% випадків не призвело до ортотропії, остаточні кути становили $5\text{--}10^{\circ}$. Виявити такі дислокації м'язів існуючими методами неможливо, що вказує на значні перспективи використання поляризаційно-оптичного методу для визначення причин виникнення косоокості.

За розбіжної косоокості у всіх випадках на ІК виявлено зміщення верхнього кута ІР у латеральному напрямку. Можна зазначити, що перший та другий кластери групи хворих з розбіжною косоокістю вірогідно відрізняються за значеннями $\angle KOP$ та $\angle POH$. У першому кластері ці кути відрізняються між собою на 32° ($p < 0,05$), а у другому – на 15° ($p < 0,05$), тобто зміщення верхнього кута ІР у латеральному напрямку більше у першому кластері (рис. 5). Попередні дослідження (Босенко Т. О., 1994) хворих на розбіжну косоокість також виявили, що її виникнення у більшості випадків пов'язане зі зміщенням верхнього прямого м'яза вбік від лінії дії, або з прикріпленням його сухожилля паралельно лімбу. Хворі на розбіжну косоокість з досліджуваної групи були прооперовані за стандартною методикою, що визначена протоколом лікування косоокості. Було

досягнуто ортотропію у 49% випадків. Всі хворі з успішним результатом хірургічного утручання відносилися до другого кластеру. У 51% хворих з розбіжною косоокістю, що віднесено до першого кластеру, мали місце остаточні кути косоокості.

Для практичного використання одержаних результатів було розроблено моделі окремо для збіжної та розбіжної косоокості, які працюють наступним чином: визначається напрямок відхилення очей (медіальний, латеральний); проводиться реєстрація ІК та їх параметризація у інтерактивному режимі; з використанням розроблених моделей (для збіжної або розбіжної косоокості) проводиться визначення кластеру, до якого відноситься відповідна ІК; в залежності від кластеру визначається патологія ЕОМ. За збіжної косоокості віднесення ІК до першого кластеру вказує на функціональний дисбаланс м'язів горизонтальної дії, віднесення до другого кластеру – на зміщення верхнього прямого м'яза у медіальному напрямі.

На рисунку 6 наведено узагальнену схему класифікації ІК та визначення патології ЕОМ.

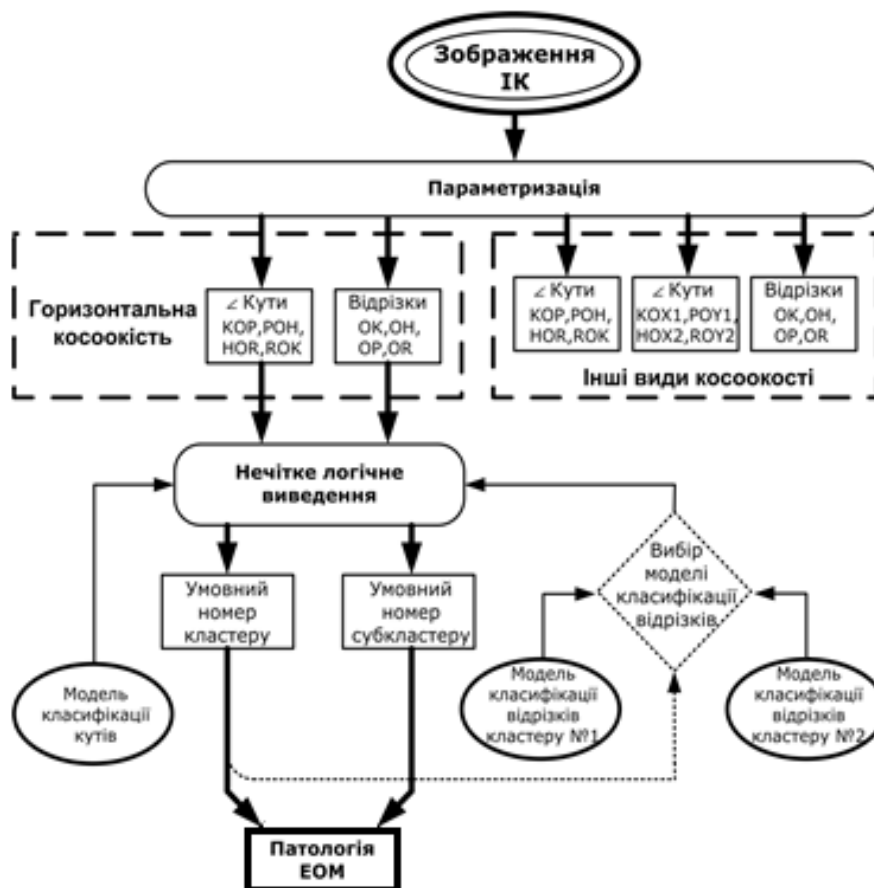


Рис. 6. Узагальнена схема процесу класифікації інтерференційної картини

При появі ІК, які за своїми параметрами не відповідають тим, які увійшли у розроблену класифікацію (виділено пунктиром «Інші види косоокості»), визначаються їх параметри та лікар класифікує стан ЕОМ відповідно визначеним правилам. Для практичного застосування отриманих результатів досліджень

розроблено математичну модель діагностики співдружної косоокості з урахуванням анатомо-функціонального стану ЕОМ, в якій використовується програмний застосунок (ПЗ) для визначення анатомо-функціонального стану прямих ЕОМ. Структурна схема математичної моделі наведена на рисунку 7.



Рис. 7. Структурна схема математичної моделі щодо визначення патології екстраокулярних м'язів

На рисунку 8 наведено головне вікно розробленого програмного застосунку. Праворуч на екранній формі наведено визначені нормовані параметри ІК хворого на косоокість. На рисунку 9 наведено клінічний приклад роботи математичної моделі діагностики співдружної косоокості.

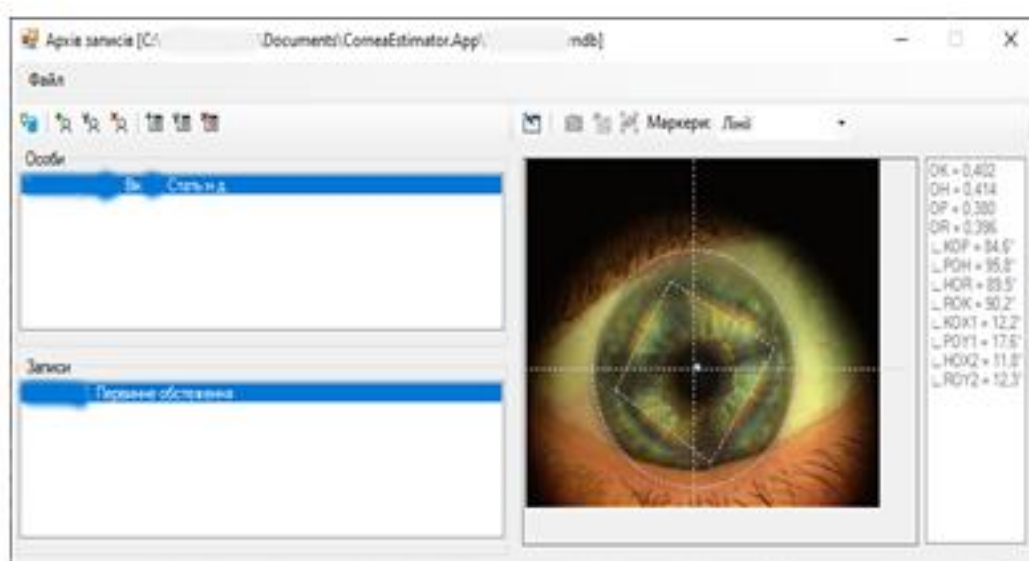


Рис. 8. Головне вікно програмного застосунку

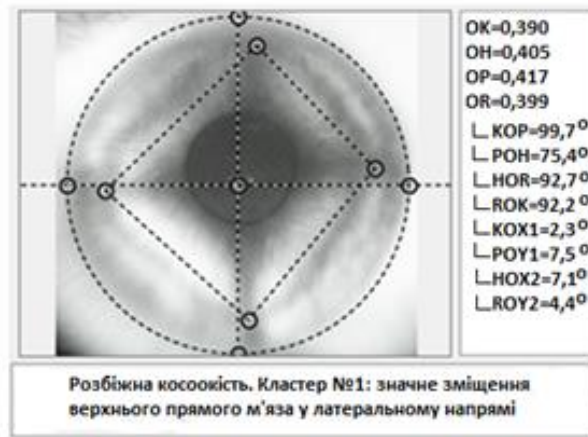


Рис. 9. Клінічний приклад інтерференційної картини за розбіжної косоокості

Аналіз ІК 44 очей дітей без явної косоокості виявив відмінності у довжинах відрізків діагоналей ІР більші за 10% у $(45 \pm 7,5)\%$ випадків, зміщення кутів ІР від відповідних меридіанів більше ніж на 5° у $(27 \pm 6,7)\%$ випадків. Таким чином ознаки асиметрії ІК було виявлено на $(72 \pm 6,1)\%$ ІК дітей, які не мали явної косоокості ($p < 0,05$).

Для спрощення проведення аналізу форми ІК з метою визначення можливої патології ЕОМ без використання математичної моделі діагностики співдружньої косоокості, або у випадках вертикальної косоокості, або горизонтальної з вертикальним компонентом, запропоновано таку послідовність дій: порівняти кути між відрізками діагоналей ІР; порівняти довжини горизонтальних відрізків діагоналей ІР; порівняти довжини відрізків вертикальної діагоналі ІР; оцінити наявність відхилення кутів ІР від відповідних меридіанів.

ВИСНОВКИ

1. За результатами епідеміологічних досліджень кількість дітей хворих на косоокість у віці до 14-ти років у світі становить 182,9 млн. Патологія очорухового апарату, що викликає косоокість, і порушення бінокулярного зору, має значну питому вагу в структурі захворювань органу зору не тільки дітей, але й дорослих. З позицій біомеханіки відхилення ока виникає при анатомічних, функціональних і анатомічно-функціональних порушеннях екстраокулярних м'язів (Босенко Т. О., 1994, Кочина М. Л., 2009; Dobbs M. D. and oth., 2011). Успішність лікування косоокості, зумовленої патологією ЕОМ, залежить від правильності виявлення ураженого м'яза і, виходячи з цього, вибору оптимальної тактики лікування. Це визначає актуальність розроблення сучасних об'єктивних методів діагностики патології екстраокулярних м'язів.
2. За даними інтерференційних картин (ІК) рогики хворих на збіжну косоокість, встановлено, що у $73 \pm 3,4\%$ випадків спостерігався дисбаланс дії горизонтальних м'язів, про що свідчать кути між відрізками діагоналей інтерференційного ромба (ІР), у середньому, $90 \pm 5,0^\circ$, та співвідношення довжин відрізків діагоналей 1,1–1,2. У $27 \pm 3,4\%$ очей має місце зміщення верхнього прямого м'яза у медіальному напрямку, про що свідчить зміщення верхнього кута ІР у медіальному напрямку, а також значення кутів між діагоналями ІР в верхньому квадранті, і становлять, в

середньому, $80 \pm 5,5^0$ ($p < 0,05$) та $100 \pm 6,7^0$ ($p < 0,05$). За розбіжної косоокості у 100% випадків на ІК виявлено зміщення верхнього кута ІР латерально, що супроводжується збільшенням медіального кута між відрізками діагоналей та зменшенням латерального кута, в верхньому квадранті, та відповідає латеральному зміщенню верхнього прямого м'яза від лінії дії. ІР відрізняються між собою ступенем зміщення верхнього прямого м'язу у латеральному напрямку в $51 \pm 7,3\%$, в середньому, на 32^0 ($p < 0,05$), а у $49 \pm 7,3\%$ – на 15^0 ($p < 0,05$). У здорових осіб за інтерференційними картинами рогівок – ознаки асиметрії в $72 \pm 6,1\%$ випадків, але анатомо-функціональна асиметрія прямих екстраокулярних м'язів не призвела до виникнення явної косоокості ($p < 0,05$).

3. Аналіз розподілу внутрішніх напружень у рогівці, визначених з використанням кінцево-елементної моделі оболонки ока, показав, що збільшення зусиль з боку внутрішнього, верхнього та нижнього прямих м'язів призводить до збільшення напруження у всій центральній зоні рогівки, яка обмежена ізохромою першого порядку ($p < 0,05$), що може бути використано для діагностики співдружної косоокості. В цих умовах значної асиметрії розрахункової ізохром не спостерігається. Збільшення зусилля з боку зовнішнього прямого м'яза не призводить до зростання асиметрії розрахункової ізохром та не змінює розподіл внутрішніх напружень у центральній зоні рогівки.
4. За результатами моделювання встановлено, що наближення точки прикладання зусиль кожного з прямих екстраокулярних м'язів до лімбу більше ніж на 2-3 мм від нормального положення викликає суттєві зміни форми розрахункових ізохром ($p < 0,05$), що не спостерігаються на практиці; при віддаленні точки прикладання зусиль прямих екстраокулярних м'язів у бік від лімбу спостерігаються розрахункові ізохромі східні з ізохромами у хворих на співдружну косоокість. Особливістю зміни інтерференційних картин у цих випадках є округлення кута інтерференційного ромбу на стороні дії м'язу, який зміщено у бік екватору ока ($p < 0,05$). Встановлено, що зміни місця прикладання зусилля м'яза вздовж лінії дії, викликають не лише зміну співвідношення відрізків відповідної діагоналі ($p < 0,05$), але й зміщення кутів ізохром в межах від 1^0 - 5^0 ($p < 0,05$); при віддаленні місця прикладання зусилля верхнього прямого м'яза від нормального положення у бік екватора ока спостерігаються розриви верхнього кута ізохром ($p < 0,05$).
5. Удосконалено класифікацію інтерференційних картин очей з горизонтальною косоокістю, що дозволяє визначити стан екстраокулярних м'язів за двохетапним алгоритмом: на першому етапі розподіляють параметри інтерференційних картин на кластери за значеннями всіх кутів між відрізками діагоналей інтерференційного ромбу, а на другому етапі – за значеннями довжин відрізків його діагоналей. Використання розроблених моделей підвищує точність визначення порушення дії прямих екстраокулярних м'язів. Розроблений метод визначення за параметрами інтерференційних картин анатомо-функціонального стану екстраокулярних м'язів дозволяє врахувати всі варіанти зміщення місця прикладання зусиль прямих екстраокулярних м'язів від лінії дії та визначити причини виникнення співдружної косоокості.

6. Розроблений на основі оцінки інтерференційних картин, їх класифікації та математичного моделювання метод оцінки стану окорухових м'язів дозволяє провести індивідуальну діагностику патології м'язів в кожному окремому випадку.
7. Розроблена математична модель діагностики співдружньої косоокості впроваджена в роботу дитячих офтальмологічних відділень КНП «Харківська міська клінічна лікарня №14 ім. проф. Л. Л. Гіршмана», КП «Дніпропетровська клінічна офтальмологічна лікарня», Київського центру терапії і мікрохірургії ока (ТОВ «Тримедекс»), медичного центру «Візекс» екстраокулярних м'язів, ТОВ «Офтальміка» (м. Харків), а також включена в учбовий процес на кафедрах офтальмології та клінічної інформатики і інформаційних технологій в управлінні охороною здоров'я Харківської медичної академії післядипломної освіти МОЗ України.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Обстеження хворого на косоокість, особливо під час вибору лікувальної тактики, окрім традиційних офтальмологічних методів, повинно включати дослідження інтерференційних картини які спостерігається на рогівці ока у поляризованому світлі. Дослідження проводиться за ортофорічного положення обстежуваного ока (за необхідності інше око може бути прикритим). Наявність асиметрії інтерференційної картини вказує на анатомо-функціональну асиметрію прямих екстраокулярних м'язів, у випадку симетричної інтерференційної картини косоокість може бути пов'язана з суто функціональними порушеннями дії м'язів або патологією косих м'язів, що потребує додаткового обстеження хворого.
2. За наявності на інтерференційній картині хворого зміщення кутів інтерференційного ромбу від відповідних меридіанів більше ніж на 5^0 причиною виникнення косоокості може бути зміщення місця прикладання зусиль відповідних м'язів від лінії дії, що необхідно враховувати в ході обрання тактики хірургічного лікування та запобігання повторних хірургічних втручань.
3. Для визначення стану прямих екстраокулярних м'язів з використанням розробленого методу діагностики співдружньої косоокості необхідно провести стандартне обстеження хворого, визначити наявність та вид косоокості, провести реєстрацію інтерференційної картини та її параметризацію, скористатися відповідною моделлю класифікації параметрів інтерференційних картин за наявності горизонтальної косоокості, або проаналізувати співвідношення інформативних параметрів інтерференційної картини за інших видах косоокості.

ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кочина МЛ, Каплин ИВ, Ковтун НМ. Результаты использования поляризованного света для исследования глаза. Вестник проблем биологии и медицины. 2014. Вып.4, том 1 (113). С. 139-145. *(Дисертант особисто провела аналіз, написання і оформлення статті).*

2. Ковтун НМ. Интерференционные картины роговицы глаза при разных состояниях глазодвигательных мышц. Український журнал медицини, біології та спорту. 2017. 2(6). С.81-86.
3. Кочина МЛ, Дьомін ЮА, Ковтун НМ, Каплін ІВ. Результативикористання поляризованого світла для дослідження напружено-деформованого стану рогівки ока за патології екстраокулярних м'язів. Міжнародний медичний журнал. 2019. 25, 3(99). С. 65-69. *(Дисертант особисто провела аналіз матеріалу, написання і оформлення статті).*
4. Кочина МЛ, Ковтун НМ. Результати моделювання напружено-деформованого стану рогівки ока за патології екстраокулярних м'язів. Український журнал медицини, біології та спорту. 2020. 1(23). С.135-142. *(Дисертант особисто провела аналіз матеріалу, написання і оформлення статті).*
5. Кочина МЛ, Дьомін ЮА, Яворський ОВ, Ковтун НМ, Фірсов ОГ. Система підтримки прийняття рішень лікарем щодо патології екстраокулярних м'язів. Офтальмологічний журнал. 2020. 2 (493). С. 70-78. *(Дисертант особисто провела аналіз матеріалу, написання і оформлення статті).*
6. Кочина МЛ, Демин ЮА, Каплин ІВ, Ковтун НМ. Модель напружено-деформованого состояния роговицы глаза. East European Scientific Journal. 2017. 2(18). Р.61-66. *(Дисертант особисто провела аналіз, написання і оформлення статті).*
7. Кочина МЛ, Демин ЮА, Каплин ІВ, Ковтун НМ. Особенности интерференционных картин глаз при горизонтальном косоглазии. Український журнал медицини, біології та спорту. 2017. 2(4). С.96-103. *(Дисертант особисто провела аналіз, написання і оформлення статті).*
8. Кочина МЛ, Каплин ІВ, Ковтун НМ. Исследование напряженно-деформированного состояния роговицы глаза с использованием моделей. The European Scientific and practical congress "Global Scientific Unity 2014". Prague 2014. Р.124-126. *(Дисертантом особисто проведено збір, узагальнення матеріалу, написання тез).*
9. Кочина МЛ, Каплин ІВ, Ковтун НМ. Перспективы использования поляризационно-оптического метода в офтальмологии. Матеріали ХІІІ з'їзду офтальмологів України. 21-23 травня 2014 року. Одеса, Україна. С.279. *(Дисертантом особисто проведено збір, узагальнення матеріалу, написання тез та стендова доповідь).*
10. Кочина МЛ, Каплин ІВ, Ковтун НМ. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния глаза. Тези ІІ з'їзду з міжнародною участю «Медична і біологічна інформатика і кібернетика». Медична інформатика і інженерія. 2015. № 4. С. 96. *(Дисертантом особисто проведено збір, узагальнення матеріалу, написання тез).*
11. Ковтун Н.М. Результаты оценки структурно-функционального состояния глазодвигательных мышц с использованием поляризационно-оптического метода. Тези ІV Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених «Актуальні питання теоретичної та практичної медицини». 21-22 квітня 2016 року. Суми, Україна. С.121.

12. Кочина МЛ, Каплин ИВ, Ковтун НМ. Результаты исследования структурно-функционального состояния глазодвигательных мышц с использованием поляризованного света. The International Scientific Association Science & Genesis "ScientificAchievements", Vienna (Austria). – Vienna, 2015. Vol. 1. P. C.89-93. *(Дисертантом особисто проведено збір матеріалу, написання тез)*.
13. Кочина МЛ, Каплин ИВ, Ковтун НМ. Результаты использования поляризованного света для исследования глаза. Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю "Філатовські читання - 2015" 21-22 травня 2015 року Одеса. С.192. *(Дисертантом особисто проведено збір, узагальнення матеріалу, написання тез та стендова доповідь)*.
14. Кочина М.Л, Ковтун Н.М. Классификация поражений глазодвигательных мышц больных с горизонтальным косоглазием. Матер. н.-п. конф. с междунар. участием «Филатовские чтения». 25-26 мая 2017, Одесса. – С.111-112. *(Дисертантом особисто проведено збір, узагальнення матеріалу, написання тез та стендова доповідь)*.
15. Кочина МЛ, Ковтун НМ. Результаты дослідження параметрів інтерференційних картин рогівки ока за патології екстраокулярних м'язів. Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. February 5-7. 2020. Pp. 869-877. *(Дисертантом особисто проведено збір матеріалу, написання тез)*.

АНОТАЦІЯ

Ковтун Н. М. Наукове обґрунтування та розроблення методу оцінювання стану окорухових м'язів з використанням поляризованого світла. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата медичних наук за спеціальністю 14.01.18 – офтальмологія. Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика МОЗ України, Київ, 2020.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичного завдання підвищення точності визначення патології екстраокулярних м'язів за косоокості шляхом розроблення методу оцінювання їх анатомо-функціонального стану за параметрами інтерференційних картин, що спостерігаються на рогівці ока у поляризованому світлі.

За результатами дослідження ІК, які спостерігаються на рогівці у поляризованому світлі встановлено, що у $(73 \pm 3,4)\%$ випадків збіжної косоокості має місце дисбаланс дії горизонтальних прямих м'язів, у інших $(27 \pm 3,4)\%$ випадків – зміщення верхнього прямого м'яза у медіальному напрямку, про що свідчить відповідне зміщення верхнього кута ІР. За розбіжної косоокості у 100% випадків на ІК виявлено зміщення верхнього кута ІР латерально, що супроводжується збільшенням медіального кута між відрізками діагоналей та зменшенням латерального кута, в верхньому квадранті, та відповідає латеральному зміщенню верхнього прямого м'яза від лінії дії. Провдений аналіз форми ІК здорових осіб показав наявність ознак асиметрії у $(72 \pm 6,1)\%$ випадках, що вказує на анатомо-функціональну асиметрію прямих екстраокулярних м'язів, яка не призвела до виникнення явної косоокості ($p < 0,05$).

Вперше з використанням моделей напружено-деформованого стану рогівки ока показано, що збільшення зусиль з боку внутрішнього, верхнього та нижнього прямих м'язів призводить до збільшення напруження у всій центральній зоні рогівки, що може бути використано для діагностики співдружної косоокості.

Вперше розроблено математичну модель діагностики співдружної косоокості з урахуванням анатомо-функціонального стану ЕОМ. Визначення патології ЕОМ відбувається на основі класифікації ІК з використанням удосконалених моделей.

Ключові слова: косоокість, екстраокулярні м'язи, рогівка, поляризаційно-оптичний метод, напружено-деформований стан, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Ковтун Н. М. Научное обоснование и разработка метода оценки состояния глазодвигательных мышц с использованием поляризованного света. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата медицинских наук по специальности 14.01.18 – офтальмология. Национальная медицинская академия последипломного образования имени П. Л. Шупика, Киев, 2020.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи повышения точности определения патологии экстраокулярных мышц при косоглазии путем разработки метода оценки их анатомо-функционального состояния по параметрам интерференционных картин, наблюдаемых на роговице глаза в поляризованном свете.

На основании исследования ИК, наблюдаемых на роговице в поляризованном свете, установлено, что в $(73 \pm 3,4)\%$ случаев сходящейся косоглазия имеет место дисбаланс действия горизонтальных прямых мышц, в остальных $(27 \pm 3,4)\%$ случаев – смещение верхней прямой мышцы в медиальном направлении, о чем свидетельствует соответствующее смещение верхнего угла ИР. При расходящемся косоглазии в 100% случаев на ИК выявлено смещение верхнего угла ИР латерально, что сопровождается увеличением медиального угла между отрезками диагоналей и уменьшением латерального угла, в верхнем квадранте, и соответствует латеральному смещению верхней прямой мышцы от линии действия. Анализ формы ИК здоровых лиц показал наличие признаков их асимметрии в $(72 \pm 6,1)\%$ случаев, что указывает на анатомо-функциональную асимметрию прямых экстраокулярных мышц, которая не привела к возникновению явного косоглазия ($p < 0,05$).

Впервые с использованием моделей напряженно-деформированного состояния роговицы глаза показано, что увеличение усилий со стороны внутренней, верхней и нижней прямых мышц приводит к увеличению напряжения во всей центральной зоне роговицы, что может быть использовано для диагностики содружественного косоглазия.

Впервые разработана математическая модель диагностики содружественного косоглазия с учетом анатомо-функционального состояния экстраокулярных мышц. Определение патологии экстраокулярных мышц происходит на основе классификации ИК с использованием усовершенствованных моделей.

Ключевые слова: косоглазие, экстраокулярные мышцы, роговица, поляризационно-оптический метод, напряженно-деформированное состояние, моделирование.

SUMMARY

Kovtun N. M. Scientific substantiation and development of a method for assessing the condition of oculomotor muscles using polarized light. – The Manuscript.

The thesis worked out for obtaining the scientific degree of the candidate of medical sciences in specialty 14.01.18 – ophthalmology. The Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Public Health of Ukraine, Kyiv, 2020.

The thesis presents solving the urgent problem of modern ophthalmology concerning the increase in accuracy of determining the pathology of extraocular muscles in strabismus by developing a method for assessing their anatomical and functional condition with the help of interference patterns observed in the cornea in polarized light.

The idea of polarization-optical properties of the cornea in extraocular muscle pathology was further developed. According to the results of studying the parameters of 167 interference patterns in patients with convergent strabismus, we found out that there was an imbalance of horizontal muscles in $(73 \pm 3.4)\%$ of cases, as evidenced by the angles between the diagonal segments of the interference rhombus, which average $(90 \pm 5.0)^\circ$, and the ratio of the lengths of the diagonal segments, which did not exceed 1.1-1.2. There was a displacement of the upper rectus muscle in the medial direction in $(27 \pm 3.4)\%$ of cases as evidenced by the displacement of the upper angle of the interference rhombus in the medial direction, as well as the values of the angles between the diagonal segments of the interference rhombus were $(80 \pm 5.5)^\circ$ ($p < 0.05$) and $(100 \pm 6.7)^\circ$ ($p < 0.05$). In 100% of divergent strabismus cases, the interference patterns showed a displacement of the upper angle of the interference rhombus in the lateral direction, accompanied by an increase in the medial angle between the diagonal segments and a decrease in the lateral angle relative to the upper quadrant actions. The angles of the upper quadrant of the interference rhombus differed by an average of 32° ($p < 0.05$) in $(51 \pm 7.3)\%$ of cases, and the degree of displacement of the upper rectus muscle in the lateral direction differed by 15° ($p < 0.05$) in $(49 \pm 7.3)\%$ of cases.

Analysis of the shape of the interference patterns of healthy individuals showed signs of asymmetry in $(72 \pm 6.1)\%$ of cases, indicating anatomical and functional asymmetry of the rectus extraocular muscles, which did not lead to obvious strabismus ($p < 0.05$).

We were the first to determine that increased effort from the inner, upper and lower rectus muscles led to increased stress in the entire central zone of the cornea, which was limited by isochromic first order, with significant asymmetry of the calculated isochromia was not observed. This finding was possible due to analysis of the distribution of internal stresses in the cornea using the finite element model of the cornea. Increasing the force on the part of the external rectus muscle also did not increase the asymmetry of the calculated isochromia, nor it changed the distribution of internal stresses in the central zone of the cornea. The analysis of informative parameters of isochromes (ratio of diagonal segments and values of angles between them) showed that the approximation of

the muscular force to the limbus from the normal position along the line of action, as well as its removal along the line of action caused not only segments of the corresponding diagonal ($p < 0.05$), but also the displacement of the angles of the isochrome from the corresponding meridians in the range from 1^0 to 5^0 ($p < 0.05$). Ruptures of the upper angle of the isochrome were observed when the place of application of the upper rectus muscle from the normal position towards the equator ($p < 0.05$).

In order to use all possible changes in the shape of interference patterns in strabismus, we proposed to determine angles between segments of interference rhombus diagonals and corresponding meridians of the eye in addition to segments of interference rhombus diagonals, which allowed considering all options of shift of a place of applying the efforts of direct extraocular muscles from a line of action.

We improved models for classification of interference patterns of eyes with horizontal strabismus, which allowed determining the state of extraocular muscles in automatic mode by a two-stage algorithm. On the first stage there was a distribution of parameters of interference patterns into clusters by values of all angles between segments of diagonals of interference rhombus. On the second stage, the distribution of parameters of interference patterns happened by the values of the lengths of the segments of its diagonals. The use of the developed models allowed assigning the interference pictures of patients with horizontal strabismus to the appropriate cluster without errors, which helped us to determine the cause of eye deviation and increased the accuracy of determining the violation of the rectus extraocular muscles.

The mathematical model for diagnosing strabismus was developed for the first time. It contains blocks for obtaining images of interference patterns and their parameterization, a database that stores information about the subject in the form of records with the date of examination, combined with a picture of interference pattern of the cornea. The image of the interference pattern after parameterization and determination of informative parameters is classified using the developed models to the appropriate cluster, which allows determining the existing pathology of the extraocular muscles.

Key words: strabismus, extraocular muscles, cornea, polarization-optical method, stress-strain state, modeling.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ	– екстраокулярні м'язи
ІК	– інтерференційна картина
ІР	– інтерференційний ромб
ПЗ	– програмний застосунок