

УДК 617.741-004.1.87

С.Ю. Садовнік, студентка гр. ПО-71мп, д.т.н., проф. І.Г. Чиж
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОКА

Анотація. Розглянуто різні фізичні моделі ока, які відтворюють анатомічні та оптичні властивості середньостатистичного людського ока. Проаналізовані моделі ока, що призначені для тестування і калібрування офтальмологічних рефрактометрів та aberометрів. Найбільша увага приділена моделям, що використовуються для тестування інтраокулярних лінз (ІОЛ) різних моделей. Головною задачею було виявлення моделей, які дозволяють досліджувати вплив децентрування ІОЛ в оці людини на якість ретинального зображення.

Ключові слова: фізична модель ока, аберації ІОЛ, aberометрія ІОЛ, in vitro.

ВСТУП

Імплантація інтраокулярних лінз (ІОЛ) в око людини є ефективним методом лікування катаракти, тому ІОЛ є найбільш розповсюдженими протезами серед усіх імплантуючих медичних пристроїв. В даний час в арсеналі лікаря офтальмолога знаходиться велика кількість однотипних моделей ІОЛ, які виготовляються різними фірмами, що ставить лікаря перед необхідністю вибору кращої моделі.

Точне знання оптичних властивостей інтраокулярних лінз є необхідним для отримання гарної візуальної якості після імплантації ІОЛ. В даний час найбільш поширеним методом аналізу рефракції ока після імплантації ІОЛ є дослідження ретинального зображення на штучному оці. Мотивом до цього є визначення можливих наслідків децентрації ІОЛ у кришталиковому міхурі після її імплантації, що викликає суттєве погіршення якості ретинального зображення та зміщення у просторі візуальної осі. Це може статися навіть тоді, коли імплантація завершилася успішно. Залежно від дизайну ІОЛ, це неправильне розташування може призвести до суттєвих відмінностей у кінцевій оптичній якості відносно однієї і тієї ж ІОЛ. Для здійснення такого дослідження потрібна фізична модель оптичної системи ока, в якій ІОЛ має можливість переміщуватись вздовж оптичної осі моделі, перпендикулярно до неї та повертатися навколо однієї з осей, перпендикулярної до оптичної осі моделі.

ОГЛЯД ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОКА

Фізичні моделі оптичної системи ока розглянуті в роботах [1–4]. В роботі [1] представлена модель (рис. 1), перевагою якої є можливість оцінки впливу децентрування на оптичну якість ретинального зображення при різних конструкціях ІОЛ, можливість порівняння впливу децентрування на оптичну якість рефракційно-дифракційної асферичної мультифокальної лінзи, можливість вимірювання модуляційної передавальної функції на сітківці для різних ІОЛ при їх переміщеннях у оці.

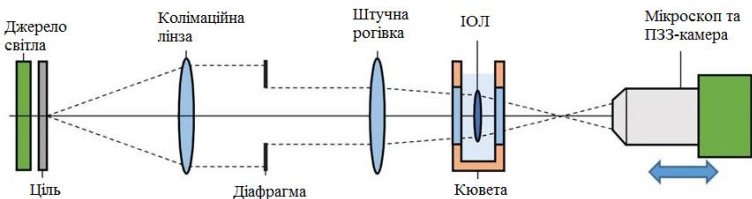


Рисунок 1. Схема вимірювання передавальної модуляційної функції простих рефракційних та дифракційних інтраокулярних лінз

Модель оптичної системи ока (рис.2), представлена в [2], використовується для визначення якості ретинального зображення та впливу на рефракцію ока нахилу або децентрації ІОЛ.

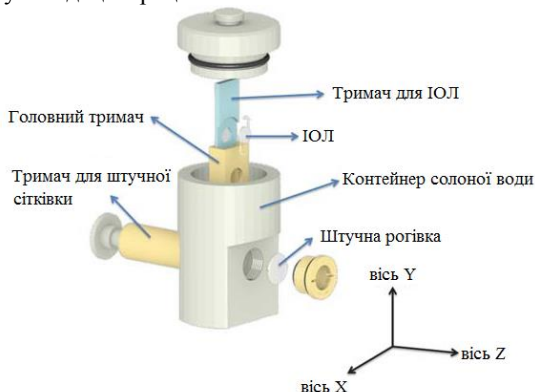


Рисунок 2. Штучне око, що використовується в методі.

Переваги такої моделі: 1) вимірювання хвильового фронту можна зробити дуже швидко (протягом мілісекунд); 2) похибки оцінки оптичної сили ІОЛ не перевищують 1.5%; 3) хвильовий фронт можна отримати для будь-якого бажаного діаметра зіниці (коли він не перевищує значення ІОЛ); 4) вимірювання оптичних характеристик ІОЛ при розташуванні об'єктів спостережень на різних відстанях від ока (до 7 см), що дозволяє імітувати умови ближнього зору; 5) існує можливість використання моделі для досліджень в режимі реального часу з центруванням приладу відносно ока; 6) нахил ІОЛ може здійснюватися по трьом координатам XYZ [2].

Метод контролю хвильових аберацій ІОЛ заснований на вимірюванні величини RMS за рахунок зміщення (децентрування та нахилів) ІОЛ в моделі ока (рис.3).

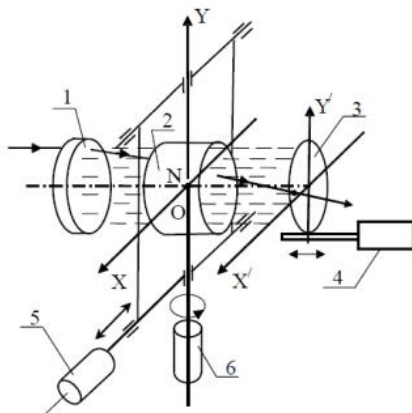


Рисунок 3. Функціональна схема моделі ока: 1 - лінза, що імітує рогівку; 2 - оправа, для установки ІОЛ; 3 - імітатор сітківки; 4 - привод переміщення імітатора сітківки вздовж оптичної осі, 5 - привод переміщення (децентрації) ІОЛ уздовж осі OX ; 6 - привод для децентрації ІОЛ поворотом навколо осі OY ; N - передня вузлова точка ІОЛ.

Перевагою такої моделі є: 1) можливість встановлювати вплив на якість ретинального зображення реальних технологічних похибок виготовлення ІОЛ, а саме: оптичних неоднорідностей матеріалів, з яких вони виготовляються, можливих відступів від номінальних значень геометричних і оптичних параметрів, спотворень форми оптичних поверхонь; 2) можливість моделювання потрібних величин хвильової аберації за величинами та спектром мод, що потрібно для тестування аберометрів та рефрактометрів і що досягається тривимірним переміщенням імітатора кришталіка [3].

Перевагою наступної оптико-механічної моделі ока з монофокальною ІОЛ (рис. 4) є те, що вона може бути використана для дослідження оптичних характеристик різних типів інтраокулярних лінз і дозволяє врахувати зміщення (поздовжнє та поперечне) та нахил імплантата. Модель дозволяє забезпечувати різні кути нахилу до оптичної осі вхідного пучка, щоб імітувати оптичну роботу поза віссю і аналізувати оптичну якість на периферії сітківки [4].

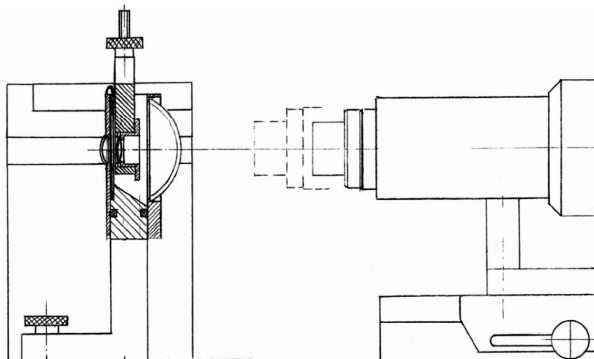


Рисунок 4. Оптомеханічна модель людського ока.

ВИСНОВКИ

Було розглянуто існуючі фізичні моделі оптичної системи ока, які мають в своєму складі ІОЛ. При цьому виявлено, що моделі ока, які представлені в роботах [2, 3] лише частково задовольняють поставленій задачі, але ні одна з розглянутих моделей не забезпечує потрібну в даний час кількість степенів свободи. Тому актуальною залишається задача створення моделі, яка б забезпечувала достатню кількість вказаних степенів для проведення більш детального експериментального дослідження впливу децентрувань ІОЛ в оці людини на якість ретинального зображення та положення візуальної осі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Effect of decentration on the optical quality of two intraocular lenses / C. Ortiz, J. Esteve-Taboada, L. Belda-Salmeron and etc. // Optometry and Vision Science. – 2016. - Vol. 93, No. 12. – P. 1552 – 1559.
2. Optical characterization method for tilted or decentered intraocular lenses / S. Bonaque-Gonzalez, P. Bernal-Molina, M. Marcos-Robles and etc. // Optometry and Vision Science. – 2016. - Vol. 93, No. 7. – P. 705 – 713.
3. Чиж И.Г. Метод контроля волновых aberrаций имплантируемых интраокулярных линз / И.Г.Чиж, Т.А. Шиша // Вестник. Белорусско-Российского университета. – 2014. – № 4. – С. 129 – 135.
4. Retinal images in optomechanical eye model with monofocal intraocular lens / A. Jozwik, J. Nowak, D. Siedlecki and etc. // Institute of Physics, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland. – 2011. - Vol. XLI, No. 3. – P. 593 – 605.