УДК 617.753.3:617.741-089.87 DOI: https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-14-20

Анализ влияния наклона и децентрации ИОЛ на индуцированный астигматизм при исследовании методом трассировки лучей на модели глаза

И.Л. Куликова¹, Н.С. Тимофеева¹, Д.Б. Абраменко²

¹ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Чебоксарский _филиал;

²Институт спектроскопии Российской академии наук, Москва

ΡΕΦΕΡΑΤ

Цель. Определение влияния наклона и децентрации интраокулярной линзы (ИОЛ) на величину индуцированного астигматизма при теоретическом исследовании с помощью программного обеспечения на модели глаза. Материал и методы. Для проведения расчета была выполнена модель глаза с заданными параметрами. Модуляция изменения волнового фронта проводилась в программе Zemax (LLC, CША). На модели глаза анализировалась вероятность индуцирования астигматизма в зависимости от изменения положения асферической ИОЛ Acrysof IQ 16,0, 22,0 и 24,0 дптр и торической модели Acrysof IQ Toric SN6AT3, SN6AT4 и SN6AT5. Исследовался угол наклона ИОЛ относительно горизонтальной плоскости от 0° до 10° с шагом 1°, децентрации от 0,1 до 1,5 мм с шагом 0,1 мм. При каждой позиции ИОЛ регистрировались данные аберраций 2 порядка Z (2,2). Полученные результаты использовались для расчета критического угла наклона и децентрации. Результаты. Индуцированный астигматизм усиливался с увеличением степени наклона и децентрации и соответственно нарастанию оптической силы ИОЛ. Критически значимыми были значения 3,0° наклона для асферической ИОЛ с оптической силой 22,0 и 22,0 дптр и 3,5° для 16,0 дптр, децентрации – 0,7 и 1,0 мм соответственно. Наклон торической интраокулярной линзы (ТИОЛ) относительно горизонтальной плоскости выявил индуцирование астигматизма на 0,3 дптр при величине наклона 3–4°. Выводы. Наклон и децентрация асферической ИОЛ и ТИОЛ индуцируют астигматизм в зависимости от увеличения оптической силы ИОЛ. Горизонтальный наклон ТИОЛ способствует индуцированию астигматизма при установке цилиндрического компонента по оси 90°.

Ключевые слова: астигматизм, торические интраокулярные линзы, наклон и децентрация интраокулярной линзы, трассировка лучей

Для цитирования: Куликова И.Л., Тимофеева Н.С., Абраменко Д.Б. Анализ влияния наклона и децентрации ИОЛ на индуцированный астигматизм при исследовании методом трассировки лучей на модели глаза. Офтальмохирургия. 2021;3: 14–20. https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-14-20.

ABSTRACT

Analysis of the effect of intraocular lens tilt and decentration on induced astigmatism by ray tracing on the model eye

I.L. Kulikova¹, N.S. Timofeyeva¹, D.B. Abramenko²

¹Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Cheboksary Branch, Russian Federation; ²Institute for Spectroscopy Russian Academy of Sciences, Moscow , Russian Federation

Purpose. Determination of the influence of the intraocular lens (IOL) inclination and decentration on the magnitude of induced astigmatism in a theoretical study using software on an eye model. **Material and methods.** An eye model with the specified parameters was performed to carry out the calculation. Modulation of the change in the wavefront was carried out using the Zemax program (LLC, USA). In the model eye, the probability of induction of astigmatism was analyzed depending on the change in the position of the aspherical IOL Acrysof IQ 16.0, 22.0 and 24.0 diopters and the toric model Acrysof IQ Toric SN6AT3, SN6AT4 and SN6AT5. The angle of inclination of the IOL relative to the horizontal

plane was examined from 0° to 10° with a step of 1°, decentration from 0.1 to 1.5 mm with a step of 0.1 mm. At each IOL position, aberration data of the 2nd order Z (2, 2) were recorded. The obtained results were used to calculate the critical tilt angle and decentration. **Results.** The magnitude of induced astigmatism increased with the rise of the degree of inclination and decentration, corresponding to an increase in the optical power of the IOL. Accordingly, critically significant were the values of 3.0° inclination for the aspherical IOL with an optical power of 22.0 and 22.0 diopters and 3.5° for 16.0 diopters, decentration – 0.7 mm and 1.0 mm. The inclination of the TIOL relative to the horizontal plane revealed the induction of



the magnitude of inverse astigmatism, according to an increase in the inclination angle of 0.3 diopters at a slope of 3–4°. **Conclusions.** The tilt and decentration of the aspherical and TIOL patterns induce astigmatism depending on the increase in IOL power. The inclination of the TIOL in

relation to the horizontal plane set at 90 ° promotes the induction of astigmatism.

Key words: astigmatism, toric intraocular lenses, tilt and decentration of the intraocular lens, ray tracing

For quoting: Kulikova I.L., Timofeyeva N.S., Abramenko D.B. Analysis of the effect of intraocular lens tilt and decentration on induced astigmatism by ray tracing on the model eye. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2021;3:14–20. https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-3-14-20.

сновные тенденции развития офтальмохирургии в течение последнего десятилетия обусловили значительный технологический прогресс в области методов проведения операции и закономерности в разработках оптических свойств интраокулярной линзы (ИОЛ), связанные с необходимостью улучшения рефракционных результатов и качества получаемого зрения. Интерес к повышению качественных характеристик зрения привел к появлению новых моделей асферических ИОЛ, позволяющих корригировать как аберрации роговицы, так и самой линзы [1]. Некоторые ИОЛ имеют отрицательную асферическую оптику и предназначены для компенсации положительной сферической аберрации роговицы человека (приблизительно 0,27 мкм) с целью получения сферической аберрации, близкой к нулю. В других моделях реализуется подход присутствия небольшой положительной сферической аберрации (приблизительно 0,1 мкм) [2, 3]. При этом асферические линзы с отрицательной сферической аберрацией функционируют наилучшим образом в условиях более точного центрирования по отношению к визуальной оси и обусловливают более высокие показатели контрастной чувствительности, в отличие от сферических моделей ИОЛ [4].

Актуальность данного вопроса дополняется исследованиями эффективной позиции линзы, а также анализом положения ИОЛ в капсульном мешке [5]. Внедрение и широкое применение фемтолазерных установок позволило повысить до прецизионной точности проведение ключевых этапов хирургии катаракты. Наиболее значимым из них является выполнение капсулорексиса, оказывающего непосредственное воздействие на положение ИОЛ в капсульном мешке. Считается, что децентрация и наклон негативно влияют на оптические характеристики имплантированных ИОЛ, особенно асферических, торических (ТИОЛ) и мультифокальных, снижая качество полученного зрения, способствуя увеличению аберраций высшего порядка (НОА), в частности комы. В литературе имеются данные о возможном индуцировании астигматизма при наличии клинически значимого наклона ИОЛ, который, по данным разных авторов, может варьировать от 2,67° до 3,43° [6].

Возросший интерес к результатам подобных исследований определяется все более высокой необходимостью повышения прогнозируемости рефракционного результата, связанного с визуальными ожиданиями со стороны пациентов, проведением оперативного вмешательства с рефракционной целью, а также расширением показаний к коррекции астигматизма слабой степени в ходе хирургии катаракты с использованием ТИОЛ. В данном аспекте все больше внимания уделяется изучению весомости влияния изменения положения ИОЛ: наклона и децентрации на величину индуцированого астигматизма, а также на качественные характеристики зрения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В программе Opticstudio (Zemax, LLC, CIIIA, версия от 20.08.2014) была разработана теоретическая модель глаза, учитывающая его основные параметры, а именно: радиус передней и задней поверхности роговицы, толщину роговицы, радиус передней и задней поверхности линзы, преломляющие коэффициенты оптических структур и сред глаза, их константы, включая стекловидное тело (таблица). Используемое программное обеспечение Zemax позволяет генерировать модель трассировки лучей в оптической системе с заданными параметрами. В наши задачи входило исследование изменения волнового фронта при прохождении световых лучей через оптическую часть асферической и торической моделей ИОЛ в зависимости от величины угла наклона и децентрации ИОЛ с определением величины индуцированного астигматизма. Плоскость зрачка закладывалась как апертура с шириной равной 3,5 мм. В качестве исследуемой модели линзы использовались данные асферической ИОЛ Acrysof IQ с оптической силой 16,0, 22,0 и 24,0 дптр и Acrysof IQ Toric SN6AT3, SN6AT4 и SN6AT5 с соответствующей мощностью цилиндра 1,50, 2,25 и 3,0 дптр (Alcon, США). Основные характеристики асферической и торической моделей данного вида ИОЛ включали в себя радиус кривизны поверхностей ИОЛ и коническую составляющую асферичности, предоставленные

Для корреспонденции:

Тимофеева Нина Сергеевна, врач-офтальмолог ORCID ID: 0000-0002-4048-4463. E-mail: nina8820@yandex.ru

For correspondence:

Nina Timofeeva, ophthalmologist ORCID ID: 0000-0002-4048-4463. E-mail: nina8820@yandex.ru

Таблина

New test as a second	Table
Nominal parameters of theoretical eye model	
Параметр	Значение
Parameter	Value
Передний радиус кривизны роговицы, мм	7,76
Corneal anterior surface radius, mm	
Роговичный передний параметр Q (асферической ИОЛ)	-0.26
Corneal anterior surface Q (aspherical IOL)	
Показатель преломления роговицы	1,376
Corneal index of refraction	
Задний радиус кривизны роговицы, мм	6,36
Corneal posterior surface radius, mm	
Роговичный задний параметр Q (асферической ИОЛ)	-0.24
Corneal posterior surface Q (aspherical IOL)	
Диаметр зрачка, мм	3,5
Pupil diameter, mm	
Коэффициент преломления влаги передней и задней камер	1,33
Refractive index front and back chamber	
Коэффициент преломления стекловидного тела	1,33
Refractive index vitreous body	

Номинальные параметры теоретической модели глаза





фирмой-производителем (Alcon, США). Толщина линзы для каждой оптической силы была рассчитана соответственно диаметру оптической части линзы и разницы радиусов кривизны в программе Компас-3DLTV 12 («Аскон», Россия).

Изменения положения ИОЛ имитировались путем отклонения оптической части линзы заданной силы относительно горизонтальной плоскости с шагом от 1° до 10° для наклона и с шагом 0,1 мм для децентрации ИОЛ. Торичность роговицы обозначалась в миллиметрах и закладывалась соответственно величине разности радиусов кривизны в горизонтальном и вертикальном меридианах согласно степени роговичного астигматизма. Исследовались наклон и децентрация ТИОЛ относительно горизонтального и вертикального меридианов с установкой цилиндрической составляющей по 90° и 180°. Положение сетчатки было оптимизировано с учетом формирования среднего фокусного расстояния, составляющего 23,5 мм (*puc. 1*).

Анализ аберраций проводился с помощью значений полиномов Zernike. Для наклона исследовались полиномы Z (2,2), которые были переведены из микрометров в диоптрии согласно формуле: $-4 * \sqrt{6} * Z_2^2/R^2$.

Данное уравнение было описано R.A. Applegate и соавт. (2003) и включает преобразованные в микрометры данные аберраций 2 порядка Z (2,2) по отношению к диаметру зрачка (мм) [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно полученным данным, в группе асферических ИОЛ появление индуцированного астигматизма, соответствующего среднему значению 0,1 дптр, составило 3,0° для ИОЛ с оптической силой 22,0 и 24,0 дптр и 3,5° для ИОЛ 16,0 дптр. При этом увеличение значений угла наклона линзы вело к последовательному повышению величины индуцированного астигматизма: при 5° – на 0,3 дптр и на 0,21 дптр для 22,0, 24,0 и 16,0 дптр соот-



Рис. 2. График зависимости индуцированного астигматизма от величины угла наклона линзы в теоретической модели глаза с асферической оптикой при оптической силе ИОЛ 16,0, 22,0 и 24,0 дптр

Fig. 2. Dependency graph of induced astigmatism on the value of the angle of inclination of the lens in a theoretical model of an eye with aspherical optics at IOL optical powers of 16.0, 22.0 and 24.0 diopters



Рис. 3. График зависимости индуцированного астигматизма от величины децентрации линзы в теоретической модели глаза с асферической оптикой при оптической силе ИОЛ 16,0, 22,0 и 24,0 дптр

Fig. 3. Dependency graph of induced astigmatism on the value of lens decentration in the theoretical model of the eye with aspherical optics at IOL optical power 16.0, 22.0 and 24.0 diopters

ветственно. Отмечалось увеличение показателей индуцированного астигматизма в зависимости от величины оптической силы линзы (*puc. 2*).

Анализ децентрации ИОЛ относительно горизонтальной плоскости выявил средние значения индуцированного астигматизма величиной 0,1 мм при отклонении линзы на 0,7 мм для линз с оптической силой 22,0, 24,0 дптр и 1,0 мм для 16,0 дптр линзы. При этом сохранялась тенденция к большему индуцированию астигматизма также при анализе ИОЛ с наибольшей оптической силой (*puc. 3*).

Анализ изменения положения ТИОЛ при установке цилиндрического компонента оптической части ТИОЛ по оси 90° (при коррекции прямого роговичного астигматизма) при горизонтальном наклоне вдоль оси от 0 до 180° относительно вертикальной плоскости выявил индуцирование астигматизма на величину 0,1 дптр соответственно увеличению угла наклона в 3°, более выраженное в группе линз с большими значениями оптической силы, и снижение степени индуцированного астигматизма при установке цилиндрического компонента по оси 180° (при коррекции обратного астигматизма). В результате рефракционный результат при горизонтальном наклоне ТИОЛ при коррекции прямого роговичного астигматизма имел тенденцию к гипокоррекции, при коррекции обратного роговичного астигматизма – гиперкоррекции. На *рисунке* 4 и *рисунке* 5 представлена зависимость индуцированного астигматизма от установленной оси цилиндрического компонента и оптической силы ТИОЛ.

Децентрация ТИОЛ оказывала влияние на индуцированный астигматизм при значениях 0,7 мм для линз 22,0 и 24,0 дптр и более значительной децентрации, составляющей 0,9–1,0 мм для линз 16,0 дптр, что совпадало с результатами исследования децентрации асферической ИОЛ *(рис. 6, 7)*. ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ



Рис. 4. График зависимости индуцированного астигматизма от величины угла наклона линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (линза установлена на 90°) с силой 16,0, 22,0 и 24,0 дптр с мощностью цилиндра 1,50, 2,25 и 3,0 дптр

Fig. 4. Dependency graph of induced astigmatism on the angle of inclination of the lens in the theoretical model of the eye with toric optics (the lens is set at 90°) with powers of 16.0, 22.0 and 24.0 diopters with cylinder powers of 1.50, 2.25 and 3.0 diopters



Рис. 5. График зависимости индуцированного астигматизма от величины угла наклона линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (линза установлена на 180°) с силой 16.0, 22.0 и 24.0 дптр с мощностью цилиндра 1.50, 2.25 и 3.0 дптр

Fig. 5. Dependency graph of induced astigmatism on the angle of inclination of the lens in the theoretical model of the eye with toric optics (the lens is set at 180°) with powers of 16.0, 22.0 and 24.0 diopters with cylinder powers of 1.50, 2.25 and 3.0 diopters

обсуждение

Прохождение светового луча через оптическую поверхность ИОЛ, согласно законам геометрической оптики, подвергается преломлению, которое соответствует свойствам данной оптической системы. При этом первостепенное значение приобретает точность выравнивания задействованного оптического элемента относительно основных осей и плоскостей, а именно значения децентрации и наклона. Согласно данным исследований, децентрация ИОЛ более 0,1 мм и наклон 5° снижают качественные характеристики полученного зрения [8]. Как правило, измерения в клинических условиях осуществляются с использованием Шеймпфлюг-камеры и рефлексов Пуркинье [9]. N. Hirnschall и соавт. (2017) сравнивали наклона хрусталика до операции с наклоном асферической модели ИОЛ (Asphina, Carl Zeiss Meditec AG) после проведения хирургии катаракты на приборе SS-OCT (IOLMaster 700). На 62 глазах средний наклон ИОЛ составил 6,2° [10]. F. Taketani и соавт. (2004) при исследовании на 40 глазах соотношения величины наклона к индуцированию аберраций высшего порядка выявили наличие значимой корреляции между комой и наклоном ИОЛ [11].

Оптическая система глаза имеет неоднородное распределение показателей преломления (роговица, ИОЛ, влага передней камеры, стекловидное тело), в связи с чем представляется наиболее сложной для проведения анализа изменения волнового фронта. Разработано несколько моделей глаза, из которых родоначальником является модель Gullstrand, учитывающая сферическую форму роговицы, и позднее модифицированная Le Grand [12]. В связи с необходимостью проводить расчеты с асферическими поверхностями были разработаны широкоугольные модели Kooijman (1983), Escudero-Sans, Navarro (1999), Liou и Brennan (1997) и др. [13]. Большинство конструкций ИОЛ подвергались оптимизации с использованием данных моделей глаз, отражающих средние биометрические и оптические данные пациентов, подвергающихся хирургическому вмешательству. За основу в настоящем исследовании была взята модель, представленная Lio и Brennan (1997) и J.T. Holladay (2012) [14]. С целью изучения свойств оптических элементов, а именно прохождения лучей и изменения их направления соответственно исследуемому углу наклона и децентрации ИОЛ, проектирование и теоретическое моделирование проводилось на основе метода трассировки лучей.

Существующие исследования по влиянию наклона и децентрации различных видов ИОЛ, выполненные на теоретических моделях глаза с использованием аналогичного программного обеспечения, обнаружили индуцирование астигматизма и аберраций высшего порядка, влияющие на оптические характеристики полученного зрения, в частности кома при нарастании значений децентрации [12, 15].

Нами было проведено исследование по влиянию изменения положения асферических ИОЛ и ТИОЛ на величину индуцированного астигматизма в зависимости от оптической силы и направления оси выравнивания цилиндрического компонента ТИОЛ (на 90° и 180°). Была продемонстрирована возможность индуцирования астигматизма при имплантации асферических ИОЛ уже при величине наклона, равного 3,0°. При этом увеличение наклона до 5° приводило к теоретическому увеличению значений астигматизма почти в 3 раза – до 0,3 дптр для ИОЛ с оптической силой 22,0 и 24,0 дптр и в 2 раза для ИОЛ 16,0 дптр. Увеличение астигматизма до 10° вело к значительному увеличению астигматизма, составившему более 1,0 дптр. Анализ данных децентрации оптической части линзы на 0,1 мм установил допустимость индуцирования астигматизма до 0,2 дптр в исследуемом ряду моделей асферических ИОЛ и ТИОЛ. В то же время сравнительный анализ по ИОЛ с различной оптической силой выявил увеличение величины астигматизма соответственно нарастанию преломляющей силы оптической части линзы, что демонстрирует тенденцию к индуцированию больших степеней астигматизма линзами с наибольшей преломляющей силой.

С целью повышения точности и достоверности результатов настоящего исследования изучение наклона ТИОЛ моделировалось с имитацией торичности роговицы. Наклон ТИОЛ относительно горизонтальной плоскости выявил тенденцию к гипер- и гипокоррекции при установке ТИОЛ соответственно коррекции прямого и обратного астигматизма с критическими значениями наклона 3° и децентрации 0,7 мм, что при проведении расчета оптической силы ТИОЛ повышает теоретическую прогнозируемость рефракционного результата операции. Этот факт в определенной мере объясняет наличие остаточного астигматизма даже при проведении расчетов по данным общей величины астигматизма с учетом задней поверхности роговицы.

Обзоры литературы по исследуемой теме выявили неоднозначные данные по влиянию величины децентрации и наклона ИОЛ на результаты операции. М. Baumeister и соавт. (2009), определявшие положение ИОЛ с помощью Шеймпфлюг-камеры, выявили средний угол наклона 2,89±1,46° для сферической ИОЛ и 2,85±1,36° для асферической ИОЛ и среднюю оптическую децентрацию 0,19±0,12 и 0,27±0,16 мм соответственно. Полученные показатели были признаны недостаточно высокими, чтобы повлиять на качество полученного зрения [16]. Исследованиями Р. Rosales и S. Marcos (2006) были выявлены более значительные показатели вертикального наклона, составляющие от −1,85° до 5,97° для правых и 0,75° до 3,83° для левых глаз [17]. В обзоре Т. Еррід и соавт. (2009) средняя децентрация ИОЛ составила 0,30±0,16 мм (диапазон от 0,00 до 1,09 мм), наклон 2,62±1,14° (диапазон от 0,20° до 8,17°). Было выявлено отрицательное влияние децентрации на передаточную функцию модуляции (MTF) практически во всех случаях имплантации асферических моделей ИОЛ, увеличение аберраций высшего порядка (кома), индуцирование астигматизма [18].

Результаты настоящего исследования нашли подтверждение в проведенных нами ранее работах по изучению влияния величины децентрации и наклона ИОЛ в капсульном мешке в зависимости от методики формирования капсулорексиса, определившие автоматизированный подход к данному этапу операции как наиболее прогнозируемый, и совпадают с результатами исследо-



Рис. 6. График зависимости индуцированного астигматизма от величины децентрации линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (ТИОЛ установлена на 90°) с оптической силой 16.0, 22.0 и 24.0 дптр с мощностью цилиндра 1.50, 2.25 и 3.0 дптр

Fig. 6. Dependency graph of induced astigmatism on the value of lens decentration in a theoretical model of an eye with toric optics (TIOL is set at 90°) with optical powers of 16.0, 22.0 and 24.0 diopters with cylinder powers of 1.50, 2.25 and 3.0 diopters



Рис. 7. График зависимости индуцированного астигматизма от величины децентрации линзы в теоретической модели глаза с торической оптикой (ТИОЛ установлена на 180°) с оптической силой 16,0, 22,0 и 24,0 дптр с мощностью цилиндра 1,50, 2,25 и 3,0 дптр

Fig. 7. Dependency graph of induced astigmatism on the value of lens decentration in a theoretical eye model with toric optics (TIOL set at 180°) with optical powers of 16.0, 22.0 and 24.0 diopters with cylinder powers of 1.50, 2.25 and 3.0 diopters

вания других авторов, также указывающих на вклад наклона ТИОЛ в индуцирование астигматизма, оказывающего влияние на рефракционный результат операции [19–21].

Проведенное нами теоретическое исследование по изучению наклона и децентрации ИОЛ может рассматриваться как важное дополнение к полученным клиническим результатам, способствует оптимизации рефракционных результатов в коррекции астигматизма с помощью асферических ИОЛ и ТИОЛ и получения более высоких качественных характеристик зрения на практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное нами теоретическое исследование зависимости величины наклона и децентрации ИОЛ подтвердило неизбежность индуцирования астигматизма при определенных критических уровнях, в среднем составляющих 3,0-3,5° для наклона и 0,7-1,0 мм для децентрации и увеличивающихся в зависимости от оптической силы имплантированных асферических и торических моделей ИОЛ. Горизонтальный наклон ТИОЛ способствует индуцированию астигматизма при установке цилиндрического компонента по оси 90°.

Вклад авторов в работу:

И.Л. Куликова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

н.с. Тимофеева: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста. редактирование.

Д.А. Абраменко: другой вклад.

Authors contribution:

I.L. Kulikova: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

N.S. Timofeyeva: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, text writing, editing

D.B. Abramenko: another contribution.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Авторство: Все авторы полтвержлают, что они соответствуют лействующим критериям авторства ІСМЈЕ.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

ORCID ID: Тимофеева Н.С. 0000-0002-4048-4463

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors

Authorship: All authors confirm that they meet the current ICMJE authorship criteria. Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information. Conflict of interest: There is no conflict of interest. **ORCID ID:** Timofeeva N.S. 0000-0002-4048-4463

ЛИТЕРАТУРА

1. Yagci RF, Uzun SA, Hepsen IF. Comparison of visual quality between aspheric and spherical IOLs. Eur J Ophthalmol. 2014;24(5): 688-692. doi: 10.5301/ejo.5000452 Montes-Mic OR, Ferrer-Blasco T, Cervi A, Analysis of the possible bene-fits of aspheric intraocular lenses: review of the literature. J Cataract Refract Surg. 2009;35(1):

172-181. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.09.017 3. Holladay JT, Piers PA, Koranyi G, van der Mooren M, Norrby NE. A new

intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. J Refract Surg. 2002;18(6): 683–691.

4. Eppig T, Schrecker J, Messner A, Langenbucher A. Aberration correction with aspheric intraocular lenses. In: Intraocular lens. Intech Open; 2019. doi: 10.5772/intechopen.89361

5. Куликов А.Н., Кокарева Е.В., Дзилихов А.А. Эффективная позиция линзы. Офтальмохирургия. 2018;1:92–97. [Kulikov AN, Kokareva EV, Dzilikhov AA. Effective lens position. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2018;1: 92-97. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2018-1-92-97

6. Jolson AS, Seidl FJ. Postoperative astigmatism induced by intraocular lens tilt. Josofi AS, Selu FJ, rostoperative astignatism induced by intraotum rens intra J Am Intraocul Implant Soc. 1984:10(2):213–214. doi:10.1016/S0146-2776(84)80118-4
 Applegate RA, Ballentine C, Gross H, Sarver EJ, Sarver CA. Visual acuity as a

function of Zernike mode and level of root mean square error. Optom Vis Sci. 2003;80: 97-105. doi: 10.1097/00006324-200302000-00005

8. Ale JB. Intraocular lens tilt and decentration: A concern for contemporary IOL

designs. Nepal J Ophthalmol. 2011;3(1): 68–77. doi: 10.3126/nepioph.v3i1.4281
9. Nishi Y, Hirnschall N, Crnej A, Gangwani V, Tabernero J, Artal P, Findl O. Reproducibility of intraocular lens decentration and tilt measurement using a clinical purkinje meter. J Cataract Refract Surg. 2010;36(9): 1529-1535. doi: 10.1016/j. jcrs.2010.03.043

10. Hirnschall N, Buehren T, Bajramovic F, Trost M, Teuber T, Findl O. Prediction of postoperative intraocular lens till using swept-source optical coherence tomography. J Cataract Refract Surg. 2017;43: 732–736. doi: 10.1016/j.jcrs.2017.01.026

11. Taketani F, Matsuura T, Yukawa E, Hara Y. Influence of intraocular lens tilt and decentration on wavefront aberrations. J Cataract Refract Surg. 2004;30: 2158-2162. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.02.072

12. Lawu T, Koichiro M, Matsushima H, Tadashi S. Effects of decentration and tilt on the optical performance of 6 aspheric intraocular lens designs in a model eye. J Cataract Refract Surg. 2019;45(5): 662-668. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.10.049

 Ленкова Г.А. Исследование моделей глаза с дифракционно-рефракцион-ным хрусталиком. Автометрия. 2012;48(4): 12–19. [Lenkova GA. Eve models with a diffractive-refractive Lens. Optoelectronics, instrumentation and data processing. 2012;48(4): 334-340. (In Russ.)]

14. Holladay JT, Zhao H, Reisin CR. Negative dysphotopsia: the enigmatic penumbra. J Cataract Refract Surg. 2012;38(7): 1251–1265. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.01.032 15. Pérez-Merino P. Marcos S. Effect of intraocular lens decentration on image

guality tested in a custom model eve. J Cataract Refract Surg. 2018;44(7): 889-896. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.02.025

16. Baumeister M, Bühren J, Kohnen T. Tilt and decentration of spherical and aspheric intraocular lenses: effect on higher-order aberrations. J Cataract Refract Surg. 2009;35(6): 1006-1012. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.023

17. Rosales P, Marcos S. Phakometry and lens tilt and decentration using a customdeveloped Purkinje imaging apparatus: validation and measurements. J Opt Soc Am A. 2006;23(3): 509–520. doi: 10.1364/josaa.23.000509

18. Eppig T, Scholz K, Loffler A, Meßner A, Langenbucher A. Effect of decentration and tilt on the image quality of aspheric intraocular lens designs in a model eye. J Cataract Refract Surg. 2009;35: 1091-1100. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.034

19. Куликова И.Л., Тимофеева Н.С. Положение торической интраокулярной линзы и ротационная стабильность при проведении факоэмульсификации катаракты у пациентов с астигматизмом. Саратовский научно-медицинский журнал. 2019;15(2): 506-510. [Kulikova IL, Timofeyeva NS. Position of toric intraocular lens and rotational stability during cataract phacoemulsification in patients with astigmatism. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2019;15(2): 506-510. (In Russ.)]

20. Куликова И.Л., Тимофеева Н.С. Сравнительный анализ клинико-функциональных результатов и положения интраокулярной линзы после фемтолазерассистированной и стандартной факоэмульсификации катаракты. Acta Biomed. 2019;4(4): 139-144.[Kulikova IL, Timfeyeva NS. Comparative analysis of clinical and functional results and position of intraocular lens after femtolaser-assisted and standard cataract phacoemulsification. Acta biomed. 2019;4(4): 139-144. (In Russ.)]. doi: 10.29413/ABS.2019-4.4.22

21. Weikert MP, Golla A, Wang L. Astigmatism induced by intraocular lens tilt evaluated via ray tracing. J Cataract Refract Surg. 2018;44(6): 745-749. doi: 10.1016/j. icrs.2018.04.035

> Поступила: 08.03.2021 Переработана: 22.05.2021 Принята к печати: 25.08.2021

Originally received: 08.03.2021 Final revision: 22.05.2021 Accepted: 25.08.2021