

Научная статья  
УДК 617.753.3  
doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-36-44

## Сравнительная оценка хирургической коррекции роговичного астигматизма торическими ИОЛ с использованием различных кератометрических данных и методов расчета

Э.В. Бойко<sup>1, 2</sup>, С.В. Шухаев<sup>1</sup>, Ш.Ш. Кудлахмедов<sup>2</sup>, И.Б. Литвин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург

### РЕФЕРАТ

**Цель.** Сравнить эффективность коррекции правильного роговичного астигматизма торической монофокальной ИОЛ с использованием различных кератометрических данных и методов расчета. **Материал и методы.** В исследование были включены 28 пациентов (31 глаз) с возрастной катарактой и правильным роговичным астигматизмом, которым была выполнена факэмульсификация (n=31) с имплантацией монофокальной торической ИОЛ (EnVista Toric). В соответствии с видом расчета и выбором кератометрических данных были сформированы две группы: 1) кератометрические данные IOL-Master 500 + онлайн-калькулятор производителя; 2) кератометрические данные передней и задней поверхности роговицы (Pentacam HR) + торический калькулятор Барретта. **Результаты.** Среднее абсолютное отклонение прогнозируемого остаточного астигматизма от фактического

распределилось следующим образом: 1-я группа – 0,62±0,62 дптр, 2-я группа – 0,41 ± 0,71 дптр. Значения средней абсолютной векторной и средней центроидной ошибки в диоптриях составили: 0,80±0,59 дптр и 0,06 дптр в 1-й группе, 0,48±0,65 дптр и 0,02 дптр во 2-й группе соответственно. **Заключение.** При использовании измеренного астигматизма передней и задней поверхности роговицы торический калькулятор Барретта показал лучший результат. Наиболее точный прогноз остаточного астигматизма получен с помощью калькулятора Барретта в комбинации с данными кератометрии по Pentacam (Axial\Sagittal (Front), Axial\Sagittal (Back)).

**Ключевые слова:** роговичный астигматизм, задний роговичный астигматизм, торическая ИОЛ (тИОЛ), центроидный анализ, кератометрия, хирургия катаракты ■

**Для цитирования:** Бойко Э.В., Шухаев С.В., Кудлахмедов Ш.Ш., Литвин И.Б. Сравнительная оценка хирургической коррекции роговичного астигматизма торическими ИОЛ с использованием различных кератометрических данных и методов расчета. Офтальмохирургия. 2022;4: 36–44. doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-36-44

**Автор, ответственный за переписку:** Шакир Шавкатович Кудлахмедов, shakir47@yandex.ru

### ABSTRACT

Original article

## Comparative evaluation of surgical correction of corneal astigmatism by toric IOL implantation using various keratometric data and calculation methods

E.V. Boiko<sup>1, 2</sup>, S.V. Shukhaev<sup>1</sup>, S.S. Kudlakhmedov<sup>2</sup>, I.B. Litvin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Purpose.** Compare the effectiveness of regular corneal astigmatism correction with toric monofocal IOL using various keratometric data and calculation methods. **Material and methods.** The study included 28 patients (31 eyes) with age-related cataracts and regular corneal astigmatism who underwent phacoemulsification (n=31) with implantation

of a monofocal toric IOL (EnVista Toric). Two groups were formed according to the type of calculation and possible options of keratometric data: 1) keratometric data of IOL-master 500 + online manufacturer's calculator; 2) keratometric data of the anterior and posterior corneal surfaces (Pentacam HR) + Barrett's toric calculator. **Results.** The mean

absolute deviation of the predicted residual astigmatism from the actual one was distributed as follows: 1st group –  $0.62 \pm 0.62$  D, 2nd group –  $0.41 \pm 0.71$  D. The values of the mean absolute vector and mean centroid error in diopters were:  $0.80 \pm 0.59$  D and  $0.06$  D in 1st group,  $0.48 \pm 0.65$  D and  $0.02$  D in 2nd group, respectively. **Conclusion.** When using the measured astigmatism of the anterior and posterior surface of the cornea,

Barrett's toric calculator showed the best result. The most accurate forecast of residual astigmatism was obtained using the Barrett calculator in combination with Pentacam keratometry data (Axial\Sagittal (Front), Axial\Sagittal (Back)).

**Key words:** corneal astigmatism, posterior corneal astigmatism, toric IOL, centroid analysis, keratometry, cataract surgery ■

**For quoting:** Boiko E.V., Shukhaev S.V., Kudlakhmedov S.S., Litvin I.B. Comparative evaluation of surgical correction of corneal astigmatism by toric IOL implantation using various keratometric data and calculation methods. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2022;4: 36–44. doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-36-44

**Corresponding author:** Shakir S. Kudlakhmedov, shakir47@yandex.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Роговичный астигматизм является одним из факторов, снижающих остроту зрения после факэмульсификации катаракты. Так, цилиндрический компонент свыше 1,25 дптр (D) встречается у 29% пациентов до операции по удалению катаракты и сохраняется после в случае имплантации сферической ИОЛ [1, 2]. Одним из вариантов коррекции роговичного астигматизма во время хирургии катаракты является имплантация торической ИОЛ. Первое сообщение об этом было сделано ещё в 1994 г. K. Shimizu [3], а в последующем было доказано, что применение торических ИОЛ в хирургии катаракты является высокоэффективным и безопасным способом коррекции роговичного астигматизма [4–8, 32, 33].

В то же время интраокулярная коррекция по точности все еще далека от кераторефракционной хирургии [10, 34]. Остаточный послеоперационный астигматизм слабо предсказуем и может значительно влиять на конечный функциональный результат [11]. Одной из возможных причин является сложность оценки дооперационных данных кератометрии [12, 13, 14]. Большинство современных формул расчета сферозэквивалента ИОЛ базируются на оценке оптической силы роговицы на основе кератометрического индекса 1,3375, которая представляет роговицу как единую преломляющую плоскость [9, 15] и не учитывает заднюю поверхность последней. По сходному принципу работает большинство калькуляторов торических ИОЛ [16, 17].

Торический калькулятор Барретта (<https://www.aracrs.org/disclaimer.asp?info=3>) позволяет использовать для расчета непосредственно измеренную заднюю поверхность роговицы. Это один из немногих калькуляторов, учитывающих измерения задней поверхности роговицы.

Точность коррекции роговичного астигматизма торическими ИОЛ требует улучшения, а именно необходимо повышение точности в оценке кератометрии и выборе наиболее точного калькулятора.

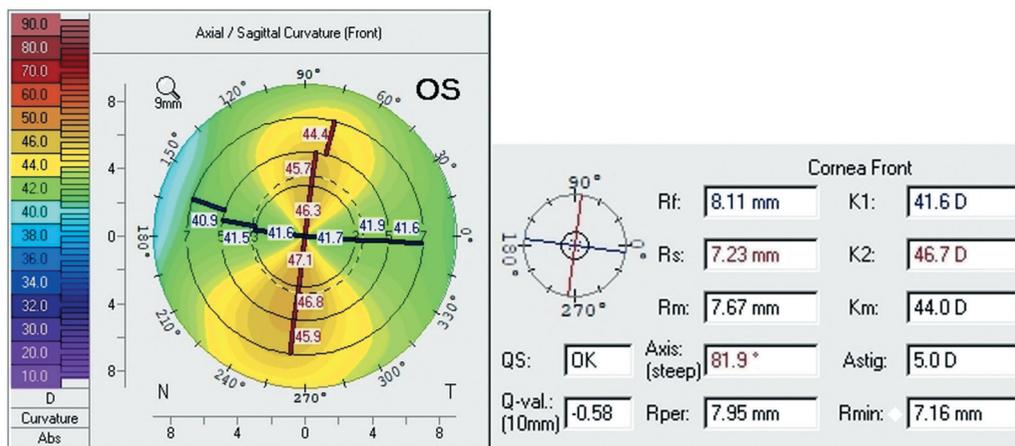
## ЦЕЛЬ

Сравнить эффективность коррекции правильного роговичного астигматизма торической монофокальной ИОЛ с применением классического расчета по передней поверхности роговицы и с применением торического калькулятора Барретта.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование выполнено в Санкт-Петербургском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России согласно нормам Хельсинкской декларации. В него были включены 28 пациентов (31 глаз) с возрастной катарактой и правильным роговичным астигматизмом, которым была выполнена факэмульсификация (n=31) с имплантацией монофокальной торической ИОЛ в период с декабря 2018 по декабрь 2019 г. Была использована ИОЛ EnVista Toric, моноблочная гидрофобная акриловая торическая ИОЛ, которая имеет монофокальную асферическую оптику, ступенчато-сводчатую гаптику с С-образными отверстиями и имплантируется через роговичный тоннельный разрез 2,2 мм. Всем пациентам на дооперационном этапе было проведено комплексное офтальмологическое обследование. Дополнительно для расчета ИОЛ выполняли исследования на IOL-Master 500 (Carl Zeiss Meditec AG, Германия), Verion (Alcon inc., США) и OA-2000 (Tomey, Япония). Для детальной оценки кератометрических данных всем пациентам выполняли исследование на приборе Pentacam HR (Oculus, Германия).

Критериями исключения из исследования были неправильный роговичный астигматизм, хирургические вмешательства в анамнезе, рубцы, помутнения, дистрофии роговицы, подвывих хрусталика, любые интраоперационные осложнения, значительная ротация ИОЛ относительно целевой оси в послеоперационном периоде (более 3 градусов), острота зрения в отдаленные сроки менее 0,5 по причине изменений в макулярной области.



**Рис. 1.** Топограмма оптической силы роговицы передней поверхности в актуальной зоне для расчета в торическом калькуляторе Барретта (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>, 2-я группа)

**Fig. 1.** Corneal topography of the optical power of the anterior corneal surface in the actual zone for calculation using Barrett toric calculator (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>, 2nd group)

Для проведения сравнительной оценки хирургической коррекции роговичного астигматизма торическими ИОЛ с использованием различных кератометрических данных и методов расчета у каждого пациента расчет ИОЛ выполняли двумя способами, согласно которым были сформированы 2 группы расчета:

1) с использованием кератометрических данных с IOL-Master 500 на онлайн калькуляторе фирмы производителя (1-я группа: IOL-Master 500 + онлайн-калькулятор);

2) с использованием кератометрических данных передней и задней поверхности роговицы (Pentacam HR) на торическом калькуляторе Барретта (2-я группа: передняя + задняя поверхность по Pentacam HR + калькулятор Барретта).

#### Расчет торического компонента

Торический компонент ИОЛ рассчитывали с использованием онлайн-калькулятора фирмы производителя ([envista.toriccalculator.com](http://envista.toriccalculator.com)) и торического калькулятора Барретта (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>). Торический калькулятор Барретта, в отличие от онлайн-калькулятора фирмы производителя, самостоятельно рассчитывает эффективную позицию линзы (ELP) и может учитывать фактически измеренную кривизну задней поверхности роговицы. В используемые калькуляторы вводили данные K1 и K2 (оптическая сила и ориентация оси) из двух источников. В первом варианте (1-я группа) использовались данные кератометрии IOL-Master 500, во втором – использовались данные с Pentacam HR. В качестве основных данных (2-я группа) вводили значения K1 и K2 с карты Power Distribution актуальной зоны передней поверхности роговицы (Axial\Sagittal (Front) (рис. 1). Это классические кератометрические показатели, рассчитанные на основе оптического индекса 1,3375 и принятые за

основу в большинстве формул расчета как сферозэквивалента, так и торического компонента ИОЛ [15].

Торический калькулятор Барретта позволяет учитывать данные задней поверхности роговицы, которые были взяты с карты Power Distribution – Axial\Sagittal (Back) (рис. 2).

#### Техника хирургического вмешательства

Всем пациентам была выполнена классическая мануальная факоэмульсификация одним хирургом с использованием одной техники дробления ядра (Stop & Chop). Все операции выполняли с использованием наконечника BalansTip с углом среза 30°. После выполнения двух парацентезов в ПК вводили дисперсивный вискоэластик. Передний капсулорексис выполняли 23 G цанговым пинцетом с использованием системы слежения Verion. Основной разрез выполняли одноразовым металлическим кератомом 2,2 мм на 110° также с использованием Verion. Далее создавали борозду, ядро делили на 2 половины, каждая из которых методом вертикального чопа дробилась на 3 фрагмента, которые последовательно аспирировали с использованием техники «bevel down». После бимануальной аспирации кортикальных масс имплантировали ИОЛ EnVista Toric в капсульный мешок. ИОЛ ротировали в капсульном мешке и устанавливали согласно целевой оси с использованием двойного контроля – мануальной и электронной (Verion) систем разметки. На всех хирургических этапах использовали одинаковые настройки прибора.

#### Послеоперационное обследование и оценка результатов

В послеоперационном периоде через 3–6 месяцев оценивали ротационную стабильность ИОЛ и рефракци-

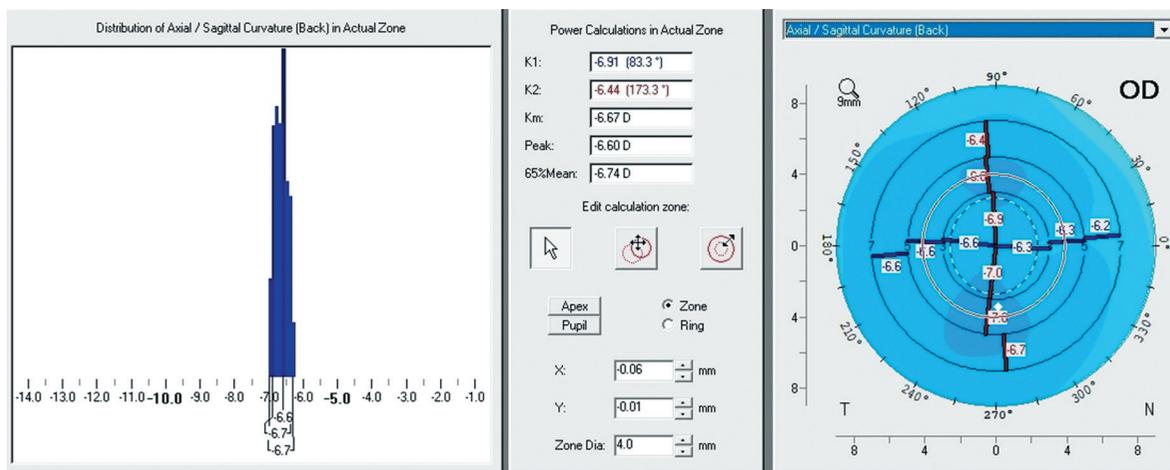


Рис. 2. Топограмма оптической силы роговицы задней поверхности в актуальной зоне для расчета в торическом калькуляторе Барретта (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>, 2-я группа)

Fig. 2. Corneal topography of the optical power of the cornea of the posterior surface in the actual zone using Barrett toric calculator (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>, 2nd group)

онный остаточный астигматизм, который использовался для оценки ошибки расчета торического хрусталика.

На основе данных рефракционного послеоперационного астигматизма, полученных при последней явке пациентов, высчитывали среднее абсолютное (MAE – mean absolute prediction error) и срединное абсолютное (MedAE – median absolute prediction error) отклонения (ошибки) фактической цилиндрической коррекции от расчетной. Средняя и срединная абсолютная ошибки рассчитывалась путем вычитания реального остаточного цилиндра, переведенного в плоскость роговицы от расчетного. Векторная ошибка рассчитывалась с использованием классического векторного анализа у каждого конкретного пациента, а затем вычислялась средняя и срединная векторные ошибки. Центроид расчетной ошибки (средняя центроидная ошибка) и стандартное отклонение центроида (средняя абсолютная центроидная ошибка) рассчитывалась при помощи excel-алгоритма – Astigmatism Double Angle Plot Tool [21].

#### Статистическая обработка материала

При оценке эффективности имплантации торических ИОЛ выполняли сравнение изменений рефракционного астигматизма с расчетным. Прогнозируемое изменение рефракционного астигматизма – это сумма векторов роговичного и ИОЛ-индуцируемого астигматизма: общий расчетный Хирургически Индуцированный Астигматизм (ХИА) = расчетный роговичный ХИА + расчетный хрусталиковый ХИА. Поскольку астигматизм – это вектор, обладающий одновременно и величиной, и ориентацией, использовали векторный анализ изменений общего рефракционного астигматизма после имплантации торической ИОЛ. В настоящем исследовании мы использовали классический векторный и центроидный метод

оценки общего ХИА, описанный Adi Abulafia и соавт. [21]. Также в настоящем исследовании были использованы методы классического статистического анализа в среде «R».

Для проверки нормальности распределения количественных признаков: средняя и срединная ошибки послеоперационного рефракционного астигматизма от расчетного в абсолютных величинах, а также по векторному анализу – был применен тест Шапиро – Уилка. На уровне значимости 0,05 была отвергнута нулевая гипотеза для каждого признака (H0: случайная величина распределена нормально). Поэтому количественные признаки рассматривались в анализе как имеющие ненормальное распределение. Для сравнения значений количественных признаков в зависимых выборках был применен критерий Уилкоксона. После применения критерия в каждой подгруппе полученные значения p-value прошли процедуру коррекции на множественное тестирование (поправка Бенджамини – Хохберга), и был выбран уровень значимости 0,05 для отвержения нулевой гипотезы.

Так как количественные признаки, рассматриваемые в настоящей работе, не являются нормально распределенными, то описательная статистика в результирующих таблицах представлена в виде M(IQR), где M – медиана значений, а IQR – интерквартильный размах. Кроме того, для каждой выборки количественных признаков были подсчитаны выборочное среднее (m) и выборочное стандартное отклонение (s), что указано в таблицах в виде  $m \pm s$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 отражены данные о возрасте, гендерной принадлежности, биометрические показатели и информация об имплантируемой ИОЛ.

Таблица 1

**Возраст, гендерная принадлежность,  
биометрические показатели и информация  
об имплантируемой ИОЛ**

Table 1

**Age, gender, biometric parameters,  
and information about the implanted IOL**

Параметр Parameter	Значение Value
Возраст (лет) Age (years)	
m±s Диапазон Range	67.5 ± 13.8 35-87
Мужской пол, n (%) Male, n (%)	8 (28,5)
Женский пол, n (%) Female, n (%)	20 (71,5)
Правый глаз, n (%) Right eye, n (%)	17 (54,8)
Левый глаз, n (%) Left eye, n (%)	14 (45,2)
Осевая длина глаза (мм) Axial length (mm)	
m±s Диапазон Range	24,55±2,30 20,71- 29,07
Глубина передней камеры (мм) Anterior chamber depth	
m±s Диапазон Range	3,12 ± 0,49 2,13-4,08
Толщина хрусталика (мм) Lens thickness (mm)	
m±s Диапазон Range	4,5 ± 0,52 3,41-5,58
Роговичный астигматизм (дптр) Corneal astigmatism (dptr)	
m±s Диапазон Range	2,99±4,57 0,80-5,5
Сферический компонент ИОЛ (сферозэквивалент в дптр) Spherical component of IOL (spherioequivalent in dptr)	
m±s Диапазон Range	18,90±6,56 6,0-29,50
Цилиндрический компонент ИОЛ (дптр) Cylindrical component of IOL (dptr)	
m±s Диапазон Range	2,65±1,43 1,0-5,75

В анализ были включены 31 глаз 28 пациентов, из них мужчин – 8 (28,5%), женщин – 20 (71,5%). Обращает на себя внимание то, что это были среднестатистические пациенты эмметропы, со средней толщиной хрусталика  $4,5 \pm 0,52$  мм. Средний роговичный астигматизм был равен  $2,99 \pm 4,57$  дптр. Ротационная стабильность ИОЛ во всех случаях не превысила 5 градусов. В *таблице 2* представлены данные о среднем прогнозируемом остаточном астигматизме, полученные путем использования различных кератометрических данных и методов расчета.

Средний прогнозируемый остаточный астигматизм распределился следующим образом: расчёт по кератометрическим показателям IOLMaster-500 в онлайн-калькуляторе производителя (1-я группа) –  $0,38 \pm 0,20$  дптр, расчёт по кератометрическим данным Pentacam HR и онлайн-калькулятору Барретта (2-я группа) –  $0,18 \pm 0,10$  дптр. При сравнении 1-й и 2-й групп между собой была выявлена статистически значимая разница в полученных результатах, расчет с использованием данных IOL-Master 500 (1-я группа) показал более высокий остаточный послеоперационный астигматизм ( $p < 0,05$ ).

В *таблице 3* представлены данные о среднем и среднем абсолютном отклонении прогнозируемого остаточного астигматизма от фактического.

Как видно из *таблицы 3*, среднее абсолютное отклонение для расчёта по кератометрическим показателям IOL-Master 500 в онлайн-калькуляторе производителя (1-я группа) составило  $0,62 \pm 0,62$  дптр, тогда как среднее абсолютное отклонение для расчёта по кератометрическим показателям Pentacam HR в калькуляторе Барретта (2-я группа) составило  $0,41 \pm 0,71$  дптр, при сравнении результатов выявлена статистически значимая разница ( $p < 0,05$ ). Наименьшее среднее абсолютное и среднее отклонение прогнозируемого и фактического остаточного астигматизма было получено при использовании кератометрических данных Pentacam HR передней и задней поверхности роговицы в калькуляторе Барретта (2-я группа), а именно –  $0,41 \pm 0,71$  дптр. Таким образом, расчеты по кератометрическим показателям IOL-Master 500 в онлайн-калькуляторе производителя (1-я группа) были достоверно менее точными по сравнению с расчетами по кератометрическим показателям Pentacam HR в онлайн-калькуляторе Барретта (2-я группа).

В *таблице 4* представлены данные средней и средней векторной ошибки в расчетном (прогнозируемом) и остаточном астигматизме.

Как показали полученные данные (табл. 4), в 1-й группе при расчете по кератометрическим показателям IOLMaster-500 в онлайн-калькуляторе производителя величина векторной ошибки составила  $0,80 \pm 0,59$  дптр, во 2-й группе (передняя+задняя поверхность по Pentacam HR + калькулятор Барретта) –  $0,48 \pm 0,65$  дптр. При использовании кератометрических показателей Pentacam HR и онлайн-калькулятора Барретта (2-я группа) величина векторной ошибки была наименьшей. При сравнении полученных результатов между группами 1 и 2 выявлена

Таблица 2

Сравнение в группах расчета среднего абсолютного  
и срединного прогнозируемого остаточного астигматизма

Table 2

Comparison in the calculation groups of the average absolute  
and median predicted residual astigmatism

№ группы Group number	Метод расчета Calculation method	Средний абсолютный прогнозируемый остаточный астигматизм (дптр) Average absolute predicted residual astigmatism (dptr)	Срединный прогнозируемый остаточный астигматизм (дптр) Median predicted residual astigmatism (dptr)	Диапазон (дптр) Range (dptr)
Группа 1 Group 1	IOL-Master 500 + онлайн-калькулятор IOL-Master 500 + online-calculator	0,38 ± 0,20	0,36 (0,195)	0,10–0,91
Группа 2 Group 2	передняя+задняя поверхность по Pentacam HR + калькулятор Барретта Front+back surface by Pentacam HR + Barrett calculator	0,18 ± 0,10	0,17 (0,125)	0,01–0,44
p=0,000051				

Таблица 3

Сравнение в группах расчета среднего и срединного абсолютного отклонения  
прогнозируемого остаточного астигматизма от фактического

Table 3

Comparison in the calculation groups of the average and median absolute deviation  
of the predicted residual astigmatism from the actual

№ группы Group number	Метод расчета Calculation method	Среднее абсолютное отклонение (дптр) Mean absolute deviation (dptr)	Срединное отклонение (дптр) Median deviation (dptr)	Диапазон (дптр) Range (dptr)
Группа 1 Group 1	IOL-Master 500 + онлайн-калькулятор IOL-Master 500 + online-calculator	0,62 ± 0,62	0,46 (0,365)	0,07–3,59
Группа 2 Group 2	передняя+задняя поверхность по Pentacam HR + калькулятор Барретта Front+back surface by Pentacam HR + Barrett calculator	0,41 ± 0,71	0,25 (0,3)	0,01–4,06
p=0,001				

статистически значимая разница ( $p < 0,05$ ). Данные векторной ошибки в расчетном (прогнозируемом) и остаточном астигматизме (табл. 4) согласуются с данными среднего абсолютного отклонения прогноза фактического и остаточного астигматизма (табл. 3).

На рисунке 3 изображена диаграмма, которая отражает информацию о послеоперационном рефракционном астигматизме.

Как видно из рисунка 3, величина послеоперационного рефракционного астигматизма составила  $0,03 \pm 1,04$  дптр.

На рисунке 4 представлены диаграммы центроидной послеоперационной ошибки прогнозируемого (расчетного) астигматизма.

Как видно из диаграммы расчета по кератометрическим показателям IOL-Master 500 в онлайн-калькуляторе производителя (рис. 4а), средняя центроидная ошибка прогноза составила  $0,06 \pm 1,01$  дптр, при расчете по кератометрическим показателям Pentacam HR и онлайн-калькулятора Барретта (рис. 4б) – средняя центроидная ошибка составила  $0,02 \pm 0,82$  дптр. Проводя сравнение центроидных анализов прогнозируемого остаточного астигматизма, следует отметить, что при использовании кератометрических данных Pentacam HR передней и задней поверхности в актуальной зоне и расчете торичности ИОЛ по калькулятору Барретта (группа 2), мы получаем наименьший центроид ( $0,02$  дптр) и наименьшую

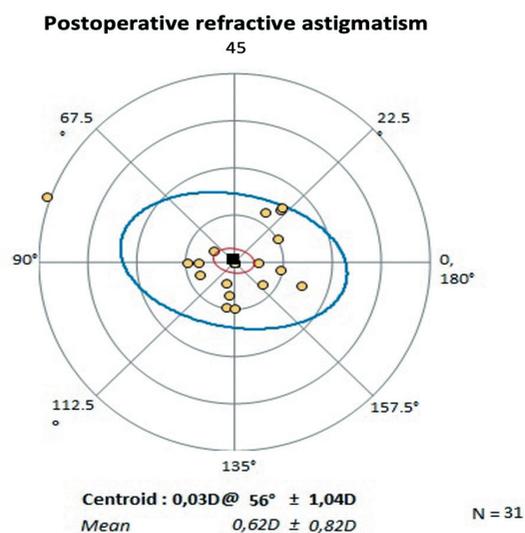
Таблица 4

## Сравнение в группах расчета средней и срединной векторной ошибки в расчетном (прогнозируемом) и остаточном астигматизме

Table 4

## Comparison in the calculation groups of the mean and median vector error in the calculated (predicted) and residual astigmatism

№ группы Group number	Метод расчета Calculation method	Средняя векторная ошибка (дптр) Average vector error (dptr)	Срединная векторная ошибка (дптр) Median vector error (dptr)	Диапазон (дптр) Range (dptr)
Группа 1 Group 1	IOL-Master 500 + онлайн-калькулятор IOL-Master 500 + online-calculator	0,80 ± 0,59	0,66 (0,515)	0,14-3,24
Группа 2 Group 2	передняя+задняя поверхность по Pentacam HR + калькулятор Барретта Front+back surface by Pentacam HR + Barrett calculator	0,48 ± 0,65	0,36 (0,47)	0,01-3,66
ρ=0,0002				



**Рис. 3.** Результаты центроидного анализа послеоперационного рефракционного астигматизма в двух группах расчета

**Fig. 3.** Results of centroid analysis of postoperative refractive astigmatism in two calculation groups

среднюю абсолютную ошибку ( $0,48 \pm 0,66$  дптр) показателей расчетного остаточного астигматизма, а следовательно, наименьший, более точный, прогнозируемый остаточный послеоперационный астигматизм (рис. 4).

## ОБСУЖДЕНИЕ

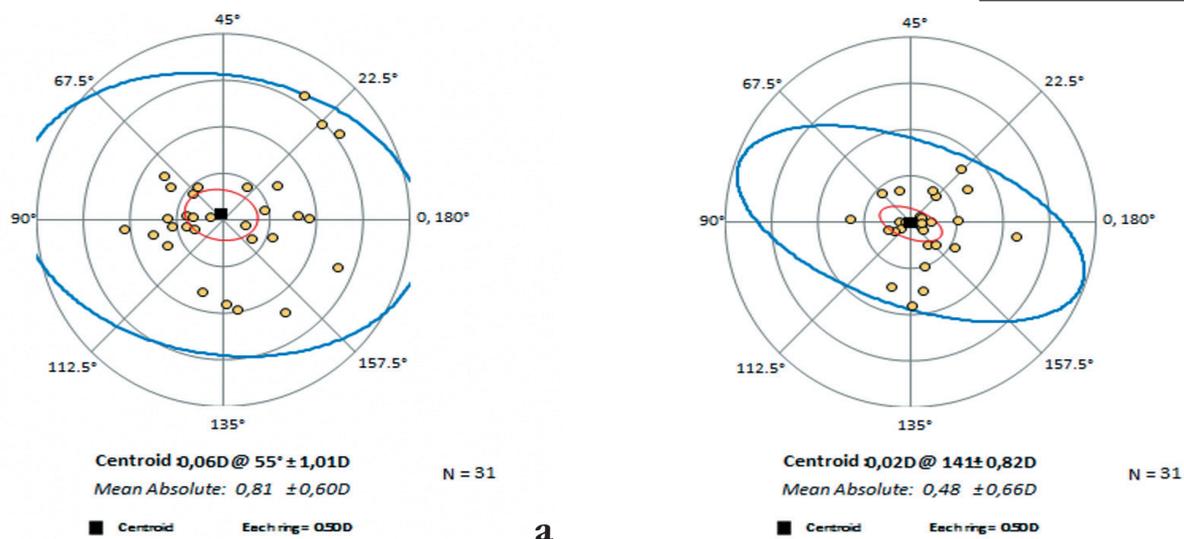
Классическая оценка данных кератометрии основана на использовании кератометрического индекса 1.3375. При

этом роговица представляется как единая преломляющая поверхность, имеющая определенный радиус и две среды, разделенные этой поверхностью. Подобный подход показал достаточно высокую точность расчета сферозэквивалента на интактных роговицах [34], однако продемонстрировал серьезные ошибки при расчете на роговицах после рефракционных вмешательств и при расчете цилиндрического компонента [22, 9, 16]. В подавляющем большинстве случаев задний роговичный астигматизм обратный и, в отличие от переднего, он не меняется с возрастом [23].

В 1-й группе настоящего исследования выполняли расчет торической ИОЛ без учета задней поверхности роговицы, который продемонстрировал относительно высокую среднюю абсолютную ошибку расчетного и фактического астигматизма ( $0,62$  дптр), среднюю векторную ( $0,8$  дптр), центроидную ( $0,06$  дптр) и среднюю абсолютную центроидную ошибку ( $0,81$  дптр), что соответствует ряду ранее выполненных работ [9, 22].

По данным Koch и соавт. измерения только передней поверхности роговицы недооценивают общий роговичный астигматизм на  $0,22$  дптр [24]. Классический подход с измерением только передней поверхности (кератометрический астигматизм) по сравнению с общим роговичным астигматизмом переоценивает прямой астигматизм на  $0,22$  дптр, недооценивает обратный на  $0,21$  дптр и косой на  $0,13$  дптр [25].

Детальная оценка заднего роговичного астигматизма привела к предложению эмпирически рассчитанных поправочных коэффициентов или формул, учитывающих влияние задней поверхности роговицы на общий роговичный астигматизм [26, 19, 20]. Graham Barrett предложил свою математическую модель расчета торического компонента ИОЛ, основанную на эмпирических данных оценки различных дооперационных параметров [17], но



**Рис. 4.** Средняя центроидная ошибка (Centroid) и средняя абсолютная (MAE) центроидная ошибка прогноза остаточного астигматизма для сравниваемых групп расчета: а) группа 1 (IOL-Master 500 + онлайн-калькулятор); б) группа 2 (передняя+задняя поверхность по Pentacam + калькулятор Барретта)

**Fig. 4.** The average centroid error (Centroid) and the average absolute (MAE) centroid error of the prediction of residual astigmatism for the compared calculation groups: а) group 1 (IOL-Master 500 + online calculator); б) group 2 (front+back surface by Pentacam + Barrett calculator)

в последней версии торического калькулятора Барретта появилась возможность использования непосредственно измеренной задней поверхности роговицы.

Во 2-й группе для расчета использовали торический калькулятор Барретта с возможностью учета измеренных значений оптической силы задней поверхности роговицы (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>). Торический калькулятор Барретта при введении данных только передней поверхности роговицы, рассчитанных на основе индекса 1.3375, использует эмпирическую поправку Барретта (алгоритм Барретта), которая применяется также в торическом калькуляторе Алкон (<https://www.myalcon-toriccalc.com/#/calculator>) и в большинстве исследований определяется как торический калькулятор Барретта [29]. В онлайн-калькуляторе Барретта (<https://www.apacrs.org/disclaimer.asp?info=3>) при внесении измеренных данных задней поверхности роговицы, очевидно, используется сумма векторов передней и задней поверхности, что потенциально позволяет повысить точность расчета торичности ИОЛ. В настоящем исследовании при использовании калькулятора Барретта все способы послеоперационной оценки показали достоверно меньшую ошибку расчета по сравнению с онлайн-калькулятором с использованием только передней поверхности роговицы. В работе Tiago Ferreira и соавт. [18] выполнено сравнение номограмм, учитывающих математическую модель задней поверхности роговицы (номограмма Baylor, формула Abulafia-Koch, коэффициент Goggin), торического калькулятора Холладея и калькуляторов, основанных на принципе трассировки лучей и использующих непосредственно измеренную заднюю поверхность (PhacoOptics). Центроидная ошибка была наименьшей

при использовании калькулятора Барретта (0,17 дптр) и нового Алкон онлайн-калькулятора, основанного на алгоритме Барретта (0,19 дптр), все остальные расчеты давали достоверно большую ошибку, включая систему трассировки лучей. В настоящем исследовании мы использовали калькулятор Барретта, учитывающий измеренную, а не эмпирически рассчитанную заднюю поверхность роговицы, и получили меньшую центроидную ошибку (0,02 дптр) по сравнению с онлайн-калькулятором (0,06 дптр), в котором при расчете были использованы данные классической кератометрии с IOL-Master 500.

Ограничениями настоящего исследования является относительно небольшая выборка пациентов, использование для сравнения небольшого количества методов расчета и отсутствие в исследовании торических ИОЛ других производителей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средняя центроидная ошибка расчета торической ИОЛ выше при использовании показателей только передней поверхности роговицы (0,06 дптр) в сравнении с вариантом расчета, учитывающим измеренную заднюю поверхность роговицы (0,02 дптр).

Использование различных методов оценки точности расчета торической ИОЛ показало достоверно более точный расчет на торическом калькуляторе Барретта с учетом измеренной задней поверхности роговицы, по сравнению с расчетом на онлайн-калькуляторе производителя и использованием только передней поверхности роговицы.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Hoffmann PC, Hutz WW. Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23,239 eyes. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(9):1479–1485.
- Ferrer-Blasco T, Monte S-Mico R, Peixoto-de-Matos SC, Gonzalez-Mejome JM, Cervino A. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35(1): 70–75.
- Shimizu K, Misawa A, Suzuki Y. Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift. *J Cataract Refract Surg.* 1994;20(5): 523–526.
- Малюгин Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии. Вестник офтальмологии. 2014;130(6): 80–88. [Malugin BE. Cataract surgery and intraocular correction at the present stage of ophthalmic surgery development. *The Russian Annals of Ophthalmology.* 2014;130(6): 80–88. (In Russ.)]
- Трубилин В.Н., Ильинская И.А. Метод интраокулярной коррекции астигматизма. Методические рекомендации ФМБА. М.;2012. [Trubilin VN, Ilyinskaya IA. Method of intraocular correction of astigmatism. *Methodological recommendations of the FMBA.* Moscow;2012. (In Russ.)]
- Федяшев Г.А. Коррекция астигматизма торическими интраокулярными линзами у пациентов, оперирующихся по поводу катаракты. Обзор литературы. Офтальмология. 2013;10(2): 8–12. [Fedyashev GA. Correction of astigmatism with toric intraocular lenses in patients undergoing cataract surgery. *Literature review. Ophthalmology in Russia.* 2013;10(2): 8–12. (In Russ.)]
- Alió JL, Agdeppa MC, Pongo VC, et al. Microincision cataract surgery with toric intraocular lens implantation for correcting moderate and high astigmatism: pilot study. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(1): 44–52.
- Visser N, Bauer NJC, Nuijts RMMA. Toric intraocular lenses: Historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39: 624–637.
- Savini G, Næser K. An analysis of the factors influencing the residual refractive astigmatism after cataract surgery with toric intraocular lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015;56(2): 827–835. doi: 10.1167/iov.14-15903
- Alio JL, Plaza-Puche AB, Fernández-Buenaga R, Pikkell J, Maldonado M. Multifocal intraocular lenses: An overview. *Surv Ophthalmol.* 2017;62(5): 611–634. doi: 10.1016/j.survophthal.2017.03.005
- Seth SA, Bansal RK, Ichhpujani P, Seth NG. Comparative evaluation of two toric intraocular lenses for correcting astigmatism in patients undergoing phacoemulsification. *Indian J Ophthalmol.* 2018;66(10): 1423–1428. doi: 10.4103/ijo.IJO\_73\_18
- Karunaratne N. Comparison of the Pentacam equivalent keratometry reading and IOL Master keratometry measurement in intraocular lens power calculations. *Clin Exp Ophthalmol.* 2013;41(9): 825–834. doi: 10.1111/ceo.12124
- Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Comparison of methods to measure corneal power for intraocular lens power calculation using a rotating Scheimpflug camera. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(4): 598–604. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.11.022
- Kirgiz A, Atalay K, Kaldirim H, Cabuk KS, Akdemir MO, Taskapili M. Scheimpflug camera combined with placido-disk corneal topography and optical biometry for intraocular lens power calculation. *Int Ophthalmol.* 2017;37(4): 781–786. doi: 10.1007/s10792-016-0330-4
- Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand.* 2007;85(5): 472–485.
- Ninomiya Y, Minami K, Miyata K, Eguchi S, Sato R, Okamoto F, Oshika T. Toric intraocular lenses in eyes with with-the-rule, against-the-rule, and oblique astigmatism: One-year results. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(10): 1431–1440. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.07.034
- Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G, Ofir S, Levy A, Marcovich AL, Michaeli A, Koch DD, Wang L, Assia EI. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg.* 2015;41(5): 936–944. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.08.036
- Ferreira TB, Ribeiro P, Ribeiro FJ, O'Neill JG. Comparison of astigmatic prediction errors associated with new calculation methods for toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2017;43(3): 340–347. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.12.031
- Koch DD, Jenkins RB, Weikert MP, Yeu E, Wang L. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(12): 1803–1809. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.06.027
- Goggin M, Zamora-Alejo K, Esterman A, van Zyl L. Adjustment of anterior corneal astigmatism values to incorporate the likely effect of posterior corneal curvature for toric intraocular lens calculation. *J Refract Surg.* 2015;31(2): 98–102. doi: 10.3928/1081597X-20150122-04
- Abulafia A, Koch DD, Holladay JT, Wang L, Hill W. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: IV. Rethinking astigmatism analysis for intraocular lens-based surgery: Suggested terminology, analysis, and standards for outcome reports. *J Cataract Refract Surg.* 2018;44(10): 1169–1174. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.07.027
- Ho JD, Tsai CY, Liou SW. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement. *Am J Ophthalmol.* 2009;147(5): 788–795. doi: 10.1016/j.ajo.2008.12.020
- Tonn B, Klaproth OK, Kohlen T. Anterior surface-based keratometry compared with Scheimpflug tomography-based total corneal astigmatism. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014;56(1): 291–298. doi: 10.1167/iov.14-15659
- Koch DD, Ali SF, Weikert MP, Shirayama M, Jenkins R, Wang L. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(12): 2080–2087. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.08.036
- Savini G, Versaci F, Vestri G, Ducoli P, Næser K. Influence of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in eyes with moderate to high astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2014;40(10): 1645–1653. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.01.046
- Abulafia A, Koch DD, Wang L, Hill WE, Assia EI, Franchina M, Barrett GD. New regression formula for toric intraocular lens calculations. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(5): 663–671. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.02.038
- Preussner PR, Hoffmann P, Wahl J. Impact of posterior corneal surface on toric intraocular lens (IOL) calculation. *Curr Eye Res.* 2015;40(8): 809–814. doi: 10.3109/02713683.2014.959708
- Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, Abulafia A, Assia EI. Effect of posterior corneal astigmatism on power calculation and alignment of toric intraocular lenses: Comparison of methodologies. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(2): 217–225. doi: 10.1016/j.jcrs.2015.11.036
- Abulafia A, Hill WE, Franchina M, Barrett GD. Comparison of methods to predict residual astigmatism after intraocular lens implantation. *J Refract Surg.* 2015;31(10): 699–707. doi: 10.3928/1081597X-20150928-03
- Davison JA, Potvin R. Refractive cylinder outcomes after calculating toric intraocular lens cylinder power using total corneal refractive power. *Clin Ophthalmol.* 2015;9: 1511–1517. doi: 10.2147/OPTH.S88693
- Ribeiro FJ, Ferreira TB, Relha C, Esteves C, Gaspar S. Predictability of different calculators in the minimization of postoperative astigmatism after implantation of a toric intraocular lens. *Clin Ophthalmol.* 2019;13: 1649–1656. doi: 10.2147/OPTH.S213132
- Шантурова М.А., Сенченко Н.Я. Имплантация торических ИОЛ – эффективный, предсказуемый способ коррекции роговичного астигматизма. *Acta Biomed Sci.* 2011;6(82): 113–115. [Shanturova MA, Senchenko NYa. Implantation of toric IOLs is an effective, predictable way to correct corneal astigmatism. *Acta Biomed Sci.* 2011;6(82): 113–115. (In Russ.)]
- Беликова Е.И. Применение мультифокальных торических ИОЛ ACRYSOF IQ RESTOR TORIC для коррекции пресбиопии и роговичного астигматизма. Современная оптометрия. 2011;6(46): 24–27. [Belikova EI. Application of multifocal toric IOLs ACRYSOF IQ RESTOR TORIC for correction of presbyopia and corneal astigmatism. *Modern optometry.* 2011;6(46): 24–27. (In Russ.)]
- Шухаев С.В., Кириллова О.В., Загорулько А.М. Сравнительная оценка попадания в рефракцию цели у трех монофокальных гибких интраокулярных линз. Офтальмохирургия. 2018;1: 53–58. [Shukhaev SV, Kirillova OV, Zagorulko AM. Comparative evaluation of target refraction in three monofocal flexible intraocular lenses. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2018;1: 53–58. (In Russ.)]

## Информация об авторах

**Эрнст Витальевич Бойко**, д.м.н., профессор, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>  
**Сергей Викторович Шуухаев**, к.м.н., врач-офтальмолог, shukhaevsv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7047-615X>  
**Шакир Шавкатович Кудлахмедов**, врач-офтальмолог, shakir47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6047-3828>  
**Ирина Богдановна Литвин**, к.м.н., врач-офтальмолог, eyedoctor09@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1549-3341>

## Information about the authors

**Ernest V. Boiko**, Doctor of Science in Medicine, Professor, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>  
**Sergei V. Shukhaev**, PhD in Medicine, Ophthalmologist, shukhaevsv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7047-615X>  
**Shakir Sh. Kudlakhmedov**, Ophthalmologist, shakir47@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6047-3828>  
**Irina B. Litvin**, PhD in Medicine, Ophthalmologist, eyedoctor09@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1549-3341>

## Вклад авторов в работу:

**Э.В. Бойко:** существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.  
**С.В. Шуухаев:** существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.  
**Ш.Ш. Кудлахмедов:** сбор, анализ и обработка материала, написание текста.  
**И.Б. Литвин:** сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

## Authors' contribution:

**E.V. Boiko:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing, editing, final approval of the version to be published.  
**S.V. Shukhaev:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.  
**Sh.Sh. Kudlakhmedov:** collection, analysis and processing of material, writing.  
**I.B. Litvin:** collection, analysis and processing of material, writing.

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

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

**Конфликт интересов:** Отсутствует.

**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.

**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.

Поступила: 27.05.2022  
 Переобработана: 30.06.2022  
 Принята к печати: 15.08.2022  
 Originally received: 27.05.2022  
 Final revision: 30.06.2022  
 Accepted: 15.08.2022