

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМУЛ РАСЧЁТА И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ АСТИГМАТИЧЕСКОЙ ОСИ ТОРИЧЕСКОЙ ИОЛ ПРИ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ КОРРЕКЦИИ РОГОВИЧНОГО АСТИГМАТИЗМА

Набатова О.С.,
Фисенко А.И.,
Козина Е.В.,
Лексуткина Е.В.

Краснодарский филиал
ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия
глаза» имени академика С.Н. Фёдорова»
Минздрава России (350012, г. Краснодар,
ул. Красных Партизан, 6, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Козина Елена Владимировна,
e-mail: elena_eyedoc@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Обоснование. Эффективность интраокулярной коррекции роговичного астигматизма зависит от показателей кератометрии, биометрии и измерения целевой астигматической оси в расчётах онлайн-калькуляторов торической интраокулярной линзы (ИОЛ).

Цель. Оценить эффективность коррекции роговичного астигматизма торическими интраокулярными линзами, рассчитанными различными методиками измерения целевой астигматической оси.

Материал и методы. Проанализированы 40 пациентов (60 глаз) с простым правильным роговичным астигматизмом. Показатели кератометрии для расчётов в 30 глазах были получены на WaveLight Oculyzer II (Alcon Inc., США) или Pentacam HR (Oculus Pentacam, Германия), измерение астигматической оси для ориентации торического компонента проводилось по формуле Kane. В 30 глазах кератометрические данные для расчёта получались на Verion Measurement Module (Alcon Inc., США), целевая ось рассчитывалась по формуле Barrett в Verion Measurement Module.

Результаты. Статистически значимо меньшую векторную и центроидную ошибку показали расчёты целевой астигматической оси по формуле Kane с кератометрией на Oculyzer II или Pentacam HR по сравнению с результатами расчётов с кератометрией и по формуле Barrett в Verion Measurement Module ($p < 0,05$). Наименьший центроид (0,05 дптр) и наименьшая средняя абсолютная ошибка (0,47 ± 0,51 дптр) показателей расчётного остаточного астигматизма отмечены в группе расчётов Kane. Арифметическая разница расчётных целевых осей ориентации торики по Verion и Kane выявила в 70 % расчётов второй группы разницу более 5° в измерении ориентации оси. Процент глаз с векторной ошибкой менее 0,5 дптр во второй группе превышал показатель первой группы на 13,3 %, с ошибкой менее 1,0 дптр – на 23,3 %.

Заключение. Расчёт торической оси по формулам онлайн-калькуляторов с применением кератометрических показателей Oculyzer II или Pentacam HR позволяет получить меньшую среднюю центроидную ошибку 0,05 дптр в сравнении с центроидной ошибкой 0,25 дптр при ориентации торической оси по кератометрическим измерениям на Verion Measurement Module и расчётом по калькуляторам на Verion Measurement Module.

Ключевые слова: торическая интраокулярная коррекция, векторный анализ, центроидная ошибка, целевая астигматическая ось, правильный роговичный астигматизм

Для цитирования: Набатова О.С., Фисенко А.И., Козина Е.В., Лексуткина Е.В. Сравнительный анализ эффективности различных формул расчёта и систем измерения целевой астигматической оси торической ИОЛ при интраокулярной коррекции роговичного астигматизма. *Acta biomedica scientifica*. 2025; 10(1): 196-205. doi: 10.29413/ABS.2025-10.1.21

Статья поступила: 08.08.2024
Статья принята: 03.02.2025
Статья опубликована: 13.03.2025

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS CALCULATION FORMULAS AND MEASUREMENT SYSTEMS FOR THE TARGET ASTIGMATIC AXIS OF THE TORIC IOL IN INTRAOCULAR CORRECTION OF CORNEAL ASTIGMATISM

Nabatova O.S.,
Fisenko A.I.,
Kozina E.V.,
Leksutkina E.V.

Krasnodar Branch of the S. Fyodorov Eye
Microsurgery Federal State Institution
(Krasnykh Partizan str., 6, Krasnodar 350012,
Russian Federation)

Corresponding author:
Elena V. Kozina,
e-mail: elena_eyedoc@mail.ru

ABSTRACT

Background. The effectiveness intraocular correction of corneal astigmatism on the target astigmatic axis in the online calculators toric IOL.

The aim. To establish the effectiveness of corneal astigmatism correction by toric IOLs calculated by various methods of astigmatic axis measurement.

Material and methods. Forty patients (60 eyes) with corneal astigmatism were analyzed. Keratometry parameters for calculations in 30 eyes were obtained using Wave Light Oculyzer II or Pentacam HR, the measurement of the toric astigmatic axis was carried out using the Kane formula. In 30 eyes, keratometric data for calculation were obtained using the Verion Measurement Module, the target axis was calculated using the Barrett formula in Verion.

Results. Statistically significantly lower vector and centroid error was shown by calculations of the target astigmatic axis using the Kane formula with Oculyzer II or Pentacam HR keratometry compared with the results of calculations with keratometry and Barrett in Verion ($p < 0.05$). The smallest centroid (0.05 dpt) and the smallest average absolute error (0.47 ± 0.51 dpt) of the residual astigmatism indicators in the Kane calculation group, the arithmetic difference of the calculated target axes of the toric orientation according to Verion and Kane revealed, in 70 % of the calculations of the second group, a difference of more than 5° in measuring the axis orientation. The percentage of eyes with a vector error of less than 0.5 dpt in the second group exceeded the indicator of the first group by 13.3 %, less than 1.0 dpt – by 23.3 %.

Conclusion. The calculation of the toric axis according to online formula using Oculyzer II or Pentacam HR keratometric indicators allows us to obtain a smaller average centroid error of 0.05 dpt compared with a centroid error of 0.25 with the orientation of the toric axis according to keratometric measurements on Verion and the calculation on Verion.

Key words: toric intraocular correction, vector analysis, centroid error, target astigmatic axis, correct corneal astigmatism

Received: 08.08.2024
Accepted: 03.02.2025
Published: 13.03.2025

For citation: Nabatova O.S., Fisenko A.I., Kozina E.V., Leksutkina E.V. Comparative analysis of the effectiveness of various calculation formulas and measurement systems for the target astigmatic axis of the toric IOL in intraocular correction of corneal astigmatism. *Acta biomedica scientifica*. 2025; 10(1): 196-205. doi: 10.29413/ABS.2025-10.1.21

ОБОСНОВАНИЕ

Среди методов коррекции роговичного астигматизма у пациентов старше 40 лет наиболее эффективным общепризнано удаление хрусталика с имплантацией торической интраокулярной линзы (ИОЛ) [1]. Максимальную актуальность компенсация роговичного астигматизма приобретает в расчёте мультифокальных ИОЛ, так как отсутствие необходимой цилиндрической коррекции от 0,75 дптр и выше существенно снижает качество остроты зрения вблизи и на расстоянии у пациентов с мультифокальной ИОЛ [1, 2].

Составляющими эффективного расчёта торического компонента ИОЛ являются предоперационные данные кератометрии, аксиальной длины глазного яблока и измерения целевой астигматической оси [1–3]. Современное офтальмологическое оборудование обеспечивает максимальную точность расчёта диоптрийности ИОЛ. Оптимальные данные аксиальной длины глаза, по данным отечественных и зарубежных авторов, измеряются на IOL Master 500 и IOL Master 700 (Carl Zeiss Meditec AG, Германия) [4–6]. Среди данных кератометрии наиболее часто предпочтение отдаётся полученным на приборах WaveLight Oculyzer II (Alcon Inc., США) и Pentacam HR (Oculus Pentacam, Германия), учитывающим кривизну и астигматический компонент передней и задней поверхностей роговицы [7–9]. Расчёт целевой оси торической ИОЛ для оптимального позиционирования осуществляется торическими онлайн-калькуляторами [10–12]. Один из наиболее эффективных из них – Kane Toric Calculator – применяет «закрытую» формулу Kane¹ [13–15]. Популярностью пользуются формулы Barrett, Haigis, Holliday II в онлайн-калькуляторе Verion. В данных расчётах применяются кератометрические данные, полученные на приборе Verion Measurement Module (Alcon Inc., США) [16–18].

Ряд исследований отмечают, что более 30 % врачей считают приемлемой ошибкой в 1° в определении ориентации астигматической оси торической ИОЛ. Однако известно, что 1° отклонения торической оси на 3,3 % уменьшает эффективность коррекции [19]. Ввиду этого нельзя недооценивать важность точности позиционирования торической ИОЛ для коррекции астигматизма.

Несмотря на прогресс в точности работы оборудования и программного обеспечения для расчёта торических ИОЛ, результаты коррекции в ряде случаев остаются сложнопрогнозируемыми и непредсказуемыми [20–22].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести сравнительный анализ эффективности интраокулярной коррекции роговичного астигматизма применением различных систем измерения целевой астигматической оси торической интраокулярной линзой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучены результаты интраокулярной коррекции 40 пациентов (60 глаз) с простым правильным роговичным астигматизмом, перенёсших с 2022 по 2024 г. фактоэмульсификацию катаракты или удаление прозрачного хрусталика с имплантацией торической ИОЛ. Исследование проводилось в Краснодарском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России.

Исследование проводилось ретроспективно. Для анализа использовались архивные данные приборов расчёта ИОЛ, медицинских карт и информационной системы Med Work.

Пациентам в исследуемых группах имплантировались следующие заднекамерные моноблочные гидрофобные акриловые ИОЛ: торическая AcrySof IQ Toric (Alcon Inc., США) с монофокальной асферической оптикой и псевдоаккомодирующая торическая трифокальная AcrySof IQ PanOptix Toric (Alcon Inc., США). Обе ИОЛ имеют фильтры ультрафиолета и синего спектра цвета.

Необходимые для расчёта диоптрийности ИОЛ и торического компонента показатели кератометрии в актуальной для расчёта зоне оценивались на приборе Verion Measurement Module либо на приборах Pentacam HR или WaveLight Oculyzer II и учитывали данные преломляющей силы передней и задней поверхностей роговицы (рис. 1). Данные аксиальной длины глазного яблока, глубины передней камеры и размер хрусталика для расчёта ИОЛ были получены на IOL Master 700. Измерение целевой астигматической оси для ориентации торического компонента проводилось с помощью расчётов ИОЛ на Verion Measurement Module по формуле Barrett Universal II и Barrett Toric Calculator (рис. 2) и в онлайн-калькуляторе по формуле Kane (рис. 3). Все пациенты подписывали согласие на обработку персональных данных.

Критериями исключения из исследования стали: рубцы, помутнения, кератотомические насечки роговицы, вызывающие неправильный астигматизм; аксиальная длина менее 22,00 мм и более 25,00 мм; макулярная патология, снижающая зрение в послеоперационном периоде ниже 0,7; ротация ИОЛ более 5° относительно целевой оси в послеоперационном периоде.

Данные пациентов, включённых в исследование, выделены в две группы, различные по методике измерения целевой астигматической оси при расчёте торической ИОЛ. Сравнивалась эффективность коррекции роговичного астигматизма по величине остаточного послеоперационного астигматизма.

В первой группе пациентов (30 глаз) кератометрические данные были получены на Verion Measurement Module. Расчёт диоптрийности ИОЛ, торического компонента и измерение астигматической оси пациентов первой группы производились на Verion Measurement Module по формуле Barrett.

Во второй группе пациентов (30 глаз) кератометрические данные были получены на WaveLight Oculyzer II

¹ www.iolformula.com

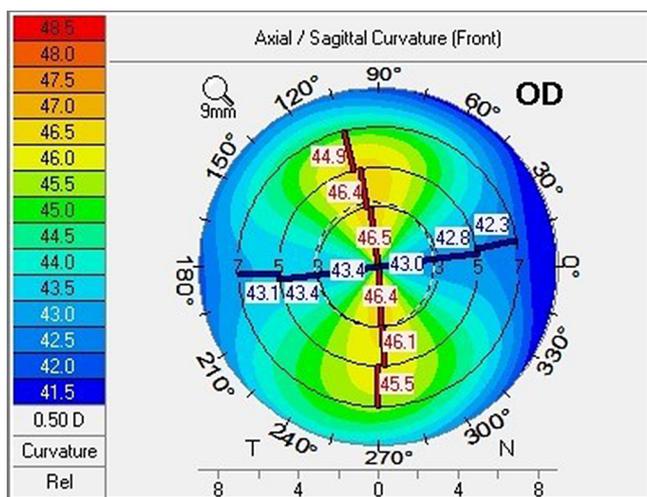


Рис. 1. Кератотопограмма передней и задней поверхности роговицы в актуальной зоне для расчёта торической ИОЛ, полученная на WaveLight Oculyzer II (Alcon Inc., США)

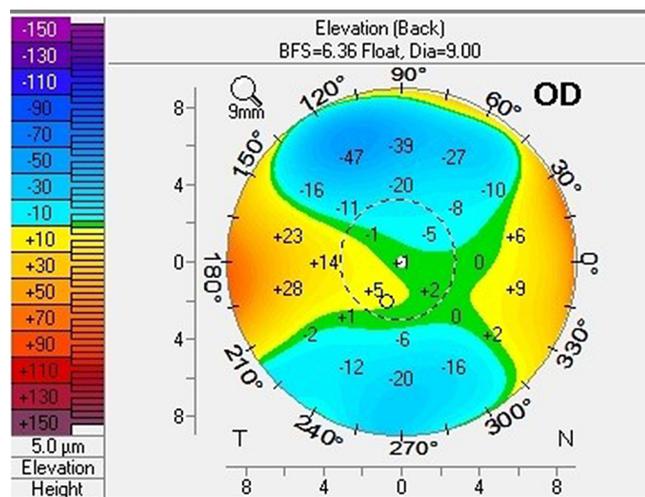


FIG. 1. Keratotopogram of the anterior and posterior surfaces of the cornea in the actual zone for calculating the toric IOL obtained with WaveLight Oculyzer II (Alcon Inc., USA)

| OD (RIGHT EYE) | OS (LEFT EYE) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------|---------------|--------------|-------|------|-------|-------------|-------|-------|--------|-------------|-------|-------|--------|-------------|-------|-------|--------|--------------|-------|-------|--------|--------------|--|--|--------|--------------|--|--------|--------|------|--------------|-------|------|-------|---------------|-------|-------|--------|---------------|-------|-------|--------|---------------|-------|-------|--------|---------------|-------|-------|--------|--------------|--|--|--------|--------------|
| <p>Pre-Op 22/02/2024</p> <p>R1/K1: 7.71 mm / 43.77 dpt @9° (Verion) R2/K2: 7.43 mm / 45.40 dpt @99° R/K: 7.57 mm / 44.57 dpt n: 1.3375 Cyl: -1.63D @9° AL: 26.20 mm (IOL Master 700-Optical) ACD: 3.76 mm LT: 3.90 mm Rx: N/A WTW: 12.48 mm</p> <p>Post-Refractive: No Post-Refractive Pre-Refractive RX: N/A</p> | <p>Pre-Op 22/02/2024</p> <p>R1/K1: 7.66 mm / 44.07 dpt @167° (Verion) R2/K2: 7.34 mm / 45.97 dpt @77° (I = uncertain value) R/K: 7.50 mm / 45.00 dpt n: 1.3375 Cyl: -1.90D @167° AL: 26.40 mm (IOL Master 700-Optical) ACD: 3.76 mm LT: 3.96 mm Rx: N/A WTW: 12.58 mm</p> <p>Post-Refractive: No Post-Refractive Pre-Refractive RX: N/A</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Surgical Plan N/A</p> <p>Primary: 2.4mm @170° Arc1: N/A Arc2: N/A Sec1: 1.2mm @210° Depth: N/A Sec2: 1.2mm @25° Diam: N/A Nomogram: N/A</p> | <p>Surgical Plan N/A</p> <p>Primary: 2.4mm @180° Arc1: N/A Arc2: N/A Sec1: 1.2mm @223° Depth: N/A Sec2: 1.2mm @45° Diam: N/A Nomogram: N/A</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Barrett Target SEQ: -0.50 SIA: 0.15D</p> <p>TFNT40 2.25D @99°</p> <p>TFNTx 12.50D</p> <p>MFG LF(1.94)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>IOL(D)</th> <th>Ref(D)</th> <th>Lens</th> <th>Res. Astigm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.50</td> <td>0.06</td> <td>TFNT0</td> <td>-1.25D x 9°</td> </tr> <tr> <td>12.00</td> <td>-0.26</td> <td>TFNT20</td> <td>-0.61D x 9°</td> </tr> <tr> <td>12.50</td> <td>-0.58</td> <td>TFNT30</td> <td>-0.29D x 9°</td> </tr> <tr> <td>13.00</td> <td>-0.91</td> <td>TFNT40</td> <td>-0.18D x 99°</td> </tr> <tr> <td>13.50</td> <td>-1.24</td> <td>TFNT50</td> <td>-0.66D x 99°</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>TFNT60</td> <td>-1.14D x 99°</td> </tr> </tbody> </table> <p>ExpectedRx: -0.49D -0.18D x 99°</p> | IOL(D) | Ref(D) | Lens | Res. Astigm. | 11.50 | 0.06 | TFNT0 | -1.25D x 9° | 12.00 | -0.26 | TFNT20 | -0.61D x 9° | 12.50 | -0.58 | TFNT30 | -0.29D x 9° | 13.00 | -0.91 | TFNT40 | -0.18D x 99° | 13.50 | -1.24 | TFNT50 | -0.66D x 99° | | | TFNT60 | -1.14D x 99° | <p>Barrett Target SEQ: -0.50 SIA: 0.15D</p> <p>TFNT40 2.25D @75°</p> <p>TFNTx 11.00D</p> <p>MFG LF(1.94)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>IOL(D)</th> <th>Ref(D)</th> <th>Lens</th> <th>Res. Astigm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.00</td> <td>0.22</td> <td>TFNT0</td> <td>-1.55D x 165°</td> </tr> <tr> <td>10.50</td> <td>-0.09</td> <td>TFNT20</td> <td>-0.92D x 165°</td> </tr> <tr> <td>11.00</td> <td>-0.40</td> <td>TFNT30</td> <td>-0.61D x 165°</td> </tr> <tr> <td>11.50</td> <td>-0.72</td> <td>TFNT40</td> <td>-0.14D x 165°</td> </tr> <tr> <td>12.00</td> <td>-1.05</td> <td>TFNT50</td> <td>-0.33D x 75°</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>TFNT60</td> <td>-0.79D x 75°</td> </tr> </tbody> </table> <p>ExpectedRx: -0.33D -0.14D x 165°</p> | IOL(D) | Ref(D) | Lens | Res. Astigm. | 10.00 | 0.22 | TFNT0 | -1.55D x 165° | 10.50 | -0.09 | TFNT20 | -0.92D x 165° | 11.00 | -0.40 | TFNT30 | -0.61D x 165° | 11.50 | -0.72 | TFNT40 | -0.14D x 165° | 12.00 | -1.05 | TFNT50 | -0.33D x 75° | | | TFNT60 | -0.79D x 75° |
| IOL(D) | Ref(D) | Lens | Res. Astigm. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11.50 | 0.06 | TFNT0 | -1.25D x 9° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.00 | -0.26 | TFNT20 | -0.61D x 9° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.50 | -0.58 | TFNT30 | -0.29D x 9° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13.00 | -0.91 | TFNT40 | -0.18D x 99° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13.50 | -1.24 | TFNT50 | -0.66D x 99° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | TFNT60 | -1.14D x 99° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IOL(D) | Ref(D) | Lens | Res. Astigm. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.00 | 0.22 | TFNT0 | -1.55D x 165° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.50 | -0.09 | TFNT20 | -0.92D x 165° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11.00 | -0.40 | TFNT30 | -0.61D x 165° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11.50 | -0.72 | TFNT40 | -0.14D x 165° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12.00 | -1.05 | TFNT50 | -0.33D x 75° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | TFNT60 | -0.79D x 75° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 2. Расчёт ИОЛ по формуле Barrett на Verion

FIG. 2. Calculation of IOL using Barrett formula in Verion

KANE FORMULA

Surgeon: xxx
 Index: 1.3375
 Exam Date: 25/07/2024

Patient: xxx
 ID:
 Sex: Female

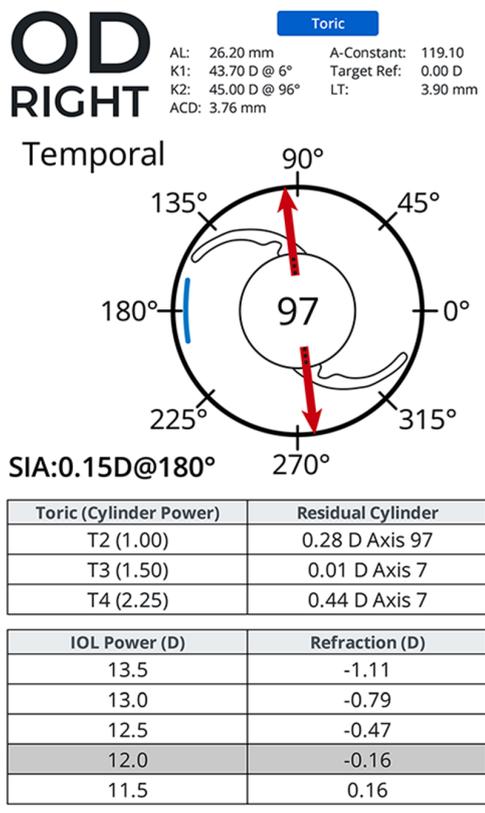


РИС. 3.
 Расчёт ИОЛ по формуле Kane

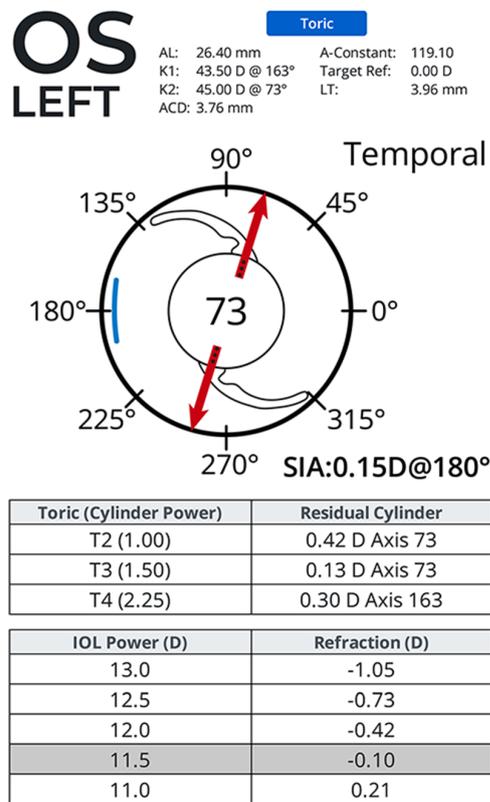


FIG. 3.
 Calculation of IOL using Kane formula

или Pentacam HR. Расчёт диоптрийности ИОЛ, торического компонента и измерение астигматической оси пациентов второй группы производились в онлайн-калькуляторе по формуле Kane.

Применялся оптический индекс 1,3375, принятый за основу расчёта сферозэквивалента и торического компонента ИОЛ в большинстве формул. Значение хирургически индуцированного астигматизма в расчётах было одинаковым – 0,15.

В таблице 1 представлены пред- и послеоперационные количественные данные пациентов двух групп.

Для проверки нормальности распределения количественных данных пред- и послеоперационного астигматизма в выборках был проведён тест Шапиро – Уилка. Данные соответствовали критериям нормального распределения, ввиду этого для статистического анализа был использован парный t-критерий Стьюдента для сравнения данных до и после операции. Значение $p < 0,05$ считалось статистически значимым. Описатель-

ная статистика в таблицах представлена средним значением (M) и стандартным отклонением (σ).

Статистически значимой разницы значений предоперационного астигматизма и планируемого остаточного астигматизма между группами не определялось – $p > 0,05$ (критерий Стьюдента). Значение критерия Стьюдента $p < 0,05$ подтвердило статистически значимую разницу среднего значения послеоперационного астигматизма между группами.

У пациентов второй группы измерения астигматической оси проводились обеими методиками: в онлайн-калькуляторе Verion с кератометрией на Verion Measurement Module и по формуле Kane с кератометрией на WaveLight Oculyzer II или Pentacam HR. Оценивалась арифметическая разница в градусах ориентации оси торического компонента ИОЛ, полученных в обеих методиках расчёта.

Пациентам обеих групп выполнялась факоэмульсификация с техникой дробления ядра (Stop & Chop), с использованием наконечника BalansTip с углом сре-

ТАБЛИЦА 1
ПРЕДОПЕРАЦИОННЫЕ И ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЕ
ДАННЫЕ ПАЦИЕНТОВ

TABLE 1
PRE- AND POSTOPERATIVE DATA OF PATIENTS

| Данные | 1-я группа | 2-я группа |
|--|---------------------------|----------------------------|
| Осевая длина глаза (мм), $M \pm \sigma$, диапазон | 23,97 ± 1,25 22,1–25,9 | 23,59 ± 1,25 22,08–25,4 |
| Сферическая коррекция (дптр), $M \pm \sigma$, диапазон | 2,82 ± 1,67 0,00–5,75 | 2,47 ± 1,81 0,00–5,75 |
| Роговичный астигматизм (дптр), $M \pm \sigma$, диапазон | 1,88 ± 1,16 0,25–4,5 | 1,43 ± 1,19 0,25–4,5 |
| Монофокальная ИОЛ, n (%) | 8 (27) | 11 (37) |
| Мультифокальная ИОЛ, n (%) | 22 (73) | 19 (63) |
| Прогнозируемый остаточный астигматизм (дптр), $M \pm \sigma$, диапазон | 0,2 ± 0,25 0,01–1,04 | 0,11 ± 0,1 0,02–0,49 |
| Послеоперационный остаточный астигматизм (дптр), $M \pm \sigma$, диапазон | 0,98 ± 0,63 0,25–2,5 | 0,57 ± 0,34 0,25–1,5 |

за 30°. После выполнения двух парацентезов в переднюю камеру вводился дисперсивный вязкоэластик. Используя систему слежения Verion, цанговым пинцетом 23 G выполнялся передний капсулорексис. Основной разрез выполнялся одноразовым металлическим копьем 2,2 мм на 110° также с использованием Verion. Далее ядро делили ультразвуковым наконечником на части, каждая из которых методом вертикального чопа дробилась и аспирировалась с использованием техники «bevel down». После бимануальной аспирации кортикальных масс в капсульный мешок имплантировалась ИОЛ AcrySof IQ Toric или AcrySof IQ PanOptix Toric.

В первой группе ротация и установка ИОЛ по целевой оси в капсульном мешке производилась под контролем электронной системы разметки Verion Measurement Module. Во второй группе значение целевой оси для установки ИОЛ бралось из расчётов по онлайн-формуле Kane с выполнением разметки путём точечного нанесения меток стерильным медицинским маркером на поверхность лимбальной зоны роговицы по лучу осветителя щелевой лампы, выставленному в соответствии с целевыми градусами и проходящему через центр зрачка (под местной анестезией, в положении пациента сидя).

В послеоперационном периоде через 3 месяца оценивалась ротационная стабильность ИОЛ и рефракционный остаточный астигматизм, который использовался для оценки эффективности расчёта торического компонента ИОЛ.

Данные рефракционного астигматизма в послеоперационном периоде использовались для расчёта среднего абсолютного (MAE, mean absolute prediction error) и срединного абсолютного (MedAE, median absolute prediction error) отклонения фактической цилиндрической коррекции от расчётной. Векторная ошибка рассчитывалась с использованием вектор-

ного анализа, а затем вычислялись средняя и срединная векторные ошибки. Центроид расчётной ошибки (средняя центроидная ошибка) и стандартное отклонение центроида (средняя абсолютная центроидная ошибка: диоптрии (градусы ± стандартное отклонение центроида)) рассчитывались при помощи Excel-алгоритма – Astigmatism Double Angle Plot Tool. Сравнительные результаты прогнозируемого и полученного центроидов обеих групп представлены на диаграммах (рис. 4–7).

Для оценки эффективности коррекции астигматизма торическими ИОЛ сравнивались изменения рефракционного астигматизма с расчётным. Так как астигматизм является вектором с величиной и ориентацией, применялся векторный анализ изменений рефракционного астигматизма после имплантации торической ИОЛ. В каждой группе рассчитывался процент глаз с ошибкой менее 0,5 дптр и менее 1,0 дптр по данным послеоперационного астигматизма.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистически значимо меньшую векторную и центроидную ошибку показали результаты расчёта по формуле Kane с кератометрией на WaveLight Oculyzer II/ Pentacam HR во второй группе по сравнению с результатами расчётов в онлайн-калькуляторе Verion с кератометрией с использованием системы Verion Measurement Module в первой группе ($p < 0,05$). Наименьший центроид (0,05 дптр) и наименьшая средняя абсолютная ошибка ($0,47 \pm 0,51$ дптр) показателей расчётного остаточного астигматизма в группе расчётов по Kane подтверждает более высокую точность расчёта прогнозируемого остаточного послеоперационного астигматизма (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2
СРЕДНЯЯ (MAE) И СРЕДИННАЯ (MedAE) ВЕКТОРНЫЕ
ОШИБКИ, ЦЕНТРОИДНАЯ ОШИБКА

| Показатели | 1-я группа | 2-я группа |
|--|-------------------------|------------------------|
| MAE (дптр), $M \pm \sigma$ | $0,54 \pm 0,6$ | $0,47 \pm 0,51$ |
| MedAE (дптр), Me (IQR) | 0,57 (0,38) | 0,4 (0,72) |
| Центроидная ошибка (дптр), Me ($M \pm \sigma$) | 0,25 ($115 \pm 1,15$) | 0,05 ($73 \pm 0,64$) |

TABLE 2
MEAN ABSOLUTE (MAE) AND MEDIAN ABSOLUTE (MedAE)
PREDICTION ERRORS, CENTROID ERROR

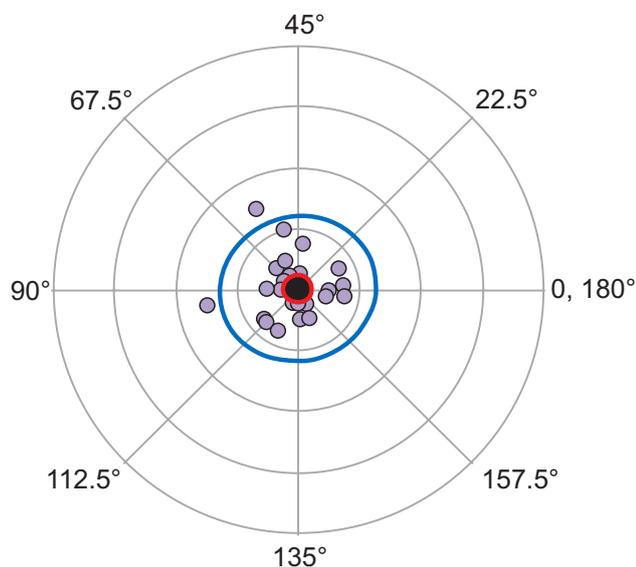


РИС. 4.
Диаграмма планируемой центроидной ошибки по формуле Kane (mean absolute: $0,56 \pm 0,33$ дптр; $n = 30$)

FIG. 4.
Diagram of the planned centroid error according to the Kane formula (mean absolute: 0.56 ± 0.33 dpt; $n = 30$)

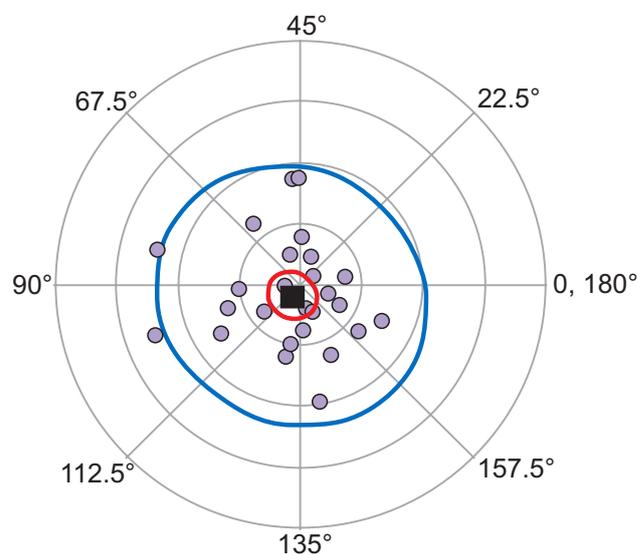


РИС. 6.
Диаграмма планируемой центроидной ошибки по формуле Barrett на Verion (mean absolute: $0,99 \pm 0,62$ дптр)

FIG. 6.
Diagram of the planned centroid error according to the Barrett formula using Verion (mean absolute: 0.99 ± 0.62 dpt)

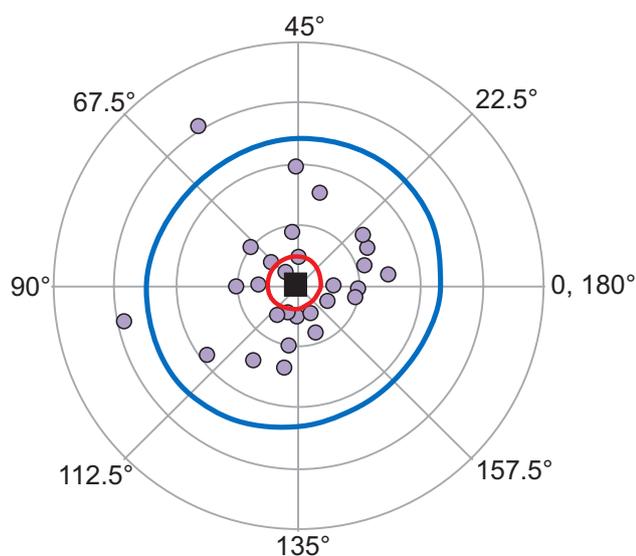


РИС. 5.
Диаграмма полученной центроидной ошибки по формуле Kane (mean absolute: $0,54 \pm 0,34$ дптр; $n = 30$)

FIG. 5.
Diagram of the resulting centroid error according to the Kane formula (mean absolute: 0.54 ± 0.34 dpt; $n = 30$)

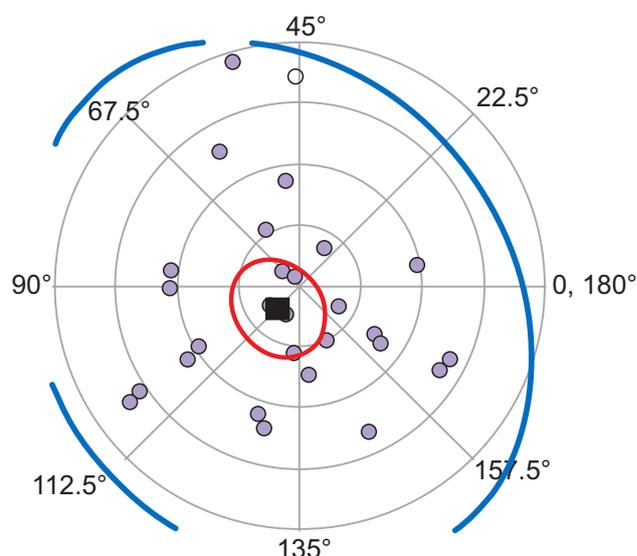


РИС. 7.
Диаграмма полученной центроидной ошибки по формуле Barrett на Verion (mean absolute: $0,54 \pm 0,34$ дптр)

FIG. 7.
Diagram of the resulting centroid error according to the Barrett formula using Verion (mean absolute: 0.54 ± 0.34 dpt)

Анализ арифметической разницы расчётных осей ориентации торики по формуле Baretт с кератометрией на Verion Measurement Module и по формуле Kane на WaveLight Oculyzer II/Pentacam HR во второй группе определил разницу менее 5° в 9 глазах, от 5° до 10° – в 12 глазах, от 10° до 20° – в 7 глазах, 20° и более – в 2 глазах. Таким образом, 70 % расчётов второй группы имели клинически значимую разницу более 5° в измерении ориентации астигматической оси.

Анализ процента глаз со средней векторной ошибкой менее 0,5 дптр и менее 1,0 дптр в двух группах показал, что процент глаз с ошибкой 0,5 дптр и менее во второй группе превышал показатель первой группы на 13,3 %, 1,0 дптр и менее – на 23,3 % (рис. 8; табл. 3).

ТАБЛИЦА 3
ПРОЦЕНТ ГЛАЗ С ОШИБКОЙ МЕНЕЕ 0,5 ДПТР И МЕНЕЕ 1,0 ДПТР ПО КАЖДОМУ КАЛЬКУЛЯТОРУ

TABLE 3
PERCENTAGE OF EYES WITH AN ERROR OF LESS THAN 0.5 DPT AND 1.0 DPT FOR EACH CALCULATOR

| Средняя векторная ошибка | 1-я группа | 2-я группа |
|--------------------------|------------|------------|
| ± 1,0 дптр (%) | 66,7 | 90,0 |
| ± 0,5 дптр (%) | 36,7 | 50,0 |

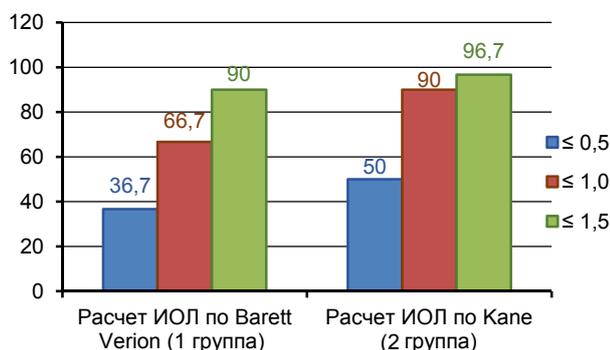


РИС. 8.
Число случаев с MAE < 0,5 дптр, < 1,0 дптр и < 1,5 дптр в каждой группе (%)

FIG. 8.
Number of cases with MAE < 0.50 dpt, < 1.00 dpt and < 1.5 dpt for each group (%)

ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность расчёта торической ИОЛ определяется максимально корректной комбинацией предоперационных данных кератометрии, аксиальной длины глазного яблока и измерения целевой астигматической оси, вводимых в формулы онлайн-калькуляторов. Точность коррекции роговичного астигматизма имеет наибольшее влияние на качество остроты зрения при имплантации мультифокальной торической ИОЛ [1–3].

По данным отечественных и зарубежных авторов, оптимальные биометрические данные для расчёта торической ИОЛ измеряют IOL Master 500 и IOL Master 700 [4–

б]. В нашем исследовании для расчёта торической ИОЛ использовались данные аксиальной длины глазного яблока, полученные на IOL Master 700, что соответствует критериям эффективного расчёта, описанным в источниках литературы.

Кератометрические данные в эффективном расчёте торической ИОЛ должны учитывать кривизну и астигматический компонент как передней, так и задней поверхности роговицы [7–9]. Данный метод кератометрии применяется в большинстве современных торических калькуляторов с использованием оптического индекса 1,3375. В нашем исследовании для расчётов по двум современным онлайн-калькуляторам торической ИОЛ использовались кератометрические показатели, полученные на WaveLight Oculyzer II/Pentacam HR или кератометрические данные с прибора Verion Measurement Module.

Расчёт целевой оси торической ИОЛ в онлайн-калькуляторах для оптимального позиционирования является одним из наиболее важных факторов эффективной коррекции роговичного астигматизма [10–12]. Отклонение торической оси ИОЛ от целевой уменьшает эффективность астигматической коррекции [19], что обязывает хирургов оптимизировать измерения, не превышающие ошибку в позиционировании астигматической оси более 5°. Согласно литературным данным, торический калькулятор Kane Toric Calculator [13–15] и онлайн-калькулятор Verion с формулами Baretт, Haigis, Holliday II [16–18] максимально эффективно измеряют целевую астигматическую ось для имплантации торической ИОЛ. В данном исследовании приведён сравнительный анализ эффективности расчёта целевой астигматической оси для позиционирования торического компонента ИОЛ двух систем расчёта: в калькуляторе Kane с кератометрией WaveLight Oculyzer II/Pentacam HR и в калькуляторе Verion по формуле Baretт с кератометрическими данными Verion Measurement Module.

Центроидная ошибка в анализе эффективности коррекции астигматизма – это мера оценки сдвига расчёта торического компонента для разных формул [20–22]. В нашем исследовании оценивалась статистическая значимость разницы в центроидной ошибке по двум системам расчёта торической ИОЛ.

В настоящем исследовании анализировались результаты имплантации заднекамерных моноблочных гидрофобных акриловых торических ИОЛ компании Alcon (США): AcrySof IQ Toric с монофокальной асферической оптикой с шагом астигматической диоптрийности 1,0 – 1,5 – 2,25 – 3,0 – 3,75 – 4,5 – 5,25 – 6,00 дптр и псевдоаккомодирующей торической трифокальной AcrySof IQ PanOptix Toric с шагом астигматической диоптрийности 1,0 – 1,5 – 2,25 – 3,0 – 3,75 дптр. При проведении обзора литературы мы не нашли работ, сравнивающих изучаемые нами системы расчёта астигматической оси в различных калькуляторах. В нашем исследовании центроидная ошибка при расчётах по формуле Kane с кератометрией на WaveLight Oculyzer II/Pentacam HR (0,05) получилась статистически значимо меньше центроидной

ошибки в расчёте по формуле Varetт и кератометрией, полученных на Verion (0,25), кроме того, у 70 % процентов глаз второй группы разница целевых осей, полученных сравнением двух исследуемых методик расчёта, была более 5°.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует множество различных систем расчёта для наиболее точного позиционирования торической ИОЛ. Для выбора наиболее точного расчёта и измерения астигматической оси у эметропов с простым роговичным астигматизмом результаты нашего исследования рекомендуют торический калькулятор, рассчитывающий по онлайн-формулам для эметропических глаз с использованием кератометрических данных WaveLight Oculyzer II или Pentacam HR, учитывающих преломляющую силу передней и задней поверхностей роговицы. Позиционирование торического компонента по целевой оси, рассчитанной данной методикой, позволяет получить среднюю центроидную ошибку в 0,05 дптр в сравнении с центроидной ошибкой в 0,25 дптр при ориентации торической оси, рассчитанной по онлайн-формулам с кератометрией, полученной на Verion.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Шухаев С.В., Бойко Э.В., Кудлахмедов Ш.Ш. Сравнительная оценка точности расчета торических интраокулярных линз. *Вестник офтальмологии*. 2022; 138(1): 5-12. [Shukhaev SV, Boiko EV, Kudlakhmedov SS. Comparative assessment of the accuracy of toric intraocular lens calculations. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2022; 138(1): 5-12. (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma20221380115
2. Альноелати Альмасри М.А., Стебнев В.С. Торические интраокулярные линзы: Исторический обзор, отбор пациентов, расчет ИОЛ, хирургическая техника, клинический исход и осложнения. *Национальная ассоциация ученых*. 2021; (63): 18-30. [Alnoelaty Almasri MA, Stebnev VS. Toric intraocular lenses: Historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications *National Association of Scientists*. 2021; (63): 18-30. (In Russ.)].
3. Ramsauer M, Luft N, Vounotrypidis E, Priglinger SG, Mayer WJ. Accuracy of toric intraocular lens power calculation depending on different keratometry values using a novel network based software platform. *Front Med (Lausanne)*. 2024; 11: 1363286. doi: 10.3389/fmed.2024.1363286
4. Cooke DL, Cooke TL. A comparison of two methods to calculate axial length. *J Cataract Refract Surg*. 2019; 45(3): 284-292. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.10.039
5. Коновалов М.Е., Зенина М.Л., Горенский А.А., Коновалова М.М. Расчет и имплантация торических ИОЛ с применением системы ВЕРИОН. *Отражение*. 2018; 1(6): 121-124. [Konovalov ME, Zenina ML, Gorenskiy AA, Konovalova MM. Calculation and implantation of toric IOLs using Verion system. *Otrazhenie*. 2018; 1(6): 121-124. (In Russ.)]. doi: 10.25276/2686-6986-2018-1-121-124
6. Nemeth G, Szalai E, Hassan Z, Lipecz A, Berta A, Modis L Jr. Repeatability data and agreement of keratometry with the VERION system compared to the IOL Master. *J Refract Surg*. 2015; 31(5): 333-337. doi: 10.3928/1081597X-20150424-01
7. Asena L, Güngör SG, Akman A. Comparison of keratometric measurements obtained by the Verion Image Guided System with optical biometry and auto-keratorefractometer. *Int Ophthalmol*. 2017; 37(2): 391-399. doi: 10.1007/s10792-016-0274-8
8. Kern C, Kaissi LE, Kortuem K, Shajari M, Vounotrypidis E, Langenbucher A, et al. Comparing refractive outcomes of a standard industry toric IOL calculator using anterior corneal astigmatism and total corneal refractive power. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2020; 258(2): 345-350. doi: 10.1007/s00417-019-04570-1
9. Park DY, Lim DH, Hwang S, Hyun J, Chung TY. Comparison of astigmatism prediction error taken with the Pentacam measurements, Baylor nomogram, and Barrett formula for toric intraocular lens implantation. *BMC Ophthalmol*. 2017; 17(1): 156. doi: 10.1186/s12886-017-0550-z
10. Xia T, Martinez CE, Tsai LM. Update on intraocular lens formulas and calculations. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020; 9(3): 186-193. doi: 10.1097/APO.0000000000000293
11. Goggin M. Toric intraocular lenses: Evidence-based use. *Clin Exp Ophthalmol*. 2022; 50(5): 481-489. doi: 10.1111/ceo.14106
12. Kobashi H, Kamiya K, Shimizu K, Kawamorita T, Uozato H. Effect of axis orientation on visual performance in astigmatic eyes. *J Cataract Refract Surg*. 2012; 38(8): 1352-1359. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.03.032
13. Paritekar P, Nayak A, Umesh Y, Sirivella I, Manoharan S, Khatib Z. Comparison of newer Kane formula with Sanders Retzlaff Kraff/Theoretical and Barrett Universal II for calculation of intraocular lens power in Indian eyes. *Indian J Ophthalmol*. 2022; 70(4): 1203-1207. doi: 10.4103/ijo.IJO_2014_21
14. Ferreira TB, Ribeiro F. How can we improve toric intraocular lens calculation methods? Current insights. *Clin Ophthalmol*. 2020; 14: 1899-1908. doi: 10.2147/OPHTH.S238686
15. Priji P, Jacob SC, Kalikivayi L, Kalikivayi V. Correlating Kane formula with existing intraocular lens formulae for corneal curvatures and axial lengths. *Oman J Ophthalmol*. 2021; 14(2): 94-99. doi: 10.4103/ojo.ojo_62_21
16. Tamilarasi S, James Joseph A, Dandapani R. Predictive accuracy of Barrett TK toric calculator compared to measured posterior corneal astigmatism using Pentacam in toric IOL power calculation. *Indian J Ophthalmol*. 2024; 72(4): 582-586. doi: 10.4103/IJO.IJO_1386_23
17. Badakere A, Ghaisas P, Akshya P, Natarajan V, Guha S, Agarkar S. Intraocular lens formula calculation in pediatric eyes: Do we have an answer? A retrospective comparison between Sanders-Retzlaff-Kraff II and Barret's formula. *Indian J Ophthalmol*. 2023; 71(5): 2139-2142. doi: 10.4103/IJO.IJO_3191_22
18. Dong J, Zhang Y, Wang X. Calculation of toric intraocular lens power with the Barrett calculator and data from three keratometers. *J Trop Med*. 2021; 2021: 7712345. doi: 10.1155/2021/7712345
19. Hill WE, Holladay DT, Davidson D, Koper SV. A new era in the treatment of astigmatism: techniques and technologies that destroy old concepts. *New in Ophthalmology*. 2016; 1: 30-36.

20. Бикбов М.М., Оренбуркина О.И., Бабушкин А.Э., Тулякова А.М. Современные подходы к коррекции остаточного астигматизма после операции факэмульсификации катаракты. *Клиническая офтальмология*. 2022; 22(1): 51-57. [Bikbov MM, Orenburkina OI, Babushkin AE, Tulyakova AM. Current approaches to residual astigmatism correction after phacoemulsification. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2022; 22(1): 51-57. (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-51-57

21. Liang J, Liu H, Zhou S, Zhou L, Qian Z, Jiang L, et al. Intraocular lens constant optimization in toric intraocular lens calculation using keratometry and total corneal power. *Eur J Ophthalmol* 2023; 33(1): 230-238. doi: 10.1177/11206721221106136

22. Reitblat O, Levy A, Barnir EM, Assia EI, Kleinmann G. Toric IOL calculation in eyes with high posterior corneal astigmatism. *J Refract Surg*. 2020; 36(12): 820-825. doi: 10.3928/1081597X-20200930-03

Сведения об авторах

Набатова Оксана Сергеевна – кандидат медицинских наук; заведующая хирургическим отделением, врач-офтальмолог высшей категории, Краснодарский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: nabatova.oxana@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0931-9985>

Фисенко Андрей Иванович – врач-офтальмолог высшей категории, Краснодарский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: fisa76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9063-1145>

Козина Елена Владимировна – врач-офтальмолог высшей категории, Краснодарский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: elena_eyedoc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2959-9649>

Лексуткина Евгения Вячеславовна – кандидат медицинских наук, и. о. директора, заместитель директора по лечебной работе, врач-офтальмолог высшей категории, Краснодарский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: lexutkina@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9446-6701>

Information about the authors

Oxana S. Nabatova – Cand. Sc. (Med.), Head of the Surgical Department, Ophthalmologist, Krasnodar Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: nabatova.oxana@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0931-9985>

Andrey I. Fisenko – Ophthalmologist, Krasnodar Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: fisa76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9063-1145>

Elena V. Kozina – Ophthalmologist, Krasnodar Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: elena_eyedoc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2959-9649>

Eugenia V. Leksutkina – Cand. Sc. (Med.); Acting Director, Deputy Clinical Director, Ophthalmologist, Krasnodar Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: lexutkina@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9446-6701>