

Сравнение различных вариантов кератометрии у пациентов с роговичным астигматизмом

А.Н. Куликов, Е.В. Даниленко, Е.Ю. Кожевников ✉

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, ул. Академика Лебедева, д. 6, Санкт-Петербург, 194044, Россия

Цель работы — сравнить показатели силы роговицы в основных меридианах, величину и ось роговичного астигматизма, а также воспроизводимость этих показателей при трехкратной биометрии, проведенной с помощью нескольких приборов с разными принципами действия. **Материал и методы.** Трехкратная биометрия на IOL Master 500, Lenstar LS 900, IOL Master 700, Pentacam, Galilei G6 выполнена 22 пациентам (24 глаза) с правильным роговичным астигматизмом 1,89–8,02 дптр. **Результаты.** Данные разделены на группы по принципу математического моделирования роговичной поверхности: I группа — IOL Master 500, Lenstar LS 900, IOL Master 700; II — карты, учитывающие только переднюю роговичную поверхность; III — заднюю поверхность. В группе I Lenstar показал наибольшие значения кератометрии. Во II группе значения K_r , $K_{\text{ср}}$ в зоне 6 мм были ниже, чем в зоне диаметра зрачка и всех значений K в зоне 4 мм; наибольшие значения K в этой зоне получены на Galilei SimK. В III группе в зоне диаметра зрачка 4,0–4,5 мм все значения K , полученные на разных устройствах, различались; в зоне 6 мм различались значения только в слабом меридиане. Данные по астигматизму внутри групп I, III не различались, во II группе отличались данные SimK. Значения оси астигматизма, полученные на IOL Master 500, отличались от соответствующих показателей других устройств. Наиболее стабильными оказались приборы группы I, зона 6 мм. **Заключение.** Наибольшие значения кератометрии наблюдаются в случае учета только передней поверхности роговицы, наименьшие — при использовании задней поверхности. При увеличении диаметра измеряемой зоны росла стабильность регистрируемых параметров. Биометры I группы показали наибольшие значения астигматизма при максимальной повторяемости измерений.

Ключевые слова: кератотопография; кератометрия; роговичный астигматизм; IOL Master 500; Lenstar LS 900; IOL Master 700; Pentacam, Galilei G6

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Куликов А.Н., Даниленко Е.В., Кожевников Е.Ю. Сравнение различных вариантов кератометрии у пациентов с роговичным астигматизмом. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (2) (Приложение): 84–92. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-84-92>

Comparison of keratometry versions in patients with corneal astigmatism

Aleksey N. Kulikov, Ekaterina V. Danilenko, Evgeniy Yu. Kozhevnikov ✉

S.M. Kirov Military Medical Academy, 6, Academician Lebedev St., St. Petersburg, 194044, Russia
kozhevnikov@yandex.ru

Purpose: to compare the corneal power at main meridians, the magnitude and the axis of corneal astigmatism and the reproducibility of measurements taken three times with different types of biometers. **Material and methods.** 22 subjects (24 eyes) with regular corneal astigmatism 1.89–8.02 D were given three biometry tests using IOL Master 500, Lenstar LS 900, IOL Master 700, Pentacam and Galilei G6. **Results.** The data were divided into groups depending on the principle of mathematical modeling of the corneal surface: group I involved the material processed by IOL Master 500, Lenstar LS 900, IOL Master 700; group II contained maps of the anterior corneal surface; and group III, those of the posterior surface. In group I, Lenstar showed the highest values of keratometry. In group II, the values of K_r , K_{ave} in the 6 mm

area were lower than in the pupil diameter area and than any values of K in the 4 mm area; the lowest values of K in this area were obtained on the Pentacam SimK. In group III, in the pupil diameter area (4.0–4.5 mm), all K values obtained with diverse equipment were different whilst in the 6 mm area the values differed only in the flat meridian. Astigmatism within groups I, III showed no difference while in group II the SimK data were different. The astigmatism axes obtained on IOL Master 500 differed from the respective data provided by other devices. The devices of group I, 6 mm area, were the most stable. **Conclusions.** The highest values of keratometry are obtained when only the anterior surface of the cornea is taken into account, the lowest values are characteristic of the posterior surface. The stability of the parameter registered grew with the increase of the measured zone diameters. The biometers of group I showed the highest values of astigmatism with the maximum repeatability of the measurements.

Keywords: keratotopography; keratometry; corneal astigmatism; IOL Master 500; Lenstar LS 900; IOL Master 700; Pentacam, Galilei G6

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Kulikov A.N., Danilenko E.V., Kozhevnikov E.Yu. Comparison of keratometry versions in patients with corneal astigmatism. Russian ophthalmological journal. 2022; 15 (2) (supplement): 84-92 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-84-92>

Катаракта — наиболее распространенная причина снижения зрения. На долю данного заболевания приходится более 50% всех случаев нарушения зрительной функции у работоспособного населения [1]. Совместно с развитием технологий в офтальмологии растут и ожидания пациентов после лечения [2]. Поэтому хирургия катаракты преследует цель не только восстановления прозрачности оптических сред глаза, но и получения максимальной остроты зрения без средств дополнительной коррекции [2]. У 15–29% пациентов, нуждающихся в факэмульсификации (ФЭ), роговичный астигматизм составляет более 1,5 дптр, а у 3–15% — более 2,0 дптр [3]. Это требует имплантации торической интраокулярной линзы (ИОЛ) для исключения необходимости его коррекции с помощью очков, контактных линз, нередко неудобных в использовании, или проведения дополнительных хирургических вмешательств, увеличивающих риск осложнений и в ряде случаев имеющих противопоказания [4–6]. Рефракционный результат ФЭ с имплантацией ИОЛ складывается из точности предоперационной биометрии и погрешности выбранной формулы расчета. К примеру, неточность расчета силы торического компонента приводит к недостаточной или избыточной коррекции роговичного астигматизма и снижению некорригированной остроты зрения, а ошибка позиционирования оси торической ИОЛ на $1,0^\circ$ дает потерю эффективности до 3,3% [7]. В расчет закладываются данные кератометрии или кератотопографии, соответственно, его точность может зависеть от выбора того или иного прибора или карты. На сегодняшний день в офтальмологии используется большое количество биометров и кератотопографов, однако оптимизация применения результатов измерений, основанная на определенных критериях, на сегодняшний день не проведена, что повышает вероятность отклонения рефракционного результата от запланированного в послеоперационном периоде [8, 9].

ЦЕЛЬ работы — сравнить показатели силы роговицы в основных меридианах, величину роговичного астигматизма и его ось с учетом их повторяемости при трехкратной биометрии, проведенной с помощью нескольких приборов с разным принципом действия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на кафедре офтальмологии им. профессора В.В. Волкова Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. В него вошло 22 человека (24 глаза), в том числе 12 женщин и 10 мужчин, в возрасте от 34 до 81 года (в среднем 58 лет) с правильным роговичным астигматизмом от 1,89 до 8,02 дптр ($3,42 \pm 1,59$ дптр) по данным

IOL Master 500. Значения слабого меридиана варьировались от 38,93 до 45,98 дптр ($42,43 \pm 1,64$), а сильного — от 40,93 до 50,88 дптр ($45,85 \pm 1,87$). Исключались пациенты с невозможностью фиксации взгляда, с заболеваниями роговицы или проведенными ранее кераторефракционными вмешательствами. Критерием исключения было также оперативное вмешательство на глазном яблоке в анамнезе. Всем пациентам выполнена трехкратная биометрия на приборах: IOL Master 500 (IOLM500; Carl Zeiss Meditec AG, Германия), Lenstar LS 900 (LS; Haag-Streit, Швейцария), IOL Master 700 (IOLM700; Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Германия) — без алгоритма Total Keratometry, Pentacam (Oculus, Германия), Galilei G6 (Ziemer, Швейцария). IOL Master 500, Lenstar LS 900, IOL Master 700 на основании проекции на переднюю поверхность роговицы ограниченного количества точек определяют ее преломляющую силу [10, 11]. В Pentacam использован принцип фотографической регистрации оптического среза преломляющих сред глаза, разработанный в 1904 г. венским ученым Теодором Шаймпфлюгом. Основой прибора является вращающаяся шаймпфлюг-камера, с помощью которой за одно сканирование в течение 2 с можно получить до 50 изображений оптического среза, которые захватываются и хранятся на ПЗФ-матрице для дальнейшего компьютерного анализа [12]. Принцип работы Galilei G6 состоит в построении трехмерной модели структур переднего отрезка глаза с помощью метода комбинированной видеокартоскопии. Он сочетает две технологии: диска Пласидо и шаймпфлюг-камеры. В отличие от Pentacam, Galilei G6 оснащен двумя шаймпфлюг-камерами, что позволяет сократить время исследования [13].

Анализировались данные силы роговицы в основных меридианах (K_1 , K_2 , арифметическое среднее первых двух величин — K_{cp}), величина астигматизма и его ось. В шаймпфлюг-камере Pentacam для анализа выбраны карты Equivalent K-readings 65 power map в зоне зрачка (EKR_pd), 3-мм (EKR3), 4,5-мм (EKR4,5) и 6-мм (EKR6) зонах; Refractive power map (anterior surface) — в зоне зрачка (Ant_pd), 3-мм (Ant3), 4-мм (Ant4) и 6-мм (Ant6) зонах; Total corneal refractive power map — в зоне зрачка (Tot_pd), 3-мм (Tot3), 4-мм (Tot4) и 6-мм (Tot6) зонах; карта Cataract-Pre-OP (P. SimK), где анализируется зона 4,5 мм. В кератотопографе Galilei G6 для анализа выбраны карты SimK (G. SimK), Total Cornea Power IOL (G. Tot) с актуальной зоной 4 мм.

Статистический анализ данных проводился в программе Statistica 10.0. Для оценки нормальности распределения применялся критерий Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. При сравнении одной категории данных с

нормальным распределением (K_1 , K_2 , K_{cp} , астигматизм) использовался дисперсионный анализ для повторных наблюдений и t-критерий Стьюдента для связанных выборок, критерий Уилкоксона и критерий знаков. В случае, когда данные не имели нормального распределения, их анализировали с помощью критерия Краскела — Уоллиса с последующим применением U-критерия Манна — Уитни. Уровень значимости принят равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа параметров роговицы и расчета сферического и торического компонентов ИОЛ используются разные параметры кератометрии и кератотопографии. Величины K_1 и K_2 , а также их усредненная величина используются для описания роговичной поверхности и расчета сферического компонента ИОЛ. При анализе эти параметры имели нормальное распределение (тест Колмогорова — Смирнова, $p > 0,02$, критерий Шапиро — Уилка, $p > 0,05$), в связи с чем к ним применены параметрические методы статистического анализа. На рисунке 1 приведены средние значения кератометрических величин.

Дисперсионный анализ повторных измерений (ANOVA) выявил достоверную разницу ($p = 0,000$) между разными методами получения данных о силе роговицы в основных меридианах (табл. 1). Далее для выявления схожих и отличных методов и карт мы разделили их на группы по принципу одинакового математического моделирования роговичной поверхности.

В I группу вошли биометры IOLM500, IOLM700 и LS. При множественном сравнении группа не признана однородной ($p = 0,017$). LS имел достоверно большие значения кератометрии в основных меридианах в сравнении с IOLM500 ($p_{K1} = 0,039$, $p_{K2} = 0,000$, $p_{K_{cp}} = 0,000$), а также в крутом меридиане и по K_{cp} в сравнении с IOLM700 ($p_{K2} = 0,016$, $p_{K_{cp}} = 0,004$). Показатели IOLM500 и IOLM700 были схожи (все $p > 0,05$).

При рассмотрении карт кератотопографов, описывающих параметры роговицы только по ее передней поверхности (II группа), мы выделили Pentacam “Sagittal curvature

map” (передняя поверхность), Cataract-pre-OP (SimK 4,5 мм зона) и SimK в кератотопографе Galilei (4,0 мм зона). В карте Pentacam “Sagittal curvature map” также можно выбрать зоны с разным диаметром. Мы рассмотрели 3-, 4-, 6-мм зоны и зону диаметра зрачка. Для исследуемой выборки показатели кератометрии в указанных зонах статистически значимо отличались (ANOVA, $p = 0,015$). При попарном сравнении апостериорный анализ (Т-критерий для связанных выборок с равным объемом) среди данных карты Refractive power map (anterior surface) показал значимо меньшие значения только в 6-мм зоне по K_1 и K_{cp} по сравнению с зонами 3 мм и зоной зрачка и по всем K — с зоной 4 мм (для K_1 : $p_{Ant6/pd} = 0,013$, $p_{Ant3/6} = 0,028$, $p_{Ant4/6} = 0,004$; для K_2 $p_{Ant4/6} = 0,012$; для K_{cp} $p_{Ant6/pd} = 0,002$, $p_{Ant3/6} = 0,001$, $p_{Ant4/6} = 0,000$). Поэтому в дальнейшем в описываемой карте мы будем прибегать к показателям роговицы в зоне 6 мм и в зоне диаметра зрачка, как уникальной зоне для конкретного пациента. При множественном сравнении зоны 4,0–4,5 мм разных карт и приборов значения кератометрии различались только по значениям крутого меридиана ($p_{K2} = 0,004$). Карты, отображающие величины SimK в Pentacam и Galilei, не имели достоверных отличий по всем рассматриваемым величинам ($p > 0,05$) и могут быть взаимозаменяемы. Значения силы роговицы в зоне 4 мм карты Ant были достоверно ниже показателей P.SimK ($p_{K2} = 0,024$) и G.SimK ($p_{K2} = 0,009$).

В III группу сравнения вошли карты кератотопографов, в которых для получения значений учитываются характеристики как передней, так и задней поверхности роговицы. Это карты Pentacam “Equivalent K-readings Power Map” (EKR) в 3-, 4,5-, 6-мм зонах и в зоне диаметра зрачка, Total Corneal Refractive Power Map (Tot) в 3-, 4-, 6-мм зонах и в зоне диаметра зрачка, а также карта Galilei G6 “Total Cornea Power IOL” (G. Tot). Значения кератометрии между перечисленными зонами в пределах карты EKR, а также в Tot статистически значимо отличались (ANOVA, $p_{EKR} = 0,000$, $p_{Tot} = 0,000$). При парном сравнении (Т-критерий для связанных выборок с равным объемом) обнаружено равенство K_1 , K_2 и K_{cp} значений EKR 3 мм и EKR pd ($p_{K1} = 0,575$,

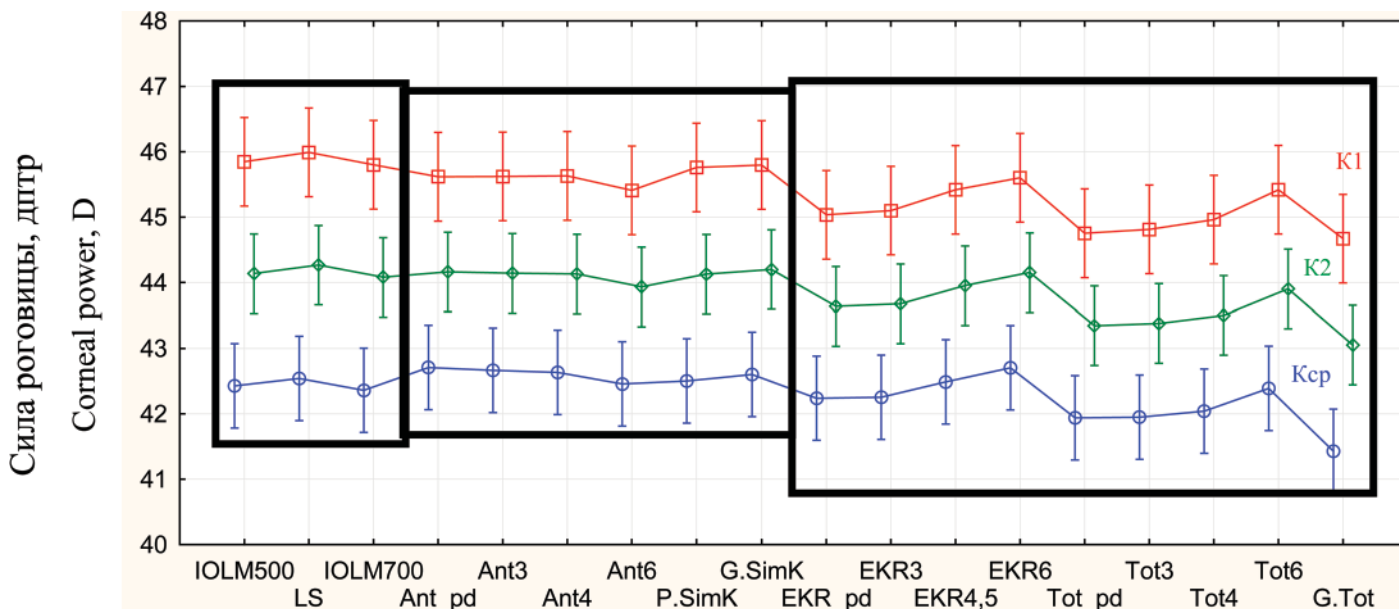


Рис. 1. Средние значения кератометрических величин K_1 , K_2 , K_{cp} . На графике представлены средние величины с 95%-ым доверительным интервалом

Fig. 1. Average values of cornea power: K_1 , K_2 , K_{ave} . The graph shows the mean values with 95% confidence interval

Таблица 1. Данные кератометрии и их вариабельность у разных приборов
Table 1. Keratometry data and their variability according to different measurement devices

Метод измерения Measurement method		Данные кератометрии Keratometry data, D M ± s; min-max			Вариабельность 3 измерений Variability of 3 measurements, D M ± s; min-max		
		K ₁ , дптр	K ₂ , дптр	K _{ср} , дптр	K ₁ , дптр	K ₂ , дптр	K _{ср} , дптр
IOLM500		42,43 ± 1,64; 38,93–45,98	45,85 ± 1,87; 40,93–50,88	44,14 ± 1,57; 39,93–47,59	0,13 ± 0,10; 0,00–0,50	0,19 ± 0,25; 0,03–1,51	0,12 ± 0,13; 0,02–0,74
LS		42,54 ± 1,60; 38,96–46,07	45,99 ± 1,92; 41,01–51,26	44,26 ± 1,58; 39,98–47,77	0,16 ± 0,24; 0,01–1,36	0,16 ± 0,11; 0,03–0,45	0,14 ± 0,13; 0,01–0,75
IOLM700		42,36 ± 1,75; 38,94–45,75	45,80 ± 1,83; 40,94–50,09	44,08 ± 1,60; 39,94–47,11	0,18 ± 0,24; 0,01–1,02	0,20 ± 0,23; 0,01–0,79	0,09 ± 0,07; 0,01–0,26
Pentacam	Ant pd	42,71 ± 1,44; 39,06–45,77	45,61 ± 1,62; 41,23–48,73	44,16 ± 1,40; 40,15–46,92	0,28 ± 0,19; 0,03–0,94	0,25 ± 0,17; 0,07–0,79	0,21 ± 0,17; 0,05–0,84
	Ant3	42,67 ± 1,43; 39,07–45,87	45,62 ± 1,60; 41,20–48,80	44,14 ± 1,40; 40,13–47,00	0,27 ± 0,24; 0,06–1,19	0,23 ± 0,17; 0,00–0,79	0,20 ± 0,20; 0,05–0,98
	Ant4	42,63 ± 1,46; 39,00–46,10	45,63 ± 1,63; 41,07–48,80	44,13 ± 1,45; 40,03–47,18	0,18 ± 0,12; 0,05–0,53	0,14 ± 0,09; 0,00–0,40	0,12 ± 0,09; 0,03–0,43
	Ant6	42,46 ± 1,54; 38,93–46,30	45,41 ± 1,58; 40,90–48,27	43,93 ± 1,45; 39,92–47,18	0,11 ± 0,12; 0,00–0,62	0,11 ± 0,10; 0,00–0,49	0,08 ± 0,07; 0,00–0,26
	P. SimK	42,51 ± 1,50; 39,00–46,03	45,78 ± 1,65; 41,10–49,53	44,13 ± 1,43; 40,05–47,13	0,16 ± 0,11; 0,00–0,49	0,15 ± 0,12; 0,00–0,46	0,12 ± 0,09; 0,02–0,36
Galilei		42,60 ± 1,70; 38,84–46,03	45,80 ± 1,68; 41,10–49,87	44,20 ± 1,53; 39,92–47,22	0,23 ± 0,30; 0,01–1,39	0,17 ± 0,11; 0,00–0,48	0,17 ± 0,14; 0,00–0,61
Pentacam	EKR pd	42,24 ± 1,71; 37,52–45,45	45,03 ± 1,70; 40,98–48,43	43,64 ± 1,55; 39,98–46,53	0,48 ± 0,32; 0,06–1,83	0,48 ± 0,30; 0,11–1,53	0,43 ± 0,31; 0,09–1,64
	EKR3	42,25 ± 1,73; 37,64–45,62	45,10 ± 1,66; 40,92–48,35	43,68 ± 1,58; 39,78–46,67	0,47 ± 0,31; 0,11–1,75	0,47 ± 0,28; 0,11–1,44	0,43 ± 0,30; 0,08–1,57
	EKR 4,5	42,49 ± 1,71; 38,32–46,73	45,42 ± 1,85; 40,74–48,66	43,95 ± 1,69; 39,66–47,70	0,33 ± 0,24; 0,03–0,93	0,32 ± 0,32; 0,01–1,57	0,30 ± 0,24; 0,01–1,03
	EKR6	42,70 ± 1,65; 39,00–47,19	45,60 ± 1,86; 40,78–48,85	44,15 ± 1,65; 39,89–48,02	0,24 ± 0,16; 0,03–0,63	0,25 ± 0,28; 0,01–1,62	0,21 ± 0,19; 0,01–0,90
	Tot pd	41,94 ± 1,49; 38,52–45,12	44,75 ± 1,58; 40,53–48,36	43,34 ± 1,38; 39,53–46,38	0,28 ± 0,16; 0,04–0,68	0,29 ± 0,22; 0,07–1,30	0,22 ± 0,17; 0,06–0,85
	Tot3	41,95 ± 1,49; 38,53–45,37	44,81 ± 1,53; 40,53–48,13	43,38 ± 1,38; 39,53–46,43	0,26 ± 0,13; 0,06–0,61	0,29 ± 0,23; 0,06–1,22	0,22 ± 0,18; 0,05–0,79
	Tot4	42,04 ± 1,56; 38,57–45,80	44,96 ± 1,65; 40,50–48,60	43,50 ± 1,51; 39,53–46,85	0,19 ± 0,11; 0,06–0,50	0,21 ± 0,24; 0,00–1,39	0,14 ± 0,12; 0,00–0,53
	Tot6	42,39 ± 1,66; 38,83–46,73	45,41 ± 1,64; 40,73–48,53	43,90 ± 1,53; 39,78–47,63	0,13 ± 0,16; 0,00–0,83	0,14 ± 0,14; 0,00–0,82	0,10 ± 0,14; 0,00–0,82
Galilei		41,43 ± 1,78; 38,25–45,66	44,67 ± 1,42; 39,97–47,08	43,05 ± 1,41; 39,11–46,37	0,26 ± 0,36; 0,02–1,71	0,21 ± 0,15; 0,02–0,50	0,21 ± 0,22; 0,03–0,99

$p_{K2} = 0,213$, $p_{K_{ср}} = 0,259$), а также Tot3 и Tot в зоне диаметра зрачка ($p_{K1} = 0,726$, $p_{K2} = 0,134$, $p_{K_{ср}} = 0,124$), поэтому в данных картах наиболее рационально в дальнейшем рассматривать только зону диаметра зрачка. При множественном сравнении EKR4,5, Tot4, G. Tot (зона 4,0–4,5 мм; ANOVA, $p_{4-4,5\text{ мм}} = 0,000$) выявлены отличия по всем показателям кератометрии ($p_{K2G.Tot/Tot4} = 0,030$, для всех прочих сравнений $p = 0,000$). При парном сравнении EKR и P. Tot по зоне диаметра зрачка значения кератометрии также отличались ($p_{K1pd} = 0,0147$; $p_{K2pd} = 0,017$; $p_{K_{ср},pd} = 0,014$; для всех прочих сравнений $p = 0,000$), а в 6-мм зоне отличия выявлены только в слабом меридиане ($p = 0,028$). Стоит отметить, что в карте EKR всегда наблюдались большие значения, а в G. Tot — меньшие. Наблюдается также тенденция к увеличению значений K от центра к периферии в картах EKR и Tot, что объясняется применением закона преломления Снеллиуса: лучи света, которые ориентированы перпендикулярно фронтальной плоскости и проходят не через центр роговицы, падают на нее под углом, что усиливает преломление (рис. 2).

В связи с достаточно высокой вариабельностью данных измерения основных параметров роговицы мы провели анализ их повторяемости при трехкратном измерении.

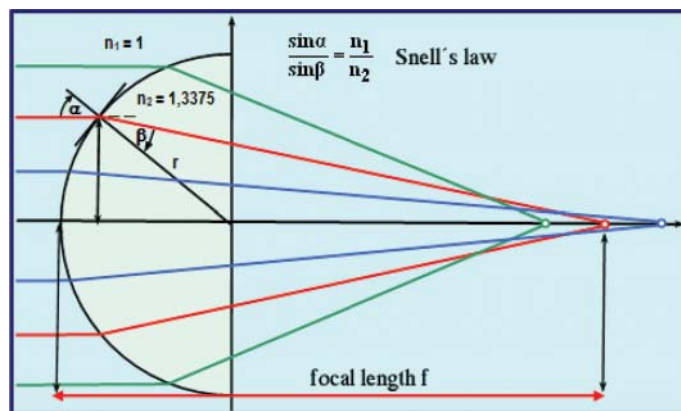


Рис. 2. Закон Снеллиуса

Fig. 2. Snell's law

За величину, характеризующую повторяемость, мы приняли стандартное отклонение. Данный параметр не имел нормального распределения (тест Колмогорова — Смирнова, $p < 0,02$, критерий Шапиро — Уилка, $p < 0,05$), в связи с чем

к нему применен непараметрический метод статистического анализа — U критерий Манна — Уитни (рис. 3).

Наиболее целесообразно было сравнивать категории равных значений, чтобы понять, какие группы данных использовать при различных анализах в дальнейшем. В конечном итоге мы выделили наиболее стабильные карты и приборы с уникальными значениями K. Наибольшей стабильностью в группе биометров (I) характеризовались IOLM500 и LS. В группе карт кератотопографов, построенных только на основании результатов измерения передней поверхности роговицы (II), это Refractive power map (anterior surface) Pentacam в зонах диаметром 4 и 6 мм, а также карта симуляционной кератометрии (P. SimK). В III группе, где сила роговицы рассчитана на основании данных как передней, так и задней поверхности, это карты Total corneal refractive power map Pentacam в зоне диаметра зрачка, 4- и 6-мм зонах, а также карта Total Keratometry Galilei.

Мы отметили следующую закономерность: чем больше была зона измерения, тем более низкая величина стандартного отклонения в ней наблюдалась, а значит, возрастала стабильность измеряемого показателя. Это может быть связано с недостаточно четкой фиксацией взгляда пациента (микродвижения глаз) во время измерения. EKR65 оказалась наименее стабильной картой, что, вероятно, связано с алгоритмом ее расчета. В 65% наименьших значений, которые выделяются для получения средних значений K, каждый раз могут попадать разные данные. Для наглядности результаты анализа K_1 , K_2 и K_{cp} сведены в таблицу 2.

Значения роговичного астигматизма используются для расчета торического компонента ИОЛ. При анализе эти параметры имели нормальное распределение (тест Колмогорова — Смирнова, $p > 0,02$ критерий Шапиро — Уилка, $p > 0,05$), в связи с чем к ним применены параметрические методы статистического анализа. На рисунке 4 приведены средние значения астигматизма.

Значения астигматизма для разных приборов или топографических карт показаны в таблице 3.

Дисперсионный анализ повторных измерений выявил достоверную разницу между разными методами получения данных о роговичной поверхности (ANOVA, $p = 0,000$). В группе биометров не выявлено достоверных отличий описываемого параметра (ANOVA, $p = 0,948$), а также наблюдалась одинаковая стабильность при трехкратном измерении ($p_{IOLM500/LS} = 0,269$, $p_{IOLM700/LS} = 0,932$, $p_{IOLM500/IOLM700} = 0,420$). В группе II карт кератотопографов выявлены достоверные отличия величины астигматизма (ANOVA, $p = 0,018$). При парном сравнении астигматизм в разных зонах карты Pentacam “Sagittal curvature map” был одинаковым ($p > 0,05$), а значения карты G. SimK статистически значимо отличались только от Ant6 ($p = 0,016$). P. SimK по значениям астигматизма отличалась от Ant3 ($p = 0,043$), Ant4 ($p = 0,003$) и Ant6 ($p = 0,001$) и была равна G. SimK и Ant_pd ($p > 0,05$). Наиболее стабильной в карте P. Ant была 6-мм зона ($p_{pd/6} = 0,002$, $p_{3/6} = 0,016$), однако зафиксированные в ней параметры статистически значимо не отличались по показателю стандартного отклонения от Ant4 ($p > 0,05$). Карты симуляционной кератометрии P. SimK и G. SimK имели одинаковую вариабельность измерений ($p = 0,842$), а карта Ant_pd оказалась менее стабильной, чем P. SimK ($p = 0,038$). Среди карт III группы величина астигматизма не различалась (ANOVA, $p = 0,699$), а наиболее стабильной была карта Tot в 6-мм зоне ($p_{EKR4.5/Tot6} = 0,030$, $p_{EKR3/Tot6} = 0,000$, $p_{EKR_pd/Tot6} = 0,000$, $p_{Tot4/Tot6} = 0,038$, $p_{Tot3/Tot6} = 0,004$, $p_{Tot_pd/Tot6} = 0,001$). Кроме того, значения астигматизма карт, учитывающих только переднюю поверхность, и карт, учитывающих переднюю и заднюю поверхность роговицы, статистически значимо не различались (ANOVA, $p = 0,997$). Распределение стандартных отклонений представлено на рисунке 5.

Значения оси роговичного астигматизма используются для позиционирования торического компонента ИОЛ. Анализ этого параметра не выявил нормального распределения (тест Колмогорова — Смирнова, $p < 0,2$, критерий Шапиро — Уилка, $p < 0,05$), в связи с чем были применены непараметрические методы статистической обработки.

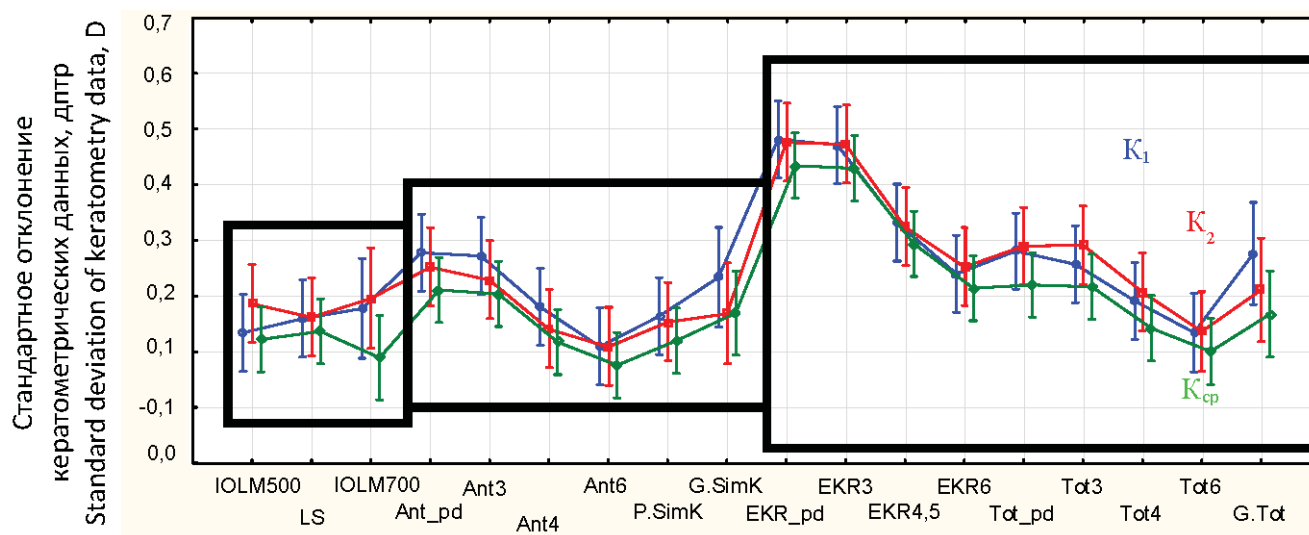


Рис. 3. Стандартное отклонение трехкратно измеренных величин K_1 , K_2 , K_{cp} . На графике представлены средние величины с 95%-ным доверительным интервалом

Fig. 3. Standard deviation of triple measured values K_1 , K_2 , K_{ave} . The graph shows the mean values with 95% confidence interval

Таблица 2. Сравнение карт и приборов по величинам K_1 , K_2 и K_{cp} , а также стабильности измерений
Table 2. Comparison of K_1 , K_2 and K_{ave} values and their stability in different maps and measurement devices

	IOLM 500	LS	IOLM 700	Ant pd	Ant 3	Ant4	Ant 6	P. SimK	G. SimK	EKR pd	EKR 3	EKR 4,5	EKR 6	Tot pd	Tot 3	Tot 4	Tot 6	G. Tot
IOLM 500			=	K_1	K_1	K_1	K_2 K_{cp}	=	← K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2	← K_1 K_{cp}				K_2	
LS			K_2 K_{cp}	K_2	K_2	K_2	K_2 K_{cp}	=	=	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2	← K_1				K_2 K_{cp}	
IOLM 700	=	K_2 K_{cp}		K_1	K_1	K_1	K_2	=	K_1	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2	← K_1 K_{cp}				K_2	
Ant_pd	K_1	K_2	K_1		=	↑ все	K_1 K_{cp}	K_1	↑ K_2			=	=				K_1 K_{cp}	
Ant3	K_1	K_2	K_1	=		↑ все	K_1 K_{cp}	K_1	=			=	=				K_1 K_{cp}	
Ant4	K_1	K_2	K_1	← все	← все			K_1 K_2	K_2			← все	← K_2 K_{cp}					
Ant6	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2	K_1 K_{cp}	K_1 K_{cp}			K_2 K_{cp}		K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	← все	← все				=	
P.SimK	=	=	=	K_1	K_1	K_1 K_2	K_2 K_{cp}		=	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2	← все				K_2 K_{cp}	
G.SimK	↑ K_{cp}	=	K_1	← K_2	=	K_2		=		K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2	=					
EKR_pd	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}				K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}		=					↑ все	K_2 K_{cp}	
EKR3	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}				K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	=						↑ все	K_2 K_{cp}	
EKR4,5	K_2	K_2	K_2	=	=	↑ все	↑ все	K_2	K_2								↑ все	
EKR6	↑ K_1 K_{cp}	↑ K_1	↑ K_1 K_{cp}	=	=	↑ K_2 K_{cp}	↑ все	↑ все	=								K_1	
Tot_pd															=	K_{cp}		K_2
Tot3															=	K_{cp}		K_2
Tot4										← все	← все			K_{cp}	K_1 K_{cp}			
Tot6	K_2	K_2 K_{cp}	K_2	K_1 K_{cp}	K_1 K_{cp}		=	K_2 K_{cp}		K_2 K_{cp}	K_2 K_{cp}	← все	K_1					
G. Tot														K_2	K_2			

Примечание. Желтые ячейки — имеется отличие по одному или 2 параметрам, в ячейке указаны величины с достоверным отличием. Ячейки зеленого цвета показывают равенство всех рассматриваемых параметров. Указаны величины с разной вариабельностью. Знак «=» указывает на отсутствие статистически значимых отличий в значениях стандартного отклонения по всем трем категориям кератометрии. Слово «все» означает статистически значимое неравенство в значениях среднеквадратичного отклонения по всем категориям кератометрии. Ячейки красного цвета обозначают неравенство всех трех значений кератометрии. Стрелками указан наиболее стабильный прибор (карта прибора).

Note. Yellow cells — there is a difference in 1 or 2 parameters, the cell contains values with a significant difference. Green cells show the equality of all considered parameters. Values with different variability are indicated. The “=” sign indicates the absence of statistically significant differences in the standard deviation values for all three categories of keratometry. The word “all” means a statistically significant disparity in standard deviation values across all keratometry categories. Red cells indicate the inequality of all three keratometry values. The arrows indicate the most stable device (device map).

Были проведены все возможные парные сравнения по критерию Вилкоксона и критерию знаков. Обнаружены статистически значимые отличия между IOLM500 и показателями некоторых карт и приборов (табл. 4). Такие результаты могут быть теоретически обоснованы: данный биометр анализирует измерения только в 6 точках, что значительно меньше зоны анализа всех прочих приборов, следовательно, точность определения оси астигматизма IOLM500 может быть ниже. Обнаружены также и другие статистически значимые отличия, вероятно, не имеющие особой закономерности. Однако стоит отметить, что тенденция к увеличению стабильности измерений по мере увеличения диаметра зоны анализа сохранялась так же, как и при кератометрии. Значе-

ния достоверности различий и абсолютные величины приведены в таблице 4. Вариабельность измерений представлена на рисунке 6. Есть основания в дальнейшем для проверки точности расчета оси позиционирования торической ИОЛ рассматривать карты и приборы с достоверно отличающимися значениями осей роговичного астигматизма при максимальной стабильности измерений — IOLM500, LS, Ant4, Ant6, Tot4, EKR4,5 и EKR6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для определения силы роговицы, роговичного астигматизма и его осей можно использовать множество разных приборов и топографических карт. Однако сравнение аб-

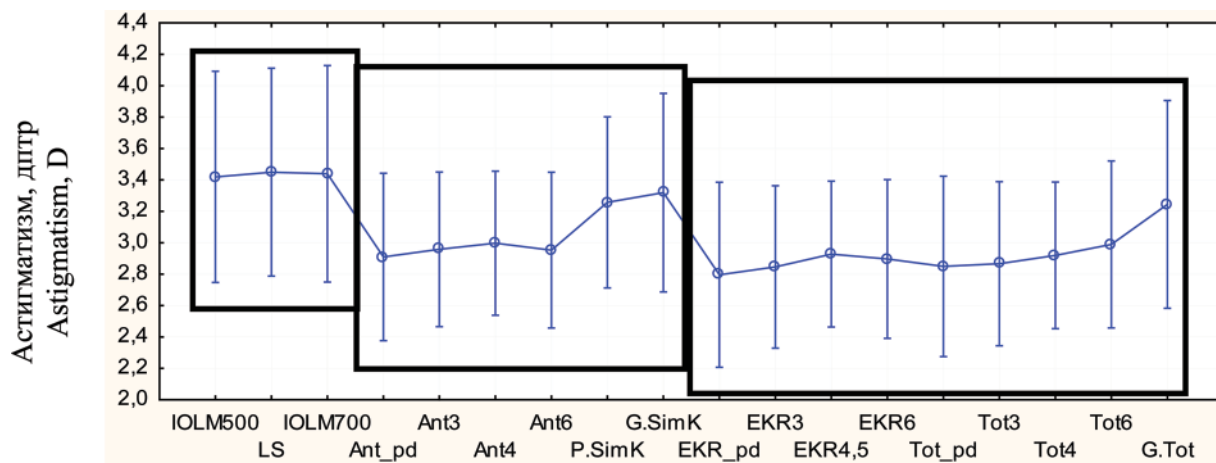


Рис. 4. Средние значения астигматизма. На графике представлены средние величины с 95%-ным доверительным интервалом
Fig. 4. Average values of astigmatism. The graph shows the mean values with 95% confidence interval.

Таблица 3. Данные астигматизма и их вариабельность у разных приборов
Table 3. Astigmatism data and variability in different devices

Метод измерения Measurement device		Величина астигматизма, дптр Astigmatism, D M ± s; min-max	Вариабельность 3 измерений Variability of 3 measurements M ± s; min-max
IOLM500		3,42 ± 1,59; 1,89–8,02	0,27 ± 0,27; 0,04–1,55
LS		3,45 ± 1,57; 1,98–7,81	0,22 ± 0,22; 0,02–1,23
IOLM700		3,44 ± 1,63; 1,88–8,15	0,33 ± 0,45; 0,01–1,80
Pentacam	Ant_pd	2,91 ± 1,26; 0,63–5,74	0,28 ± 0,20; 0,04–0,87
	Ant3	2,96 ± 1,16; 0,90–5,13	0,25 ± 0,19; 0,06–0,85
	Ant4	3,00 ± 1,09; 1,53–5,37	0,21 ± 0,14; 0,00–0,55
	Ant6	2,95 ± 1,17; 1,70–6,45	0,16 ± 0,16; 0,00–0,74
	P. SimK	3,26 ± 1,29; 1,80–6,55	0,20 ± 0,15; 0,05–0,76
Galilei	G. SimK	3,32 ± 1,45; 1,63–6,71	0,20 ± 0,16; 0,01–0,63
Pentacam	EKR_pd	2,79 ± 1,39; 0,45–6,68	0,34 ± 0,24; 0,05–1,10
	EKR3	2,84 ± 1,22; 0,84–5,85	0,31 ± 0,23; 0,05–0,95
	EKR4,5	2,93 ± 1,10; 1,28–5,68	0,26 ± 0,31; 0,03–1,83
	EKR6	2,90 ± 1,20; 1,45–6,53	0,21 ± 0,28; 0,03–1,54
	Tot_pd	2,85 ± 1,37; 0,56–6,61	0,32 ± 0,25; 0,02–1,05
	Tot3	2,87 ± 1,24; 0,85–5,77	0,29 ± 0,22; 0,05–0,96
	Tot4	2,92 ± 1,10; 1,22–5,37	0,26 ± 0,31; 0,00–1,80
	Tot6	2,99 ± 1,23; 1,55–6,80	0,16 ± 0,14; 0,00–0,64
Galilei	G. Tot	3,24 ± 1,56; 1,42–7,01	0,27 ± 0,24; 0,01–1,07

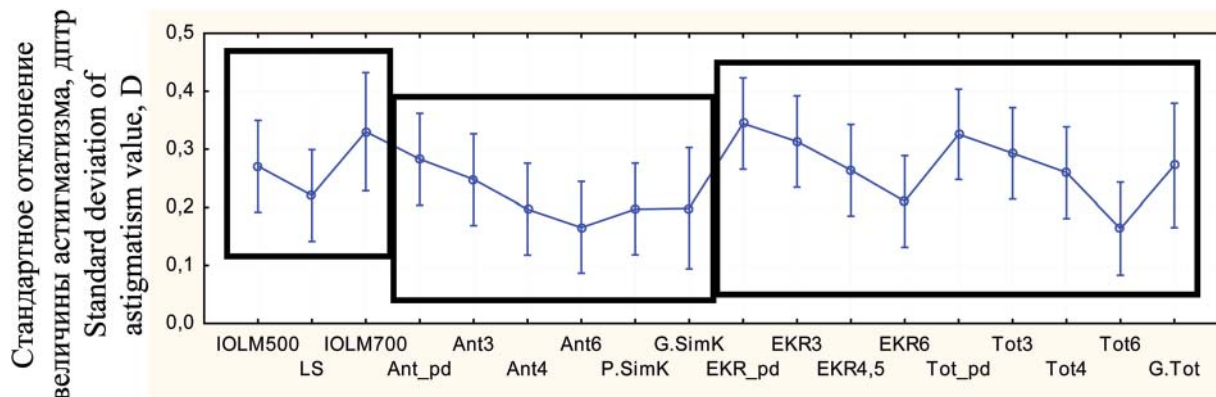


Рис. 5. Стабильность определения роговичного астигматизма по данным разных приборов и карт. На графике представлены средние величины с 95%-ным доверительным интервалом
Fig. 5. Corneal astigmatism stability according to different measurement devices and maps. The graph shows the mean values with a 95% confidence interval

Таблица 4. Некоторые попарные сравнения значений оси астигматизма
Table 4. Some pairwise comparisons of astigmatism axis values

Сравниваемые приборы Compared devices	Критерий Вилкоксона, значение p Wilcoxon test, p value	Критерий знаков, значение p Sign test, p value	Среднее значение оси астигматизма в градусах Average value of the astigmatism axis, degree	
			1 прибора 1 device	2 прибора 2 device
IOLM500 & LS	0,000	0,001	106,57 ± 76,11	108,62 ± 76,16
IOLM500 & EKR3	0,015	0,025	106,57 ± 76,11	108,61 ± 74,62
IOLM500 & EKR_pd	0,030	0,066	106,57 ± 76,11	108,98 ± 74,90
IOLM500 & Ant3	0,034	0,153	106,57 ± 76,11	108,48 ± 74,72
IOLM500 & Ant_pd	0,026	0,025	106,57 ± 76,11	108,72 ± 74,95
IOLM500 & Tot3	0,010	0,025	106,57 ± 76,11	108,67 ± 74,74
IOLM500 & IOLM700	0,144	0,037	106,57 ± 76,11	107,32 ± 75,46
LS & EKR6	0,056	0,025	108,61 ± 76,16	107,05 ± 73,96
LS & G.Tot	0,047	0,307	108,61 ± 76,16	107,45 ± 73,295
EKR4,5 & EKR6	0,037	0,540	107,89 ± 74,13	107,05 ± 73,96
Ant4 & EKR6	0,046	0,540	108,17 ± 74,49	107,05 ± 73,96
Ant4 & Ant6	0,018	0,307	108,17 ± 74,49	107,06 ± 74,23

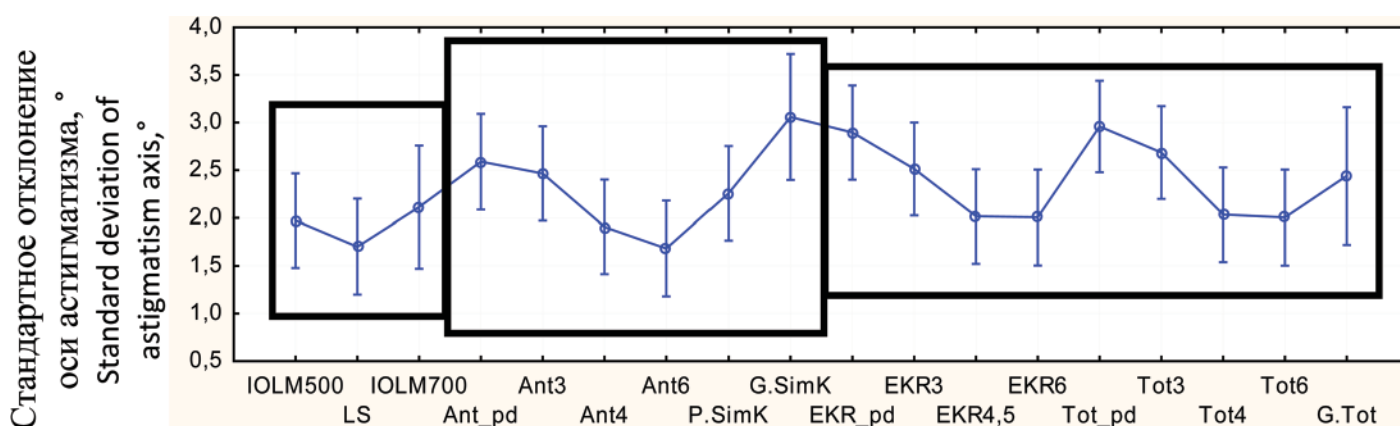


Рис. 6. Стабильность определения оси роговичного астигматизма по данным разных приборов и карт астигматизма. На графике представлены средние величины с 95%-ным доверительным интервалом

Fig. 6. Axis of corneal astigmatism stability according to different measurement devices and maps. The graph shows the mean values with 95 % confidence interval

солютных величин этих параметров указывает на то, что методики их измерения не являются взаимозаменяемыми. Показаны достоверные отличия зон разного диаметра в пределах одной карты и при сравнении зон одинакового размера на разных приборах и картах. Наибольшие значения кератометрии характерны для методов и карт, рассчитывающих их только по передней поверхности роговицы, меньшие значения получены при использовании в анализе и задней поверхности роговицы. Закономерным также был рост силы роговицы при увеличении диаметра измеряемой зоны в картах, использующих закон Снеллиуса. То же самое происходит и со стабильностью показателей при многократных замерах, однако эта особенность встречалась во всех картах. Большую стабильность измеряемой силы роговицы в основных меридианах показали биометры, предназначенные для расчета силы ИОЛ. Наибольшие значения величины роговичного астигматизма показали биометры, а наименьшие — карты EKR, Tot и Ant, значения которых статистически значимо не различались. При этом стабильность показателей также заметно снижалась при уменьшении диаметра анализируемой зоны. При определении оси астигматизма наиболее отличным от остальных оказался IOLM500, продемонстрировавший при этом большую стабильность замеров. При

анализе этого показателя есть основания обращать внимание также на данные зон со средним и большим диаметром. Рассмотренные параметры могут значительно изменить расчет сферического и торического компонентов ИОЛ, а также влиять на ось ее позиционирования. С этой точки зрения при подобных расчетах важно оценить точность возможных значений карт и приборов, которые достоверно различались в представленном анализе.

Литература/References

1. World Health Organization. Blindness and vision impairment prevention. Available at: <https://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index1.html>
2. Kim T.I., Alió Del Barrio J.L., Wilkins M., Cochener B., Ang M. Refractive surgery. Lancet. 2019; 393 (10185): 2085–98. doi: 10.1016/S0140-6736(18)33209-4
3. Xiao X.W., Hao J., Zhang H., Tian F. Optical quality of toric intraocular lens implantation in cataract surgery. Int. J. Ophthalmol. 2015; 8 (1): 66–71. doi:10.3980/j.issn.2222-3959.2015.01.12
4. Балашевич Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации. Санкт-Петербург: Человек; 2009. [Balashevich L.I. Surgical correction of refractive errors and accommodation. St. Petersburg: Chelovek; 2009 (in Russian)].
5. Chen X., Zhao M., Shi Y., et al. Visual outcomes and optical quality after implantation of a diffractive multifocal toric intraocular lens. Indian J. Ophthalmol. 2016; 64 (4): 285–91. doi: 10.4103/0301-4738.182939

6. Даниличев В.Ф., Куликов А.Н. Современная офтальмология. Санкт-Петербург: Питер; 2021. *Danilichev V.F., Kulikov A.N. Modern ophthalmology. St. Petersburg: Peter; 2021 (in Russian)*].
7. Xue K., Jolly J.K., Mall S.P., et al. Real-world refractive outcomes of toric intraocular lens implantation in a United Kingdom National Health Service setting. *BMC Ophthalmol.* 2018; 18 (1): 30. doi: 10.1186/s12886-018-0692-7
8. Abulafia A., Barrett G.D., Kleinmann G., et al. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. *J. Cataract. Refract. Surg.* 2015; 41 (5): 936–44. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.08.036
9. Куликов А.Н., Кокарева Е.В., Котова Н.А. Сравнение результатов биометрии глаза при использовании различных приборов. Тихоокеанский медицинский журнал. 2017; 2: 53–4. [*Kulikov A.N., Kokareva E.V., Kotova N.A. Comparison of the results of the eye biometrics using different instruments. Pacific Medical Journal.* 2017; (2): 53–4 (in Russian)]. <https://doi.org/10.17238/PmJ1609-1175.2017.2.53-55>
10. Ortiz A., Galvis V., Tello A., et al. Comparison of three optical biometers: IOLMaster 500, Lenstar LS 900 and Aladdin. *Int. Ophthalmol.* 2019; 39 (8): 1809–18. doi: 10.1007/s10792-018-1006-z
11. Cho Y.J., Lim T.H., Choi K.Y., Cho B.J. Comparison of ocular biometry using new Swept-source Optical Coherence Tomography-based optical biometer with other devices. *Korean J. Ophthalmol.* 2018; 32 (4): 257–64. doi: 10.3341/kjo.2017.0091
12. Oculus. The measurement principle. Available at: <https://www.pentacam.com/int/opticianoptometrist-without-pentacamr/technology/measurement-principle-licences-network.html>
13. Ziernergroup. Key Features. Available at: <https://www.ziernergroup.com/en/products/galilei/>

Вклад авторов в работу: А.Н. Куликов — концепция исследования, анализ полученных данных; Е.В. Даниленко — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, диагностические исследования, написание текста; Е.Ю. Кожевников — сбор и обработка материалов, диагностические исследования, написание текста, обзор литературы.

Authors' contribution: A.N. Kulikov — concept of the study, data analysis, E.V. Danilenko — concept and design of the study, data analysis, diagnostic examinations, writing of the article, E.Yu. Kozhevnikov — data collection and processing, diagnostic examinations, writing of the article, literature review.

Поступила: 22.02.2022. Переработана: 12.03.2022. Принята к печати: 14.03.2022
Originally received: 22.02.2022. Final revision: 12.03.2022. Accepted: 14.03.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, ул. Академика Лебедева, д. 6, Санкт-Петербург, 194044, Россия

Алексей Николаевич Куликов — д-р мед. наук, доцент, начальник кафедры офтальмологии им. В.В. Волкова

Екатерина Владимировна Даниленко — канд. мед. наук, начальник отделения хирургии катаракты клиники офтальмологии

Евгений Юрьевич Кожевников — слушатель ординаторы кафедры офтальмологии им. В.В. Волкова

Для контактов: Евгений Юрьевич Кожевников,
 kozh.evgeniy@yandex.ru

S.M. Kirov Military Medical Academy, 6, Academician Lebedev St., St. Petersburg, 194044, Russia

Aleksey N. Kulikov — Dr. of Med. Sci., head of ophthalmology chair named after professor V.V. Volkov

Ekaterina V. Danilenko — Cand. of Med. Sci., head of cataract surgery department at ophthalmology chair

Evgeniy Yu. Kozhevnikov — resident, ophthalmology chair named after professor V.V. Volkov

Contact information: Evgeniy Yu. Kozhevnikov,
 kozh.evgeniy@yandex.ru