

ОФТАЛЬМОЛОГИЯ OPHTHALMOLOGY

РЕФРАКЦИОННЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА С ИОЛ СЛОЖНОГО ДИЗАЙНА

Розанова О.И.^{1,2},
Цыбжитова Б.А.¹

¹ Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ
«МНТК «Микрохирургия глаза»
им. акад. С.Н. Федорова» Министерства
здравоохранения Российской
Федерации (664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, д. 337, Россия)

² ИГМАПО – филиал ФГБОУ ДПО
«Российская медицинская академия
непрерывного профессионального
образования» Министерства
здравоохранения Российской
Федерации (664049, г. Иркутск,
м-н Юбилейный, д. 100, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Розанова Ольга Ивановна
e-mail: nauka.mntk.irkutsk@mail.ru,
olgrozanova@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Объективная оценка послеоперационной рефракции глаза у пациентов с имплантированными интраокулярными линзами (ИОЛ), имеющими зоны аддидации или модифицированный профиль волнового фронта, обычными методами затруднена.

Цель исследования. Проанализировать диагностическую информативность метода объективного рефракционного топографического картирования глаза у пациентов с ИОЛ сложного оптического дизайна.

Материал и методы. Были обследованы 198 пациентов (средний возраст $66,4 \pm 7,8$ лет) с различными типами ИОЛ: монофокальными, мультифокальными, с расширенным диапазоном фокуса. Критерии включения в исследование: отсутствие грубой патологии роговицы, стекловидного тела, сетчатки и зрительного нерва, длительность послеоперационного периода наблюдения 6 месяцев и более. Критерии исключения: острота зрения без коррекции вдаль 0,7 и ниже, фиброз и складки задней капсулы хрусталика. После оценки на соответствие критериям протокола и случайного выбора одного глаза у каждого участника для анализа было отобрано 192 глаза. Латеральность (правый или левый глаз) определялась методом простой рандомизации. Всем больным проведено всестороннее офтальмологическое обследование, включавшее объективный осмотр, визометрию, тонометрию, вычисление глубины фокуса (ГФ) по кривой дефокусировки (диапазон диоптрий, при котором острота зрения сохраняется не ниже 0,5), aberromетрию волнового фронта (Peramis, SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Германия) с построением рефракционных топографических карт (РТК) и вычислением индекса рефракционной неоднородности (ИРН).

Результаты. Построение РТК показало распределение рефракционных показателей по всей площади сканирования, наличие отдельных зон аддидации на глазах с мультифокальными ИОЛ и ИОЛ с расширенным диапазоном фокуса. Установлены достоверные различия в значениях ИРН между группами ($H(7) = 46,24$, $p = 0,0001$) и различный уровень его согласованности с ГФ.

Заключение. Метод пирамидально сенсорной aberromетрии с рефракционным топографическим картированием является высокоинформативным направлением в объективной оценке оптической системы глаза у пациентов с ИОЛ сложного дизайна, и может стать основой для развития персонализированной хирургии катаракты.

Ключевые слова: хирургия катаракты, интраокулярные линзы для коррекции пресбиопии, мультифокальные линзы, линзы с расширенной глубиной фокуса, aberromетрия глаза, качество оптической системы глаза

Статья поступила: 19.02.2026
Статья принята: 09.09.2026
Статья опубликована: 09.10.2026

Для цитирования: Розанова О.И., Цыбжитова Б.А. Рефракционные топографические карты в оценке качества оптической системы глаза с ИОЛ сложного дизайна. Acta biomedica scientifica. 2026; 11(4): 157-165. doi: 10.29413/ABS.2026-11.4.16

REFRACTIVE TOPOGRAPHIC MAPS IN ASSESSING THE QUALITY OF THE OCULAR OPTICAL SYSTEM WITH COMPLEX-DESIGN IOLs

**Rozanova O.I.^{1,2},
Tsybzhitova B.A.¹**

¹ Irkutsk Branch of S. Fyodorov "Eye Microsurgery" Federal State Institution (Lermontov str., 337, Irkutsk 664033, Russian Federation)

² Irkutsk state medical academy of postgraduate education – branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation (Yubileinii dstr., 100, Irkutsk 664049, Russian Federation)

Corresponding author:

Olga I. Rozanova

e-mail: nauka.mntk.irkutsk@mail.ru,
olgrozanova@gmail.com

ABSTRACT

Objective assessment of postoperative eye refraction in patients with implanted intra-ocular lenses (IOLs) featuring addition zones or a modified wavefront profile is challenging using conventional methods.

Aim. To analyze the diagnostic value of the method of objective refractive topographic mapping of the eye in patients with IOLs of complex optical design.

Material and Methods. A total of 198 patients (mean age 66.4 ± 7.8 years) with various types of IOLs – monofocal, multifocal, and extended depth of focus lenses were initially screened. Inclusion criteria: the absence of pathology of the cornea, vitreous, retina, or optic nerve; a postoperative follow-up period of six months or more. Exclusion criteria: uncorrected distance visual acuity of 0.7 or worse, opacity or folds of the posterior lens capsule. After applying inclusion and exclusion criteria and performing random eye selection (right or left) for eligible participants, 192 eyes were included in the final analysis. One eye per subject was chosen at random to avoid inter-eye correlation. All patients underwent a comprehensive ophthalmological examination, including objective assessment, visometry, tonometry, depth of focus (DoF) calculation based on the defocus curve (the diopter range within which visual acuity remains no lower than 0.5), wavefront aberrometry (Peramis, SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Germany) with refractive topographic map (RTM) construction and calculation of the refractive inhomogeneity index.

Results. The construction of RTMs revealed the distribution of refractive indicators across the entire scanning area and the presence of distinct addition zones in eyes with multifocal IOLs and extended depth of focus IOLs. Significant differences were found in the refractive inhomogeneity index values between groups ($H(7) = 46.24$, $p = 0.0001$) and varying levels of its consistency with DoF.

Conclusion. The method of pyramidal sensor-based aberrometry with refractive topographic mapping represents a highly informative approach for the objective assessment of the eye's optical system in patients with complex-design IOLs and could serve as a foundation for the development of personalized cataract surgery.

Keywords: cataract surgery, presbyopia-correcting intraocular lenses, multifocal lenses, extended depth of focus lenses, ocular aberrometry, quality of the ocular optical system

Received: 19.02.2026
Accepted: 09.09.2026
Published: 09.10.2026

For citation: Rozanova O.I., Tsybzhitova B.A. Refractive topographic maps in assessing the quality of the ocular optical system with complex-design IOLs. *Acta biomeica scientifica*. 2026; 11(4): 157-165. doi: 10.29413/ABS.2026-11.4.16

ВВЕДЕНИЕ

Интраокулярные линзы (ИОЛ) играют решающую роль в восстановлении зрения миллионов людей при выполнении хирургического вмешательства по поводу катаракты, в ходе которого естественный хрусталик меняется на искусственный. В настоящее время хирургия хрусталика является методом реконструкции оптической системы глаза, с одновременным решением вопросов коррекции аметропии, роговичного астигматизма, утраченной аккомодации. Оптический дизайн ИОЛ — это постоянно развивающаяся область, в которой используются передовые оптические методы для оптимизации использования света и улучшения зрительного восприятия. Современные виды ИОЛ сложного оптического дизайна, так называемые ИОЛ премиум класса, могут формировать несколько фокусов (вдали, на среднем расстоянии, вблизи), либо создавать изображение с пролонгированным фокусом. Наблюдается постоянное усложнение оптического дизайна: мультифокальные ИОЛ перешли от бифокальных к трифокальным конструкциям, от рефракционных к дифракционным, технология расширенного диапазона фокуса (или EDOF от англ. «enlarged depth of focus») решается за счет особого рефракционного профиля и недифракционной модификации волнового фронта, либо за счет дифракции [1, 2].

В настоящее время перед офтальмохирургом стоит задача не только выбора типа ИОЛ в зависимости от зрительных потребностей пациента и имеющихся анатомических параметров переднего отрезка глаза, но и точного расчета оптической силы ИОЛ с учетом всех специфических параметров её оптического дизайна для достижения целевого послеоперационного рефракционного результата. Расчетный и реальный клинический результаты полученной рефракции могут различаться в зависимости от анатомических параметров глаза, эффективной позиции ИОЛ, ее оптической силы, дизайна, материала, производителя, техники имплантации и множества других факторов [3–6]. Независимо от модели ИОЛ всегда есть доля пациентов, неудовлетворенных полученным зрением, что связано с проблемами нейроадаптации пациента к зрению с выбранным типом ИОЛ или с рефракционным результатом [7–10].

Объективная оценка послеоперационной рефракции глаза у пациентов с ИОЛ, имеющими зоны адаптации или модифицированный профиль волнового фронта, обычными методами затруднена. У пациентов с мультифокальными ИОЛ и ИОЛ с расширенным диапазоном фокуса результаты авторефрактометрии и инфракрасной aberрометрии показывают сдвиг в минусовую сторону в сферозквиваленте около 1,0–1,5 дптр [11], что может вести к неправильной интерпретации вплоть до назначения неадекватной очковой коррекции [12]. Послеоперационная рефракционная ошибка при имплантации мультифокальных ИОЛ и ИОЛ с расширенным диапазоном фокуса может приводить к неудовлетворенности полученным зрением. Так, при

анализе послеоперационной рефракции 17 000 глаз с мультифокальными ИОЛ, было выявлено, что эметропия была достигнута только в 55 % случаев из 100 % рассчитанных на эметропию [13]. Учитывая, что в расчет оптической силы ИОЛ берется целевая рефракция для дали, объективная диагностика достигнутой послеоперационной рефракции избирательно в зоне для дали на глазах с имплантированной ИОЛ с дальне-доминантной комбинированной конструкцией может стать основой для более точного прогнозирования результата хирургии катаракты и достижения более высоких зрительных функций. Информация о полученных послеоперационных ошибках рефракции у пациентов, которым была имплантирована конкретная ИОЛ, может повлиять на рефракционный результат будущих пациентов и склонить врача к использованию этой информации для корректировки константы формулы или использования других формул расчета ИОЛ [3].

С учетом данных фактов, актуальность разработки и внедрения в клиническую практику объективного метода оценки рефракции глаза у пациентов, которым были имплантированы ИОЛ сложного дизайна не вызывает сомнений. Ранее было показано, что построение рефракционных топографических карт (РТК) при выполнении пирамидально сенсорной aberрометрии дает возможность оценивать рефракционные ошибки избирательно на уровне интраокулярных структур, что является методом кастомизированной диагностики пациентов с артефакцией [14]. РТК могут стать инструментом для детализации всех рефракционных погрешностей у пациентов с имплантированными ИОЛ сложного оптического дизайна.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проанализировать диагностическую информативность метода объективного рефракционного топографического картирования глаза у пациентов с ИОЛ сложного оптического дизайна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Были обследованы 198 пациентов (средний возраст $66,4 \pm 7,8$ лет), прооперированных в Иркутском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России по поводу катаракты методом факэмульсификации с имплантацией различных моделей ИОЛ: Tecnis Eyhance ICB00, Johnson & Johnson; Acrysof IQ PanOptix TFNT, Alcon; M-flex 630 F, Rayner; Lentis LS-313 MF-15, Teleon Surgical BV; TECNIS Symphony ZXR00, Johnson & Johnson; Acrysof IQ Vivify DFT015, Alcon; LuxSmart, Baush&Lomb; Tecnis ZCB00, Johnson & Johnson. **Критерии включения в исследование:** отсутствие грубой патологии роговицы, стекловидного тела, сетчатки и зрительного нерва, длительность послеоперационного периода наблюдения 6 месяцев и более. **Критерии исключения:** острота

зрения без коррекции вдаль 0,7 и ниже, фиброз и складки задней капсулы хрусталика. После оценки на соответствие критериям протокола и случайного выбора одного глаза у каждого участника для анализа было отобрано 192 глаза. Латеральность (правый или левый глаз) определялась методом простой рандомизации.

Исследование соответствовало принципам Хельсинкской декларации, одобрено Локальным этическим комитетом (протокол № 13 от 23.12.2022 г.), информированное добровольное согласие получено от всех обследуемых. Всем больным проведено всестороннее офтальмологическое обследование, включающее объективный осмотр, визометрию, тонометрию, вычисление глубины фокуса (ГФ) по кривой дефокусировки (диапазон диоптрий, при котором острота зрения сохраняется не ниже 0,5), абберометрию волнового фронта с построением рефракционных топографических карт (РТК) (рис. 1.) и вычислением индекса рефракционной неоднородности (ИРН). На рисунке 1 представлен протокол топ-абберометрии на приборе Peramis (SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Германия). Обследование проводилось без расширения зрачка и после однократной инстилляцией комбинированного препарата Фенилэфрина 5 % и Тропирамида 0,8 % (Мидримакс, Sentiss, Индия). Величина ИРН соответствовала диапазону между минимальным и максимальным значением рефракции в центральной оптической зоне диаметром 3,0 мм, установленной с помощью активного передвижения джойстика и шкалы диоптрийности. Для каждого глаза сделаны независимые заключения исследователей, среднее значение диапазона разброса данных принято за ИРН.

Дизайн работы представлял собой последовательное сравнительное исследование серии случаев. Статистический анализ проведён с применением компьютерной программы Statistica 10.0. Для оценки нормальности данных использовался критерий Шапиро – Уилка. Количественные переменные с нормальным

распределением представлены как среднее $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$), данные с отклонением от нормального распределения представлены как медиана и межквартильный размах ($Me, Q1-Q3$), где $Q1$ – первый квартиль (25-й процентиль), $Q3$ – третий квартиль (75-й процентиль). Межгрупповое сравнение проведено с применением критерия Краскелла – Уоллиса. Выполнен корреляционный анализ по Спирмену. Уровень статистической значимости установлен на $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У пациентов во всех группах установлены высокие показатели остроты зрения вдаль как без коррекции (НКОЗ), так и с коррекцией (МКОЗ). Статистический анализ с использованием критерия Краскелла – Уоллиса не выявил достоверных различий в данных показателях. Это свидетельствует о том, что у всех пациентов, вне зависимости от типа имплантированной ИОЛ, достигнут высокий потенциал разрешающей способности глаза вдаль.

Параметр ГФ продемонстрировал выраженные различия между группами ($H(7) = 55,13, p = 0,0001$). Как и ожидалось, наибольшая ГФ была зафиксирована у пациентов с трифокальными дифракционными ИОЛ (табл. 1), что соответствует их оптическому принципу формирования нескольких дискретных фокусов. Медианное значение ГФ у пациентов с ИОЛ Acrysof IQ PanOptix TFNT составило 3,5 дптр. Несколько меньшие значения ГФ (3,0 дптр) установлены у пациентов с бифокальными рефракционными ИОЛ. Группы пациентов с увеличенным диапазоном фокуса занимают промежуточное положение по уровню ГФ (2,5–3,0 дптр), отличаясь от показателей у пациентов с мультифокальными дифракционными и с монофокальными ИОЛ. Монофокальные ИОЛ с добавочной технологией

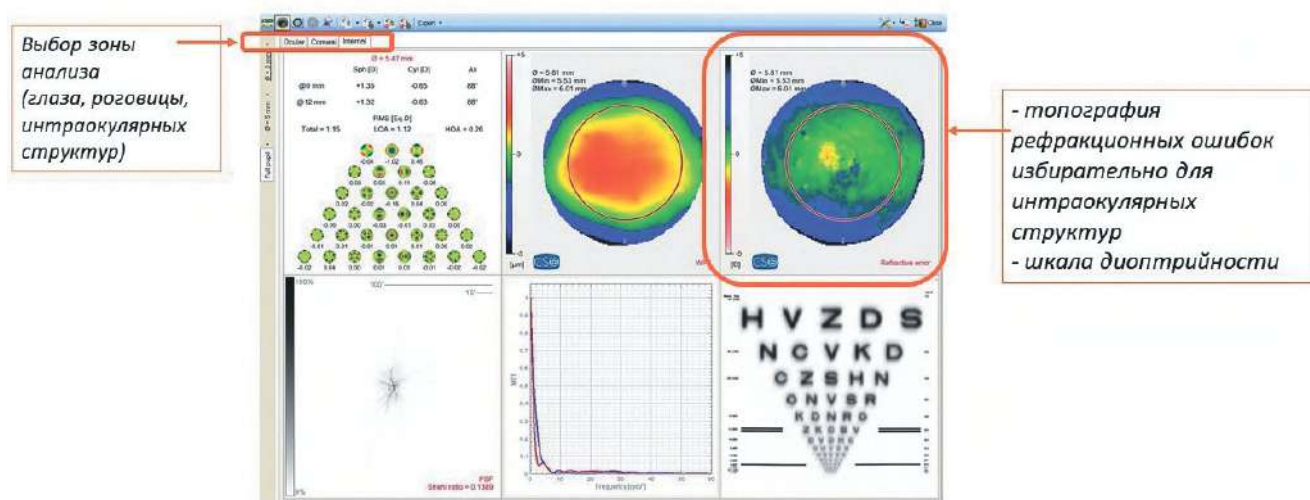


РИС. 1.
Протокол топ-абберометрии глаза с построением РТК

FIG. 1.
Ocular top aberrometry protocol with RTM construction

демонстрируют статистически и клинически значимый прирост ГФ по сравнению со стандартными монофокальными ИОЛ.

Далее был проведен анализ РТК с сопоставлением полученных изображений и оптического дизайна ИОЛ, вычислением рефракционной неоднородности при каждом типе ИОЛ. Установлено, что положение ИОЛ было правильным, центрированным по отношению к зрачку во всех случаях. В зависимости от типа ИОЛ диапазон разброса рефракционных ошибок в проекции зрачка значительно различался (рис. 2). Установлены достоверные различия ИРН между группами ($H(7) = 46,24, p = 0,0001$) и различный уровень его согласованности с ГФ.

Цветное картирование рефракционных ошибок показало их распределение по всей площади

сканирования, наличие отдельных зон с отклонением в рефракции. Были получены РТК, в полной мере отражающие зоны аддидации на глазах с мультифокальными ИОЛ и ИОЛ с расширенным диапазоном фокуса (рис. 3).

При монофокальной ИОЛ (рис. 3А) практически вся центральная зона является зеленой и соответствует согласно шкале диоптрийности эметропической рефракции. Медианное значение ИРН составило 2,42 дптр, межквартильный диапазон: $Q1 = 2,11$ дптр; $Q3 = 2,86$ дптр. При проведении корреляционного анализа по Спирмену согласованной взаимосвязи между ИРН и ГФ не установлено. При монофокальной ИОЛ с оптическим дизайном "Distance plus", за счет которого обеспечивается градиентное изменение оптической силы, в паттерне РТК присутствуют отдельные участки

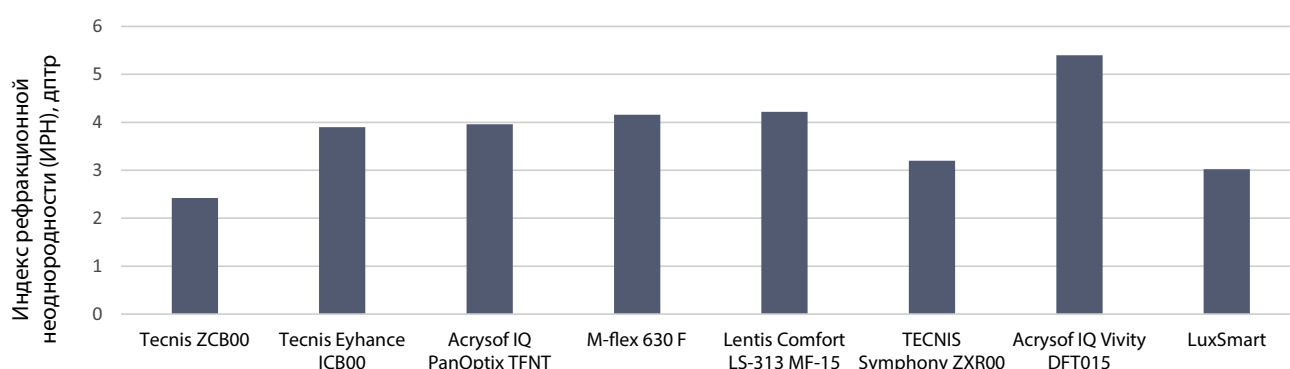


РИС. 2.
Медианное значение показателя ИРН у пациентов с различными типами ИОЛ

FIG. 2.
Median values of the refractive index inhomogeneity indicator in patients with different types of IOLs

ТАБЛИЦА 1
ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ, ВКЛЮЧЕННЫХ В ИССЛЕДОВАНИЕ

TABLE 1
CHARACTERISTICS OF THE PATIENTS INCLUDED IN THE STUDY

Тип ИОЛ	Кол-во глаз	Оптический дизайн ИОЛ	НКОЗ вдаль	ГФ, дптр
Tecnis ZCB00	30	Монофокальная	1,0 [0,9; 1,1]	1,15 [1,00;1,25]
Tecnis Eyhance ICB00	20	Монофокальная, модифицированный профиль передней поверхности "Distance plus"	1,0 [0,9; 1,1]	2,50 [2,00;2,50]
Acrysof IQ PanOptix TFNT	30	Трифокальная дифракционная	1,0 [0,9; 1,1]	3,50 [3,25;3,75]
M-flex 630 F	8	Бифокальная рефракционная, концентрический дизайн	0,8 [0,7; 0,8]	3,00 [2,75;3,25]
Lentis Comfort LS-313 MF-15	26	С увеличенным диапазоном фокуса, ротационно асимметричный дизайн	0,8 [0,4; 1,0]	2,50 [2,25;2,75]
TECNIS Symphony ZXR00	30	С увеличенным диапазоном фокуса, дифракционная, концентрический дизайн	1,0 [0,9; 1,2]	3,0 [2,80;3,50]
Acrysof IQ Vivity DFT015	18	С увеличенным диапазоном фокуса, X-WAVE дизайн	1,0 [0,9; 1,1]	3,0 [2,30;3,30]
LuxSmart	30	С увеличенным диапазоном фокуса, комбинация CA 4 и 6 порядков	0,9 [0,8; 1,0]	2,50 [2,25;2,75]
Критерий Краскелла – Уоллиса			$H(7)=0,56$ $p=0,904$	$H(7)=55,13$ $p=0,0001$

Примечание: CA – сферические аберрации.

миопической рефракции красного цвета в центральной оптической зоне (рис. 3Б), формируя разброс рефракционных ошибок от -7,4 дптр до 1,7 дптр. ИРН составил: Ме 3,91 дптр, Q1 3,34 дптр, Q3 4,63 дптр. Установлена прочная корреляционная взаимосвязь между ИРН и ГФ ($r = 0,673, p < 0,05$).

Рефракционная топография глаза была проанализирована на двух типах мультифокальных ИОЛ – рефракционных и дифракционных. Так, топография зон аддидации на глазах с рефракционными мультифокальными ИОЛ (*M-flex 630 F*) представлена в виде чередующихся концентрических оптических зон сильной рефракции. Паттерн РТК имеет четко разграниченные зоны красно-желтого цвета с миопической рефракцией от -1,0 до -3,5 дптр, формирующие изображение на близком расстоянии, и зеленовато-желтые участки с рефракционным индексом от 0 до 0,75 дптр,

формирующие изображение вдаль (рис. 3В). Значения ИРН были 4,16 дптр, Q1 3,20 дптр; Q3 5,08 дптр. Корреляционный анализ между ИРН и ГФ выявил достоверную зависимость ($r = 0,879, p < 0,05$). У пациентов с имплантированными дифракционными мультифокальными ИОЛ *Acrysof IQ PanOptix TFNT* РТК глаза отличаются четкой дифференциацией красных кольцевидных зон миопической аддидации, соответствующих расположению дифракционной решетки, и желто-зеленых зон эметропии и слабой миопии, создающих оптический фокус вдаль (рис. 3Г). Разброс рефракционных ошибок в оптической зоне диаметром 3 мм составил от -4,1 дптр до 0,6 дптр. ИРН составил: Ме 3,96 дптр, Q1 3,21 дптр, Q3 4,85 дптр. Корреляционная взаимосвязь между ИРН и ГФ была недостоверной ($r = -0,462, p > 0,05$).

ИОЛ с расширенным диапазоном фокуса имеют разнообразный дизайн. Асимметричный оптический

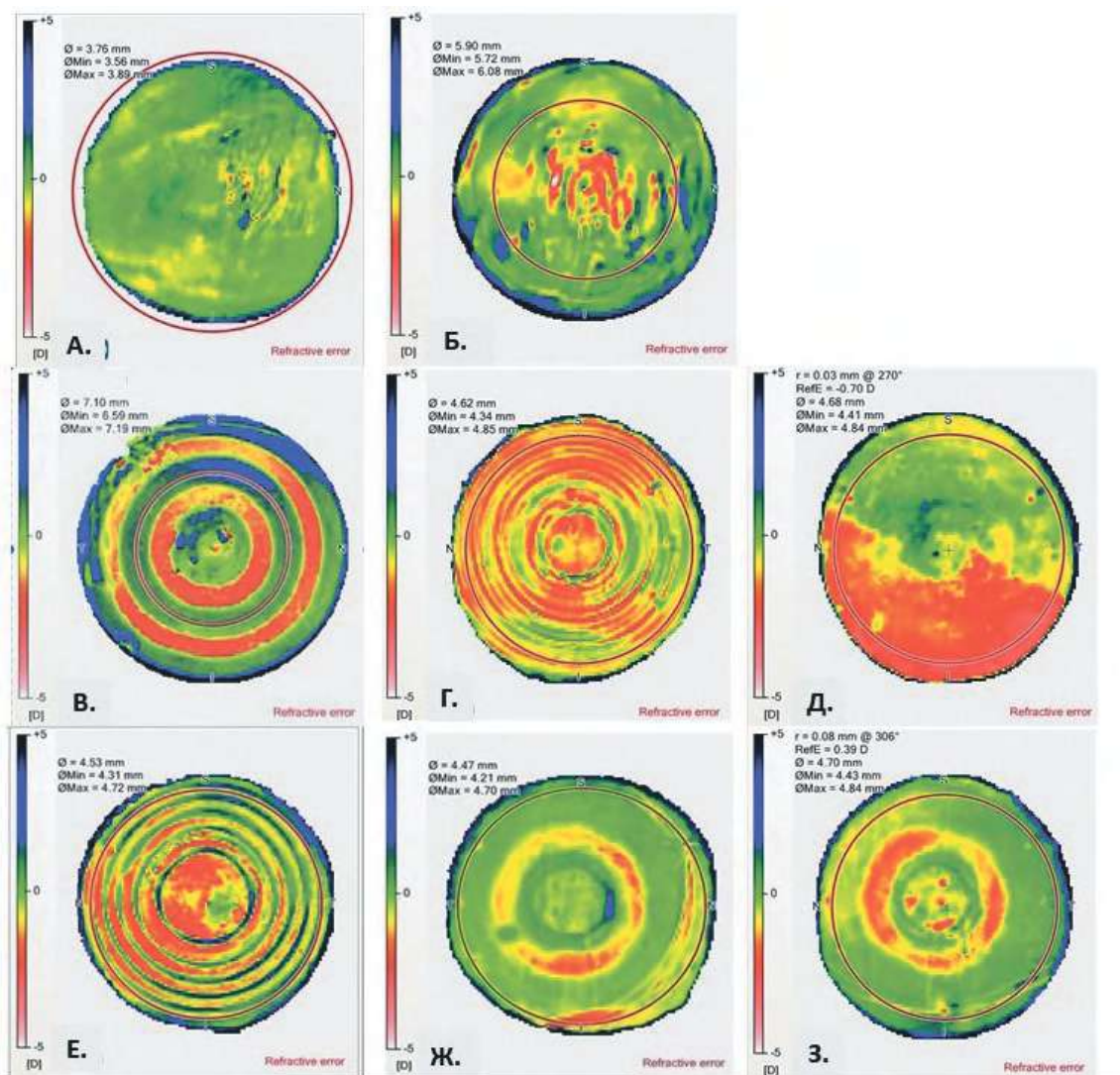


РИС. 3.

РТК глаза с различными видами ИОЛ (условия медикаментозного мидриаза): А. – Tecnis ZCB00; Б. – Tecnis Eyhance ICB00; В. – *M-flex 630 F*; Г. – *Acrysof IQ PanOptix TFNT*; Д. – *Lentis Comfort LS-313 MF-15*; Е. – *TECNIS Symphony ZXR00*; Ж. – *Acrysof IQ Vivivity DFT015*; 3. – *LuxSmart*

FIG. 3.

RTM of the eye with different IOL types (medicated mydriasis conditions): А. – Tecnis ZCB00; Б. – Tecnis Eyhance ICB00; В. – *M-flex 630 F*; Г. – *Acrysof IQ PanOptix TFNT*; Д. – *Lentis Comfort LS-313 MF-15*; Е. – *TECNIS Symphony ZXR00*; Ж. – *Acrysof IQ Vivivity DFT015*; 3. – *LuxSmart*

дизайн РТК характерен для глаз с ИОЛ *Lentis Comfort LS-313 MF-15*. При анализе распределения рефракционных ошибок выделяется верхняя зона с захватом центральной оптической зоны, где значения рефракционного индекса находятся в пределах от 0,5 до -0,25 дптр. На карте эта зона окрашена в зеленоватые оттенки (рис. 3Д). В нижней зоне, формирующий фокус для близи, показатели рефракции находились в пределах от 5,17 до 3,82 дптр. Значения ИРН составили: Ме 4,22 дптр, Q1 3,77 дптр; Q3 5,21 дптр. При проведении корреляционного анализа между ИРН и ГФ установлена достоверная взаимосвязь ($r = 0,641$, $p < 0,05$). Топография рефракционных ошибок на глазах с *TECNIS Symphony ZXR00* имеет характер, отражающий дифракционный тип оптической части ИОЛ – видны четкие концентрические зоны аддидации (рис. 3Е). Значения ИРН составили: Ме 3,20 дптр, Q1 2,61 дптр; Q3 3,90 дптр. Корреляционная взаимосвязь между ИРН и ГФ была недостоверной ($r = 0,241$, $p > 0,05$). РТК глаз с имплантированными ИОЛ *Acrysof IQ Vivity DFT015* и *LuxSmart* имеют близкие черты за счет сочетания концентрической слабо миопической зоны в проекции зрачка и центральной зоны с дискретными миопическими участками. Однако оптический дизайн формирования зон и значения рефракционных индексов различаются (рис. 3Ж, 3З). Значения ИРН для глаз с *Acrysof IQ Vivity DFT015* составили: Ме 5,40 дптр, Q1 4,20 дптр; Q3 5,90 дптр. Корреляционная взаимосвязь между ИРН и ГФ была недостоверной ($r = -0,258$, $p > 0,05$). Значения ИРН для глаз с *LuxSmart* составили: Ме 3,02 дптр, Q1 2,29 дптр; Q3 3,88 дптр. Корреляционная взаимосвязь между ИРН и ГФ также была недостоверной ($r = -0,213$, $p > 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Понимание принципов оптических конструкций новых ИОЛ крайне важно в оценке потенциального качества зрения псевдофакичного пациента. Оценка качества оптической системы при внедрении инновационных ИОЛ чаще всего проводится *in vitro* [15, 16], клинические результаты имплантации новых ИОЛ чаще всего опираются на исследование субъективных психофункциональных зрительных характеристик [17–21]. В данном исследовании представлен объективный метод регистрации характера распределения рефракционных ошибок в глазу после имплантации ИОЛ сложного оптического дизайна *in vivo*, что является явным преимуществом данной технологии.

Доказано, что аберрометрия с пирамидальным сенсором с построением РТК глаза имеет высокую чувствительность к рефракционным сдвигам, позволяя количественно оценивать оптическую неоднородность артификального глаза. При этом топографическое отображение рефракционных ошибок выполняется вне зависимости от типа ИОЛ сложного дизайна – как при рефракционном типе формирования дополнительных фокусов, так и при наличии дифракционной решетки,

что существенно отличает данный метод от применяемых ранее [22–26].

Впервые проведен объективный топографический анализ рефракционной неоднородности глаза, выступающей важным индикатором качества оптической системы. Максимальные значения ИРН установлены у пациентов после имплантации мультифокальных ИОЛ, минимальные – монофокальных ИОЛ. На глазах с EDOF ИОЛ выявлен средний диапазон рефракционной неоднородности. Вычисленный показатель рефракционной неоднородности (ИРН) имеет достоверную взаимосвязь с ГФ у пациентов с монофокальной ИОЛ с оптическим дизайном “Distance plus”, рефракционной бифокальной ИОЛ *M-flex 630 F*, рефракционной асимметричной ИОЛ *Lentis Comfort LS-313 MF-15*. Данные результаты подтверждают, что имплантация инновационной монофокальной ИОЛ *Tecnis Eyhance ICB00* обеспечивает прогрессивный рефракционный профиль в центральной оптической зоне и увеличение глубины фокуса в пределах 2,5 дптр. Отсутствие значимых корреляций между ИРН и ГФ у пациентов с дифракционными ИОЛ и рефракционными EDOF ИОЛ можно объяснить сложностью и особенностями сконструированной оптической системы глаза, не поддающихся простым взаимосвязям.

Современная офтальмохирургия характеризуется технологическими разработками новых ИОЛ и активным внедрением их в клиническую практику. Однако диагностика зрительных нарушений у пациентов с имплантированными ИОЛ сложного дизайна является недостаточно развитым разделом офтальмологии. Возможность визуализации расположения зон с различным рефракционным индексом в псевдофакичном глазу позволяет наглядно демонстрировать послеоперационный оптический результат, определять правильность выбора типа ИОЛ и соответствие предоперационных расчетов оптической силы ИОЛ. Накопление клинической и расчетной базы для каждого типа ИОЛ сложного дизайна позволит в будущем разработать критерии кастомизированного выбора и расчета ИОЛ.

Ограничениями данного исследования являются малый объем и неоднородность групп, обусловленные редкой имплантацией некоторых моделей ИОЛ. Для обеспечения независимости данных использован дизайн «один глаз на одного участника»; рандомизация стороны (правый глаз/левый глаз) позволила исключить селективное смещение и завышение статистической мощности.

Несмотря на предварительный характер данных рефракционного топографического картирования у пациентов с ИОЛ сложного дизайна, полученные результаты имеют отчетливые перспективы применения в клинической практике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод пирамидально сенсорной аберрометрии с рефракционным топографическим картированием

является высокоинформативным направлением в объективной оценке оптической системы глаза у пациентов с ИОЛ сложного дизайна, и может стать основой для развития персонализированной хирургии катаракты.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kohnen T, Berdahl JP, Hong X, Bala C. The Novel Optical Design and Clinical Classification of a Wavefront-Shaping Presbyopia-Correcting Intraocular Lens. *Clin Ophthalmol*. 2023; 17: 2449–2457. doi: 10.2147/OPTH.S400083
2. Морозова Т.А. Интраокулярные линзы с расширенной глубиной фокуса – новая технология коррекции пресбиопии: обзор. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2024; 79(4): 318–326. [Morozova TA. Extended Depth-of-Focus is a New Intraocular Lens Technology in the Treatment of Presbyopia: Review. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2024; 79(4): 318–326. (In Russ.)]. doi: 10.15690/vramn17915
3. Hoffer KJ, Savini G. Update on intraocular lens power calculation study protocols. *Ophthalmology*. 2021; 128(11): e115–e120. doi: 10.1016/j.optha.2020.07.005
4. Ильина Н.В. Аберрации и другие факторы, определяющие функциональный результат фактоэмульсификации катаракты. *Практическая медицина*. 2012; 4(59): 260–262. [Ilyina NV. Aberrations and other factors that determine the functional result of phacoemulsification of cataract. *Practical medicine*. 2012; 4(59): 260–262. (In Russ.)].
5. *Офтальмология: национальное руководство* / под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2024. [Ophthalmology: national guide / ed. SE Avetisova, EA Egorova, LK Moshetova, VV Neroeva, KhP Takhchidi. – 3rd ed., revised. and additional – Moscow: GEOTAR-Media, 2024. (In Russ.)].
6. Coassin M, Di Zazzo A, Antonini M, Gaudenzi D, Gallo Afflitto G, Kohnen T. Extended depth-of-focus intraocular lenses: power calculation and outcomes. *J Cataract Refract Surg*. 2020; 46(11): 1554–1560. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000293
7. Рамазанова Л.Ш., Напылова О.А., Шамратов Р.З. О возможных механизмах влияния оптических интраокулярных имплантов на характеристики нейросенсорной реабилитации и адаптации у пациентов с артификацией. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2021; 18(1): 30–35. [Ramazanova LSh, Napylova OA, Shamratov RZ. About the Possible Mechanisms of the Influence of Optical Intraocular Implants on the Characteristics of Neurosensory Rehabilitation and Adaptation in Patients with Pseudophakia. Literature Review. *Ophthalmology*. 2021; 18(1): 30–35. (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2021-1-30-35
8. Zhang L, Lin D, Wang Y, Chen W, Xiao W, Xiang Y, et al. Comparison of Visual Neuroadaptations After Multifocal and Monofocal Intraocular Lens Implantation. *Front Neurosci*. 2021; 15: 648863. doi: 10.3389/fnins.2021.648863
9. Wanten JC, Bauer NJC, Berendschot Tos TJM, van den Biggelaar FJHM, Nuijts Rudy MMA. Dissatisfaction after implantation of EDOF intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2025; 51(5): 399–405. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001615
10. Rudelevicius P, Lekaviciene R, Auffarth GU, et al. Relation between patient personality and patients' dissatisfaction after multifocal intraocular lens implantation: Clinical study based on the five factor inventory personality evaluation. *Eye (Lond)* 2020; 34(4): 717–7245. doi: 10.1038/s41433-019-0585-x
11. Takii M. Objective evaluation of the refractive properties of a diffractive multifocal IOL using a visible light-based autorefractometer prototype. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2025; 66(8): 51.
12. Borkenstein AF, Borkenstein E. Autorefraction Pitfalls in Extended Depth-of-Focus Pseudophakia: A Case Report. *Cureus*. 2025; 17(7): e87409. doi: 10.7759/cureus.87409
13. Behndig A, Montan P, Stenevi U, Kugelberg M, Zetterström C, Lundström M. Aiming for emmetropia after cataract surgery: Swedish National Cataract Register study. *J Cataract Refract Surg*. 2012; 38(7): 1181–1186. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.02.035
14. Розанова О.И., Кузьмин С.В., Мищенко О.П., и др. Пирамидальная сенсорная аберрометрия волнового фронта как метод визуализации интраокулярных рефракционных ошибок при артификации. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2024; 1: 56–63. [Rozanova OI, Kuzmin SV, Mishchenko OP, et al. Pyramidal sensory wavefront aberrometry as a method for visualizing intraocular refractive errors in articulation. *Bulletin of the Volgograd State Medical University*. 2024; 1: 56–63. (In Russ.)] doi: 10.19163/1994-9480-2024-21-1-56-63
15. Schmid R, Borkenstein AF. Enhanced Depth of Focus Intraocular Lenses: Through Focus Evaluation of Wavefront-Shaping versus Diffractive Optics. *Biomed Hub*. 2023; 8(1): 25–30. doi: 10.1159/000529234
16. Borkenstein AF, Borkenstein EM, Luedtke H, Schmid R. Optical Bench Analysis of 2 Depth of Focus Intraocular Lenses. *Biomed Hub*. 2021; 6(3): 77–85. doi: 10.1159/000519139
17. Темиров Н.Н., Темиров Н.Э. Зрительные функции и клиническая рефракция пациентов после имплантации различных типов мультифокальных интраокулярных линз. *Офтальмология*. 2015; 12(2): 37–42. [Temirov NN, Temirov NE. Visual acuity and clinical refraction following implantation of various multifocal intraocular lenses. *Ophthalmology in Russia*. 2015; 12(2): 37–42. (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2015-2-37-42
18. de Silva SR, Evans JR, Kirthi V, Ziaei M, Leyland M. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016; 12(12): CD003169. doi: 10.1002/14651858.CD003169.pub4

19. Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Цыганков А.Ю., Мийович О.П. Сравнительный анализ результатов имплантации би- и трифокальных ИОЛ для коррекции пресбиопии. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2016; 16 (2): 23-29. [Pershin KB, Pashinova NF, Tsygankov AYU, Miyovich OP. The outcomes of the implantation of bifocal and trifocal IOLs for presbyopia. *Cataract and refractive surgery*. 2016; 16 (2): 23-29. (In Russ.)].
20. Оренбуркина О.И., Абсаямов М.Ш., Бикбулатова А.А., Бурханов Ю.К. Результаты фемтофакоэмульсификации катаракты с имплантацией линз нового поколения. *Практическая медицина*. 2017; 9(110): 58–62. [Orenburkina OI, Absalyamov MSh, Bikbulatova AA, Burkhanov YUK. Results of femto-assisted phacoemulsification of cataracts with implantation of lenses of new generation. *Practical medicine*. 2017; 9(110): 58–62. (In Russ.)].
21. Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Цыганков А.Ю., Антонов Е.А., Косова И.В., Корнеева Е.А. Результаты имплантации интраокулярных линз с расширенной глубиной резкости. *Вестник офтальмологии*. 2024; 140(2): 40–46. [Pershin KB, Pashinova NF, Tsygankov AYU, Antonov EA, Kosova IV, Korneeva EA. Outcomes of extended depth of focus intraocular lenses implantation. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2024; 140(2): 40–46. (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma202414002140
22. Molebny VV, Panagopoulou SI, Molebny SV, Wakil YS, Pallikaris IG. Principles of ray tracing aberrometry. *J Refract Surg*. 2000; 16(5): S572–S575. doi: 10.3928/1081-597X-20000901-17
23. Mrochen M, Kaemmerer M, Mierdel P, Krinke HE, Seiler T. Principles of Tscherning aberrometry. *J Refract Surg*. 2000; 16(5): S570–S571. <https://doi.org/10.3928/1081-597X-20000901-16>
24. Rozema JJ, VanDyck DE, Tassignon MJ. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 1: technical specifications. *J Cataract Refract Surg*. 2005; 31(6): 1114–1127. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.11.051
25. Rozema JJ, VanDyck DE, Tassignon MJ. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 2: statistical comparison in a test group. *J Cataract Refract Surg*. 2006; 32(1): 33–44. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.11.052
26. Campbell CE. Wavefront measurements of diffractive and refractive multifocal intraocular lenses in an artificial eye. *J Refract Surg*. 2008; 24(3): 308–311. doi: 10.3928/1081597X-20080301-15

Сведения об авторах

Розанова Ольга Ивановна – доктор медицинских наук, врач-офтальмолог, заведующая научно-образовательным отделом Иркутского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России; ассистент кафедры офтальмологии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; e-mail: olgrozanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3139-2409>

Цыбжитова Бальжинима Анандаевна – врач-офтальмолог 1-го офтальмологического отделения Иркутского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России; e-mail: tsba.91@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8068-6035>

Information about the authors

Olga I. Rozanova – Dr. Sc. (Med.), ophthalmologist, head of the Scientific and Educational Department of Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; assistant of the Department of Ophthalmology, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – branch of the Russian Medical Academy of Continuing Education professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation; e-mail: olgrozanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3139-2409>

Balzhinima A. Tsybzhitova – ophthalmologist at the 1st Ophthalmological Department of Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; e-mail: tsba.91@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8068-6035>