

Пирамидальная сенсорная aberromетрия волнового фронта как метод визуализации интраокулярных рефракционных ошибок при артифакции

О.И. Розанова ✉, С.В. Кузьмин, О.П. Мищенко, Б.А. Цыбжитова, Е.В. Архипов, А.А. Иванов

Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск, Россия

Аннотация. Проанализированы результаты пирамидальной сенсорной aberromетрии волнового фронта с построением рефракционных топографических карт (Peramis, SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Германия) у 67 пациентов (108 глаза) с артифакцией, с различными типами интраокулярной линзы. Величины сферического компонента рефракции глаза, установленные методами авторефрактометрии и пирамидальной aberromетрии волнового фронта, имеют высокий коэффициент корреляции ($r = 0,921$, $p < 0,0001$). Построение рефракционных топографических карт интраокулярных структур глаза является методом кастомизированной диагностики у пациентов с артифакцией и имеет значительные перспективы в применении.

Ключевые слова: aberromетрия глаза, артифакция, мультифокальные интраокулярные линзы

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2024-21-1-56-63>

Pyramidal sensory wavefront aberrometry as a method for visualizing intraocular refractive errors in articulation

O.I. Rozanova ✉, S.V. Kuzmin, O.P. Mishchenko, B.A. Tsibzhitova, Ye.V. Arkhipov, A.A. Ivanov

Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk branch, Irkutsk, Russia

Abstract. The results of pyramidal sensory wavefront aberrometry with the construction of refractive topographic maps (Peramis, SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Germany) were analyzed in 67 patients (108 eyes) with artificio (with various types of IOL). The values of the spherical component of refraction of the eye, established by autorefractometry and pyramidal aberrometry of the wavefront, have a high correlation coefficient ($r = 0.921$, $p < 0.0001$). The construction of refractive topographic maps of intraocular structures of the eye is a method of customized diagnosis in patients with artificio and has significant prospects in application.

Keywords: aberrometry of the eye, artificio, multifocal IOLs

Хирургия катаракты, первоначально направленная на достижение прозрачности оптических сред, в настоящее время имеет более широкие цели по коррекции зрения [1, 2]. Современные технологии хирургии катаракты и рефракционной замены хрусталика позволяют добиться точных и запрограммированных рефракционных результатов [1, 2].

Доказано, что клинические характеристики зрения у пациентов напрямую зависят от aberromетрических показателей оптической системы глаза [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Такая взаимосвязь делает необходимым изучение качества ИОЛ *in vivo* [12, 13]. Aberromетрия волнового фронта позволяет количественно оценить aberрации низкого и высокого порядка, функцию рассеивания точки, модуляционную передаточную функции оптической системы глаза [1, 4, 5]. Так, aberрометр с пирамидальным сенсором имеет разрешение 41 мкм, тогда как предыдущее поколение aberрометров – aberрометр с сенсором Хартмана – Шака – име-

ет разрешение лишь 250–1250 мкм. Именно поэтому пирамидально сенсорная aberromетрия волнового фронта (ПСАВФ) позволяет дать объективную картину aberрационных и рефракционных отклонений как всего глаза в целом, так и избирательно – роговицы и внутриглазных структур. Первые клинические результаты по применению aberromетрии в клинической офтальмологии были опубликованы J. Liang с соавторами в 1994 г. [14]. В настоящее время используются различные типы aberрометров с применением основных различных оптических принципов: оценка исходящего из глаза отраженного луча – метод Хартмана – Шака [15] и оценка входного в глаз светового потока рефракционной aberromетрии – метод Чернинга, трассировка лучей и пирамидальная сенсорная aberromетрия и др. [16, 17, 18, 19, 20, 21]. В ПСАВФ задействованы колеблющийся пирамидальный сенсор, тест лезвия ножа Фуко – метод контроля вогнутых оптически точных поверхностей. Колеблющийся пирамидальный сенсор,

предложенной Roberto Ragazzoni (1995), расщепляет входной волновой фронт на четыре пучка [21, 22]. Для каждого из четырех световых потоков выполняется тест лезвия ножа Фуко, чтобы определить наклон и форму волнового фронта. За счет этого достигается более высокая динамика входного светового диапазона с сохранением большой плотности и реализуется сканирование субпупиллярной зоны.

Однако ни в отечественной литературе, ни в зарубежной литературе пока нет публикаций, где рассматриваются возможности визуализации рефракционных ошибок в виде топографического картирования глаза с артификацией.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценить диагностическую информативность метода ПСАВФ с построением рефракционных топографических карт глаза у пациентов с артификацией.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследованы 67 пациентов, прооперированных по поводу катаракты методом факоэмульсификации (108 глаза) с имплантацией различных моделей заднекамерной интраокулярной линзы (ИОЛ). Средний возраст больных составил $(65,81 \pm 6,69)$ года (от 57 до 75), из них 37 женщин и 28 мужчин. Типы имплантированных ИОЛ представлены в табл. 1. Критерии включения в исследование – длительность послеоперационного периода не менее 3 месяцев. Критерии исключения – заболевания роговицы, помутнение стекловидного тела.

Всем больным было проведено всестороннее офтальмологическое исследование, включая aberromетрию волнового фронта с построением рефракционных топографических карт на приборе (Peramis, SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Германия) со встроенным пирамидальным сенсором и программным обеспечением Phoenix.

Таблица 1

Распределение пациентов в зависимости от модели ИОЛ

Вид ИОЛ	Тип ИОЛ, дизайн	Производитель	Количество глаз
Acrysof IQ SN60WF	Монофокальная	Alcon	18
Tecnis ZCB00	Монофокальная	Johnson & Johnson	18
Acrysof IQ ReSTOR SN6AD1	Бифокальная, рефракционно-дифракционная	Alcon	6
Acrysof IQ PanOptix TFNT	Трифокальная дифракционная	Alcon	12
AT LISA TRI	Трифокальная, дифракционная	Zeiss	8
M-flex 630 F	Бифокальная рефракционная, концентрический дизайн	Rayner	6
Lentis Mplus LS-312 MF-30	Мультифокальная, ротационно асимметричный дизайн	Oculentis/Teleon Surgical BV	4
Lentis Comfort LS-313 MF-15	С увеличенным диапазоном фокуса, ротационно асимметричный дизайн	Oculentis/Teleon Surgical BV	18
TECNIS Symphony ZXR00	С увеличенным диапазоном фокуса, дифракционная, концентрический дизайн	Johnson & Johnson	8
Acrysof IQ Vivity DFT015	С увеличенным диапазоном фокуса, X-WAVE дизайн	Alcon	8
Crystalens HD500	Псевдоакомодирующая с наличием центральной зоны 1 мм с добавочными сферическими aberrациями	Bausch&Lomb	2

Статистический анализ проведен с применением компьютерной программы Statistica 8.0. Были вычислены средние арифметические M , стандартные отклонения от среднего SD , проведен сравнительный анализ по Манну – Уитни, корреляционный анализ по Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная методика ПСАВФ с построением рефракционных топографических карт глаза включала проведение топ-аберрометрии, оценку качества опти-

ческой системы (рис. 1) с рефракционным топографическим картированием глаза, роговицы и интраокулярной оптики при диаметре зрачка 3 мм и максимальном диаметре зрачке.

Верификация полученных данных проведена при сопоставлении рефракционной топографической карты глаза и фронтальных Шеймплфлюг-изображений переднего отрезка глаза (рис. 2). Измерения выполнены дважды – до и после медикаментозного мидриаза. Мидриаз достигался после однократной инстилляции комбинированного препарата Фенилэфрина 5 % и Тропирамида 0,8 % (Мидримакс, Sentiss, Индия).

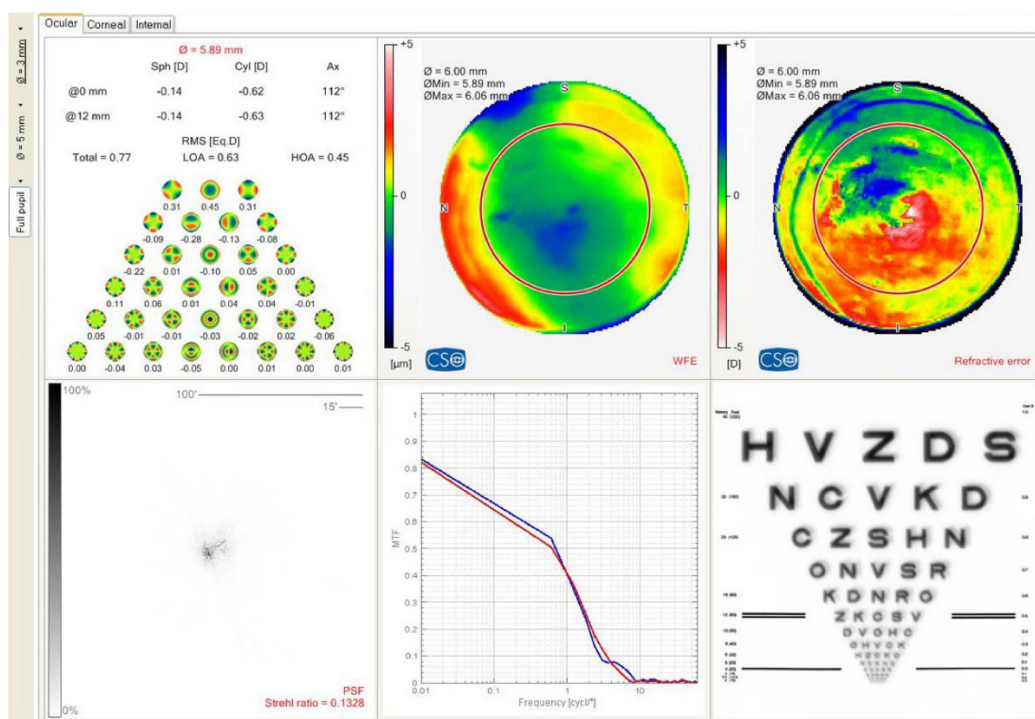


Рис. 1. Дисплей анализа качества оптической системы глаза прибора SCHWIND Peramis
(SCHWIND eye-tech-solutions GmbH, Германия)

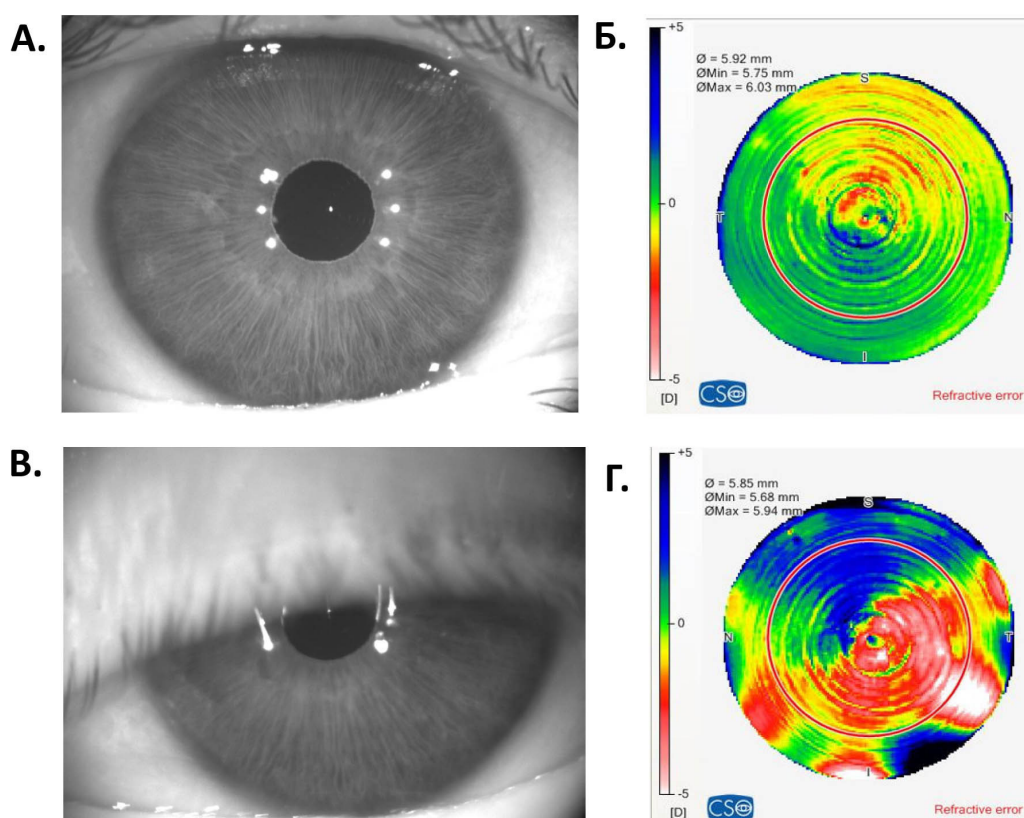


Рис. 2. Верификация рефракционной карты глаза по фронтальному Шеймплфлюг-изображению переднего отрезка глаза:

A, Б – измерение сделано правильно; В, Г – измерение сделано некорректно из-за неполного открытия глазной щели

На следующем этапе проанализированы показатели рефракции глаза. Сравнительный анализ данных сферического эквивалента рефракции, полученного

при авторефрактометрии (АР) и эквивалента диоптрийности рефракционного отклонения при ПСАВФ, не выявил достоверной разницы (табл. 2).

Таблица 2

Сферический эквивалент рефракции у пациентов с различными видами ИОЛ, дптр, (M ± SD)

Показатель	Сферический компонент рефракции (АР)	Сферический компонент рефракции (ПСАВФ), зрачок 3,0 мм	Цилиндрический компонент рефракции (АР)	Цилиндрический компонент рефракции (ПСАВФ), зрачок 3,0 мм
Acrysof IQ SN60WF	0,92 ± 0,52	0,65 ± 1,47 p1-2 > 0,05	-1,54 ± 0,52	-1,07 ± 0,61 p3-4 > 0,05
Tecnis ZCB00	-0,62 ± 0,53	-0,27 ± 0,49 p1-2 > 0,05	-0,62 ± 0,32	-0,75 ± 0,34 p3-4 > 0,05
Acrysof IQ ReSTOR SN6AD1	-1,02 ± 0,37	-1,16 ± 0,25 p1-2 > 0,05	-0,56 ± 0,22	-0,57 ± 0,31 p3-4 > 0,05
Acrysof IQ PanOptix TFNT	-0,25 ± 0,43	-0,73 ± 0,21 p1-2 > 0,05	-0,37 ± 0,17	-0,63 ± 0,38 p3-4 > 0,05
AT LISA TRI	-0,25 ± 0,11	-0,34 ± 0,14 p1-2 > 0,05	-0,27 ± 0,14	-0,32 ± 0,31 p3-4 > 0,05
M-flex 630 F	-1,87 ± 0,17	-2,39 ± 0,51 p1-2 > 0,05	-0,91 ± 0,25	-0,96 ± 0,51 p3-4=0,846
Lentis Comfort LS-313 MF-15	-1,14 ± 0,74	-1,05 ± 0,84 p1-2 > 0,05	-0,79 ± 0,52	-0,51 ± 0,95 p3-4 > 0,05
TECNIS Symphony ZXR00	-0,56 ± 0,15	-0,16 ± 0,40 p1-2 > 0,05	-0,64 ± 0,12	-0,56 ± 0,31 p3-4 > 0,05
Acrysof IQ Vivity DFT015	-0,25 ± 0,11	-0,56 ± 0,12 p1-2 > 0,05	-0,34 ± 0,14	-0,62 ± 0,32 p3-4 > 0,05

При этом величины сферического компонента рефракции глаза, установленные методами АР и ПСАВФ, имеют высокий коэффициент корреляции ($r = 0,921$, $p < 0,0001$). Тогда как, величины цилиндрического компонента рефракции, выявленными данными методами измерения, достоверной согласованности не имеют.

Установлено, что средний диаметр зрачка в момент исследования в естественных условиях составил ($2,40 \pm 0,55$) мм, тогда как средний диаметр зоны анализа – ($4,78 \pm 0,89$) мм ($p = 0,0001$), что указывает на уникальные возможности ПСАВФ в оценке качества оптических элементов, расположенных вне непосредственной апертуры зрачка – за зрачковым краем радужки.

Так, на рис. 3 (А, Б, В) представлен клинический случай, где исследована зона диаметром 4,65 мм – виден край переднего капсулорексиса. Диаметр зрачка в этот момент был 2,2 мм. При медикаментозном расширении зрачка зона анализа увеличивалась: при исходном диаметре зрачка ($4,86 \pm 0,35$) мм диаметр фактической зоны aberрометрии глаза составил ($5,92 \pm 0,84$) мм ($p = 0,0001$).

Рефракционные карты всего глаза и изолированно интраокулярных структур при проведении исследования при медикаментозном мидриазае также представлены на рис. 3 (Г, Д, Е). Видно, что ПСАВФ в условиях медикаментозного расширения зрачка позволяет определять состояние переднего капсулорексиса не только локально, но и на всем его протяжении.

Построение рефракционных карт и цветное картирование выявило неравномерное распределение рефракционных значений по всей площади исследования и наличие разрозненных зон с отклонением в рефракции. Было установлено, что такие отдельные зоны с локальным отклонением в рефракции топически соответствовали зонам фиброза задней капсулы хрусталика. Так, на рис. 4 представлены карты глаз с эмметропией (А), с локальным фиброзом задней капсулы хрусталика 1-й степени (Б и В), с миопической рефракцией глаза вследствие поздно-приобретенного переднего реверса псевдоаккомодирующей ИОЛ Crystalens HD (Г).

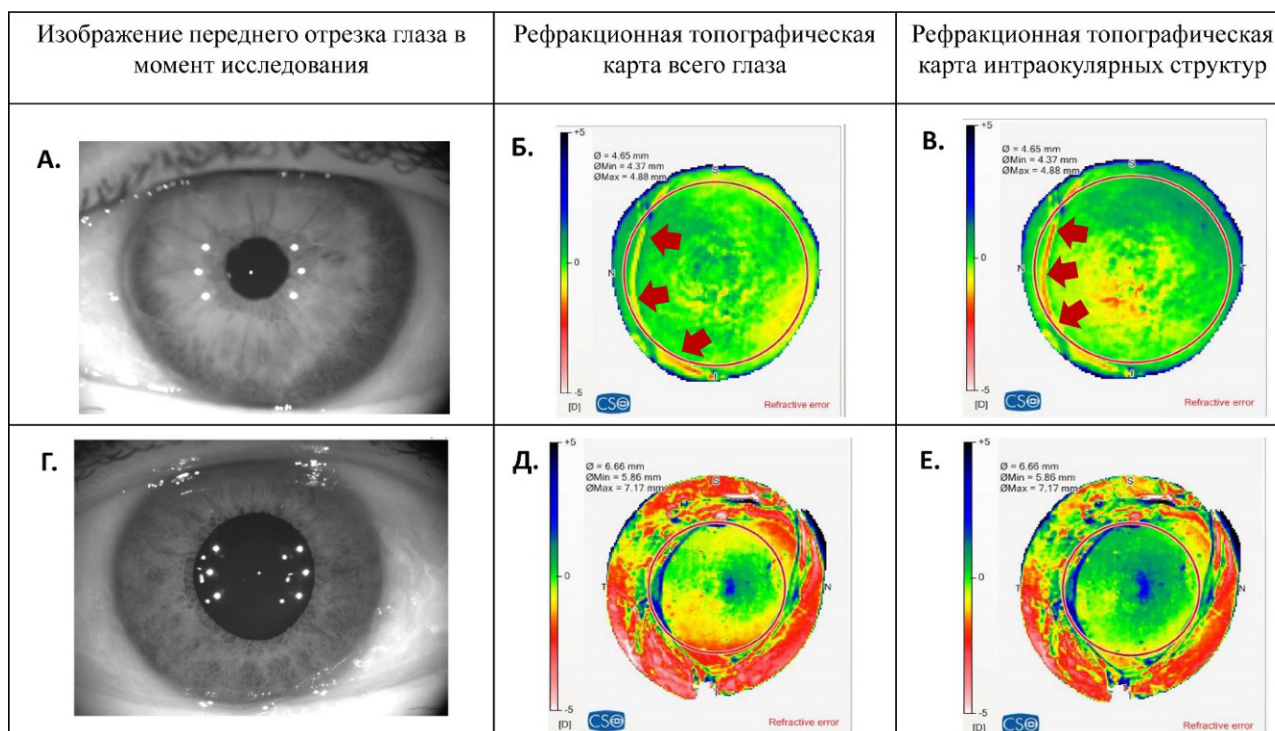


Рис. 3. Отображение фактического состояния зрачка и рефракционных карт:

А, Б, В – клинический случай 1, исследование проведено в естественных условиях зрачка; Г, Д, Е – клинический случай 2, исследование выполнено в условиях медикаментозного мидриаза

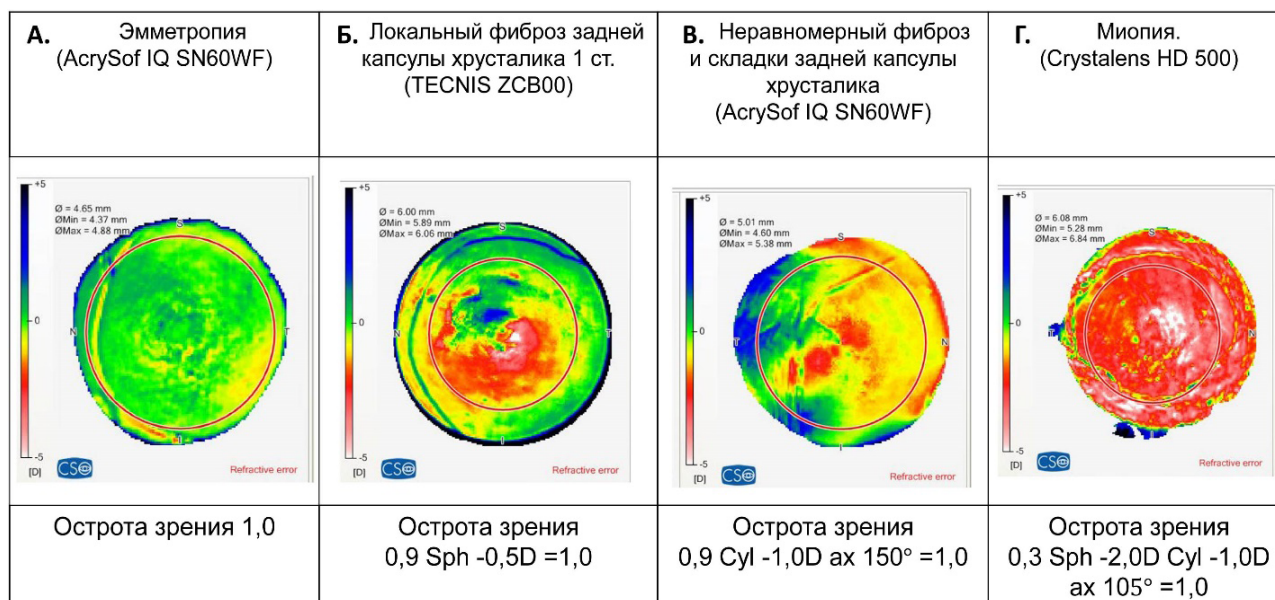


Рис. 4. Рефракционные топографические карты глаза

Визуализация расположения зон аддидации отражает центрирование линзы по отношению к зрительной оси. Рефракционные карты интраокулярных структур у пациентов с мультифокальными ИОЛ и ИОЛ с расширенным диапазоном фокуса представлены на рис. 5.

Анализ данных исследования указывает на широкие возможности ПСАВФ в оценке качества оптических интраокулярных структур, расположенных вне непосредственной апертуры зрачка – за зрачковым краем радужки.

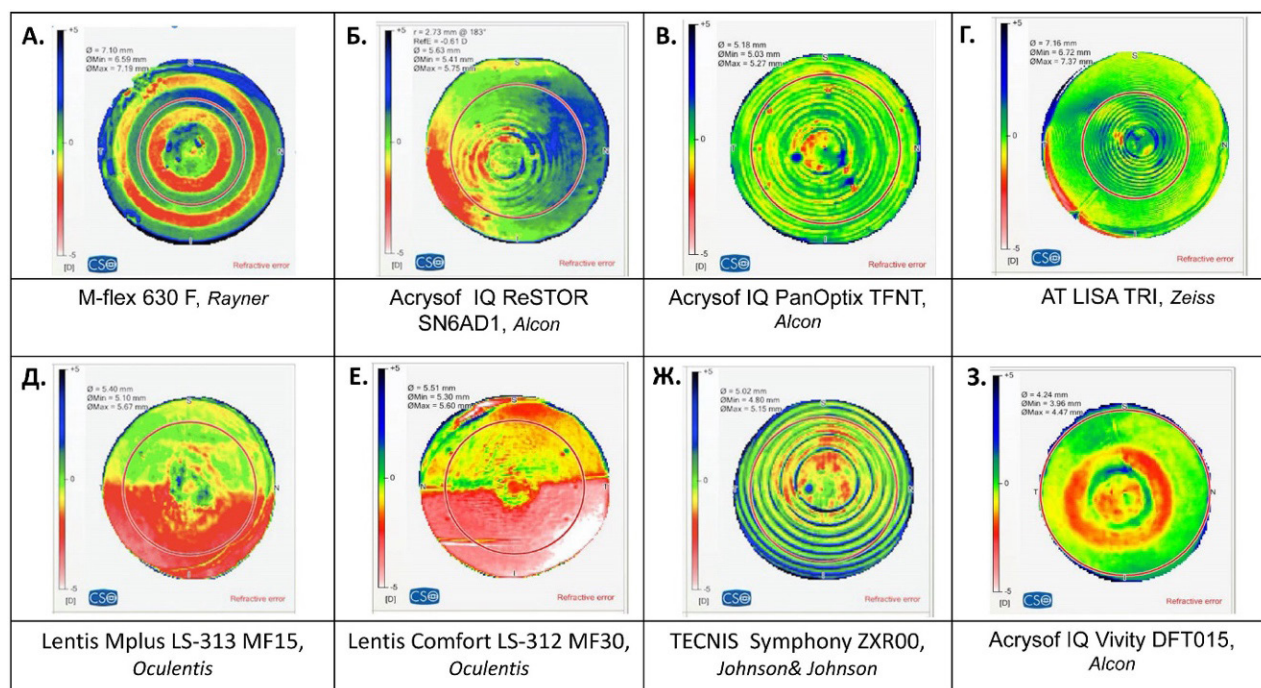


Рис. 5. Рефракционные топографические карты интраокулярных оптических структур у пациентов с наличием ИОЛ мультифокального дизайна оптики и с расширенным диапазоном фокуса

Разработанная методика визуализации интраокулярных рефракционных ошибок с построением рефракционных топографических карт позволяет определить зоны рефракционных отклонений, которые могут указывать на изменения задней капсулы хрусталика, дефекты оптической части ИОЛ, а также децентрацию ИОЛ. Потенциал технологии ПСАВФ субпупиллярного анализа интраокулярных структур позволяет регистрировать топографию рефракционных ошибок за пределами границ зрачка. Представленные результаты показывают диагностическую ценность ПСАВФ у пациентов с усложненным оптическим дизайном интраокулярных ИОЛ – мультифокальных, псевдоаккомодирующих, с увеличенным диапазоном фокуса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аберрометрия волнового фронта, основанная на применении пирамидального сенсора и компьютерной обработки данных, является высокоинформативным методом визуализации рефракционных ошибок у пациентов с артефакцией. Построение рефракционных топографических карт интраокулярных структур глаза является методом кастомизированной диагностики у пациентов с артефакцией и имеет значительные перспективы в применении.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малюгин Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии. *Вестник офтальмологии*. 2014;130(6):80–88.

2. Офтальмология. Национальное руководство. Под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой и др. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 752 с.

3. Cerviño A., Hosking S.L., Montes-Mico R., Bates K. Clinical ocular wavefront analyzers. *Journal of Refractive Surgery*. 2007;23(6):603–616.

4. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Тахтаев Ю.В., Варавка А.А. Аберрометрия как метод оценки интраокулярной коррекции. *Офтальмохирургия*. 2007;4:22–26.

5. Балашевич Л.И., Качанов А.Б. Клиническая корнеотопография и аберрометрия. М., 2008. 167 с.

6. Lombardo M., Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2010;36(2):313–331.

7. Chang D.H., Rocha K.M. Intraocular lens optics and aberrations. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2016;27(4):298–303.

8. Georgiev S., Kumar A., Findl O. et al. Digital ocular swept source optical coherence aberrometry. *Biomedical Optics Express*. 2021;7(11):6762–6779.

9. Поздеева Н.А., Паштаев Н.П., Куликов И.В., Николаева И.П. Анализ результатов традиционной фактоэмульсификации катаракты в сравнении с фемтолазер-ассистированной экстракцией катаракты с имплантацией премиум ИОЛ. *Современные технологии в офтальмологии*. 2022;3(43):159–162.

10. Никитин В.Н., Иванов Д.И. Сравнительная оценка влияния положения ИОЛ на показатели аберрометрии после шовной фиксации комплекса «ИОЛ – капсульный мешок» к радужной оболочке. *Офтальмология*. 2022;19(4):768–773.

11. Alió J.L., Schimchak P., Montés-Micó R., Galal A. Retinal image quality after microincision intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005; 31(8):1557–1560.
12. Plaza-Puche A.B., Salerno L.C., Versaci F. et al. Clinical evaluation of the repeatability of ocular aberrometry obtained with a new pyramid wavefront sensor. *European Journal of Ophthalmology*. 2019;29(6):585–592.
13. D’Oria F., Scotti G., Sborgia A. et al. How Reliable Is Pyramidal Wavefront-Based Sensor Aberrometry in Measuring the In Vivo Optical Behaviour of Multifocal IOLs? *Sensors*. 2023;23(7):3534.
14. Liang J., Grimm B., Goelz S., Bille J.F. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *The Journal of the Optical Society of America*. 1994;11(7):1949–1957.
15. Thibos L.N. Principles of Hartmann-Shack aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):563–565.
16. Mrochen M., Kaemmerer M., Mierdel P. et al. Principles of Tscherning aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):570–571.
17. Molebny V.V., Panagopoulou S.I., Molebny S.V. et al. Principles of ray tracing aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):572–575.
18. Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 1: Technical specifications. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005;31(6):1114–1127.
19. Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 2: statistical comparison in a test group. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2006;32(1):33–44.
20. Alió J.L., D’Oria F., Toto F. et al. Retinal image quality with multifocal, EDoF, and accommodative intraocular lenses as studied by pyramidal aberrometry. *Eye and Vision*. 2021;6(1):37.
21. Ragazzoni R. Pupil Plane Wavefront Sensing with an Oscillating Prism. *Journal of Modern Optics*. 1996;43:289–293.
22. Vacalebre M., Frison R., Corsaro C. et al. Advanced optical wavefront technologies to improve patient quality of vision and meet clinical requests. *Polymers (Basel)*. 2022;5(23):5321.
23. Malyugin B.E. Cataract surgery and intraocular correction at the present stage of ophthalmic surgery development. *Vestnik oftalmologii = Bulletin of Ophthalmology*. 2014;130(6):80–88. (In Russ.).
24. Ophthalmology. National guidelines. S.E. Avetisov, Ye.A. Yegorov, L.K. Moshetova (eds.). Moscow; Geotar-Medi; 2019. 752 p. (In Russ.).
25. Cerviño A., Hosking S.L., Montes-Mico R., Bates K. Clinical ocular wavefront analyzers. *Journal of Refractive Surgery*. 2007;23(6):603–616.
26. Balashevich L.I., Kachyanov A.B., Takhtaev Yu.V., Varavka A.A. Aberrometry as a method of evaluating intraocular correction. *Oftalmokhirurgiya = Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2007;4:22–26. (In Russ.).
27. Balashevich L.I., Kachyanov A.B. Clinical corneotopography and aberrometry. Moscow, 2008. 167 p. (In Russ.).
28. Lombardo M., Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2010;36(2):313–331.
29. Chang D.H., Rocha K.M. Intraocular lens optics and aberrations. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2016;27(4):298–303.
30. Georgiev S., Kumar A., Findl O. et al. Digital ocular swept source optical coherence aberrometry. *Biomedical Optics Express*. 2021;7(11):6762–6779.
31. Pozdeeva N.A., Pashtae N.P., Kulikov I.V., Nikolaeva I.P. Analysis of the results of traditional cataract phacoemulsification in comparison with femtolasar-assisted cataract extraction with premium IOL implantation. *Sovremennye tehnologii v oftalmologii = Modern technologies in ophthalmology*. 2022; 3(43):159–162. (In Russ.).
32. Nikitin B.N., Ivanov D.I. Comparative assessment of the influence of the IOL position on the aberrometry parameters after suture fixation of the IOL-capsule bag complex to the iris. *Oftalmologiya = Ophthalmology*. 2022;19(4): 768–773. (In Russ.).
33. Alió J.L., Schimchak P., Montés-Micó R., Galal A. Retinal image quality after microincision intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005; 31(8):1557–1560.
34. Plaza-Puche A.B., Salerno L.C. et al. Clinical evaluation of the repeatability of ocular aberrometry obtained with a new pyramid wavefront sensor. *European Journal of Ophthalmology*. 2019;29(6):585–592.
35. D’Oria F., Scotti G., Sborgia A. et al. How Reliable Is Pyramidal Wavefront-Based Sensor Aberrometry in Measuring the In Vivo Optical Behaviour of Multifocal IOLs? *Sensors*. 2023;23(7):3534.
36. Liang J., Grimm B., Goelz S., Bille J.F. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *The Journal of the Optical Society of America*. 1994;11(7):1949–1957.
37. Thibos L.N. Principles of Hartmann-Shack aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):563–565.
38. Mrochen M., Kaemmerer M., Mierdel P. et al. Principles of Tscherning aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):570–571.
39. Molebny V.V., Panagopoulou S.I., Molebny S.V. et al. Principles of ray tracing aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):572–575.
40. Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 1: Technical specifications. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005;31(6):1114–1127.
41. Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 2: statistical comparison in a test group. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2006;32(1):33–44.
42. Alió J.L., D’Oria F., Toto F. et al. Retinal image quality with multifocal, EDoF, and accommodative

REFERENCES

1. Malyugin B.E. Cataract surgery and intraocular correction at the present stage of ophthalmic surgery development. *Vestnik oftalmologii = Bulletin of Ophthalmology*. 2014;130(6):80–88. (In Russ.).
2. Ophthalmology. National guidelines. S.E. Avetisov, Ye.A. Yegorov, L.K. Moshetova (eds.). Moscow; Geotar-Medi; 2019. 752 p. (In Russ.).
3. Cerviño A., Hosking S.L., Montes-Mico R., Bates K. Clinical ocular wavefront analyzers. *Journal of Refractive Surgery*. 2007;23(6):603–616.
4. Balashevich L.I., Kachyanov A.B., Takhtaev Yu.V., Varavka A.A. Aberrometry as a method of evaluating intraocular correction. *Oftalmokhirurgiya = Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2007;4:22–26. (In Russ.).
5. Balashevich L.I., Kachyanov A.B. Clinical corneotopography and aberrometry. Moscow, 2008. 167 p. (In Russ.).
6. Lombardo M., Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2010;36(2):313–331.
7. Chang D.H., Rocha K.M. Intraocular lens optics and aberrations. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2016;27(4):298–303.
8. Georgiev S., Kumar A., Findl O. et al. Digital ocular swept source optical coherence aberrometry. *Biomedical Optics Express*. 2021;7(11):6762–6779.
9. Pozdeeva N.A., Pashtae N.P., Kulikov I.V., Nikolaeva I.P. Analysis of the results of traditional cataract phacoemulsification in comparison with femtolasar-assisted cataract extraction with premium IOL implantation. *Sovremennye tehnologii v oftalmologii = Modern technologies in ophthalmology*. 2022; 3(43):159–162. (In Russ.).
10. Nikitin B.N., Ivanov D.I. Comparative assessment of the influence of the IOL position on the aberrometry parameters after suture fixation of the IOL-capsule bag complex to the iris. *Oftalmologiya = Ophthalmology*. 2022;19(4): 768–773. (In Russ.).
11. Alió J.L., Schimchak P., Montés-Micó R., Galal A. Retinal image quality after microincision intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005; 31(8):1557–1560.
12. Plaza-Puche A.B., Salerno L.C. et al. Clinical evaluation of the repeatability of ocular aberrometry obtained with a new pyramid wavefront sensor. *European Journal of Ophthalmology*. 2019;29(6):585–592.
13. D’Oria F., Scotti G., Sborgia A. et al. How Reliable Is Pyramidal Wavefront-Based Sensor Aberrometry in Measuring the In Vivo Optical Behaviour of Multifocal IOLs? *Sensors*. 2023;23(7):3534.
14. Liang J., Grimm B., Goelz S., Bille J.F. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *The Journal of the Optical Society of America*. 1994;11(7):1949–1957.
15. Thibos L.N. Principles of Hartmann-Shack aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):563–565.
16. Mrochen M., Kaemmerer M., Mierdel P. et al. Principles of Tscherning aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):570–571.
17. Molebny V.V., Panagopoulou S.I., Molebny S.V. et al. Principles of ray tracing aberrometry. *Journal of Refractive Surgery*. 2000;16(5):572–575.
18. Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 1: Technical specifications. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005;31(6):1114–1127.
19. Rozema J.J., Van Dyck D.E., Tassignon M.J. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 2: statistical comparison in a test group. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2006;32(1):33–44.
20. Alió J.L., D’Oria F., Toto F. et al. Retinal image quality with multifocal, EDoF, and accommodative

intraocular lenses as studied by pyramidal aberrometry. *Eye and Vision*. 2021;6(1):37.

21. Ragazzoni R. Pupil Plane Wavefront Sensing with an Oscillating Prism. *Journal of Modern Optics*. 1996;43:289–293.

22. Vacalebre M., Frison R., Corsaro C. et al. Advanced optical wavefront technologies to improve patient quality of vision and meet clinical requests. *Polymers (Basel)*. 2022; 5(23):5321.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Ольга Ивановна Розанова – доктор медицинских наук, заведующая лечебно-консультационным отделением, ведущий научный сотрудник, врач-офтальмолог, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск, Россия; olgrozanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3139-2409>

Сергей Владимирович Кузьмин – заведующий операционным блоком, врач-офтальмолог, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск, Россия; skz9093@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1590-7743>

Олег Павлович Мищенко – кандидат медицинских наук, заведующий офтальмологическим отделением, врач-офтальмолог, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск, Россия; silver_mitch@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-0323-4967>

Бальжинима Анандаевна Цыбжитова – врач-офтальмолог Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск; ifok.mntk@mail.ru

Егор Владимирович Архипов – врач-офтальмолог, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск; egorar8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8645-7930>

Андрей Александрович Иванов – врач-офтальмолог, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Федорова, Иркутский филиал, Иркутск; ivanov.andrei.med@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4235-9252>

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 09.02.2024; принята к публикации 15.02.2024.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Information about the authors

Olga I. Rozanova – MD, Head of the Medical Consulting Department, Leading researcher, ophthalmologist, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk Branch, Irkutsk, Russia; olgrozanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3139-2409>

Sergey V. Kuzmin – Head of the Operating unit, ophthalmologist, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk branch, Irkutsk, Russia; skz9093@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1590-7743>

Oleg P. Mishchenko – Candidate of Medical Sciences, Head of the Ophthalmology Department, Ophthalmologist, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk branch, Irkutsk, Russia; silver_mitch@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-0323-4967>

Balzhinima A. Tsybzhitova – ophthalmologist Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk branch, Irkutsk; ifok.mntk@mail.ru

Egor V. Arkhipov – ophthalmologist, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk branch, Irkutsk; egorar8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8645-7930>

Andrey A. Ivanov – ophthalmologist, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Irkutsk branch, Irkutsk; ivanov.andrei.med@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4235-9252>

The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 09.02.2024; accepted for publication 15.02.2024.