

Обзор
УДК 617.741-004.1
doi: 10.25276/0235-4160-2023-1-90-96

Современные подходы к хирургии катаракты на основании анализа волнового фронта

Е.М. Титаренко, О.В. Шиловских, Д.И. Иванов, А.Н. Ульянов

Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», Екатеринбург

РЕФЕРАТ

Актуальность. Катаракта является ведущей причиной нарушения зрения во всем мире. Даже на ранних стадиях развития катаракты, когда максимальная острота зрения часто остается высокой, пациенты предъявляют жалобы на снижение качества изображения (рассеивание света, диплопию), что выражается в трудности выполнения повседневной и профессиональной деятельности. Причиной данного состояния в большинстве случаев являются внутренние aberrации высшего порядка. Одним из актуальных вопросов современной офтальмологии является определение показаний к хирургии начальных катаракт с высокой остротой зрения. **Цель.** Проанализировать современное состояние проблемы изменения волнового фронта у пациентов с различными видами начального помутнения хрусталика. **Материал и методы.** Произведен системный анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов на ресурсах PubMed, Medline с 2000 до 2022 г., посвященных существующим на настоящий момент методам оценки качества зрения пациентов с начальными помутне-

ниями хрусталика. **Результаты.** Проведенный нами анализ литературы показал огромную значимость оценки aberrаций волнового фронта у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения. С появлением современных диагностических систем – aberromетров для изолированной оценки внутренних aberrаций – у врачей появилась возможность интерпретации данных о влиянии изменений хрусталика на качество зрения. **Заключение.** Острота зрения у пациентов с начальной катарактой не является уникальным критерием оценки для определения сроков хирургического вмешательства. Анализ aberrаций волнового фронта в большей мере описывает нарушения качества зрения и может быть использован в качестве объективных критериев для назначения оперативного лечения. Изучение aberrаций человеческого глаза позволяет дать объективную и количественную оценку оптическому аппарату глаза, что расширяет возможности для диагностики и для формирования хирургических подходов при начальных помутнениях хрусталика у пациентов с высокой остротой зрения.

Ключевые слова: aberrации высшего порядка волнового фронта, катаракта ■

Для цитирования: Титаренко Е.М., Шиловских О.В., Иванов Д.И., Ульянов А.Н. Современные подходы к хирургии катаракты на основании анализа волнового фронта. Офтальмохирургия. 2023;1: 90–96. doi: 10.25276/0235-4160-2023-1-90-96

Автор, ответственный за переписку: Елена Михайловна Титаренко, eyetitarenko@gmail.com

ABSTRACT

Review

Modern approaches to cataract surgery based on wavefront analysis

E.M. Titarenko, O.V. Shilovskikh, D.I. Ivanov, A.N. Ulyanov

Eye Microsurgery Ekaterinburg Center, Ekaterinburg, Russian Federation

Relevance. Cataract is the leading cause of visual impairment worldwide. Even in the early stages of cataract development, when the maximum visual acuity often remains high, patients complain of a decrease in image quality (light scattering, diplopia), which is expressed in the difficulty of performing daily and professional activities. The cause of this condition in most cases is internal aberrations of a higher order. One of the topical issues of modern ophthalmology is the definition of indications for surgery of primary cataracts with high visual acuity. **Purpose.** The purpose of this literature review was to describe the

current state of the problem of wavefront changes in patients with various types of initial lens opacity. **Material and methods.** A systematic analysis of scientific publications of domestic and foreign authors on the resources PubMed, Medline from 2000 to 2022, devoted to the currently existing methods for assessing the quality of vision of patients with initial opacification of the lens, was carried out. **Results.** Our literature review showed the great importance of assessing wavefront aberrations in patients with initial cataracts and high visual acuity. With the advent of modern diagnostic systems – aberrometers with the possibility of an

isolated assessment of internal aberrations, doctors have the opportunity to interpret data on the effect of lens changes on the quality of vision.

Conclusion. Visual acuity in patients with initial cataract is not a unique evaluation criterion for determining the timing of surgical intervention. Analysis of wavefront aberrations to a greater extent describe visual impairments and can be used as objective criteria for prescribing surgical

treatment. The study of aberrations of the human eye makes it possible to give an objective and quantitative assessment of the optical functions of the eye, which expands the possibilities for diagnosis and for the formation of surgical approaches for initial lens opacities in patients with high visual acuity.

Key words: *higher-order wavefront aberrations, cataract* ■

For citation: Titarenko E.M., Shilovskikh O.V., Ivanov D.I., Ulyanov A.N. Modern approaches to cataract surgery based on wavefront analysis. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;1: 90–96. doi: 10.25276/0235-4160-2023-1-90-96

Corresponding author: Elena M. Titarenko, eyetitarenko@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Катаракта по-прежнему остается основной причиной нарушения зрения во всем мире [1]. По данным популяционных исследований, распространенность и выявляемость катаракты в мире увеличивается [2, 3]. В клинических рекомендациях от 2021 г. всем пациентам с установленным диагнозом «катаракта» рекомендовано удаление помутневшего хрусталика с имплантацией интраокулярной линзы как единственный действенный и радикальный способ лечения катаракты. Настоящий этап развития хирургических технологий обосновывает целесообразность введения в клиническую практику условного порога остроты зрения, равного его снижению до 0,5 с коррекцией. Однако не только острота зрения является определяющей в оценке качества зрения пациентов с катарактой. Даже на ранних стадиях развития катаракты, когда максимальная острота зрения (в том числе с коррекцией) часто остается высокой, пациенты предъявляют жалобы на снижение качества изображения (рассеивание света, диплопию), что вызывает трудности в повседневной и профессиональной жизни [3, 4]. Оценка взаимосвязи изменений состояния хрусталика и жалоб пациента является сложной задачей для практического офтальмолога, что ранее было связано с отсутствием диагностических приборов, измеряющих долю влияния хрусталика на качество зрения. Одним из распространенных способов оценки состояния хрусталика является биомикроскопия, но данный способ исследования является субъективным и результат оценки может варьироваться от специалиста к специалисту [5]. Современные диагностические системы – aberrometry с возможностью изолированной оценки внутренних aberrаций – дали врачам возможность интерпретации данных о влиянии изменений хрусталика на качество зрения.

ЦЕЛЬ

Проанализировать современное состояние проблемы изменения волнового фронта у пациентов с различными видами начального помутнения хрусталика.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Произведен системный анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов на ресурсах PubMed, Medline с 2000 до 2022 г., посвященных существующим на настоящий момент методам оценки качества зрения пациентов с начальными помутнениями хрусталика.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Аберрациями называют ошибки фокусирования оптической системы, не позволяющие сформировать четкое изображение на сетчатке глаза. Наиболее часто в офтальмологии для аппроксимации волнового фронта применяют полиномы Цернике, которые эффективно описывают aberrations волнового фронта. Графически их можно представить в виде пирамиды. Аберрации в центре пирамиды Цернике оказывают наибольшее влияние на качество зрительного восприятия по сравнению с aberrations на ее краю. Глазные aberrations подразделяют на aberrations низшего порядка и aberrations высшего порядка (рис. 1).

Аберрации низшего порядка могут быть скорректированы с помощью очков и контактных линз и составляют около 85% от всех aberrations. К aberrations низшего порядка относятся: defocus – положительная (дальнозоркость) или отрицательная (близорукость), которые являются доминирующими aberrations, затем идет astigmatism (ортогональный или косой). Аберрации высшего порядка существенно влияют на качество зрения, ухудшая его, несмотря на использование правильно подобранной оптической коррекции. К ним относятся coma, сферические aberrations и trefoil (трилистник).

Coma – aberration третьего порядка с коэффициентами Цернике Z_3^{-1} и Z_3^1 вертикальная и горизонтальная coma (рис. 1) соответственно. Coma проявляется в том, что симметричный относительно главного луча световой пучок, входящий в оптическую систему, становится асимметричным при выходе из нее. Нарушение симметрии в вышедшем пучке лучей объясняется неодинако-

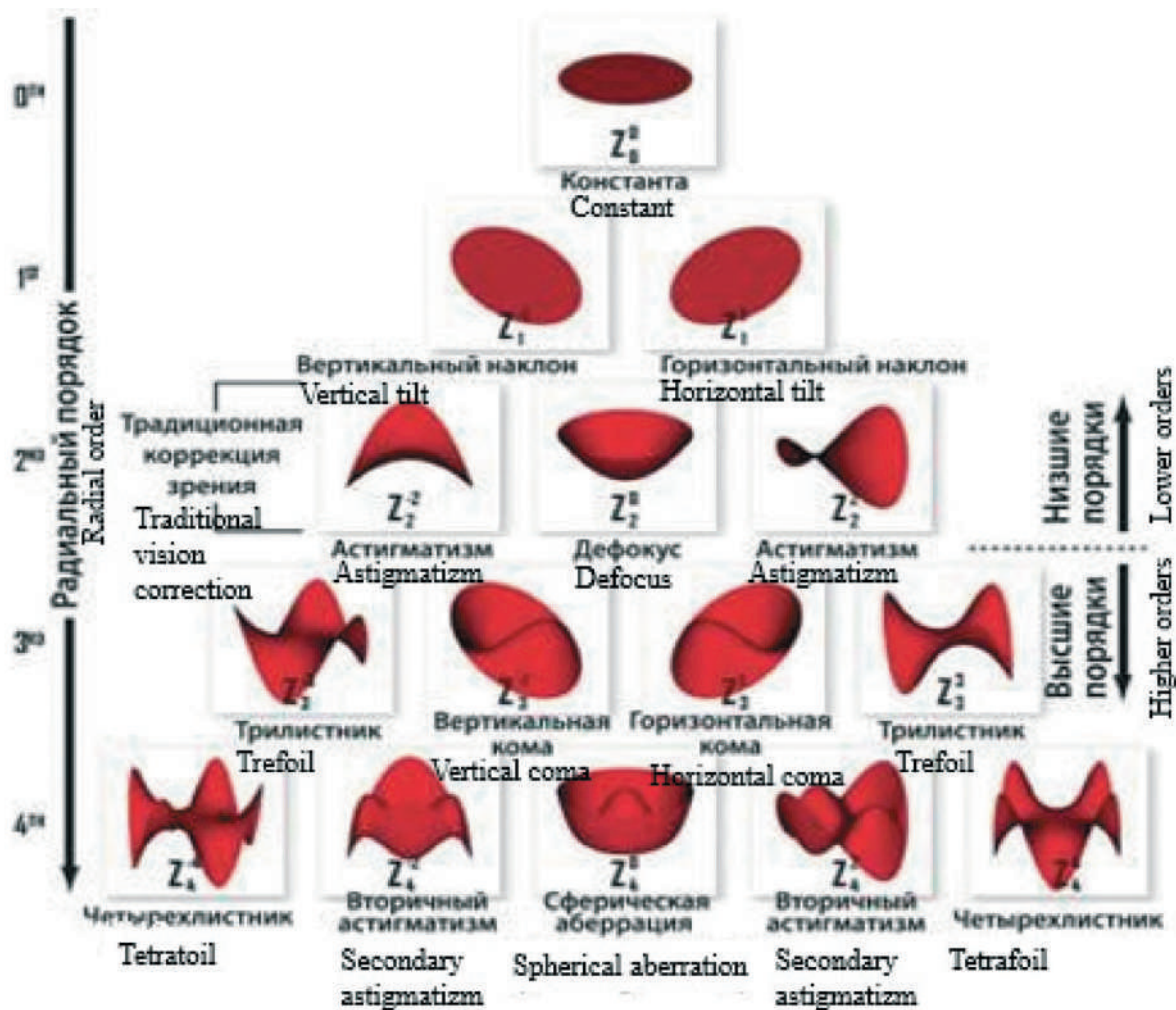


Рис. 1. Полиномы Цернике. Аберрации низших и высших порядков

Fig. 1. Zernike polynomials. Aberrations of lower and higher orders

выми условиями преломления лучей. Кома часто рассматривается как проблематичная аберрация из-за асимметрии, которую она создает в изображениях. Визуально люди с таким типом аберрации могут испытывать размытие и двоение изображения, при этом у изображений могут появляться хвосты, как у кометы.

Сферическая аберрация – аберрация оптической системы с коэффициентами Цернике Z_4 (рис. 1), из-за которой происходит несовпадение фокусов для лучей света, проходящих на разных расстояниях от оптической оси. Она приводит к нарушению гомоцентричности пучков лучей от точечного источника без нарушения симметрии строения этих пучков. Сферические аберрации вызывают появления ореолов вокруг точечных источников света и являются причиной снижения контрастной чувствительности.

Трефоил – аберрация третьего порядка с коэффициентами Цернике Z_3^{-3} и Z_3^3 (рис. 1). Трефоил возникает при irregularности оптической поверхности. Трефоил оказывает меньшее влияние на качество изображе-

ния по сравнению с равной по абсолютному значению аберрационной моды комой, вызывая оптический феномен в виде лучистости. Различие в форме волнового фронта, входящего в глаз и выходящего из глаза, определяет тип аберрации (рис. 2).

Все структуры глазного яблока, такие как слезная пленка, роговица, хрусталик, стекловидное тело, сетчатка, влияют на возникновение аберраций оптической системы глаза. Возникновение irregularности поверхности роговицы, вызванное синдромом «сухого глаза», оптической неоднородностью и нарушением прозрачности слоев роговицы приводят к резкому изменению аберрационной картины волнового фронта глаза с увеличением аберраций высших порядков [6–8]. В частности, данные изменения роговицы характерны для таких заболеваний, как кератоконус [9], эндотелиальная дистрофия роговицы [10]. Изменение волнового фронта также может быть связано с плавающими помутнениями в стекловидном теле [11], изменениями сетчатки [12, 13].

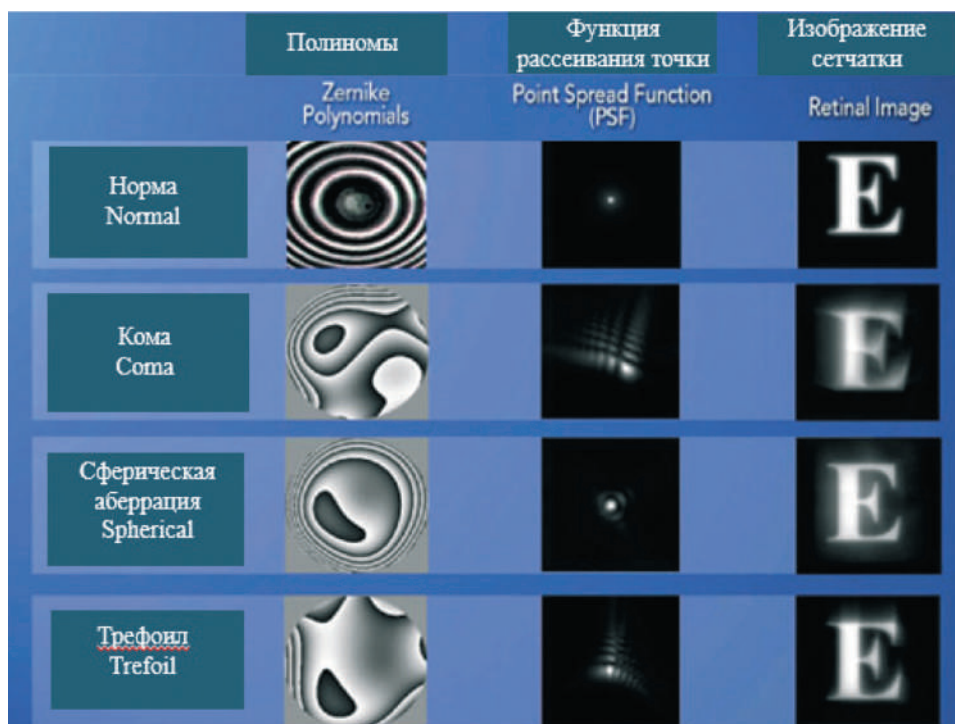


Рис. 2. Симуляция оптических феноменов в зависимости от аберрации

Fig. 2. Simulation of optical phenomena depending on aberration

Также для оценки качества зрения может быть использована функция передачи модуляции, которая описывает качество изображения оптической системы и измеряет передачу модуляции (контрастности) от объекта к изображению, т.е. насколько достоверно оптическая система передает различные уровни детализации изображения. Функция передачи модуляции (ФПМ) аналогична функции контрастной чувствительности глаза, но не зависит от субъективного восприятия человеком.

Современные aberрометры способны с высокой точностью определять различные оптические дефекты зрительной системы человека, позволяют выделить отдельно внутренние и роговичные аберрации из числа общих аберраций (рис. 2). Работа современных aberрометров построена на использовании различных оптических принципов, таких как трассировка лучей (абберометрия прямой проекции) и автоматическая ретиноскопия (щелевая скиаскопия).

Различные типы начального помутнения хрусталика проявляются разными профилями аберраций волнового фронта. Первые данные по анализу волнового фронта глаза с катарактой были предоставлены Т. Kuroda и соавт. в 2002 г., в исследовании в группе пациентов с ядерной катарактой выявлена отрицательная сферическая аберрация $-1,274 \pm 0,733$ мкм при диаметре зрачка 6 мм [14]. Это открытие было важным, так как сферическая аберрация в нормальных здоровых глазах обычно имеет положительный знак [15]. К.М. Rocha и соавт. также описали, что в группе с кортикальной катарактой преобладает кома, в группе ядерной катаракты – сферическая абер-

рация [16]. Однако полярность внутренних сферических аберраций, которые были проанализированы в этом исследовании, противоположна полярности предыдущих исследований [17]. J. Lee и соавт. описали, что при ядерной катаракте полярность сферических аберраций отрицательна, поскольку волновой фронт задерживается, когда луч проходит внутри твердого ядра, в то время как прозрачные хрусталики имеют положительные сферические аберрации [18]. Клинически острота зрения при ядерной катаракте зависит от диаметра зрачка. Если зрачок мал, например, у пациентов старше 70 лет, то при ядерной катаракте может проявляться миопический сдвиг из-за повышенной центральной преломляющей способности хрусталика [19]. Ядерная катаракта у пациентов среднего возраста или пациентов с широким зрачком может вызвать монокулярную триплопию, связанную с комбинацией сферической аберрации и трейфола [20]. С.-Z. Wu и соавт. обнаружили, что кортикальная катаракта преимущественно увеличивает кому, тогда как помутнение в ядре увеличивает сферическую аберрацию [21, 22]. Оба типа хрусталиковых помутнений также индуцировали большее значение аберрационной моды трейфола. Задняя субкапсулярная катаракта недостаточно полно изучена с точки зрения изменения волнового фронта в связи с тем, что часто бывает довольно непрозрачной, что приводит к отсутствию данных в центральной области сканирования [23]. Возможно, оптические феномены при задней субкапсулярной катаракте связаны не столько с преломлением, сколько с поглощением и рассеянием света.



Рис. 3. Волновой фронт представленный общими, роговичными и внутренними абберациями

Fig. 3. The wavefront is represented by general, corneal and internal aberrations

По мнению ряда авторов, показатели общих аббераций волнового фронта высшего порядка (от 0,88–1,31 мкм), комы (от 0,47–0,76 мкм) и сферической абберации (от –0,16–0,35 мкм) значительно увеличены у пациентов с начальной катарактой и с высокой остротой зрения по сравнению с пациентами без катаракты, указывающие на ухудшение качества зрения у этих пациентов [24]. С чем связаны жалобы у пациентов с начальной катарактой и высокой остротой зрения? Е. Stifter и соавт. сравнили показатели контрастной чувствительности у пациентов в группах ядерной, кортикальной и задней субкапсулярной катаракты [25]. В их исследовании задняя субкапсулярная катаракта показала значительно сниженные показатели контрастной чувствительности по сравнению с другими группами. Сравнительно сильное влияние задней субкапсулярной катаракты на функциональное зрение может быть обусловлено типичным положением зоны непрозрачности задней капсулы хрусталика, которая чаще всего располагается в оптической оси глаза.

Функция передачи модуляции клинически полезна для оценки субъективной зрительной функции. Исследовано, что функция передачи модуляции ухудшается при наличии аббераций высшего порядка волнового фронта [26–28], это характерно для пациентов с наличием начальной катаракты и при этом высокой остротой зрения. I. Adamsons и соавт. сообщили, что низкие значения ФПМ были связаны с появлением таких симптомов, как ореолы, размытие изображения в виде звезды, туман-

ное зрение, жалобы на двойное или множественное изображение, плохое ночное зрение, которые уменьшились после удаления и улучшили значения ФПМ [29]. Несмотря на то что внутренние абберации увеличиваются с возрастом, важно отметить, что это увеличение не обязательно оказывает клинически значимое влияние на зрительную функцию, поскольку с возрастом происходят изменения размера зрачка [30, 31], снижаются зрительная работоспособность и качество нейронной обработки информации [32, 33]. Как и в любой оптической системе, размер зрачка имеет важное значение для формирования изображения. Уменьшение зрачка увеличивает глубину фокуса и сводит к минимуму влияние аббераций высшего порядка за счет уменьшения размытия изображения на сетчатке. Напротив, величина аббераций возрастает с расширением зрачка, что приводит к снижению оптического качества изображения. Поэтому важно учитывать размер зрачка при интерпретации карт волнового фронта. Вклад абберации высшего порядка в общую волновую абберацию возрастает с увеличением диаметра зрачка с 3 до 14% при изменении диаметра зрачка с 3,0 до 7,0 мм [34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Острота зрения у пациентов с начальной катарактой не является единственным критерием оценки для определения сроков хирургического вмешательства. Анализ

аббераций волнового фронта, функции передачи модуляции в большей мере описывают нарушения качества зрения и могут быть использованы в качестве объективных критериев для назначения оперативного лечения. Следовательно, требуется пересмотр рекомендаций для определения показаний к хирургическому лечению начальных катаракт с высокой корригируемой острой зрения. Разнообразие офтальмологических приборов, созданных с учетом новейших технологий и основанных на различных принципах действия, делает реальным не только качественную, но и количественную оценку нарушений оптических свойств хрусталика за счет описания аббераций низшего и высшего порядка. Однако необходимо учитывать, что на качество зрения влияет суммарный волновой фронт, так как абберации хрусталика могут нейтрализовать или усиливать роговичные абберации. Следует анализировать роговичные и внутренние абберации изолированно, для правильной диагностики предоперационного состояния.

Анализ внутренних аббераций высшего порядка, возникших в результате начальных помутнений хрусталика, имеет важное значение для определения влияния непрозрачности сред на качество зрения. Более того, прогноз возможной зрительной функции, достижимой после операции, невозможен до тех пор, пока не будет разработана клиническая система оценки качества зрения пациентов с катарактой.

Таким образом, изучение аббераций человеческого глаза позволяет дать объективную и количественную оценку оптическому аппарату глаза, что расширяет возможности для диагностики и для формирования хирургических подходов при начальных помутнениях хрусталика у пациентов с высокой остротой зрения.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Королева И.А., Егоров Е.А. Возрастная катаракта: профилактика и лечение. РМЖ. Клиническая Офтальмология. 2018;4: 194–198. [Koroleva IA, Egorov EA. Age-related cataract: prevention and treatment. 2018;4: 194–198. (In Russ.)] doi: 10.21689/2311-7729-2018-18-4-194-198
2. Hambisa MT, Dolja-Gore X, Byles JE. A longitudinal analysis of factors associated with age-related cataract among older Australian women: a cohort study of 7851 older Australian women 79–90 years. *Ir J Med Sci*. 2022. doi: 10.1007/s11845-022-03130-7
3. Lee CM, Afshari NA. The global state of cataract blindness. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017;28(1): 98–103. doi: 10.1097/ICU.0000000000000340
4. Khairallah M, Kahloun R, Bourne R. Number of people blind or visually impaired by cataract worldwide and in world regions, 1990 to 2010. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015;56(11): 6762–6769. doi: 10.1167/iov.15-17201
5. Tabin G, Chen M, Espandar L. Cataract surgery for the developing world. *Curr Opin Ophthalmol*. 2008;19(1): 55–59. doi: 10.1097/ICU.0b013e3282f154bd
6. Suliman A, Rubin A. A review of higher order aberrations of the human eye. *Afr Vis Eye Health*. 2019;78: 1. doi: 10.4102/aveh.v78i1.501
7. Montés-Micó R, Cáliz A, Alió JL. Wavefront analysis of higher order aberrations in dry eye patients. *J Refract Surg*. 2004;20: 243–247. doi: 10.3928/1081-597X-20040501-08
8. Koh S. Irregular astigmatism and higher-order aberrations in eyes with dry eye disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018;59: 36–40. doi: 10.1167/iov.17-23500
9. Liu RJ, Ma BK, Gao YF, Liu YY, Qi H. Evaluations of wavefront aberrations and corneal surface regularity in dry eye patients measured

- with OPD Scan III. *Int J Ophthalmol*. 2022;15(3): 407–412. doi: 10.18240/ijo.2022.03.06
10. Santodomingo-Rubido J, Carracedo G, Suzuki A. Keratoconus: An updated review. *Cont Lens Anterior Eye*. 2022;45(3): 101559. doi: 10.1016/j.clae.2021.101559
11. Arora R, Gupta P, Sahu J, Jain P, Vishwanath S, Shroff R. Analysis of corneal scheimpflug densitometry and ocular wavefront aberrations post Descemet stripping automated endothelial keratoplasty. *Eye Contact Lens*. 2022;48(6): 242–249. doi: 10.1097/ICL.0000000000000868
12. Tiezhu Lin, Tongtong Li, Xinmei Zhang, Yannian Hui. The efficacy and safety of YAG laser nitrolysis for symptomatic vitreous floaters of complete PVD or non-PVD. *Ophthalmol Ther*. 2022;11(1): 201–214. doi: 10.1007/s40123-021-00422-6
13. Miháltz K, Kovács I, Weingessel B. Ocular wavefront aberrations and optical quality in diabetic macular edema. *Retina*. 2016;36(1): 28–36. doi: 10.1097/IAE.0000000000000646
14. Bessho K, Bartsch D-UG, Gomez L, Cheng L. Ocular wavefront aberrations in patients with macular diseases. *Retina*. 2009;29(9): 1356–1363. doi: 10.1097/IAE.0b013e3181a5e657
15. Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T, Hirohara Y, Mihashi T. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol*. 2002;134: 1–9. doi: 10.1016/s0002-9394(02)01402-2
16. Porter J, Guirao A, Cox IG, Williams DR. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am*. 2001;18(8): 1793–1803. doi: 10.1364/josaa.18.001793
17. Rocha KM, et al. Higher-order aberrations of age-related cataract. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(8): 1442–1446. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.03.059
18. Fujikado T, Kuroda T, Maeda N, Ninomiya S. Light scattering and optical aberrations as objective parameters to predict visual deterioration in eyes with cataracts. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(6): 1198–1208. doi: 10.1016/j.jcrs.2003.12.023
19. Lee J, Kim MJ, Tchah H. Higher-order aberrations induced by nuclear cataract. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34(12): 2104–2109. doi: 10.1016/j.jcrs.2008.08.029
20. Pesudovs K, Elliott DB. Refractive error changes in cortical, nuclear, and posterior subcapsular cataracts. *Br J Ophthalmol*. 2003;87(8): 964–967. doi: 10.1136/bjo.87.8.964
21. Kim A, Bessho K, Okawa Y, Maeda N, Tano Y, Hirohara Y, Mihashi T, Fujikado T. Wavefront analysis of eyes with cataracts in patients with monocular triplopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2006;26(1): 65–70. doi: 10.1111/j.1475-1313.2005.00352
22. Cheng-Zhe Wu, Hua Jin, Zhen-Nv Shen. Wavefront aberrations and retinal image quality in different lenticular opacity types and densities. *Scientific reports*. 2010;10(7): 15247. doi: 10.1038/s41598-017-15245-4
23. Sachdev N, Ormonde SE, Sherwin T, McGhee CN. Higher-order aberrations of lenticular opacities. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(8): 1642–1648. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.02.048
24. Zhu X, Ye H, He W. Objective functional visual outcomes of cataract surgery in patients with good preoperative visual acuity. *Eye*. 2017;31(3): 452–459. doi: 10.1038/eye.2016.239
25. Stifter E, Sacu S, Thaler A, Weghaupt H. Contrast acuity in cataracts of different morphology and association to self-reported visual function. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006;47(12): 5412–5422. doi: 10.1167/iov.05-1564
26. Zhao J, Xiao F, Zhao H, Dai Y, Zhang Y. Effect of higher-order aberrations and intraocular scatter on contrast sensitivity measured with a single instrument. *Biomed Opt Exp*. 2017;1(8): 2138–2147. doi: 10.1364/BOE.8.002138
27. Jindra LF, Zemon V. Contrast sensitivity testing: a more complete assessment of vision. *J Cataract Refract Surg*. 1989;15(2): 141–148. doi: 10.1016/s0886-3350(89)80002-1
28. Adamsons I, Rubin GS, Vitale S, Taylor HR, Stark WJ. The effect of early cataracts on glare and contrast sensitivity. A pilot study. *Arch Ophthalmol*. 1992;110(8): 1081–1086. doi: 10.1001/archoph.1992.01080200061025
29. Tuan KM, Chernyak D, Feldman ST. Predicting patients' night vision complaints with wavefront technology. *Am J Ophthalmol*. 2006;141(1): 1–6. doi: 10.1016/j.ajo.2005.08.065
30. Cabot F, Saad A, McAlinden C, Haddad NM, Grise-Dulac A, Gatineau D. Objective assessment of crystalline lens opacity level by measuring ocular light scattering with a double-pass system. *Am J Ophthalmol*. 2013;155(4): 629–635. doi: 10.1016/j.ajo.2012.11.005
31. Watson AB, Yellott JL. A unified formula for light-adapted pupil size. *J Vis*. 2012;25;12(10): 12. doi: 10.1167/12.10.12.ID 4318405
32. Fernández J, Rodríguez-Vallejo M, Martínez J. From presbyopia to cataracts: A critical review on dysfunctional lens syndrome. *J Ophthalmol*. 2018;27:2018: 4318405. doi: 10.1155/2018/4318405
33. Owsley C. Vision and aging. *Ann Rev Vis Sci*. 2016; 14;2: 255–271. doi: 10.1146/annurev-vision-111815-114550

34. Guirao A, Porter J, Williams DR, Cox IG. Calculated impact of higher-order monochromatic aberrations on retinal image quality in a population of human eyes. *J Opt Soc Am.* 2002;19: 1–9: 620–628. 9. doi: 10.1364/josaa.19.000001

Информация об авторах

Елена Михайловна Титаренко, врач-офтальмолог, eyetitarenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

Олег Владимирович Шиловских, к.м.н., врач-офтальмохирург, ekmntk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4931-8266>

Дмитрий Иванович Иванов, д.м.н., врач-офтальмохирург, ivanov@eyeclinic.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9777-3779>

Алексей Николаевич Ульянов, врач-офтальмохирург, eyealexey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4545-3236>

Information about the authors

Elena M. Titarenko, Ophthalmologist, eyetitarenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

Oleg V. Shilovskikh, PhD in Medicine, Ophthalmic Surgeon, ekmntk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4931-8266>

Dmitrii I. Ivanov, Doctor of Sciences in Medicine, Ophthalmic Surgeon, ivanov@eyeclinic.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9777-3779>

Alexey N. Ul'yanov, Ophthalmic Surgeon, eyealexey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4545-3236>

Вклад авторов в работу:

Е.М. Титаренко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста, редактирование.

О.В. Шиловских: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Д.И. Иванов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

А.Н. Ульянов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Authors' contribution:

E.M. Titarenko: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing, editing.

O.V. Shilovskikh: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

D.I. Ivanov: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

A.N. Ul'yanov: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

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

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

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 01.11.2022

Переработана: 26.12.2022

Принята к печати: 12.01.2023

Originally received: 01.11.2022

Final revision: 26.12.2022

Accepted: 12.01.2023