

Эксимерлазерная коррекция миопии с использованием асферической технологии. Обзор литературы

Погодина Е.Г.¹, Мушкова И.А.², Каримова А.Н.², Мовшев В.Г.³

¹ Оренбургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (460047, г. Оренбург, ул. Салмышская, 17, Россия); ² ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, 59а, Россия); ³ ООО «Оптосистемы» (142191, г. Троицк, ул. Промышленная, 1-А, Россия)

Автор, ответственный за переписку: Погодина Елена Геннадьевна, e-mail: elenapogodina56@yandex.ru

Резюме

В статье приведён литературный обзор научных источников по вопросу использования асферической технологии при коррекции аномалий рефракции на современном этапе развития эксимерлазерной хирургии. Освещена актуальность проблемы разработки алгоритмов, повышающих качественные показатели, сохраняющие тонкие функции зрения (низкоконтрастную остроту зрения, остроту зрения в различных условиях освещённости) после эксимерлазерной коррекции аметропий. Приведены литературные данные о причинах снижения качества зрения после рефракционных операций. Особое внимание в статье уделено данным исследователей по описанию показателей асферичности, важности их влияния на качественные характеристики зрения. Разъясняется механизм влияния изменённого абберационного баланса роговицы после рефракционных вмешательств на показатели пространственно-контрастных характеристик зрения у рефракционных пациентов, подчёркивается важность оценки этих показателей до и после рефракционных операций. Описываются виды асферических алгоритмов абляции, применяемые в современных как зарубежных, так и отечественных эксимерлазерных системах, их отличия. Проанализированы недостатки и преимущества применяемых асферических алгоритмов, прослежена историческая эволюция программного обеспечения, которое разрабатывалось и вводилось в новые эксимерлазерные установки для проведения асферических операций. Подробно приведено принципиальное различие асферической абляции, оптимизированной по волновому фронту с усреднённым показателем асферичности, введённым самим производителем установки и алгоритма, где выполняется асферическая абляция с персонализированным Q-фактором, управлять сдвигом которого возможно самому хирургу. Подчёркивается проблема разработки оптимизированной технологии асферического алгоритма абляции при коррекции миопии в связи с существованием ограничений использования асферической методики на отечественной эксимерлазерной установке «Микроскан-ВИЗУМ».

Ключевые слова: асферическая абляция, коническая константа, миопия, эксимерлазерная коррекция

Для цитирования: Погодина Е.Г., Мушкова И.А., Каримова А.Н., Мовшев В.Г. Эксимерлазерная коррекция миопии с использованием асферической технологии. Обзор литературы. *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(4): 157-162. doi: 10.29413/ABS.2019-4.4.25

Excimer Laser Correction of Myopia Using Aspheric Technology. Literature Review

Pogodina E.G.¹, Mushkova I.A.², Karimova A.N.², Movshev V.G.³

¹ Orenburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (17 Salmyshskaya str., Orenburg 460047, Russian Federation); ² S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (59A Beskudnikovsky blvd, Moscow 127486, Russian Federation); ³ ООО "Optosystems" (1-A Promyshlennaya str., Troitsk 142191, Russian Federation)

Corresponding author: Elena G. Pogodina, e-mail: elenapogodina56@yandex.ru

Abstract

The article presents a literature review of scientific sources on the use of aspheric technology for the correction of refractive errors at the present stage of development of excimer laser surgery. The article highlights the pressing challenge of developing algorithms that improve quality indicators, maintaining subtle visual functions (low-contrast visual acuity, visual acuity in various illuminating conditions) after excimer laser correction of ametropia. The literature data on the etiology of visual acuity reduction after refractive operations are given. Special consideration is given to the description of asphericity indicators by the researchers, the importance of influence of the indicators on the qualitative characteristics of vision. The mechanism of influence of the modified aberration balance of the cornea after refractive interventions on the indicators of spatial-contrasting characteristics of vision in refractive patients is clarified; the importance of evaluating these indicators before and after refractive surgeries is emphasized. The types of aspherical ablation algorithms used in modern, both foreign and domestic, excimer laser systems, and their differences are described. Advantages and disadvantages of the aspherical algorithms used have been analyzed, historical evolution of the software that was developed and introduced into the new excimer laser systems for aspherical operations has been traced. Fundamental difference between aspheric ablation optimized with respect to wavefront with average asphericity index, introduced by the manufacturer of the facility, and the algorithm, where aspheric ablation is performed with personalized Q-factor, which can be controlled by the surgeon himself, is presented in detail. The problem of developing optimized technology of aspheric ablation algorithm in correcting myopia due to the existence of restrictions on the use of aspheric techniques on domestic "Microscan-VIZUM" excimer laser unit is emphasized.

Key words: aspherical ablation, conic constant, myopia, excimer laser correction

For citation: Pogodina E.G., Mushkova I.A., Karimova A.N., Movshev V.G. Excimer Laser Correction of Myopia Using Aspheric Technology. Literature Review. *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(4): 157-162. doi: 10.29413/ABS.2019-4.4.25

Ежегодно в мире проводится более 3 млн рефракционных операций в год (по данным Института глазных болезней им. Гельмгольца). Эффективность, стабильность, безопасность и предсказуемость проведённых операций, согласно общепринятым стандартам рефракционной хирургии, подтверждают многочисленные исследования [1].

Однако неуклонный рост подобных операций приводит к тому, что наличие неудовлетворительного исхода даже у относительно небольшой доли пациентов делает эту проблему весьма насущной и актуальной. Массовость рефракционной хирургии привела к большому количеству наблюдений, которые, несмотря на устранения дефокусировки глаза, полученной высокой остроты зрения, не привели пациентов к полной удовлетворённости результатами [2]. Несмотря на высокую послеоперационную остроту зрения в дневное время суток, пациенты предъявляют жалобы на снижение зрения в сумерках, в условиях недостаточного освещения, на расплывчатость контуров предметов, высокую слепимость, на проблемы с вождением автомобиля в ночное время [2, 3].

Важнейшим фактором, влияющим на функциональный результат рефракционной операции, является оптимальный набор оптических aberrаций [4]. Рефракционная операция изменяет оптический профиль, ведёт к увеличению оптических искажений, самими «влиятельными» на качество зрения из которых, по данным многочисленных исследований, являются сферическая aberrация и кома, имеющие роговичное происхождение [5]. Как следствие, ухудшается качество изображения, снижается контрастная чувствительность, увеличивается восприятие бликов [6].

Для уменьшения жалоб на качество зрения в условиях различной степени освещённости, необходимо стремиться к сохранению исходной, индивидуальной формы роговицы после эксимерлазерной операции, т. е. в процессе планирования вмешательства учитывать её начальную форму, которая от природы в подавляющем большинстве случаев является асферичной [7].

Использование алгоритма лазерной коррекции, в процессе которого возможно управлять показателем асферичности роговицы, помогает решить проблему качества зрения в условиях различной степени освещённости и в ночное время [8]. Сущность асферических алгоритмов заключается в применении усовершенствованной программы с оптимизированной асферической переходной зоной – плавной переходной зоной, зоной с постепенным изменением оптической силы от границы оптической зоны к периферии, ориентированной по конической константе [9].

Современные лазеры используют два подхода к решению данной задачи. В одном случае осуществляется принцип формирования на роговице асферической линзы, в другом случае применяется оптимизированный профиль для коррекции сферической aberrации. Обе эти технологии сравнимы по своим результатам. Разработка этих алгоритмов основана на понимании того, что при миопической абляции существуют две переходные зоны – от оптической зоны роговицы к переходной и от переходной зоны к интактной роговице. Разработанная

функция радиальной компенсации позволяет применять дополнительную энергию на периферии роговицы. Ещё одним моментом улучшения функциональных результатов в современных алгоритмах является использование достаточно больших диаметров как центральной, так и переходной зон лазерного воздействия [10].

Асферический профиль абляции, оптимизированный по волновому фронту (WFO), используется во многих лазерных системах и в настоящее время относится к стандартному [2]. Такой способ позволяет корректировать один вид aberrаций высокого порядка – сферическую aberrацию. Это происходит путём введения величины отрицательной сферической aberrации для компенсации послеоперационной положительной сферической aberrации. Расчёт её значения проводится по усреднённой статистической базе данных, где среднее значение корригируемой миопии соответствует определённой величине сферической aberrации. Такой оптимизированный асферический алгоритм имеет ряд недостатков, которые стали очевидными при проведении значительного количества операций. По данным анализа результатов European Databank on Medical Devices – EUDAMED [11], Food and Drug Administration (FDA) [12], были выявлены следующие осложнения: центральные островки (Central Islands); проблемы ночного вождения (Night Driving Problems).

В 2006 г. Dr J. Machat и Dr. Holzman в своей статье впервые сделали предположение, что aberrация кома (на топограмме это децентрированный островок) происходит из-за непредсказуемой перекоррекции отрицательной сферической aberrации.

Следовательно, недостаток такого усреднённого подхода в том, что можно произвести недокоррекцию или перекоррекцию сферической aberrации. Пациентам перед операцией делается одинаковая для всех глаз усреднённая коррекция сферической aberrации. Не учитывается, что достаточно много глаз с высокой отрицательной сферической aberrацией, с исходной сферической и даже сплюсненной формой роговицы. Например, пациентам с гипервытянутой предоперационной роговицей Machat и Holzman операцию с использованием этого алгоритма не рекомендуют. Такого же мнения придерживается Dr. Schallhorn.

Существует альтернативный алгоритм асферической абляции с персонализированным Q-фактором. При использовании кастомизированных по конической константе технологий (F-CAT WaveLight ALLEGRETTO, CAT-z Customized Aspheric Transition Zones Nidec, OPDCAT optical path difference customized aspheric treatment Nidec, OPA optimized prolate ablation Nidec и др.) у хирурга появляется возможность самому определять значение Q-сдвига (послеоперационный Q-фактор минус дооперационный Q-фактор), и тем самым задавать желаемую целевую асферичность. Персонализированных операций в мире проведено существенно меньше, чем оптимизированных по волновому фронту. По этой причине в настоящее время алгоритм персонализированный по конической константе не получил всеобщего одобрения офтальмологической общественности.

Одним из первых в 1996–1998 гг. асферический алгоритм абляции был внедрён в программное обеспечение

экимерлазерной установки «LSX» фирмы «Lasersight» (США). Программа называлась CIPTA. Целевой поверхностью в ней являлся эллипсоид с заданным коэффициентом асферичности. Для сохранения физиологического астигматизма глаза предполагалось использование расширенной зоны абляции, вытянутой по вертикали. В последующем эта программа была усовершенствована на технической базе фирмы «IVIS Technologies», Италия [13].

В 2006 г. на базе платформы Zioptix была внедрена технология асферической абляции, которая впервые продемонстрировала возможность сохранения физиологической асферичности путём учёта предоперационных значений средней кератометрии и величины конической константы [10].

Программное обеспечение лазерной системы Navex фирмы Nidek (Canada) имеет четыре асферических алгоритма абляции. Три из которых, формируя асферическую переходную зону, обеспечивают расширение эффективной оптической зоны. Алгоритм CATz более агрессивно аблирует переходную зону, увеличивая её диаметр, относительно расширяет эффективную оптическую зону. Алгоритм под названием OPA (optimized prolate ablation) осуществляет оптимизированную асферическую абляцию, используя данные как аберрометрии так и топографии, но выставляется более отрицательная величина асферичности для учёта возрастных изменений в хрусталике. В созданных алгоритмах асферической абляции уменьшается величина оптической зоны, увеличивается величина переходной зоны и также обеспечивается плавный переход от основной к переходной, и от переходной к интактной зоне роговицы.

Применяемый асферический алгоритм OPD-Scan осуществляет асферическую абляцию как в оптической, так и в переходной зонах и дополнительно проводит коррекцию общих аберраций высокого порядка. Совместно с программным обеспечением Final fit позволяет также выбрать диаметр эффективной оптической зоны, в зависимости от диаметра зрачка конкретного пациента [10].

В лазерной системе Schwind ESIRIS используется алгоритм асферической абляции ORK-CAM, где помимо кератотопографии, аберрометрии учитываются данные рефрактометрии, кератометрии, значение Q-фактора [10].

Экимерлазерная установка Wavelight EX 500 имеет возможность выполнять асферические алгоритмы абляции двух видов, используя алгоритм WFO (оптимизации по волновому фронту) с заданной величиной конической константы и алгоритм CustomQ, где хирург может управлять асферичностью, самостоятельно определять значение Q-сдвига, т. е. данный алгоритм является по сути персонализированным асферическим алгоритмом [14].

В программном обеспечении отечественной экимерлазерной установки «Микроскан-Визум» асферические рефракционные операции рассчитываются по схеме «сфера – минус – эллипсоид» с заданным положительным или отрицательным значением Q-фактора. Если Q-фактор равен нулю, то асферическая операция тождественно совпадёт со стандартной рефракционной операцией. Асферические операции могут быть реализованы для всех видов сфероцилиндрической коррекции, а также выполняться при пресбиопии [15].

Асферичность определяется по разности величин радиусов кривизны роговицы [7] и показывает насколько сильно кривизна роговицы изменяется по направлению

от центра к периферии. Асферичность определяется двумя радиусами кривизны – осевым (сагиттальным) и независимым от оси симметрии (тангенциальным). Радиус кривизны увеличивается по мере удаления от вершины роговицы в сторону её периферии, где увеличивается уплощение. Периферию роговицы описать с помощью конического сечения значительно труднее. Для формы роговицы prolate происходит уплощение от центра по направлению к периферии. Для роговичной поверхности в виде формы oblate наоборот – укручение от центра к её периферии. Для сферы радиус кривизны везде одинаков. Асферичность можно вычислить для каждого полумериана по радиусу кривизны, измеренному в центре и в 4.5 мм от центра роговицы. Средняя асферичность – это асферичность, измеренная по 360 полумерианам. Асферичность выраженная через Q-фактор (коническую константу) является для большинства глаз отрицательной величиной [16]. Практическая значимость асферичности и последствий её изменения позволили описать профили роговицы до и после рефракционной хирургии и изучить происхождение сферических аберраций.

Работа Holladay [16] является первой, в которой показано, что при операции Лазик при миопии происходит уплощение роговицы, Q-фактор увеличивается и становится положительным, одновременно и сферическая аберрация увеличивается в сторону положительных значений. Эти эффекты нарастают пропорционально величине миопической коррекции. До операции роговица в среднем имеет форму вытянутого эллипсоида с отрицательным Q-фактором равным $Q = -0,25$. При такой форме радиус кривизны на вершине роговицы минимален, а при переходе к периферии роговица постепенно уплощается. Такая геометрия позволяет периферийным лучам света сфокусироваться в той же точке, что и центральные лучи. Вытянутая форма роговицы с отрицательным значением Q-фактора приводит к снижению сферической аберрации. Благодаря естественной вытянутой асферичной форме роговицы, происходит компенсация и сферическая аберрация уменьшается вдвое, чем при форме роговицы oblate или shera. Хрусталик в состоянии покоя дополнительно снижает влияние отрицательной сферической аберрации. Таким образом, Holladay в своей работе показал, что роговичная асферичность увеличивается и ухудшает функциональные результаты при коррекции миопии после ЛАЗИК. После операции Лазик при миопии роговица приобретает форму сплюснутого эллипсоида с положительным Q-фактором. Для сплюснутого эллипсоида радиус кривизны на вершине максимален, а при переходе от центра к периферии крутизна поверхности увеличивается. В результате чего центральные лучи образуют точку на сетчатке, а периферийные лучи, которые преломляются на периферии роговицы существенно сильнее центральных, образуют ореол (гало-эффект) вокруг центральной точки.

О причинах изменения асферичности, индуцированной аберраций после лазерной хирургии в своих работах сообщает ряд учёных. Уравнение изменения асферичности роговицы теоретически разработал Jimenes с соавт. Теоретически изменения роговичной асферичности после M и Hm Лазик предсказали Gatinel с соавт. О большом увеличении асферичности роговицы и последующем снижении качества зрения, происходящем при коррекции миопии высоких степеней сделали аналогичные

выводы Anera с соавт. Математически смоделировали изменение толщины эпителия с объяснением регресса рефракционного эффекта и индуцирования аберраций после лазерной абляции и разработали математическую модель роговицы с поверхностным сглаживанием Huang с соавт. О том, что именно лазерная абляция, а не влияние микрокератома при Лазик более значимый фактор в стимулировании сферических аберраций обнаружили Porter с соавт. Теоретически исследовали влияние алгоритмов абляции в отношении потери на отражение и неравномерного распределения лазерного пятна на передней поверхности роговицы Ji'tenez с соавт. Несколько иного мнения в своих исследованиях по поводу индуцирования послеоперационных сферических аберраций придерживаются Durps и Roberts. Они считают, что форма роговицы, изменения её кривизны вызваны биомеханическим ответом роговицы [17]. Некоторые исследования предлагают изменить алгоритм абляции, чтобы компенсировать сферическую аберрацию. Schwiegerling и Snyder с соавт. разработали идеальный шаблон абляции для коррекции сферической аберрации, основанный на клинических данных после фоторефракционной кератэктомии (ФРК). Manns с соавт. вычислили роговичную асферичность послеоперационной роговицы при сферической аберрации равной нулю [17]. Seiler предложил использовать асферический профиль абляции для ограничения проявления сферических аберраций и оптимизации качества зрения. Mrochen M. представил данные, что при коррекции миопии с использованием оптимизированного алгоритма индуцируется 0,01 мкм сферической аберрации (что в 10 раз меньше) против 0,1 мкм при стандартной операции.

Новые стратегии управления асферичностью, предложенные на современном этапе для применения в эксимерлазерных системах, профили абляции с радиальной компенсацией и учётом Q-фактора и персонализированные абляции на данной основе способствуют относительно расширению эффективной оптической зоны при миопическом ЛАЗИК [18]. В частности, Koller T. заявляет, что алгоритм асферической абляции с учётом Q-фактора обеспечивает относительное расширение эффективной оптической зоны и целевое значение Q-фактора должно быть равно -0,45.

По данным литературы, первой зрительной функцией, которая подвергается влиянию изменённого аберрационного баланса роговицы после рефракционных вмешательств является пространственная контрастная чувствительность (ПКЧ) в скотопических условиях, низкоконтрастная острота зрения [19]. В своих работах Raymond A. Applegate, Austin Roorda наглядно показали, как происходит влияние аберраций на зрительное восприятие у пациентов после кераторефракционной хирургии, определив показатели качества зрения. Из работ, посвящённых исследованию пространственной контрастной чувствительности глаза известно, что на снижение контрастности влияет увеличение количества аберраций [20]. После перенесённых кераторефракционных операций происходит снижение показателей ПКЧ на высоких частотах, особенно в мезопических условиях [21]. Патеева Т.З. с соавторами в своих исследованиях отметили снижение показателей ПКЧ на средних и высоких частотах в мезопических условиях, особенно в условиях ослепления, в раннем послеоперационном

периоде после операций Лазик [22]. Pérez-Santonja с соавт. показали, что снижение контрастной чувствительности после LASIK восстанавливается через 3 месяца после операций. Чан и соавторы. установили, что восстановление контрастной чувствительности после LASIK заняло не менее 6 месяцев. Эскина Э.Н. в своей работе по исследованию качественных характеристик зрения у пациентов, перенёвших ФРК, считает, что значение ПКЧ у пациентов с миопией слабой и средней степени не имеет существенных различий и её величина близка к норме, но при высокой степени показатели ПКЧ снижены в диапазоне высоких пространственных частот [23]. Дога А.В. с соавторами отметили, что более высокое качество зрения было получено у пациентов с миопией средней степени после операции ФемтоЛазик с использованием алгоритма сканирования по конической константе по сравнению со стандартной технологией [24]. По мнению авторов, необходимо оценивать возможности органа зрения рефракционных пациентов с позиций требований профессии, спорта, применительно к способности вождения автотранспорта, к возможности трудоустройства, к зрительной работоспособности пациентов, к срокам восстановления зрительных функций после операции. Многие специалисты в своих работах говорят о важности оценки тонких функций зрения – чувствительности к ослеплению, пространственной контрастной чувствительности, низкоконтрастной остроты зрения [22, 23, 24].

R. Krueger (2007) и другие рефракционные хирурги заявляют о необходимости включить функциональные тесты пространственной контрастной чувствительности в список до- и послеоперационных обследований пациентов.

Отечественная эксимерлазерная установка «Микроскан-ВИЗУМ» соответствует по своим параметрам передовым зарубежным аналогам, но в настоящее время существуют ограничения использования асферического алгоритма абляции при коррекции миопии. Для определения показаний и противопоказаний, исключения осложнений, обеспечения допустимого уровня аберраций при применении асферического алгоритма у пациентов с миопией на отечественной эксимерлазерной установке «Микроскан-ВИЗУМ» необходимо изучить зависимость величины конической константы от степени миопии, влияние исходной кератометрии и диаметра применяемой оптической зоны. Оптимизация асферического алгоритма абляции позволит максимально эффективно, оптимально индивидуально для каждого конкретного пациента успешно выполнить лазерную коррекцию, обеспечить высокое качество зрения и полноценную медико-социальную реабилитацию пациентов с аметропиями в любом возрасте и с учётом профессии [25].

ЛИТЕРАТУРА

1. Sugar A, Rapuano CJ, Culbertson WW, Huang D, Varley GA, Agapitos PJ, et al. Laser in situ keratomileusis for myopia and astigmatism: safety and efficacy: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2002; 109(1): 175-187. doi: 10.1016/S0161-6420(01)00966-6
2. He L, Manche EE. Prospective randomized contralateral eye evaluation of subjective quality of vision after wavefront-guided or wavefront-optimized photorefractive keratectomy. *Journal of Refractive Surgery*. 2014; 30(1): 6-12. doi: 10.3928/1081597X-20131217-01
3. Moshirfar M, Shah TJ, Skanchy DF, Linn SH, Durrie DS. Meta-analysis of the FDA reports on patient-reported outcomes

using the three latest platforms for LASIK. *J Refract Surg.* 2017; 33(6): 362-368. doi: 10.3928/1081597X-20161221-02

4. Applegate RA. Glenn Fry Award Lecture 2002: Wavefront sensing, ideal corrections, and visual performance. *Optometry and Vision Science.* 2004; 81(3): 167-177.

5. Tabernero J, Benito A, Alcón E, Artal P. Mechanism of compensation of aberrations in the human eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2007; 24(10): 3274-3283. doi: 10.1364/JOSAA.24.003274

6. Schallhorn S, Brown M, Venter J, Hettinger K, Hannan S. The role of the mesopic pupil on patient-reported outcomes in young patients with myopia 1 month after wavefront-guided LASIK. *Journal of Refractive Surgery.* 2014; 30(3): 159-165. doi: 10.3928/1081597X-20140217-02

7. Gatinel D, Haouat M, Hoang-Xuan T. A review of mathematical descriptors of corneal asphericity. *J Fr Ophtalmol.* 2002; 25(1): 81-90. doi: JFO-01-2002-25-1-0181-5512-101019-ART84

8. Waring G, Dougherty PJ, Chayet A, Fischer J, Fant B, Stevens G, et al. Topographically guided LASIK for myopia using the Nidek CXII customized aspheric treatment zone (CATZ). *Trans Am Ophthalmol Soc.* 2007; 105: 240-248.

9. Koller T, Iseli HP, Hafezi F, Mrochen M, Seiler T. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2006; 32(4): 584-589. doi: 10.1016/j.jcrs.2006.01.049

10. Хамптон Р.Ф. (ред.) *Рефракционная хирургия*. Пер.: Кирыушенкова Н.П., Овечкин Н.И., Ярцев В.Д. Серия «Хирургические техники в офтальмологии». М.: Логосфера; 2016.

11. *European Databank on Medical Devices – EUDAMED*. Available at: <http://ec.europa.eu/idabc/en/document/2256/5637.html> [Accessed 18th March 2019].

12. Food and Drug Administration (FDA). *Manufacturer and User Facility Device Experience Database – (MAUDE)*. Available at: <https://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/PostmarketRequirements/ReportingAdverseEvents/ucm127891.htm> [Accessed 18th March 2019].

13. Балашевич Л.И. *Хирургическая коррекция аномалий рефракции аккомодации*. СПб.: Человек; 2009.

14. Stojanovic A, Wang L, Jankov MR, Nitter TA, Wang Q. Wavefront optimized versus custom-Q treatments in surface ablation for myopic astigmatism with the WaveLight ALLEGRETTO laser. *J Refract Surg.* 2008; 24(8): 779-789.

15. Atezhhev VV, Barchunov BV, Vartapetov SK, Zavyalov AS, Lapshin KE, Movshev VG, et al. Laser technologies in ophthalmic surgery. *Laser Phys.* 2016; 26(8): 84010. doi:10.1088/1054-660X/26/8/084010

16. Holladay JT, Janes JA. Topographic changes in corneal asphericity and effective optical zone after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2002; 28(6): 942-947. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01324-X

17. Yoon G, Macrae S, Williams DR, Cox IG. Causes of spherical aberration induced by laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2005; 31(1): 127-135. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.046

18. Camellin M, Arba Mosquera S. Aspheric Optical Zones: The effective optical zone with the SCHWIND AMARIS. *Journal of Refractive Surgery.* 2011; 27(2): 135-146. doi: 10.3928/1081597X-20100428-03

19. Yamane N, Miyata K, Samejima T, Hiraoka T, Kiuchi T, Okamoto F, et al. Ocular higher order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ Keratomileusis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2004; 45(11): 3986-3990. doi:10.1167/iovs.04-0629

20. Wang Ya, Zhao K, Yang X, He J, Wang W. Higher order aberrations and low contrast vision function in myopic eyes (-3.00 to -6.00 d) under mesopic condition. *J Refract Surg.* 2011; 27(2): 127-134. doi: 10.3928/1081597X-20100430-01

21. Шамшинова А.М., Волков В.В. *Функциональные методы в офтальмологии*. М.: Медицина, 1999.

22. Поздеева Н.А., Школьник Г.С., Патева Т.З., Федотова Л.А. Пространственная контрастная чувствительность и абберации высшего порядка после различных рефракционно-

лазерных операций в раннем послеоперационном периоде. *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2009; (12): 115-119.

23. Эскина Э.Н., Шамшинова А.М., Белозеров А.Е. Контрастная чувствительность при различных аномалиях рефракции до и после фоторефракционной кератэктомии. *РМЖ. Клиническая офтальмология.* 2001; (2): 75.

24. Дора А.В., Майчук Н.В., Тахчиди Н.Х. Новый подход к повышению качества зрения у пациентов с кераторефракционными нарушениями. *Практическая медицина.* 2012; (4-1): 45-48.

25. Дора А.В., Вартанетов С.К., Мушкова И.А., Костенев С.В., Майчук Н.В., Каримова А.Н. *Лазерная кераторефракционная хирургия. Российские технологии*. М.: Издательство «Офтальмология», 2018.

REFERENCES

1. Sugar A, Rapuano CJ, Culbertson WW, Huang D, Varley GA, Agapitos PJ, et al. Laser in situ keratomileusis for myopia and astigmatism: safety and efficacy: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology.* 2002; 109(1): 175-187. doi: 10.1016/S0161-6420(01)00966-6

2. He L, Manche EE. Prospective randomized contralateral eye evaluation of subjective quality of vision after wavefront-guided or wavefront-optimized photorefractive keratectomy. *Journal of Refractive Surgery.* 2014; 30(1): 6-12. doi: 10.3928/1081597X-20131217-01

3. Moshirfar M, Shah TJ, Skanchy DF, Linn SH, Durrie DS. Meta-analysis of the FDA reports on patient-reported outcomes using the three latest platforms for LASIK. *J Refract Surg.* 2017; 33(6): 362-368. doi: 10.3928/1081597X-20161221-02

4. Applegate RA. Glenn Fry Award Lecture 2002: Wavefront sensing, ideal corrections, and visual performance. *Optometry and Vision Science.* 2004; 81(3): 167-177.

5. Tabernero J, Benito A, Alcón E, Artal P. Mechanism of compensation of aberrations in the human eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 2007; 24(10): 3274-3283. doi: 10.1364/JOSAA.24.003274

6. Schallhorn S, Brown M, Venter J, Hettinger K, Hannan S. The role of the mesopic pupil on patient-reported outcomes in young patients with myopia 1 month after wavefront-guided LASIK. *Journal of Refractive Surgery.* 2014; 30(3): 159-165. doi: 10.3928/1081597X-20140217-02

7. Gatinel D, Haouat M, Hoang-Xuan T. A review of mathematical descriptors of corneal asphericity. *J Fr Ophtalmol.* 2002; 25(1): 81-90. doi: JFO-01-2002-25-1-0181-5512-101019-ART84

8. Waring G, Dougherty PJ, Chayet A, Fischer J, Fant B, Stevens G, et al. Topographically guided LASIK for myopia using the Nidek CXII customized aspheric treatment zone (CATZ). *Trans Am Ophthalmol Soc.* 2007; 105: 240-248.

9. Koller T, Iseli HP, Hafezi F, Mrochen M, Seiler T. Q-factor customized ablation profile for the correction of myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2006; 32(4): 584-589. doi: 10.1016/j.jcrs.2006.01.049

10. Hampton F.R. (ed.) *Refractive surgery: Surgical techniques in ophthalmology*. Transl. Kiryuschenkova NP, Ovechkin NI, Yartsev VD. Moscow: Logosfera; 2016. (In Russ.)

11. *European Databank on Medical Devices – EUDAMED*. Available at: <http://ec.europa.eu/idabc/en/document/2256/5637.html> [Accessed 18th March 2019].

12. Food and Drug Administration (FDA). *Manufacturer and User Facility Device Experience Database – (MAUDE)*. Available at: <https://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/PostmarketRequirements/ReportingAdverseEvents/ucm127891.htm> [Accessed 18th March 2019].

13. Balashevich LI. *Surgical correction of the anomalies of accommodation refraction*. S. Petersburg: Chelovek; 2009. (In Russ.)

14. Stojanovic A, Wang L, Jankov MR, Nitter TA, Wang Q. Wavefront optimized versus custom-Q treatments in surface ablation for myopic astigmatism with the WaveLight ALLEGRETTO laser. *J Refract Surg.* 2008; 24(8): 779-789.

15. Atezhhev VV, Barchunov BV, Vartapetov SK, Zavyalov AS, Lapshin KE, Movshev VG, et al. Laser technologies in ophthalmic surgery. *Laser Phys.* 2016; 26(8): 84010. doi:10.1088/1054-660X/26/8/084010
16. Holladay JT, Janes JA. Topographic changes in corneal asphericity and effective optical zone after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2002; 28(6): 942-947. doi: 10.1016/S0886-3350(02)01324-X
17. Yoon G, Macrae S, Williams DR, Cox IG. Causes of spherical aberration induced by laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2005; 31(1): 127-135. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.046
18. Camellin M, Arba Mosquera S. Aspheric optical zones: the effective optical zone with the SCHWIND AMARIS. *Journal of Refractive Surgery.* 2011; 27(2): 135-146. doi: 10.3928/1081597X-20100428-03
19. Yamane N, Miyata K, Samejima T, Hiraoka T, Kiuchi T, Okamoto F, et al. Ocular higher order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ Keratomileusis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2004; 45(11): 3986-3990. doi:10.1167/iops.04-0629
20. Wang Ya, Zhao K, Yang X, He J, Wang W. Higher order aberrations and low contrast vision function in myopic eyes (-3.00 to -6.00 d) under mesopic condition. *J Refract Surg.* 2011; 27(2): 127-134. doi: 10.3928/1081597X-20100430-01
21. Shamshinova AM, Volkov VV. *Functional methods in ophthalmology.* Moscow: Meditsina; 1999. (In Russ.)
22. Pozdeeva NA, Shkolnik GS, Pateeva TZ, Fedotova LA. Spatial contrast sensitivity and higher order aberrations after various refractive laser operations in early postoperative period. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2012; (12): 115-119. (In Russ.)
23. Eskina EN, Shamshinova AM, Belozero AE. Contrast sensitivity with various refractive errors before and after photorefractive keratectomy. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2001; (2): 75. (In Russ.)
24. Doga AV, Maichuk NV, Takhchidi NK. New approach to improving the quality of vision in patients with keratorefractive disorders. *Practical Medicine.* 2012; (4-1): 45-48. (In Russ.)
25. Doga AV, Vartapetov SK, Mushkova IA, Kostenev SV, Maichuk NV, Karimova AN. *Laser keratorefractive surgery. Russian technologies.* Moscow: Izdatelstvo Oftalmologiya, 2018. (In Russ.)

Сведения об авторах

Погодина Елена Геннадьевна – врач-офтальмолог отделения лазерной хирургии, Оренбургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: elenapogodina56@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3772-6759>

Мушкова Ирина Альфредовна – доктор медицинских наук, заведующая отделом лазерной рефракционной хирургии, учёный секретарь диссертационного совета, ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: i.a.mushkova@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0941-4974>

Каримова Аделя Насибуллаевна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела лазерной рефракционной хирургии, врач-офтальмохирург, ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: adelya.k.n@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6926-7780>

Мовшев Виктор Григорьевич – кандидат физико-математических наук, заведующий сектором медицинских лазеров в тематическом конструкторском отделе № 7, 000 «Оптосистемы», e-mail: vmovshev@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0001-5445-4110>

Information about the authors

Elena G. Pogodina – Ophthalmologist of Laser Surgery Department, Orenburg Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: elenapogodina56@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3772-6759>

Irina A. Mushkova – Dr. Sc. (Med.), Ophthalmologist, Head of Laser Refractive Surgery Department, Scientific Secretary of the Dissertation Council, S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: i.a.mushkova@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0941-4974>

Adelya N. Karimova – Cand. Sc. (Med.), Research Officer at the Department of Laser Refractive Surgery, S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: adelya.k.n@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6926-7780>

Viktor G. Movshev – Cand. Sc. (Phys. and Math.), Head of the Department of Medical Lasers in the Special Engineering Department No. 7, 000 «Optosystems», e-mail: vmovshev@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0001-5445-4110>

Статья получена: 28.03.2019. Статья принята: 18.04.2019. Статья опубликована: 26.08.2019.

Received: 28.03.2019. Accepted: 18.04.2019. Published: 26.08.2019.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Сдано в набор 05.08.2019. Подписано в печать 19.08.2019. Опубликовано 26.08.2019.

Печ. л. 20.25. Усл. печ. л. 18,8. Уч. изд. л. 16,2. Зак. 033-19. Тир. 500.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе ИНЦХТ.
Адрес типографии: 664003, Иркутск, ул. Борцов Революции, 1.
Тел. 29-03-37, 29-03-70. E-mail: arleon58@gmail.com