

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-159-164>



Медико-технические аспекты применения интраокулярных линз с расширенной глубиной резкости

М.Е. Коновалов¹, А.В. Моренко² ✉

¹ Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское шоссе, д. 91, Москва, 125371, Россия

² Офтальмологический центр Мурманской области, ул. Карла Либкнехта, д. 13, Мурманск, 183038, Россия

Цель работы — анализ медико-технических аспектов применения интраокулярных линз (ИОЛ) с расширенной глубиной резкости (ЭДОФ). Для анализа данных литературы использовалась международная база данных PubMed, при этом ключевыми словами поиска являлись «ИОЛ с ЭДОФ», «Оптическая стендовая оценка ИОЛ», «Доклиническая оценка ИОЛ», «Аберрации», «Монофокальные ИОЛ» (МОФИОЛ), «Мультифокальные ИОЛ» (МУФИОЛ). Всего проанализировано 226 источников с самым глубоким использованием фильтров систематического обзора и знаний авторов по теме. Глубина ретроспективного анализа составляла 7 лет (2016–2022 гг.), отдельные рассматриваемые работы датировались 2023 г. В отличие от МУФИОЛ, линзы ЭДОФ для увеличения глубины резкости создают единую удлиненную фокальную точку, а не несколько фокусов. Таким образом, ЭДОФ направлены на уменьшение световых явлений, бликов и ореолов, возникновение которых характерно для МУФИОЛ. Потенциальным недостатком ЭДОФ является снижение качества изображения при чрезмерном увеличении аберраций. Показатели медико-технической оценки ИОЛ свидетельствуют о высокой корреляции с прогнозируемой остротой зрения (ОЗ). ЭДОФ, конструктивные особенности которых основаны на асферическом дизайне более высокого порядка, обеспечивают сравнимое оптическое качество для дальнего и расширенного промежуточного диапазона, при этом создавая эффекты «гало», сопоставимые с МОФИОЛ. ЭДОФ, предназначенная для улучшения глубины резкости при полной коррекции сферической аберрации роговицы, обеспечивает независимое от ширины зрачка улучшение ОЗ на промежуточном диапазоне и поддерживает ОЗ, в отличие от обычных МОФИОЛ. Качество зрительного восприятия и прогнозируемая ОЗ различных типов ЭДОФ зависят от оптической технологии и коррекции сферических аберраций роговицы. Можно ожидать, что ЭДОФ обеспечат адекватное зрение на промежуточном расстоянии (при возможно недостаточном зрении вблизи). В то же время расширение глубины резкости варьируется в зависимости от модели, что следует учитывать при предоперационном выборе ЭДОФ для конкретного вида повседневной зрительной деятельности пациента, особенно для лиц зрительно-напряженного труда. Результаты медико-технической оценки достаточно широко используются при клинической апробации конкретных типов ИОЛ ЭДОФ.

Ключевые слова: ИОЛ с расширенной глубиной резкости (ЭДОФ); фактоэмульсификация катаракты; монофокальная ИОЛ; мультифокальные ИОЛ

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Коновалов М.Е., Моренко А.В. Медико-технические аспекты применения интраокулярных линз с расширенной глубиной резкости. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16(3): 159–64. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-159-164>

Medical and technical aspects of using intraocular lenses with extended depth of field

Mikhail E. Konovalov¹, Alexey V. Morenko² ✉

¹ Academy of Postgraduate Education, 91, Volokolamsk Hgwy, Moscow, 125371, Russia

² Ophthalmological center of the Murmansk region, 13, Karl Liebknecht St., Murmansk, 183038, Russia
m-vat@yandex.ru

Purpose: to analyse the medical and technical aspects of intraocular lenses (IOLs) with extended depth of field (EDOF). Literature analysis was performed in the PubMed international database, the search keywords being “IOL with extended depth of field” (EDOF), “Optical Bench Evaluation of IOL”, “Preclinical evaluation of IOL”, “Aberrations”, “Monofocal IOL” (MOFIOL), “Multifocal IOLs” (MUFIOЛ). A total of 226 sources were analyzed, further using systematic review filters and the authors' knowledge of the topic. The duration of the retrospective analysis was 7 years (2016–2022), some of the considered work dates back to 2023. Unlike MUFIOЛ, EDOF lenses create a single elongated focal point to increase the depth of field, rather than several foci. Thus, EDOFs are aimed at reducing light phenomena, glare and halos, the occurrence of which is characteristic of MUFIOЛ. A potential disadvantage of EDOF is the reduction in retinal image quality with an excessive increase in the number of aberrations. The factors of the medical and technical assessment of the IOL indicate a high correlation with the predicted visual acuity (VA). EDOFs, whose design features are based on a higher order aspherical design, provide comparable optical quality for the far and extended intermediate ranges, while producing halo effects comparable to those of MOFIOL. Designed to improve depth of field with a full correction of corneal spherical aberration, EDOF provides intermediate-level pupil-independent improvement in VA and maintains visual acuity unlike conventional MOFIOLs. The quality of visual perception and the predicted VA of various types of EDOFs depend on the optical technology and the correction of corneal spherical aberrations. EDOFs can be expected to provide adequate vision at an intermediate distance (with a possibility of insufficient near vision). At the same time, the expansion of the depth of field varies between models, which should be taken into account when preoperatively choosing EDOF for a specific type of daily visual activity of the patient, especially for people with visually strenuous work. The results of the medical and technical assessment are widely used in the clinical testing of specific types of EDOF IOLs.

Keywords: IOL with extended depth of field (EDOF); cataract phacoemulsification; monofocal IOL; multifocal IOL

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

For citation: M.E. Konovalov, A.V. Morenko. Medical and technical aspects of using intraocular lenses with extended depth of field. Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (3): 159–64 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-3-159-164>

Общие положения. Интраокулярные линзы (ИОЛ) используются для коррекции афакии в хирургии катаракты или при рефракционной замене хрусталика. Безусловно, наиболее часто имплантируются монофокальные ИОЛ (МОФИОЛ), которые обеспечивают одну фокусную точку и эффективны для восстановления удовлетворительного зрения вдаль; однако большинству пациентов после операции требуется очковая коррекция зрения на промежуточное и близкое расстояние [1, 2]. В связи с этим в последние годы был разработан широкий спектр мультифокальных ИОЛ (МУФИОЛ), функциональные возможности которых превосходят традиционные МОФИОЛ. С увеличением продолжительности и изменением образа жизни все большее число пациентов для своей повседневной деятельности, помимо отличного зрения вдаль, нуждаются в независимом от очков зрении на ближнем и промежуточном расстоянии. Более того, ИОЛ, корректирующие пресбиопию, представляют собой вариант лечения для пациентов с пресбиопией, которые не являются кандидатами на лазерную рефракционную хирургию и не хотят полагаться на очки для чтения. Таким образом, МУФИОЛ были разработаны для удовлетворения растущего спроса пациентов на независимость от очков. Для одновременного обеспечения дальнего, промежуточного и ближнего зрения МУФИОЛ имеют две или более незави-

симые фокальные точки. В то же время необходимо отметить, что практическое применение МУФИОЛ может сопровождаться характерными функциональными сложностями (оптические феномены, нечеткость зрения на конкретных расстояниях и световые явления, связанные с остаточной аметропией, помутнение задней капсулы, большой размер зрачка, аномалии волнового фронта, сухость глаз и децентрация хрусталика), основными причинами которых являются проблемы с нейроадаптацией, дислокация хрусталика, его помутнение, а также остаточная аномалия рефракции [3–6].

Одной из новых концепций МОФИОЛ признается технология расширенной глубины резкости (extended depth of focus, EDOF, далее по тексту — ЭДОФ), основным принципом которой является создание единой удлинённой фокальной точки для увеличения глубины резкости или диапазона зрения. В ЭДОФ используется запатентованная конструкция дифракционной решетки, которая образует ступенчатую структуру, при этом высота, расстояние и профиль решетки оптимизированы для достижения конструктивной интерференции света из разных зон линзы, тем самым создается новая картина дифракции света. Кроме того, улучшение качества изображения происходит за счет запатентованной ахроматической технологии и коррекции отрицательной сферической аберрации [7, 8]. Следует еще

раз подчеркнуть, что, в отличие от МОФИОЛ, в которых свет фокусируется в одной точке, или МУФИОЛ, имеющих 2 или 3 отдельные точки, основной оптический принцип ЭДОФ заключается в создании одной удлинённой фокальной точки для увеличения глубины резкости. Этот удлинённый фокус введен для устранения наложения ближнего и дальнего изображений, вызванного традиционными МУФИОЛ, что устраняет эффект ореола. В идеале ЭДОФ должны улучшать зрение на промежуточном и близком расстоянии, минимально влияя на зрение вдаль. Наряду с этим, ЭДОФ обеспечивают непрерывный диапазон фокусировки без явно асимметричного распределения оптической силы ИОЛ, что позволяет избежать появления вторичных расфокусированных изображений. Данное положение отличает ЭДОФ от МУФИОЛ, показывающих в каждом из своих фокусов вторичные изображения, которые формируют ореолы и характеристики которых зависят от конструкции линзы и размера зрачка. Таким образом, традиционные МУФИОЛ действуют как би-/трифокальные линзы, поскольку они образуют две (три) основные фокусные точки для дальнего и ближнего зрения с возможно недостаточным зрением на промежуточном расстоянии. ЭДОФ обеспечивает непрерывность фокуса на среднем расстоянии [9–11].

Необходимо отметить, что внедрение в широкую клиническую практику новых типов ИОЛ осуществляется по двум основным направлениям: медико-техническая оценка и собственно клиническая апробация. Медико-техническое исследование включает в себя измерение объективных показателей, полученных в результате оценки ИОЛ *in vitro* [12]. Одной из таких метрик является оптическая передаточная функция (ОПФ), которая представляет собой способность оптической системы формировать изображения. Это комплексная функция, состоящая из передаточной функции модуляции (ПФМ) и фазовой передаточной функции (ФПФ). Последние исследования показывают, что метрики оптического стенда обеспечивают высокую корреляцию с клиническими измерениями остроты зрения (ОЗ) и контрастной чувствительности (КЧ). Оптическое качество ИОЛ обычно оценивают во время их изготовления с помощью ПФМ сквозного фокуса, который является международным признанным стандартом для тестирования ИОЛ. Однако включение компонента ФПФ может обеспечить более точную оценку эффективности ИОЛ и ее влияния на послеоперационное зрение. ПФМ и ФПФ измеряются на оптическом стенде при комнатной температуре, белом свете и для широкого диапазона диаметров зрачка (2, 3, 4 и 5 мм) [13–15].

Таким образом, в настоящее время доклинические оптические характеристики ИОЛ (в соответствии со стандартом ISO 11979-2:2014) оцениваются с использованием значений ОПФ на различных пространственных частотах (25, 50, 100 циклов/мм), что позволяет сравнивать различные конструкции ИОЛ, динамику параметров при изменении условий (размер зрачка, вращение, наклон), а также прогнозировать ОЗ (на основании разработанных коэффициентов для преобразования ПФМ в «моделированную» ОЗ) [13].

ЦЕЛЬЮ работы является анализ медико-технических аспектов применения ИОЛ ЭДОФ.

Поиск данных литературы выполнялся в международной базе данных PubMed, ключевыми словами поиска являлись: «ИОЛ с расширенной глубиной резкости (EDOF)», «Оптическая стендовая оценка ИОЛ», «Доклиническая оценка ИОЛ», «Аберрации», «Монофокальные ИОЛ», «Мультифокальные ИОЛ». Выбор источников для обзора осуществлялся в соответствии с критериями проспективных

или ретроспективных исследований. Исследования исключались для анализа по следующим критериям: отсутствие достаточных данных об основных исходах для анализа; публикация не на английском языке; обзоры, экспериментальные исследования, серии случаев, редакционные статьи, письма в редакцию, дубликаты исследований или тезисы конференций. Всего проанализировано 226 источников с дальнейшим использованием фильтров систематического обзора и знаний авторов по теме. Продолжительность ретроспективного анализа составляла 7 лет (2016–2022 гг.), отдельные рассматриваемые работы датировались 2023 г.

Краткая характеристика основных механизмов и типов ЭДОФ. Коррекция пресбиопии — это баланс трех взаимосвязанных факторов: качества зрения, глубины резкости и дисфотопсии. Под последним термином понимаются нежелательные оптические явления, которые могут влиять на результат хирургии катаракты. Позитивные дисфотопсии представляют собой яркие пятна различной формы. Негативные дисфотопсии обычно описываются пациентами как темная тень в поле зрения с височной стороны [16]. Следует кратко рассмотреть три фактора (сферическая аберрация, СА; хроматическая аберрация, ХА; эффект точечного отверстия, ЭТО), оказывающих влияние на качество зрения и глубину резкости. СА — аберрация, связанная с разницей фокусных расстояний между центральным и краевым лучами, в которых свет попадает в линзу. Преимущество ИОЛ, исправляющих СА, заключается в обеспечении более резкого фокуса света и, следовательно, лучшего зрения на определенном расстоянии. Хотя в целом аберрации более высокого порядка ухудшают качество зрения в большинстве случаев, есть свидетельства того, что наличие некоторых аберраций (особенно комы и вторичного астигматизма) улучшает глубину резкости. ХА является следствием разницы фокусных расстояний между видимым спектром разных цветовых составляющих света. Роговица человека индуцирует ХА, так как синий свет преломляется сильнее, чем красный, при этом несколько факторов влияют на СА, вызванные ИОЛ. Во-первых, дисперсия оптического материала, которая характеризуется числом Аббе, показывающим, насколько показатель преломления изменяется в зависимости от длины волны света (иными словами, чем выше дисперсия, тем меньше число Аббе). Влияет и оптическая конструкция: преломляющая оптика поддерживает СА, индуцированную роговицей; с этой линзой конечная окулярная СА будет увеличиваться с увеличением дисперсии длин волн. Наоборот, дифракционные ИОЛ могут снизить ХА: красный смешивается больше, чем синий. Таким образом, дифракционная ИОЛ может минимизировать ХА в каждом глазу. Ахроматизация не увеличивает глубину резкости, а улучшает функцию КЧ. Следовательно, дифракционная ИОЛ может минимизировать ХА в каждом глазу и впоследствии привести к улучшению КЧ и качества зрения [17]. ЭТО — явление, позволяющее получить большую глубину резкости, поскольку, как известно, с увеличением размера зрачка глубина резкости уменьшается. Согласно этому принципу, использование непрозрачной точечной маски в МОФИОЛ может увеличить глубину резкости [18]. Таким образом, ЭДОФ отличается непрерывным оптическим профилем без изменения перехода в равной степени преломляющего или дифракционного. Изложенные положения важны для правильного понимания классификационных признаков ЭДОФ, так как ряд ИОЛ, которые используют СА или имеют дифракционно-гибридный профиль или дополнительную силу для улучшения зрения вблизи, не соответствуют в полном объеме медико-техническим характеристикам ЭДОФ [19].

В рамках настоящего обзора следует остановиться на следующих основных ЭДОФ, присутствующих на мировом рынке офтальмологической продукции [20].

Линзы Tecnis Eyhance ICB00 и Tecnis ZCB00 (оба производства Johnson & Johnson Surgical Vision, Inc., Санта-Ана, США) изготовлены из одного и того же гидрофобного акрилового материала с показателем преломления 1,47 при 35 °C и числом Аббе, равным 55. Обе модели были разработаны для коррекции СА 0,27 мкм на расстоянии 6 мм. Несмотря на схожий внешний вид, передняя поверхность Eyhance отличается (примерно на 15%) в своей центральной оптической области от таковой у ZCB00 — увеличение оптической силы линзы за счет использования асферических компонентов более высокого порядка. Таким образом, Eyhance ICB00 направлена на улучшение промежуточного зрения по сравнению с ZCB00 с сохранением при этом идентичной коррекции первичной СА [21, 22].

ИОЛ AE2UV (Eyebright Medical Technology Inc, Пекин, Китай), распространяемая в Европе под торговой маркой ZOE Primus-ND (Ophthamo Pro GmbH, Санкт-Ингберт, Германия), представляет собой гидрофобно-акриловую линзу с показателем преломления 1,47 и числом Аббе, равным 57. Имеет асферическую конструкцию, позволяющую снизить первичную СА роговицы на -0,20 мкм на расстоянии 6 мм. Асферическая поверхность высокого порядка улучшает зрение на промежуточной дистанции с повышенной аберрацией СА в центре ИОЛ, которая постепенно уменьшается к периферии. Гладкая и непрерывная асферическая поверхность высокого порядка направлена на минимизацию световых явлений, которые могут возникнуть в результате резких изменений профиля, наблюдаемых в дифракционных ИОЛ [15].

IsoPure 1.2.3 (PhysIOL, Льеж, Бельгия) представляет собой гидрофобно-акриловую ИОЛ с показателем преломления 1,52 и числом Аббе, равным 42. IsoPure имеет переднюю и заднюю асферические поверхности с асферическими элементами высокого порядка для расширения диапазона зрения по сравнению с монофокальной ИОЛ при сохранении хорошей дальноточечной производительности. Задняя поверхность линзы имеет конический профиль для коррекции -0,11 мкм СА [23].

RayOne EMV (Rayner Intraocular Lenses Limited, Уорринг, Великобритания) изготовлена из гидрофильно-акрилового материала (26%) с показателем преломления 1,46 при 35 °C и числом Аббе, равным 56. RayOne EMV предлагается в виде усовершенствованной ИОЛ моновидения, в которой плоская мишень сохраняется в ведущем глазу и смещение мощности применяется к недоминирующему глазу. По словам производителя, смещение 1,0 дптр обеспечивает увеличение глубины резкости на 2,25 дптр при бинокулярном зрении. Внутренняя часть ИОЛ включает положительные СА для улучшения зрения пациентов вдаль в недоминирующем глазу [20, 24–26].

Полученные в работах [19, 20, 25, 27, 28] конкретные количественные данные проведенной медико-технической оценки ЭДОФ представляют значительные сложности для восприятия врачами-офтальмологами, в этой связи следует выделить следующие общие положения. Определено, что ПФМ дальней точки моделей ЭДОФ минимально ниже, чем у стандартной МОФИОЛ, однако ожидаемое влияние на прогнозируемый показатель незначительно. Все модели ЭДОФ могут расширить диапазон зрения пациента за пределы диапазона стандартной монофокальной линзы, обеспечивая лучшую глубину резкости. Влияние размера зрачка на характеристики сквозного фокуса и качество изображения вдаль зависит от конструкции ИОЛ и уровня коррекции

СА роговицы. Значения ПФМ было в основном снижено для больших размеров зрачка в МОФИОЛ, которые не полностью компенсируют СА роговицы (ISOPure и RayOne EMV). Традиционная МОФИОЛ обеспечивает самое высокое качество изображения в дальнем фокусе. Характеристики Tecnis Eyhance ICB00, AE2UV/ZOE и IsoPure при -1,0 дптр выше, чем у монофокальных линз. Допустимая монокулярная дефокусировка RayOne EMV сравнима с Tecnis ZCB00. Промежуточный диапазон RayOne EMV улучшен в конфигурации моновидения (-1,0 дптр смещение). Этот подход, однако, сопровождается наибольшей площадью ореола (53% при Tecnis ZCB00 по сравнению с 34% для IsoPure, 14% для AE2UV/ZOE и 8% для Tecnis ICB00). В общем виде качество зрительного восприятия и прогнозируемая ОЗ различных типов ЭДОФ зависит от оптической технологии и коррекции СА роговицы.

В целом следует подчеркнуть, что базовые положения медико-технической оценки ЭДОФ достаточно широко используются при клинической апробации конкретных типов ИОЛ. В этой связи необходимо отметить, что к настоящему моменту в литературе накоплен определенный опыт сравнительной оценки МОФИОЛ, МУФИОЛ и ЭДОФ, указывающий на высокую взаимосвязь прогнозируемых и полученных в рамках послеоперационного обследования клинических и функциональных результатов. При этом указывается, что общая оценка клинической эффективности ЭДОФ требует дальнейшего изучения, особенно с позиции практического применения у конкретного контингента пациентов (например, у лиц зрительно-напряженного труда — профессиональных пользователей персональных компьютеров) [10, 29–33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап катарактальной хирургии характеризуется разработкой и внедрением новой технологии ИОЛ ЭДОФ, конструкция которых, по мнению производителей, обеспечивает улучшение промежуточного зрения у пациентов с артефакцией, сопровождающееся уровнем световых явлений, сопоставимым с традиционными МОФИОЛ. В отличие от МУФИОЛ, линзы ЭДОФ создают для увеличения глубины резкости единую удлиненную фокальную точку, а не несколько фокусов. Таким образом, ЭДОФ направлены на уменьшение световых явлений, бликов и ореолов, возникновение которых характерны для МУФИОЛ. Потенциальным недостатком ЭДОФ является снижение качества изображения на сетчатке при чрезмерном увеличении аберраций. Показатели медико-технической оценки ИОЛ, полученные на основе ПФМ, свидетельствуют о высокой корреляции с прогнозируемой ОЗ. ЭДОФ, конструктивные особенности которых основаны на асферическом дизайне более высокого порядка, обеспечивают сравнимое оптическое качество для дальнего и расширенного промежуточного диапазона, при этом создают эффекты «гало», сопоставимые с МОФИОЛ. ЭДОФ, предназначенная для улучшения глубины резкости при полной коррекции СА роговицы, по сравнению с обычными МОФИОЛ обеспечивает независимое от зрачка улучшение ОЗ на промежуточном уровне и поддерживает ОЗ вдаль. Качество зрительного восприятия и прогнозируемая ОЗ различных типов ЭДОФ зависит от оптической технологии и коррекции СА роговицы. Можно ожидать, что ЭДОФ обеспечат адекватное зрение на промежуточном расстоянии (при возможно недостаточном зрении вблизи). В то же время, расширение глубины резкости варьируется в зависимости от модели, что следует учитывать при предоперационном выборе ЭДОФ для конкретного вида повседневной зрительной деятельности пациента, особенно для лиц зрительно-напря-

женного труда. Результаты медико-технической оценки достаточно широко используются при клинической апробации конкретных типов ИОЛ ЭДОФ.

Литература/References

1. de Silva SR, Evans JR, Kirthi V, Ziaei M, Leyland M. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016; 12 (12): CD003169. doi: 10.1002/14651858.CD003169.pub4
2. Safran SG, Darian-Smith E, Coroneo MT. Intraocular lens explantation following cataract surgery: Indications, techniques, and video demonstrations. *Eur J Ophthalmol*. 2022; 32 (3): 1333–9. doi: 10.1177/11206721211039686
3. Alio JL, Plaza-Puche AB, Fernández-Buenaga R, Pikkel J, Maldonado M. Multifocal intraocular lenses: An overview. *Surv Ophthalmol*. 2017; 62 (5): 611–34. doi: 10.1016/j.survophthal.2017.03.005
4. Bai G, Li X, Zhang S, Wang Q, Liu G. Analysis of visual quality after multifocal intraocular lens implantation in post-LASIK cataract patients. *Heliyon*. 2023; 9 (5): e15720. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15720
5. Cillino S, Casuccio A, Di Pace F, et al. One-year outcomes with new-generation multifocal intraocular lenses. *Ophthalmology*. 2008; 115 (9): 1508–16. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.04.017
6. Salerno LC, Tiveron MC Jr, Alió JL. Multifocal intraocular lenses: Types, outcomes, complications and how to solve them. *Taiwan J Ophthalmol*. 2017; 7 (4): 179–84. doi: 10.4103/tjo.tjo_19_17
7. Akella SS, Juthani VV. Extended depth of focus intraocular lenses for presbyopia. *Curr Opin Ophthalmol*. 2018; 29 (4): 318–22. doi: 10.1097/ICU.0000000000000490
8. Gatinel D, Loicq J. Clinically relevant optical properties of bifocal, trifocal, and extended depth of focus intraocular lenses. *J Refract Surg*. 2016; 32 (4): 273–80. doi: 10.3928/1081597X-20160121-07
9. Alio JL, Plaza-Puche AB, Fernández-Buenaga R, Pikkel J, Maldonado M. Multifocal intraocular lenses: An overview. *Surv Ophthalmol*. 2017; 62 (5): 611–34. doi: 10.1016/j.survophthal.2017.03.005
10. Savini G, Schiano-Lomoriello D, Balducci N, Barboni P. Visual performance of a new extended depth-of-focus intraocular lens compared to a distance-dominant diffractive multifocal intraocular lens. *J Refract Surg*. 2018; 34 (4): 228–35. doi: 10.3928/1081597X-20180125-01
11. Savini G, Balducci N, Carbonara C, et al. Functional assessment of a new extended depth-of-focus intraocular lens. *Eye (Lond)*. 2019; 33 (3): 404–10. doi: 10.1038/s41433-018-0221-1
12. Domínguez-Vicent A, Esteve-Taboada JJ, Del Águila-Carrasco AJ, Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R. In vitro optical quality comparison between the Mini WELL Ready progressive multifocal and the TECNIS Symphony. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2016; 254 (7): 1387–97. doi: 10.1007/s00417-015-3240-7
13. Alarcon A, Canovas C, Rosen R, et al. Preclinical metrics to predict through-focus visual acuity for pseudophakic patients. *Biomed Opt Express*. 2016; 7 (5): 1877–88. doi: 10.1364/BOE.7.001877
14. Vega F, Millán MS, Garzón N, et al. Visual acuity of pseudophakic patients predicted from in-vitro measurements of intraocular lenses with different design. *Biomed Opt Express*. 2018; 9 (10): 4893–906. doi: 10.1364/BOE.9.004893
15. Łabuz G, Auffarth GU, Özgen A, et al. The effect of a spectral filter on visual quality in patients with an extended-depth-of-focus intraocular lens. *Am J Ophthalmol*. 2019; 208: 56–63. doi: 10.1016/j.ajo.2019.07.001
16. Maskat S, Fram NR. Pseudophakic dysphotopsia: Review of incidence, cause, and treatment of positive and negative dysphotopsia. *Ophthalmology*. 2021; 128 (11): e195–e205. doi: 10.1016/j.ophtha.2020.08.009
17. Breyer DRH, Kaymak H, Ax T, et al. Multifocal intraocular lenses and extended depth of focus intraocular lenses. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2017; 6 (4): 339–49. doi: 10.22608/APO.2017186
18. Narang P, Agarwal A, Ashok Kumar D. Pinhole pupilloplasty: Small-aperture optics for higher-order corneal aberrations. *J Cataract Refract Surg*. 2019; 45 (5): 539–43. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.12.007
19. Kanclerz P, Toto F, Grzybowski A, Alio JL. Extended depth-of-field intraocular lenses: An update. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020; 9 (3): 194–202. doi: 10.1097/APO.0000000000000296
20. Łabuz G, Son HS, Naujokaitis T, et al. Laboratory investigation of preclinical visual-quality metrics and halo-size in enhanced monofocal intraocular lenses. *Ophthalmol Ther*. 2021; 10 (4): 1093–104. doi: 10.1007/s40123-021-00411-9
21. Auffarth GU, Gerl M, Tsai L. Quantum Study Group. Clinical evaluation of a new monofocal IOL with enhanced intermediate function in patients with cataract. *J Cataract Refract Surg*. 2021; 47 (2): 184–91. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000399
22. Kang KH, Song MY, Kim KY, et al. Visual performance and optical quality after implantation of a new generation monofocal intraocular lens. *Korean J Ophthalmol*. 2021; 35 (2): 112–9. doi: 10.3341/kjo.2020.1115
23. Bova A, Vita S. Clinical and aberrometric evaluation of a new monofocal IOL with intermediate vision improvement. *J Ophthalmol*. 2022; 7: 2022:4119698. doi: 10.1155/2022/4119698
24. Schmid R, Luedtke H, Borkenstein AF. Effect of decentration and tilt on four novel extended range of vision intraocular lenses regarding far distance. *Eur J Ophthalmol*. 2022; 26 (9): 11206721221128864. doi: 10.1177/11206721221128864
25. Alarcon A, Canovas C, Koopman B, et al. Optical bench evaluation of the effect of pupil size in new generation monofocal intraocular lenses. *BMC Ophthalmol*. 2023; 23 (1): 112. doi: 10.1186/s12886-023-02839-y
26. Schmid R, Fuchs C, Luedtke H, Borkenstein AF. Depth of focus of four novel extended range of vision intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol*. 2023; 33 (1): 257–61. doi: 10.1177/11206721221125081
27. Alarcon A, Cánovas C, Koopman B, et al. Enhancing the Intermediate Vision of Monofocal Intraocular Lenses Using a Higher Order Aspheric Optic. *J Refract Surg*. 2020; 36 (8): 520–7. doi: 10.3928/1081597X-20200612-01
28. Vega F, Millán MS, Gil MA, Garzón N. Optical Performance of a Monofocal Intraocular Lens Designed to Extend Depth of Focus. *J Refract Surg*. 2020; 36 (9): 625–32. doi: 10.3928/1081597X-20200710-01
29. Leube A, Schilling T, Ohlendorf A, et al. Individual neural transfer function affects the prediction of subjective depth of focus. *Sci Rep*. 2018; 8 (1): 1919. doi: 10.1038/s41598-018-20344-x
30. Mencucci R, Favuzza E, Caporossi O, Savastano A, Rizzo S. Comparative analysis of visual outcomes, reading skills, contrast sensitivity, and patient satisfaction with two models of trifocal diffractive intraocular lenses and an extended range of vision intraocular lens. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2018; 256 (10): 1913–22. doi: 10.1007/s00417-018-4052-3
31. Bucci FA Jr. Patient Satisfaction, Visual Outcomes, and Regression Analysis in Post-LASIK Patients Implanted With Multifocal, EDOF, or Monofocal IOLs. *Eye Contact Lens*. 2023; 49 (4): 160–7. doi: 10.1097/ICL.0000000000000979
32. Rodov L, Reitblat O, Levy A, Assia EI, Kleinmann G. Visual Outcomes and Patient Satisfaction for Trifocal, Extended Depth of Focus and Monofocal Intraocular Lenses. *J Refract Surg*. 2019; 35 (7): 434–40. doi: 10.3928/1081597X-20190618-01
33. Schallhorn JM. Multifocal and extended depth of focus intraocular lenses: A comparison of data from the United States Food and Drug Administration premarket approval trials. *J Refract Surg*. 2021; 37 (2): 98–104. doi: 10.3928/1081597X-20201111-02

Вклад авторов в работу: М.Е. Коновалов — значимое участие в разработке концепции и дизайна исследования, финальная подготовка проекта статьи к публикации; А.В. Моренко — анализ литературных данных, написание статьи.

Authors' contribution: M.E. Kononov — concept and design of the review, final preparation of the article for publication; A.V. Morenko — literature analysis, writing of the article.

Поступила: 26.06.2023. Переработана: 20.07.2023. Принята к печати: 24.07.2023

Originally received: 26.06.2023. Final revision: 20.07.2023. Accepted: 24.07.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское шоссе, д. 91, Москва, 125371, Россия

Михаил Егорович Коновалов — д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры офтальмологии

Офтальмологический центр Мурманской области, ул. Карла Либкнехта, д. 13, Мурманск, 183038, Россия

Алексей Валерьевич Моренко — главный врач офтальмологического центра

Для контактов: Алексей Валерьевич Моренко,
m-vat@yandex.ru

Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution Federal Scientific and Practical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 91, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125371, Russia

Mikhail E. Kononov — Dr. of Med. Sci., associate professor, professor of chair of ophthalmology

Ophthalmological center of the Murmansk region, 13, Karl Liebknecht St., Murmansk, 183038, Russia

Alexey V. Morenko — chief physician of the ophthalmological center

For contacts: Alexey V. Morenko,
m-vat@yandex.ru