

## Современная хирургия катаракты. Нюансы и решения

А.Е. Егоров<sup>1,2</sup>, А.Б. Мовсисян<sup>1,2</sup>, Н.Г. Глазко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ «ГВВ № 2 ДЗМ», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Хирургия катаракты является одним из самых динамично развивающихся направлений в офтальмологии. Стандартом современной хирургии катаракты на сегодняшний день остается метод ультразвуковой факоэмульсификации (ФЭК). Достаточно часто оперативное вмешательство может быть осложнено рядом неблагоприятных факторов: слабостью цинновых связок, высокой плотностью ядра, недостаточностью эндотелиального слоя клеток роговицы, узким ригидным зрачком, аниридией. Современная оптимизация всевозможных процессов привела к тому, что при проведении ФЭК активно используется фемтосекундный лазер. Наряду с успешным выполнением собственно ФЭК важнейшим аспектом работы катарактального хирурга является правильный выбор интраокулярной линзы (ИОЛ). Разработка асферичных ИОЛ позволила существенно улучшить функциональные результаты вмешательства, обеспечивая пациентам более высокие зрительные функции, в первую очередь в мезопических и никтопических условиях. В XXI в. появились новые возможности для пациентов, в частности полный отказ от очковой коррекции в послеоперационном периоде после хирургии катаракты с имплантацией мультифокальных ИОЛ. Одной из последних разработок является линза, позволяющая получить большую глубину фокуса с усилением псевдоаккомодации и использованием динамики зрачка. Внедрение таких линз может потребовать изменения представления о параметрах оптической системы глаза, что приведет к созданию новых формул расчета или модификации имеющихся и, возможно, обязательному учету хирургического вклада в рефракционный исход, а следовательно, откроет новый этап в развитии хирургии катаракты.

**Ключевые слова:** катаракта, хирургия катаракты, факоэмульсификация катаракты, псевдоэкзофалиативный синдром, хирургия осложненной катаракты, сферические аберрации, асферические аберрации, коэффициент асферичности, интраокулярная линза, мультифокальная интраокулярная линза.

**Для цитирования:** Егоров А.Е., Мовсисян А.Б., Глазко Н.Г. Современная хирургия катаракты. Нюансы и решения. Клиническая офтальмология. 2020;20(3):142–147. DOI: 10.32364/2311-7729-2020-20-3-142-147.

## State-of-the-art cataract surgery. Nuances and solutions

A.E. Egorov<sup>1,2</sup>, A.B. Movsisyan<sup>1,2</sup>, N.G. Glazko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Hospital for War Veterans No. 2, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

Cataract surgery is one of the most fast growing fields of ophthalmology. Phacoemulsification, or phaco, is the current gold standard for modern cataract surgery. However, cataract surgery is quite often complicated by a number of challenges, i.e., zonular weakness, dense nucleus, corneal endothelial dysfunction, small pupil, aniridia etc. Recent advancements in different areas has resulted in the adoption of femtosecond technology to perform phaco. In addition to successful cataract surgery itself, proper intraocular lens (IOL) choice is of crucial importance. The development of aspheric IOLs has significantly improved functional outcomes to provide better mesopic and scotopic vision postoperatively. 21<sup>st</sup> century also provides novel opportunities for patients, i.e., life without glasses after cataract surgery with multifocal IOL implantation. One of the recent advances is the development of extended depth of focus IOLs that increase pseudoaccommodation by using pupil dynamics. The introduction of these IOLs may require paradigm shift in the understanding of optical parameters of the eye. This will result in the generation of novel IOL calculation formulas or modification of current ones. Additionally, surgical performance and its contribution to the refraction outcome should be considered. This would be the beginning of a new era of cataract surgery.

**Keywords:** cataract, cataract surgery, phacoemulsification, pseudoexfoliation syndrome, complicated cataract surgery, spherical aberrations, aspherical aberrations, asphericity coefficient, intraocular lens, multifocal intraocular lens.

**For citation:** Egorov A.E., Movsisyan A.B., Glazko N.G. State-of-the-art cataract surgery. Nuances and solutions. Russian Journal of Clinical Ophthalmology. 2020;20(3):142–147. DOI: 10.32364/2311-7729-2020-20-3-142-147.

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день хирургия катаракты является одним из самых динамично развивающихся направлений в офтальмологии. Согласно современным тенденциям экстракция катаракты является ведущим способом коррекции нарушений рефракции, причем большая часть вме-

шательства выполняется методом факоэмульсификации (ФЭК). Вопрос распространенности катаракты постоянно обсуждается, в т. ч. в рамках программы Глобального плана Всемирной организации здравоохранения по обеспечению всеобщего доступа к здоровью глаз, целью которого является сокращение масштабов возможной предупреждаемой

слепоты и нарушений зрения [1]. По данным Федеральных клинических рекомендаций по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой от 2015 г., только в нашей стране проводится около 500 тыс. операций по экстракции катаракты в год [2].

Стандартом современной хирургии катаракты на сегодняшний день остается метод ультразвуковой ФЭК. Благодаря использованию постоянных технологических усовершенствований, возможностям подбора индивидуальных параметров ультразвука, вакуума, гидродинамики, внедрению в клиническую практику фемтоассистированной ФЭК повышаются эффективность методики и безопасность ее использования в нестандартных и сложных случаях, в т. ч. при сочетанной патологии [2, 3].

## Нюансы хирургии катаракты

Достаточно часто оперативное вмешательство может быть осложнено рядом неблагоприятных факторов: слабостью цинновых связок, высокой плотностью ядра, недостаточностью эндотелиального слоя клеток роговицы, узким ригидным зрачком. Рассматривая каждый из приведенных выше факторов по отдельности, нельзя не упомянуть о многообразии причин их возникновения.

Одно из достаточно распространенных явлений — слабость или наличие скрытого дефекта связочного аппарата, что часто встречается у пациентов с перенесенными травмами головы и глаз, офтальмохирургическими вмешательствами в анамнезе или наличием изменений со стороны органа зрения, таких как псевдоэкзофолиативный синдром, миопия высокой степени, а также при синдроме Марфана, врожденных заболеваниях соединительной ткани [3–6].

В ряде случаев снижение прочности и дефект цинновых связок обнаруживаются интраоперационно, что приводит к значительным затруднениям при выполнении ФЭК.

Хирургия катаракты на фоне псевдоэкзофолиативного синдрома отличается высокими интраоперационными рисками и возможностью развития послеоперационных осложнений, в т. ч. в отдаленном периоде. Традиционные хирургические манипуляции осложняются наличием дистрофических изменений структур переднего отрезка, к числу которых относятся: зонулопатия, факодонез, снижение эластичности и истончение капсулы хрусталика в сочетании с высокой плотностью ядра, дисфункцией радужки [3]. Хирургические техники в своем полном объеме могут приводить к развитию ятрогенного зонулолизиса и усугублять нестабильность связочно-капсульного аппарата хрусталика [4–6].

При проведении ФЭК в случае наличия дефекта или слабости цинновых связок, как и при обычной ФЭК, важным этапом является проведение капсулорексиса. Как правило, его выполнение начинают в зоне, противоположной дефекту. Это способствует сохранению имеющегося дефекта в стабильном состоянии [6].

Возможности современных факомашин и использование фемтосекундного лазера (при наличии должного миоптриаза) [7] позволяют хирургу подбирать параметры работы в каждом конкретном случае, в т. ч. во время проведения операции, что делает возможным расширение показаний к ФЭК, даже при значительной утрате (до 2/3 окружности) связочного аппарата хрусталика. Подбор индивидуальных настроек в таком случае включает в себя изменение параметров ультразвука (предпочтительно его увеличение

на 15–20%), использование торсионного ультразвукового режима, при этом снижается скорость потока и сохраняется значение динамического подъема на одном уровне, равном 0 [5, 7].

Наличие дефекта или несостоятельности цинновых связок влечет за собой необходимость минимизации зонулярного стресса на всех этапах и, в частности, при удалении ядра хрусталика. Разлом ядра и фрагментация осуществляются в зоне зрачка под визуальным контролем [8, 9]. К минимуму сводится этап ротации ядра хрусталика, при этом при проведении раскола выделяется, мобилизуется и захватывается большой фрагмент центральной части ядра. Факофрагментация выполняется над задней капсулой, при этом ядро удерживается наконечником факоэмульсификатора во взвешенном состоянии. Последующее удаление выделенного фрагмента проводится в пространстве капсульного мешка без вращения и агрессивных манипуляций. Первоочередное удаление центрального фрагмента ядра мгновенно меняет всю архитектуру, увеличивая подвижность оставшихся фрагментов. В опустевшем капсульном мешке хрусталика сегменты легко перемещаются чоппером в зрачковую зону без ротации и компрессии на связочно-капсульный аппарат хрусталика для их дальнейшей факоэмульсификации [10].

Стремление офтальмохирургов сохранить хрусталиковую сумку обосновано не только тем, что в ней располагают и фиксируют искусственный хрусталик глаза, но и тем, что при этом сохраняется естественный барьер между передним и задним отрезками глаза. Зачастую при слабости связочного аппарата используются дополнительные устройства для обеспечения стабилизации капсулы хрусталика. При наличии выраженной зонулярной несостоятельности рекомендуется, кроме имплантации капсульного кольца, использование иридокапсулярных ретракторов, а при необходимости — шовная фиксация капсульных колец [11]. Кроме перечисленных выше особенностей техники проведения ФЭК при слабости связочного аппарата хрусталика имплантация линз с плоскостной гаптикой позволяет дополнительно стабилизировать капсульный мешок за счет наличия четырех точек фиксации.

Однако не всегда возможно использование всех вышеперечисленных методик. В некоторых случаях хирурги все равно прибегают к подшиванию ИОЛ за гаптические элементы, например, при отсутствии капсульного мешка или при значительной протяженности отрыва цинновых связок.

## Подшивание ИОЛ

Фиксация ИОЛ возможна несколькими способами. Наиболее распространенными из них являются ирис-фиксация и склеральная фиксация. Способ шовной ирис-фиксации заднекамерной ИОЛ при экстракции катаракты, сопровождающейся несостоятельностью или отсутствием капсульной поддержки, предусматривает имплантацию и подшивание ее за гаптические элементы к радужной оболочке в двух противоположных точках [12]. К минусам данного способа можно отнести возможную деформацию зрачка.

Весьма распространен способ фиксации линзы в цилиарной борозде путем транссклерального подшивания с погружением узлов под конъюнктиву. Метод неодно-

кратно совершенствовался и имеет большое количество вариаций. К стандартной методике его выполнения относят формирование корнеосклерального разреза с отсепаровкой конъюнктивы и формированием треугольных склеральных лоскутов на  $\frac{1}{2}$  ее толщины, основанием к лимбу. К гаптическим элементам ИОЛ привязываются нити, затем они проводятся через склеру в зоне цилиарной борозды наружу в ложе склеральных лоскутов [12]. После имплантации и центрации ИОЛ под лоскутами формируются узловые швы, которые покрываются склеральными лоскутами и конъюнктивой. Подобная техника может сопровождаться развитием интра- и постоперационных осложнений, таких как гифема, частичный гемофтальм, выпадение стекловидного тела, транзиторная офтальмогипертензия, послеоперационные иридоциклиты.

Одной из модификаций транссклерального подшивания ИОЛ является методика, разработанная доктором Szurman et al. [11]. Она заключается в фиксации имплантатов Z-образным интрасклеральным швом параллельно лимбу полипропиленовой нитью 10-0, при этом узлы не формируются, что снижает вероятность развития послеоперационных осложнений.

Узкий ригидный зрачок может значительно осложнять проведение ФЭК не только за счет снижения качества визуализации зоны манипуляций, но и вследствие высокой вероятности раздражающего и альтерационного воздействия на передние отделы увеального тракта. Для уменьшения риска развития нежелательных последствий оптимальным является минимизирование ультразвукового воздействия, уменьшение скорости потока и динамического подъема, осторожная ротация ядра, использование ирис-ретракции только при достаточной необходимости. С целью предупреждения кровотечения из сосудов радужки целесообразно системное и внутрикамерное применение раствора этамзилата.

Для защиты эндотелиальных клеток, особенно при низком их количестве, стандартом на сегодняшний день является использование вискохирургической техники «мягкой оболочки» (soft-shell technique) по S. Arshinoff [13]. Еще одним способом защитить эндотелий при проведении фактоэмульсификации катаракты является предложенный S. Li et al. (2017) так называемый «слоеный пирог» [14].

Помимо вышеперечисленных способов защиты эндотелия, особенно при высокой плотности ядра, необходимо использование приемов, сокращающих время и интенсивность использования ультразвуковой энергии и ирригационных потоков. Для этого применяются высокие цифры подачи вакуума, пульсирующий режим ультразвука и механическая фрагментация, т. е. разделение ядра на такое количество мелких фрагментов, которые можно эмульсифицировать с минимальными затратами энергии. Одним из наиболее оптимальных приемов можно считать технику «чоппер навстречу игле», что позволяет фактически «насаживать» фрагмент на иглу [8, 15].

Наряду с успешным выполнением собственно ФЭК важнейшим аспектом работы катарактального хирурга является правильный выбор ИОЛ.

В настоящее время роль хирургии катаракты как способа совершенствования оптической системы глаза и достижения более высоких показателей качества жизни пациента по сравнению с периодом до формирования помутнений хрусталика становится все более очевидной.

## Влияние модели ИОЛ на рефракционный результат

Одним из факторов, негативно влияющих на качество зрительных функций у пациентов после экстракции катаракты, долгие годы являлось несовершенство оптики имплантируемой ИОЛ. До последнего времени для интраокулярной коррекции применялись линзы, имеющие сферическую поверхность, что создавало условия для снижения качества изображения за счет появления аберраций [16, 17]. Разработка асферичных ИОЛ [18–20] позволила существенно улучшить функциональные результаты вмешательства, обеспечивая пациентам более высокие зрительные функции, в первую очередь в мезопических и никтопических условиях. Со временем внедрение в широкую практику асферичных ИОЛ породило ряд новых вопросов, требующих ответов: насколько хороша асферичность, насколько асферичной должна быть линза и как именно должны быть оптимизированы оптические параметры ИОЛ для достижения максимально высоких клинических результатов?

Сферические аберрации (SA) являются наиболее значимыми для оптической системы глаза. Они возникают в том случае, если периферическая и центральная части оптической системы фокусируют свет в разных точках. Клинически такие отклонения характеристик оптической системы глаза могут проявляться жалобами пациентов на появление бликов или снижение остроты зрения, особенно в условиях плохой освещенности, также отмечается существенное снижение контрастной чувствительности [21].

Роговица вносит наибольший вклад в формирование фокусируемого на сетчатке изображения, т. к. обладает наибольшей преломляющей способностью среди элементов рефракционной системы органа зрения. По данным ряда исследований, роговицу можно представить как квадратичную поверхность с асферичным покрытием [22, 23]. При этом такой количественный показатель, как коэффициент асферичности (Q) определяется как радиальное изменение от центра к периферии такой поверхности. В качестве ключевого параметра математической модели роговицы значение Q отражает форму роговицы и оптические свойства [24], в т. ч. преломляющую способность, SA, распределение аберрации и т. д.

Проведен ряд исследований, посвященных изучению величины Q и распределения его значения по поверхности роговицы, а также его влияния на оптические свойства человеческого глаза. В норме кривизна роговицы уменьшается от центра к периферии, таким образом, являясь асферической с отрицательным Q (-0,26) и создающей положительные SA. Сферические линзы имеют одинаковый радиус кривизны в любой точке на своей поверхности, имея Q, равный нулю. Данная особенность обуславливает возникновение большого количества положительных SA роговицы у пациентов с имплантированной сферической ИОЛ [24, 25]. Значение Q роговицы у пожилых людей является важным фактором как для разработки ИОЛ, так и для коррекции рефракционных нарушений в связи с тем, что при формировании пресбиопии увеличивается суммарное количество интраокулярных и роговичных аберраций, а также снижается возможность компенсировать корональные аберрации хрусталиком [26, 27].

В 1997 г. Liou и Brennan разработана модель человеческого глаза, преломляющие среды которой имеют суммарный Q, равный -0,18, с учетом смещения зрачка отно-

сительно оптической оси, кривизны поверхности сетчатки ( $Q=0$ ), медиально-направленного положения глаза [28]. Данная особенность обуславливает возникновение большого количества SA при изменении заданных параметров модели, например изменения диаметра роговицы или диаметра зрачка. Если для формы всей роговицы используется показатель радиуса, равный 11 мм, это приводит к изменению параметров модели, и, следовательно, данное значение  $Q$  больше не является действительным.

Как и в случае с описанием геометрических характеристик роговицы,  $Q$  не является хорошим показателем для отражения оптических свойств асферических ИОЛ премиум-класса.  $Q$  лишь указывает на направление конического сечения на определенном расстоянии, именно поэтому данный показатель не является самым важным при обсуждении высококачественных ИОЛ. Так, например, предложенная Zeiss запатентованная форма поверхности Zeiss Optic Concept (профиль ZOC) характеризуется отсутствием постоянного  $Q$ . Данный параметр у ИОЛ с таким профилем, разработанным с использованием данной концепции, изменяется радиально по площади поверхности: он напоминает ИОЛ с отрицательными SA в центральной части и линзу с положительными SA во внешних областях [29]. Именно поэтому высококачественные ИОЛ не могут быть охарактеризованы с использованием только одного параметра  $Q$ .

Продольная сферическая аберрация (longitudinal spherical aberration, LSA) — это оптическое явление, возникающее, когда волновой фронт тангенциально достигает периферии сферической линзы, усиливая эффект конвергенции, создавая второй фокус (положительная LSA) впереди основного фокуса. Измерение LSA проводится по разнице в диоптриях между лучами, падающими на периферию линзы, и лучами парацентральной области [30]. Это физиологическая аберрация высокого порядка, но очень значимая в условиях, когда диаметр зрачка более 3 мм. Именно благодаря ей возникают ореолы вокруг источников света, что вызывает блики и снижает контрастную чувствительность. При этом надо учитывать, что аберрации высокого порядка обусловлены неидеальностью параметров глаза. В молодом возрасте он естественным образом нейтрализуется отрицательной LSA, генерируемой хрусталиком [31–33].

Как уже отмечалось ранее, ИОЛ могут быть сферическими, генерирующими дополнительную положительную LSA, и асферическими [34]. Последние могут быть асферически нейтральными — такие хрусталики не влияют на показатели суммарной LSA, и абберационно-корректирующими, вызывающими отрицательный LSA. Наличие этих ИОЛ дает хирургу возможность влиять на LSA роговицы пациента с помощью имплантата, повышая суммарные оптические качества преломляющей системы глаза [37, 38].

Таким образом, стандартные ИОЛ имеют двояковыпуклую сферическую поверхность, что приводит к возникновению положительных SA, которые обеспечивают хорошее зрение при соблюдении двух условий: зрачок имеет небольшой диаметр (в фотопических условиях) и оптическая система центрирована по зрительной оси. Оптические характеристики линзы в прочих условиях неоптимальны. В то же время асферические абберационно-нейтральные ИОЛ подходят любым пациентам, независимо от формы роговицы, что дает возможность лечения пациентов даже в том случае, если форма роговицы отклоняется от средних показателей. Среди преимуществ такого типа ИОЛ также отме-

чают: отсутствие необходимости определения имеющихся у пациента аббераций или учета проводившегося ранее лечения с использованием методики LASIK или развития катарактоноуса, а также максимальная устойчивость картинки при децентрации хрусталика [37–42].

Асферические абберационно-корректирующие ИОЛ имеют следующие характеристики: вытянутую переднюю и/или заднюю поверхность, что приводит к возникновению отрицательных SA, предназначены для компенсации положительных SA средней части роговицы, повышают контрастную чувствительность, в особенности при большом диаметре зрачка (в мезопических и скотопических условиях), однако весьма чувствительны к децентрации [43, 44].

Необходимо учитывать, что обычный человеческий глаз не является оптически симметричным и очень мало ИОЛ идеально центрируются в нем. Исходя из этого, применение безабберационных асферических ИОЛ более предпочтительно в массовой клинической практике, особенно при работе с пожилыми пациентами, а также при наличии значимой сопутствующей глазной патологии.

Немаловажным при выборе ИОЛ является наличие защитных фильтров для сетчатки. ИОЛ с фильтром, блокирующим значительную часть синего спектра, способствуют снижению контрастной чувствительности в мезопических или скотопических условиях, что обуславливает ухудшение качества зрения при недостаточной освещенности.

Также, по имеющимся данным, поглощение синего света фильтрами ИОЛ ведет к негативному воздействию на циркадные ритмы, нарушению профиля «сон — бодрствование» за счет снижения выработки мелатонина системой эпифиза. Активация системы связана с влиянием синего спектра на ганглиозные клетки сетчатки. Поэтому наиболее целесообразным представляется использование фильтров, которые блокируют не синий спектр, а только наиболее высокоэнергетическую часть видимого диапазона (коротковолновый сегмент фиолетового), токсичную для сетчатки [45, 46].

Хотелось бы отметить, что модель асферической линзы известна уже более 100 лет. Moritz von Rohr запатентовал первую асферическую очковую линзу в 1909 г., а вскоре после этого, в 1912 г., были выпущены очки. Однако только в последние годы ИОЛ с асферической оптикой получили широкое распространение (на рынке имеются абберационно-нейтральные и абберационно-корректирующие модели). Немаловажным преимуществом является использование «умных» фильтров, которые блокируют только коротковолновую составляющую фиолетового спектра, формируя спектральный состав света, достигающий сетчатки, идентичный таковому у лиц молодого возраста, что повышает комфорт и качество жизни пациентов и исключает фототоксическое воздействие на сетчатку.

В XXI в. появились новые возможности для пациентов, в частности, полный отказ от очковой коррекции в послеоперационном периоде после хирургии катаракты с имплантацией ИОЛ. Первым этапом стало внедрение бифокальных ИОЛ, которые давали хороший рефракционный исход, однако из-за выпадения среднего расстояния и невозможности фиксации взгляда на предметах на расстоянии 1,5–2 м от пациента не давали полного «рефракционного комфорта», также наблюдались случаи эксплантации таких линз в силу зрительного дискомфорта у пациентов. На смену им пришли линзы нового поколения — трифокальные ИОЛ, решающие проблему среднего расстояния,

основными преимуществами которых являются: асимметричное распределение света (50% на дальнее расстояние, 20% на среднее расстояние, 30% на близкое расстояние); максимальная независимость от размера зрачка (до 4,5 мм); фотопическая контрастная чувствительность; высокий уровень удовлетворенности пациентов. Особый синусоидальный профиль вершин рефракционно-дифракционной решетки существенно снижает вероятность появления гало-эффекта при взгляде на источники света. Появление торической модификации такой линзы позволяет расширить показания для имплантации и рекомендовать ее установку пациентам с астигматизмом [47].

Помимо проблем, связанных со связочным аппаратом хрусталика и выбором ИОЛ, в случае наличия протяженных дефектов радужки, а также при аниридии остро встает вопрос формирования зрачка для регулирования потока света, направленного на сетчатку, и исправления косметических дефектов. При сохранности капсульного мешка во многих случаях оптимальной следует признать методику имплантации интракапсульных моделей искусственной радужки, не требующих дополнительной фиксации и отличающихся меньшей травматичностью для глаза при их установке. Такие имплантаты позволяют добиться создания искусственной неподвижной оптической диафрагмы глаза, что дает больший комфорт и лучший рефракционный исход для артификачного глаза пациента. Также из достоинств таких искусственных диафрагм нужно отметить отсутствие отрицательного влияния на гидродинамику и эндотелий, повышения риска хронических воспалительных осложнений и необходимости шовной фиксации. Все это расширяет возможности хирургии катаракты в нестандартных случаях [48].

В ряде случаев, таких как глистенинг ИОЛ, отсутствие адаптации к бифокальным ИОЛ, идиопатическое повреждение гаптических элементов линзы и др., требуется эксплантация ИОЛ. Нельзя не отметить, что данная операция являлась долгое время весьма травматичной, ее исход трудно было предсказать. Часто наблюдались осложнения, поэтому риск ее проведения не всегда был оправдан. Современная хирургия катаракты позволяет через малые разрезы провести удаление старой ИОЛ с последующей имплантацией новой при минимальной травматизации структур глаза и благоприятном рефракционном исходе для пациента. Все это стало возможным за счет гибкости современных ИОЛ, благодаря развитию и широкому внедрению различных вискоэластиков, возможности проведения расчета ИОЛ на артификачных глазах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что хирургия катаракты продолжает развиваться. Новые технические решения, предлагаемые для проведения этапов операции, и получаемые рефракционные исходы требуют более детального изучения работы оптической системы глаза и подталкивают исследователей к разработке ИОЛ нового поколения. Одной из таких разработок является линза, позволяющая получить большую глубину фокуса с усилением псевдоаккомодации и использованием динамики зрачка (запатентованная технология Instant Focus EDOF), что расширяет диапазон диоптрий в отношении ближнего и среднего расстояния. Она обеспечивает непрерывный диапазон зрения, распределяя свет по всей поверхности, а не разделяя его между двумя раз-

личными точками (для дальнего и ближнего зрения), в отличие от мультифокальных линз [49]. Запущено производство двух новых ИОЛ для хирургии катаракты — LUCIDIS и EDEN, в которых используется эта технология [50]. Стоит отметить, что внедрение таких линз может потребовать изменения представления о параметрах оптической системы глаза, что приведет к созданию новых формул расчета или модификации имеющихся и, возможно, обязательно к учету хирургического вклада в рефракционный исход, а следовательно, откроет новый этап в развитии хирургии катаракты.

## Литература/References

1. Fricke T.R., Tahhan N., Resnikoff S. et al. Global Prevalence of Presbyopia and Vision Impairment from Uncorrected Presbyopia: Systematic Review, Meta-analysis, and Modelling. *Ophthalmology*. 2018;125(10):1-8. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.04.013.
2. Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой. Экспертный совет по проблеме хирургического лечения катаракты. Под редакцией ООО «Межрегиональная ассоциация врачей-офтальмологов». М.: Офтальмология; 2015. [Federal clinical guidelines for providing ophthalmological care to patients with age-related cataracts. Expert Council on the problem of cataract surgery. Ed. "Interregional Association of ophthalmologists". Moscow: Ophthalmology; 2015 (in Russ.).]
3. Chang D.F. Advanced IOL Fixation: Techniques Strategies for Compromised or Missing Capsular Support. NJ (USA): SLACK Incorporated, 2019.
4. Tekin K., Inanc M., Elgin U. Monitoring and management of the patient with pseudoexfoliation syndrome: current perspectives. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:453-464. DOI: 10.2147/OPTH.S181444.
5. Borkenstein A.F., Borkenstein E.M. Surgical experience with a redesigned, fully preloaded, hydrophobic acrylic intraocular lens in challenging cases of pseudoexfoliation syndrome, phacodonesis, and small pupils. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:199-206. DOI: 10.2147/OPTH.S194420.
6. Sangal N., Chen T.C. Cataract Surgery in Pseudoexfoliation Syndrome. *Seminars in Ophthalmology*. 2014;29(5-6):403-408. DOI: 10.3109/08820538.2014.959189.
7. Паштаев Н.П., Куликов И.В. Фемтосекундный лазер в хирургии катаракты. *Офтальмохирургия*. 2016;(3):74-79. [Pashtae N.P., Kulikov I.V. Femtosecond laser in cataract surgery. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2016;(3):74-79 (in Russ.).] DOI: 10.25276/0235-4160-2016-3-74-79.
8. Азнабаев Б.М., Мухаммадеев Т.Р., Дибаяев Т.И. Ультразвуковая факоэмульсификация на основе непродольных колебаний. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2012;7(6):103-107. [Aznaev B.M., Mukhamadeev T.R., Dibaev T.I. Ultrasound phacoemulsification based on non-longitudinal oscillations. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana*. 2012;7(6):103-107 (in Russ.).]
9. Малов В.М., Золотарев А.В., Ерошевская Е.Б. и др. Оптимизация фрагментации ядра хрусталика при факоэмульсификации у больных псевдоэкзофолиативным синдромом. *Офтальмология*. 2018;15(3):273-279. [Malov V.M., Zolotarev A.V., Eroshvskaya E.B. et al. Optimization of the Lens Nucleus Fragmentation during Phacoemulsification in Patients with Pseudoexfoliation Syndrome. *Ophthalmology in Russia*. 2018;15(3):273-279 (in Russ.).] DOI: 10.18008/1816-5095-2018-3-273-279.
10. Soosan J. Different Methods of Chopping in Cataract Surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2019;30(1):25-38. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000538.
11. Szurman P., Petermeier K., Aisenbrey S. et al. Z-suture: a new knotless technique for transscleral suture fixation of intraocular implants. *Br. J. Ophthalmol*. 2010;94:167-169. DOI: 10.1136/bjo.2009.162180.
12. Головин А.В. Современные подходы к хирургии катаракты в осложненных случаях. Обзор. XV Всероссийская конференция с международным участием «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии — 2014». М., 2014. [Golovin A.V. Modern approaches to cataract surgery in complicated cases. Review. All-Russian conference with international participation "Modern technologies of cataract and refractive surgery — 2014". M., 2014 (in Russ.).]
13. Buratto L., Brint S.F., Sacchi L. Cataract surgery: introduction and preparation. NJ (USA): SLACK INC; 2014.
14. Li S., Chen X., Zhao J. et al. Isolated Capsulorhexis Flap Technique in Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery to Protect the Corneal Endothelial Cells. *J Invest Surg*. 2019;32(1):35-38. DOI: 10.1080/08941939.2017.1372537.
15. Мачехин В.Я., Николашин С.И. Техника факоэмульсификации катаракты с плотными ядрами. *Бюллетень СО РАМН*. 2009;4(138):26-29. [Machekhin V.Ya., Nikolashin S.I. Technique of phacoemulsification of cataracts with dense nuclei. *Byulleten' SO RAMN*. 2009;4(138):26-29 (in Russ.).]
16. Weeber H.A., Piers P.A. Theoretical Performance of Intraocular Lenses Correcting Both Spherical and Chromatic Aberration. *J. Refract. Surg. J. Refract. Surg*. 2012;28(1):48-52. DOI: 10.3928/1081597X-20111103-01.
17. Bellucci R., Cargnoni M., Bellucci C. Clinical and Aberrometric Evaluation of a New Extended Depth-Of-Focus Intraocular Lens Based on Spherical Aberration. *J Cataract Refract Surg*. 2019;45(7):919-926. DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.02.023.

18. Holladay J.T., Piers P.A., Kozanyi G. et al. A new intraocular lens designed to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. *J Refract Surg.* 2002;18(6):683–701.
19. Lombardo M., De Santo M.P., Lombardo G. et al. Analysis of intraocular lens surface properties with atomic force microscopy. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(8):1378–1384. DOI: 10.1016/j.jcrs.2006.02.068.
20. Montés-Micó R., Ferrer-Blasco T., Cerviño A. Analysis of the possible benefits of aspheric intraocular lenses: review of the literature. *J. cataract refract surg.* 2009;35(1):172–181. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.09.01.
21. Oberholzer M., Gillan W.D.H., Rubin A. Higher order aberrations of the eye: Part one. *Afr Vision Eye Health.* 2016;75(1):1–6. DOI:10.4102/aveh.v75i1.321.
22. Zheng S., Ying J., Wang B. et al. Three-dimensional model for human anterior corneal surface. *Journal of Biomedical Optics.* 2013;18(6):065002. DOI: 10.1117/1.JBO.18.6.065002.
23. Manns F., Fernandez V., Zipper S. et al. Radius of curvature and asphericity of the anterior and posterior surface of human cadaver crystalline lenses. *Exp Eye Res.* 2004;78(1):39–51. DOI: 10.1016/j.exer.2003.09.025.
24. Tălu S., Tălu M., Giovanzana S. Representation and Mathematical Analysis of Human Corneal Surface. *Ophthalmologia.* 2011;55(2):75–81.
25. Huang H., Yang J., Bao H. et al. Retrospective analysis of changes in the anterior corneal surface after Q value guided LASIK and LASEK in high myopic astigmatism for 3 years. *BMC Ophthalmol.* 2012;12(15):1–6. DOI: 10.1186/1471-2415-12-15.
26. Zhang Z., Wang J., Niu W. et al. Corneal asphericity and its related factors in 1052 Chinese subjects. *Optom Vis Sci.* 2011;88(10):1232–1239. DOI: 10.1097/OPX.0b013e31822717ca.
27. Queirós A., Villa-Collar C., Gutiérrez A. et al. Anterior and posterior corneal elevation after orthokeratology and standard and customized LASIK surgery. *Eye Contact Lens.* 2011;37(6):354–358. DOI: 10.1097/ICL.0b013e318232e32d.
28. Дегтярев С.А., Карсаков А.В., Branchevская Е.С. и др. Влияние изменения кривизны преломляющих поверхностей глаза на качество изображения на сетчатке в модели Лиоу — Бреннана. *Компьютерная оптика.* 2015;39(5):702–708. [Degtyarev S.A., Karsakov A.V., Branchevskaya E.S. et al. Influence of eye refractive surface curvature modification on the retinal image quality in the Liou-Brennan eye model. *Komp'yuternaya optika.* 2015;39(5):702–708 (in Russ.).] DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-5-702-708.
29. ZEISS CT LUCIA Family Designed to optimize your hydrophobic IOL performance. (Electronic resource). URL: <https://www.zeiss.com/meditec/int/product-portfolio/iols/monofocal-iols/ct-lucia-family.html>. Access date: 14.09.2019.
30. Queirós A., Villa-Collar C., Gutiérrez A. et al. Local steepening in peripheral corneal curvature after corneal refractive therapy and LASIK. *Optom Vis Sci.* 2010;87(6):432–439. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3181da8628.
31. Berrio E., Tabernero J., Artal P. Optical Aberrations and Alignment of the Eye With Age. *J Vis.* 2010;10(14):34. DOI: 10.1167/10.14.34.
32. Applegate R.A., Thibos L.N., Hilmantel G. Optics of aberroscopy and super vision. *J Cataract Refract Surg.* 2001;27(7):1093–1107.
33. Zhang F., Zhou Z., Yu F. et al. Comparison of Age-Related Changes Between Corneal and Ocular Aberration in Young and Mid-Age Myopic Patients. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35(3):496–503. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.11.032.
34. Tandogan T., Auffarth G.U., Choi C.Y. et al. In Vitro Comparative Optical Bench Analysis of a Spherical and Aspheric Optical Design of the Same IOL Model. *BMC Ophthalmol.* 2017;17(1):9. DOI: 10.1186/s12886-017-0407-5.
35. Weeber H.A., Piers P.A. Theoretical Performance of Intraocular Lenses Correcting Both Spherical and Chromatic Aberration. *J Refract Surg.* 2012;28(1):48–52. DOI: 10.3928/1081597X-20111103-01.
36. Jia L., Li Z. Evaluation of the Consistency of Total Spherical Aberration Before and After Aspherical Intraocular Lens Implantation. *Eye Sci.* 2013;28(3):129–133.
37. Caporossi A., Martone G., Casprini F., Rapisarda L. Prospective randomized study of clinical performance of 3 aspheric and 2 spherical intraocular lenses in 250 eyes. 2007;35(7):639–648. DOI: 10.3928/1081-597X-20070901-02.
38. Chang D.H., Rocha K.M. Intraocular Lens Optics and Aberrations. *Curr Opin Ophthalmol.* 2016;27(4):298–303. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000279.
39. Kershner R.M. Retinal image contrast and functional visual performance with aspheric, silicone, and acrylic intraocular lenses: prospective evaluation. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29:1684–1694. DOI: 10.1016/s0886-3350(03)00523-6.
40. Montés-Micó R., Ferrer-Blasco T., Cerviño A. Analysis of the possible benefits of aspheric intraocular lenses: review of the literature. *J. Cataract Refract Surg.* 2009;35(1):172–181. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.09.017.
41. Denoyer A., Halfon J., Majzoub S., Pisella P.J. Visual function after cataract surgery in patients with an aspherical lens without spherical aberration. *J. Fr. Ophthalmol.* 2007;30(6):578–584.
42. Ilavská M., Ilavská Z. The Impact of Implantation of Intraocular Lenses With Negative Spherical Aberration on Contrast Sensitivity. *Cesk Slov Ophthalmol.* 2010;66(1):15–20.
43. Johansson B., Sundelin S., Wikberg-Matsson A. et al. Visual and optical performance of the Akreos Adapt Advanced Optics and Tecnis Z9000 intraocular lenses: Swedish multicenter study. *J. Cataract Refract. Surg.* 2007;33(9):1565–1572. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.05.025.
44. Awwad S.T., Lehmann J.D., McCulley J.P., Bowman R.W. A comparison of higher order aberrations in eyes implanted with AcrySof IQ SN60WF and AcrySof SN60AT intraocular lenses. *Eur. J. Ophthalmol.* 2007;17(3):320–326. DOI: 10.1177/112067210701700307.
45. Mester U., Kaymak H. The aspheric blue light filter IOL AcrySof IQ compared to the AcrySof SA60AT: Influence of IOL power, pupil diameter, and corneal asphericity on postoperative spherical aberration. *Ophthalmologie.* 2008;105(11):1029–1035. DOI: 10.1007/s00347-008-1693-3.
46. Чистякова Н.В., Даль Н.Ю., Астахов Ю.С. Влияние света на состояние сетчатки и здоровье в целом: миф или реальность? *Офтальмологические ведомости.* 2011;4(3):57–62. [Chistyakova N.V., Dal N. Yu., Astakhov Yu.S. The effect of light on the state of the retina and overall health: myth or reality? *Oftal'mologicheskiye vedomosti.* 2011;4(3):57–62 (in Russ.).]
47. Ganesh S., Brar S., Pawar A. Long-term visual outcomes and patient satisfaction following bilateral implantation of trifocal intraocular lenses. *Clinical Ophthalmology.* 2017;11:1453–1459. DOI: 10.2147/ophth.s125921.
48. Weissbart S.B., Ayres B.D. Management of Aniridia and Iris Defects: An Update on Iris Prosthesis Options. *Curr Opin Ophthalmol.* 2016;27(3):244–249. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000253.
49. Binde S.P. What EDOF IOLs have that others don't. (Electronic resource). URL: <https://www.eyeworld.org/what-edof-iols-have-others-don-t> Access date: 05.10.2019.
50. Two New Innovative Swiss Made EDOF IOLs for Cataract Surgery. (Electronic resource). URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20170915005005/en> Access date: 05.10.2019.

### Сведения об авторах:

<sup>1,2</sup>Егоров Алексей Евгеньевич — д.м.н., профессор кафедры офтальмологии им. А.П. Нестерова лечебного факультета, заведующий офтальмологическим отделением, ORCID iD 0000-0003-2637-1830;

<sup>1,2</sup>Мовсисян Анна Борисовна — врач-офтальмолог, аспирант кафедры офтальмологии им. А.П. Нестерова лечебного факультета, ORCID iD 0000-0001-8233-0385;

<sup>1,2</sup>Глазко Надежда Геннадьевна — врач-офтальмолог, аспирант кафедры офтальмологии им. А.П. Нестерова лечебного факультета, ORCID iD 0000-0002-1175-3695.

<sup>1</sup>ГБУЗ «ГВВ № 2 ДЗМ». 109472, Россия, г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 168.

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России. 117997, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1.

**Контактная информация:** Егоров Алексей Евгеньевич, e-mail: alexeye@inbox.ru. **Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. **Конфликт интересов отсутствует.** Статья поступила 27.10.2019.

### About the authors:

<sup>1,2</sup>Aleksey E. Egorov — MD, PhD, Professor of A.P. Nesterov Department of Ophthalmology, Head of the Department of Ophthalmology, ORCID iD 0000-0003-2637-1830;

<sup>1,2</sup>Anna B. Movsisyan — MD, postgraduate student of A.P. Nesterov Department of Ophthalmology, ophthalmologist, ORCID iD 0000-0001-8233-0385;

<sup>1,2</sup>Nadezhda G. Glazko — MD, postgraduate student of A.P. Nesterov Department of Ophthalmology, ophthalmologist, ORCID ID 0000-0002-1175-3695.

<sup>1</sup>Hospital for War Veterans No. 2. 168, Volgogradskiy av., Moscow, 109472, Russian Federation.

<sup>2</sup>Pirogov Russian National Research Medical University. 1, Ostrovityanov str., Moscow, 117437, Russian Federation.

**Contact information:** Aleksey E. Egorov, e-mail: alexeye@inbox.ru. **Financial Disclosure:** no authors have a financial or property interest in any material or method mentioned. There is no conflict of interests. Received 27.10.2019.