

В.В. ПРИСТУПА, Н.К. КОРОЛЬКОВА, Е.А. ХОДАСЕВИЧ

## ФЕМТОСЕКУНДНЫЙ ЛАЗЕР В ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ ИЛИ НОВЫЙ УРОВЕНЬ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Витебский государственный медицинский университет, г. Витебск,  
Республика Беларусь

В обзоре отражены современные данные о преимуществах и проблемах применения фемтосекундных лазеров в хирургии катаракты. Использованы международные научно-медицинские базы данных PubMed и Cochrane library. Исследование показало, что фемтолазерная ассистенция дает принципиально новый уровень точности выполнения отдельных этапов операции, что позволяет обеспечить их стандартизацию, унификацию и предсказуемость. При использовании лазерной ассистенции у всех пациентов можно получить переднекапсульные отверстия заданного диаметра в пределах  $\pm 0,25$  мм, если же капсулорексис выполнялся в ручном режиме, то такой уровень точности будет получен не более чем в 10% оперированных глаз. В то же время установлено, что, несмотря на рост точности выполняемых при помощи фемтосекундных лазеров этапов, различия в послеоперационных показателях рефракции и остроты зрения у пациентов, перенесших факоэмульсификацию катаракты с лазерной ассистенцией, не выше, чем при применении стандартной методики. Кроме того, высокая стоимость оборудования, отсутствие достоверного влияния на послеоперационную остроту зрения пока подвергают сомнению целесообразность широкого внедрения фемтосекундного лазера в хирургию катаракты. Несмотря на отсутствие единодушия экспертов по поводу преимуществ лазерной ассистенции, методику необходимо развивать, поскольку она дает возможность определить влияние отдельных технических приемов на конечный результат операции и наметить направления их дальнейшего совершенствования, а стандартизация этапов создает предпосылки для применения офтальмологических роботов.

*Ключевые слова:* фемтосекундный лазер, катарактальная хирургия, факоэмульсификация, ядро хрусталика, капсулорексис, QALY

This review presents modern data about the pros and cons of femtosecond lasers usage in cataract surgery. International scientific and medical databases “PubMed” and “Cochrane library” were used. The study showed that femtolaser assistance provides a new level of accuracy in different stages of the operation, which guarantees their standardization, unification and predictability. Using laser assistance in all patients, it is possible to get anterior-capsular holes of a given diameter within  $\pm 0.25$  mm; if capsulorhexis is performed manually, such level of accuracy will be obtained only in 10% of the operated eyes. At the same time, it was found that despite the increase in the accuracy of the stages performed by femtosecond lasers, the differences in postoperative refractive indicators and visual acuity in patients who underwent phacoemulsification of cataracts with laser assistance are not higher than in the application of the standard technique. In addition, due to high cost of the equipment and lack of a significant effect in post-operative visual acuity, the widespread introduction of femtosecond lasers in cataract surgery is still doubtful. Despite the absent of consensus of experts about the clear advantages of laser assistance, this technique should be developed, for so that it provides opportunity to determine the influence of different stages on the final result of the operation and determine the direction of their further improvement and standardization of the stages creates the prerequisites for the use of ophthalmic robots.

*Keywords:* femtosecond laser, cataract surgery, phacoemulsification, lens nucleus, capsulorhexis, QALY

Novosti Khirurgii. 2018 Nov-Dec; Vol 26 (6): 745-757

Femtosecond Laser in Cataract Surgery: Technological Redundancy or a New Level of Possibilities

V.V. Pristupa, N.K. Karalkova, E.A. Khadasevich

The articles published under CC BY NC-ND license



### Введение

В 2017 году в мире насчитывалось более 253 млн. человек с нарушениями зрения, причем, по мнению экспертов, примерно у 80% из них оно может быть восстановлено или существенно улучшено при помощи различных медицинских вмешательств [1]. Среди причин ухудшения зрения катаракта устойчиво занимает второе место (25%) после нарушений рефрак-

ции (53%), а среди причин слепоты – первое (35%) [2]. Несмотря на предпринимаемые многолетние исследования патогенеза катаракты, в настоящее время эффективные методы медикаментозного лечения так и не найдены, поэтому единственным средством помощи этой категории пациентов остается хирургическое вмешательство. Количество операций по поводу катаракты варьирует в различных странах в зависимости от их финансового благополучия (от

5000 на миллион населения в США до 200 на миллион населения в странах Экваториальной Африки), а хирургическая активность прогрессивно растет: от 12 млн. операций в 2000-м до 20 млн. в 2010-м и, как ожидается, до 32 млн. операций к 2020-му году [3].

В настоящее время наиболее распространенным методом хирургического лечения катаракты является факоэмульсификация пораженного хрусталика (ФЭК) в сочетании с последующей имплантацией заднекамерной интраокулярной линзы (ИОЛ). Несмотря на то, что функциональная эффективность этого метода достаточно высока, что обеспечивает его прочное положение в перечне наиболее востребованных медицинских технологий, поиск путей его дальнейшего совершенствования не прекращается [4]. Одной из наиболее интересных и перспективных инноваций в этом направлении является использование фемтосекундных лазеров (ФСЛ) для выполнения отдельных этапов операции. По всему миру выполнено немало научных исследований по этой теме, и уже подходит к концу первое десятилетие после начала внедрения лазерной ассистенции в практику лечения пациентов, страдающих катарактой [5, 6, 7, 8]. Новая технология обеспечивает значительно более высокий уровень точности выполнения хирургических манипуляций, однако, складывается впечатление, что специалисты так и не определились в главном вопросе: достаточны ли те несомненные технические преимущества, которые дает применение ФСЛ, для того, чтобы достичь нового уровня клинической эффективности, а также компенсировать организационные и финансовые проблемы, связанные с внедрением метода.

**Целью** работы был анализ имеющихся данных, характеризующих преимущества и недостатки факоэмульсификации катаракты с лазерной ассистенцией по сравнению с традиционной методикой, для оценки перспектив ее внедрения в Республике Беларусь.

### **Краткая история применения лазеров в катарактальной хирургии**

История хирургического лечения катаракты уходит в глубь веков, однако своего подлинного расцвета она достигла в начале 1970-х, когда американский офтальмолог Чарльз Келман разработал методику разрушения хрусталика при помощи низкочастотного ультразвука с последующим вымыванием диспергированных хрусталиковых масс водой [9]. К этому же времени были значительно усовершенствованы интраокулярные линзы (ИОЛ), что радикально

изменило философию катарактальной хирургии, которая перестала рассматриваться как последнее средство спасения от неминуемой слепоты, а превратилась в высокотехнологичный способ улучшения качества жизни пациента. С тех пор факоэмульсификация катаракты (ФЭК) и имплантация ИОЛ считаются «золотым стандартом» оказания медицинской помощи пациентам с катарактой [10]. По мнению отдельных экспертов, данную процедуру следует считать единственным хирургическим вмешательством, обеспечивающим полную функциональную реабилитацию пациента, что, несомненно, указывает на высокую эффективность метода. Отдельные авторы указывают на то, что необходимость инноваций в этом сегменте офтальмологии подвергается сомнению [11, 12].

Вместе с тем, попытки дальнейшего совершенствования хирургического лечения катаракты продолжают. Они идут в направлении уменьшения побочных эффектов действия ультразвука на чувствительные структуры глаза, в первую очередь, эндотелий роговицы, а также в направлении повышения точности отдельных манипуляций, например, создания условий для оптимальной центрации ИОЛ в оперированном глазу. Внедрение в офтальмологическую практику торических и мультифокальных линз дает возможность начать эффективное лечение пресбиопии. В результате пациенты ожидают от операции не столько избавления от слепоты, сколько хорошего качества зрения без использования средств его коррекции. Новое поколение линз предъявляет повышенные требования к центрации по отношению к оптической оси глаза, к диаметру и форме переднего капсулорексиса, разрезу роговицы в плане предупреждения послеоперационного астигматизма [13].

Активное применение лазеров в офтальмологии вообще и успехи использования фемтосекундных лазеров (ФСЛ) в хирургии роговицы побудили исследователей обратить внимание на возможности использования последних в хирургии катаракты для решения указанных и других задач. Основоположником применения лазеров в хирургии катаракты в мире заслуженно считают советского офтальмолога М.М. Краснова, директора ВНИИ глазных болезней АМН СССР [14]. Еще в 60-х годах прошлого столетия он начал использовать импульсные (Q-switched) лазерные установки для разрушения капсулы хрусталика у пациентов с «мягкими» катарактами. Дальнейшего развития методика не получила, и сейчас Q-switched лазеры используются преимущественно для удаления татуировок.

Впервые фемтолазер-ассистированная ФЭК в клинике была выполнена в 2008 году в университете им. И. Земмельвейса (Будапешт) [15], и уже десять лет не прекращаются дискуссии в медицинском сообществе по вопросу, оправдывают ли те преимущества, которые дает ФСЛ, немалые затраты, необходимые и на его приобретение, и на существенное изменение самой технологии лечения. Надо сказать, что точка в этой полемике до сих пор не поставлена. Отдельные специалисты откровенно говорят о том, что еще необходима большая и напряженная исследовательская работа, чтобы использование ФСЛ при лечении катаракты было бы настолько обосновано, насколько оно обосновано сегодня в хирургии роговицы [16]. С другой стороны, как полагают J. Bartlett и K. Miller из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, определенную роль в стремлении внедрить ФСЛ-технологии в катарактальную хирургию играет и желание фирм-производителей добиться надежного сбыта своей продукции, учитывая большое количество пациентов, нуждающихся в хирургическом лечении [17].

Фемтосекундными лазерами называют квантовые генераторы, производящие электромагнитное излучение с частотами инфракрасного диапазона (длина волны порядка 1 мкм), распространяющееся в виде сверхкоротких импульсов длительностью, измеряемой десятками или сотнями фемтосекунд (1 фс = 10<sup>-15</sup> с). Технические возможности получения подобного режима излучения появились в начале 80-х годов XX столетия, когда специалисты в области квантовой электроники стали оперировать импульсами, которые состояли всего из 3-5 периодов колебаний электромагнитного поля. Сейчас стало возможным генерировать импульс, состоящий всего из одного периода. Уникальность лазерного излучения в виде сверхкоротких импульсов такова, что оно поддается компрессии, позволяющей получить плотность мощности фантастической величины — до 1020 Вт/см<sup>2</sup> в течение очень короткого времени. В таких условиях отмечается принципиально новый уровень взаимодействия между лазерным излучением и веществом, что нашло свое применение в том числе и в биологии при работе с живыми объектами на клеточном и субклеточном уровнях. Известны методики манипулирования при помощи ФСЛ элементами клеточных мембран, клеточными ядрами и отдельными хромосомами. В Объединенном институте высоких температур РАН (Москва) разработана экспериментальная методика предимплантационной биопсии плода без механического контакта с ним. Еще одним

направлением использования ФСЛ в биологии является доставка генетического материала в клетку без использования вирусных векторов.

В офтальмологии, которая стала несомненным лидером по использованию этого типа лазеров в медицине, ФСЛ применяется для прецизионного разъединения тканей. Оно возникает в результате тотальной ионизации выбранного заранее небольшого участка ткани, который фактически мгновенно распадается до конечных продуктов (углекислого газа и воды). Фронт пузырьков углекислого газа действует как лезвие, формируя заданную плоскость сечения [18]. Впервые ФСЛ стал использоваться в США для операций на роговице в начале 1990-х годов. А уже в 2001 году FDA одобрило первую систему на основе ФСЛ для выкраивания роговичных лоскутов заданной толщины — Laser-assisted in situ keratomileusis (LASIK), которое до того выполнялось при помощи эксимерных лазеров или в ручном режиме. Идея оказалась успешной, и дальнейшее развитие методики шло в направлении увеличения частоты излучаемых импульсов и уменьшения энергии, поглощаемой тканью в зоне разрушения, что дало возможность достичь ситуации, когда соседние с зоной деструкции ткани фактически не испытывают никакого воздействия [19, 20]. В настоящее время ФСЛ используются для туннелирования роговицы при имплантации интрастромальных колец при кератоконусе, разрезов роговицы как при ламеллярной, так и при проникающей кератопластике, для лечения пресбиопии, а также коррекции астигматизма как врожденного, так и приобретенного в результате кератотомии.

В лечении катаракты ФСЛ применяется для выполнения отдельных этапов хирургического вмешательства: кератотомии с целью проникновения в переднюю камеру глаза, переднего капсулорексиса и фрагментации хрусталика. Причем первым этапом рекомендуется выполнение капсулорексиса, последним — инцизия роговицы, которая осуществляется по направлению изнутри кнаружи, а не наоборот, как при ручной кератотомии. Теоретически можно было бы начать и с фрагментации хрусталика, так как технические возможности лазера это сделать позволяют. В этой ситуации проблему создает газовый пузырь, образующийся внутри хрусталиковой капсулы и деформирующий последнюю. Остальные этапы операции выполняются традиционным способом. Сегодня в мире для офтальмохирургов доступны IntraLase и Catalys Precision Laser System производства американской корпорации Johnson & Johnson Vision (бывшая Abbott Medical Optics Inc.), также

производимые в США WaveLight FS200, LenSx (Alcon Laboratories Inc.), Victus (Bausch & Lomb Inc.) и LensAR (LENSAR Inc.), немецкие модели Femtec (20/10 Perfect Vision AG) и VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG) и швейцарская разработка Femto LDV (Ziemer Ophthalmic Systems). Как минимум пять платформ из перечисленных рекомендованы для катарактальной хирургии: LenSx, LensAR, Catalys, Victus и Femto LDV [10]. Существенным противопоказанием к использованию ФСЛ является наличие на роговице рубцов. Относительным противопоказанием является невозможность получить адекватную дилатацию зрачка. Считают, что критическим диаметром зрачка является 6 мм, если же он меньше, то при передней капсулотомии значительно возрастает риск повреждения радужки.

Несмотря на возможность дозирования энергии и контроль точности выполняемых разрезов, применение ФСЛ сопряжено с определенными, достаточно редкими осложнениями. Среди них отмечены следующие: сужение зрачка, синдром капсульного блока и центральное смещение роговичного разреза. Как известно, для применения ФСЛ диаметр зрачка должен быть не меньше 6 мм, в противном случае резко возрастает риск повреждения радужной оболочки. Но и при наличии диаметра зрачка необходимого размера ударные волны, продуцируемые лазером, могут сходиться на радужной оболочке и индуцировать внезапное сокращение зрачка. Для борьбы с ним интраоперационно рекомендуют использовать дополнительную дозу мидриатиков, а на этапе предоперационной подготовки при прогнозировании подобной реакции следует назначать нестероидные противовоспалительные препараты. Синдром капсульного блока возникает при активной гидродиссекции, особенно в случаях, когда диаметр переднего капсулорексиса оказался недостаточным. Пузырек газа покидает ядро хрусталика, увеличивая давление внутри капсулы, что может разорвать ее задний листок и привести к проникновению элементов хрусталика в стекловидное тело. Уменьшить риск развития блока можно путем строгого дозирования объема жидкости для гидродиссекции и тщательным расщеплением ядра для высвобождения газового пузырька в нужном направлении. Смещение роговичных разрезов к центру, как правило, связано с некорректной предшествующей процедурой докинга, когда имела место децентрация интерфейса [5].

Авторы метода сообщили об интраоперационных осложнениях, возникших на этапе обработки методики и ее внедрения. Ими были проанализированы осложнения при вы-

полнении передней капсулотомии у первых ста оперированных пациентов. Вакуумный разрыв был отмечен у 2% оперированных, конъюнктивальные кровоизлияния — в 34% случаев, неровности края отверстия передней капсулы и неполнота рексиса — в 20%, разрыв передней капсулы — в 4%, миоз — в 32%, ранения эндотелия — в 3% [21, 22].

### **Преимущества использования лазерной ассистенции в хирургии катаракты**

Бесспорным достоинством ФСЛ является стандартизация и высокая точность выполняемых разрезов. Выполнение передней капсулотомии в экспериментах *ex vivo* показало, что если поставить цель сделать отверстие 5 мм, то в ручном режиме средний диаметр полученных отверстий будет равен  $5,88 \pm 0,73$  мм. В то же время при использовании ФСЛ LenSx —  $5,02 \pm 0,04$  мм. В клинических условиях при использовании того же лазера реально получить переднекапсульные отверстия заданного диаметра  $\pm 0,25$  мм, если же капсулорексис выполнять в ручном режиме, то такой уровень точности будет получен не более чем в 10% оперированных глаз даже при высоком профессиональном уровне хирурга [15]. Риск разрыва капсулы при проведении указанной манипуляции при помощи ФСЛ многократно меньше, чем если процедура выполняется в ручном режиме. В условиях лазерной ассистенции можно говорить о возможности выполнения передней капсулотомии заданного диаметра, индивидуально рассчитанного исходя из свойств оптической системы глаза и анатомических особенностей его переднего отрезка.

Несмотря на некоторые разночтения, большинство специалистов полагает, что качество капсулорексиса является важным инструментом достижения требуемого уровня послеоперационной рефракции. Отверстие большего, чем необходимо, диаметра может вызвать смещение ИОЛ кпереди или кзади или приведет к избыточному наклону линзы в вертикальной плоскости, а также может привести к помутнению заднего листка хрусталиковой капсулы. Изменение положения ИОЛ ведет к ошибочному расчету показателя эффективной позиции линзы, что оказывается одной из наиболее частых причин ошибки в расчете оптической силы ИОЛ и того, что реальная послеоперационная рефракция существенно отличается от ожидаемой. Стоит задача минимизировать эти «рефракционные ошибки», поскольку имплантация ИОЛ, особенно это актуально для мультифокальных линз, все чаще производится не столько для

восстановления прозрачности оптических сред глаза, но и с рефракционной целью в расчете на послеоперационное улучшение качества жизни [6, 23]. Использование ФСЛ, обеспечивающее высокую точность хирургических манипуляций, ведет, таким образом, к повышению предсказуемости послеоперационных результатов. К. Mihaltz et al. [11] показали, что, несмотря на отсутствие различий в послеоперационных показателях рефракции и остроты зрения, у пациентов, перенесших ФЭК с лазерной ассистенцией, отмечается достоверно меньшая частота хроматических аберраций и меньший наклон линзы по отношению к вертикали по сравнению с операциями, выполненными традиционным способом.

Пока в хирургии катаракты не появилась лазерная ассистенция, этим вопросам уделялось недостаточное внимание, однако сейчас многие авторы склоняются к мысли, что не только диаметр отверстия в переднем листке капсулы имеет значение, но и его форма, центрация по отношению к оптической оси глаза, а также каким образом перекрываются ИОЛ и оставшаяся часть капсулы хрусталика. Исследования показали, что и горизонтальная и вертикальная центрация ИОЛ в группе пациентов, оперированных в условиях лазерной ассистенции, достоверно лучше, чем при выполнении хирургического вмешательства в ручном режиме [24]. Установлено, что капсулорексис, выполненный при помощи лазера, сопровождается достоверно меньшим риском развития послеоперационных аберраций глаза [11]. При том, что острота зрения как с коррекцией, так и без коррекции в послеоперационном периоде в обеих группах (лазер-ассистированная и обычная ФЭК) не различается, у пациентов, перенесших операцию с использованием ФСЛ, отмечается меньший риск развития таких аберраций как наклон изображения и четкость изображения, возникающая в случае, когда центры роговицы и ИОЛ не совпадают с оптической осью глаза. Оптическая система глаза у пациентов, подвергшихся лазер-ассистированной ФЭК, характеризуется более высокими значениями коэффициента Штреля и функции передачи модуляции.

ФСЛ дает возможность использовать гибридную методику для фрагментации хрусталика. Она представляет собой комбинацию двух процессов: фрагментации центральной части хрусталика диаметром около 3 мм и нанесения от 4 до 8 разрезов на его оставшуюся периферию. Разрезы могут быть выполнены в виде крестов или радиально от центра кнаружи (pizza pattern). Процедура позволяет удалить централь-

ную часть хрусталика без использования ультразвука и облегчить удаление его периферии, значительно уменьшив поглощение энергии глазом при последующей факоэмульсификации и время ее воздействия [25]. В результате значительно уменьшается послеоперационный отек роговицы и макулярной зоны, что обеспечивает достоверно лучшую остроту зрения в первый послеоперационный день.

Возможность получения при помощи ФСЛ разрезов высокой точности в отношении их длины, ширины и формы имеет большое значение и при проведении кератотомии. Разрез роговицы, выполняемый иглой, специальным пинцетом или фирменным кератомом, как правило, не отвечает высоким требованиям точности и часто требует дополнительных процедур для герметизации, например, гидратации краев роговичного тоннеля. В условиях развития послеоперационной внутриглазной гипотонии нарушение герметичности передней камеры глаза может закончиться инфицированием глаза из конъюнктивального мешка [26]. В этом плане применение ФСЛ дает принципиально новые возможности построения компьютер-контролируемых высокоточных роговичных разрезов сложной архитектуры, что позволяет свести к минимуму риск разгерметизации передней камеры и риск развития хирургически индуцированного астигматизма в послеоперационном периоде [27], а также дает возможность коррекции высоких степеней дооперационного астигматизма [28]. В течение первого месяца после операции, выполненной с лазерной ассистенцией, на внутренней поверхности роговицы отмечается значительно большая плотность эндотелия. Кроме того, увеличение толщины роговицы в месте разреза, выполненного при помощи ФСЛ, значительно меньше, чем при стандартной ФЭК, и это различие сохраняется достоверным в течение 6 месяцев послеоперационного периода [29].

Использование высокотехнологичных методик не гарантирует отсутствия интраоперационных осложнений, однако сравнение их эффективности с традиционными способами в большинстве случаев все-таки складывается в пользу инноваций. Так, например, R. Abell et al., проведя анализ интраоперационных осложнений у 1852 пациентов, оперированных при помощи ФСЛ, и у 2228 пациентов, перенесших стандартную ФЭК, установили, что в последней группе неровный край капсулотомического отверстия, нестабильный зрачок и помутнение роговицы отмечались значительно чаще, чем в первой. В то же время не было различий по частоте разрывов передней капсулы [7].

### Проблемы использования фемтосекундных лазеров в хирургии катаракты

Как справедливо отметили M. Lawless et al. из Сиднейского университета (Австралия), поскольку внедрение любой новой технологии влечет за собой определенные риски, то решение о ее внедрении в практику может быть обосновано только теми преимуществами, которые эти риски перекрывают и обеспечивают новый уровень результата [30]. Методика использования ФСЛ в хирургии катаракты пока относительно молода и поэтому еще требует серьезных клинических испытаний по установленным протоколам. В международных мировых офтальмологических рецензируемых журналах по состоянию на конец 2017 года было опубликовано около трех сотен статей по данной тематике, и, казалось бы, можно было расставить точки над *i* в этом вопросе. Однако этого пока не происходит, в первую очередь, по причине того, что дизайн наиболее информативных работ вызывает определенные сомнения. Поэтому, несмотря на обилие отдельных исследований, подчеркивающих положительные стороны метода, интегрального мнения о том, что вложенные затраты все-таки трансформируются в регистрируемый прирост эффективности, до недавнего времени не было [31]. Сегодня ФСЛ в катарактальной хирургии производит сильный впечатляющий эффект на офтальмологов, но, тем не менее, в реальности еще продолжается поиск оптимальных мест для приложения его возможностей [32].

Мировое офтальмологическое сообщество возлагает определенные надежды на недавно завершившееся (февраль 2018 года) проспективное контролируемое рандомизированное клиническое исследование FACT: laser-assisted versus standard ultrasound cataract surgery, начавшееся в 2014 году [33]. Его проводил британский научный центр National Institute for Health Research с целью выяснить, есть ли польза от применения ФСЛ для пациентов и для Национальной системы здравоохранения. Подразумевается, что польза для офтальмохирургов однозначно имеет место, поскольку методика предлагает принципиально новый уровень техники и даже эстетики выполнения хирургического вмешательства, однако, вопрос состоит в том, стоит ли оплачивать эти дополнительные удобства как из кармана пациента, так и из фондов страховых компаний. В перечень изучаемых признаков включен показатель цена/эффективность по состоянию на 3 и 12 месяцев после операции, а также на период

жизни пациента. В доступных источниках пока результатов исследования нет.

В то же время какими бы ни были результаты клинических испытаний, уже сегодня очевидно, что с точки зрения цена-эффективность применение ФСЛ в лечении катаракты не имеет смысла. В настоящее время в США стоимость одной единицы качества жизни пациента (QALY), перенесшего традиционную ФЭК, составляет 4.378 долларов. При использовании технологии ФСЛ ее стоимость возрастет до 57.000 долларов за QALY [17, 34]. С точки зрения критериев, используемых в США для оценки экономической эффективности медицинской технологии, этот показатель выходит за пределы не только рентабельного, но и приемлемого уровня (до 40.000 долларов на QALY) [35]. Поэтому активность, с которой ФСЛ будет использоваться в хирургии катаракты, зависит, в первую очередь, от динамики цен на необходимое оборудование.

M. Lawless et al. собрали результаты 12 исследований послеоперационной рефракции в общей сложности более чем у 12 000 пациентов и определили, насколько ее реальный уровень отличается от расчетного. Оказалось, что рефракционные ошибки в группах пациентов, оперированных с использованием лазерной ассистенции и по стандартной методике, в 9 исследованиях из 12 статистически достоверно не различаются [30]. Это позволило заключить, что с точки зрения достижения расчетного уровня послеоперационной рефракции лазерная ассистенция значимых преимуществ не дает. Еще одним показателем качества операции считают долю пациентов, у которых послеоперационная рефракция не выходит за рамки  $\pm 0,5$ Д или  $\pm 1,0$ Д по отношению к ее расчетной величине. Исследований, освещающих этот сегмент, сравнительно немного, но результаты не противоречат данным по абсолютной погрешности и практически не позволяют сделать вывод о преимуществе той или иной методики. Казалось бы, применение ФСЛ с его радикальным увеличением точности выполняемых разрезов должно приводить к значимому улучшению результатов по сравнению со стандартной ФЭК. Однако встречаются исследования, не подтверждающие это предположение. Например, S. Ewe et al. установили, что послеоперационная рефракция в пределах  $\pm 0,5$  Д от расчетной в группе пациентов, перенесших лазер-ассистированную ФЭК, была отмечена в 72% наблюдений, в то время как в стандартной группе 82% [36]. Полагают, что причина может быть в несопоставимости групп по такому критерию, как дооперационный астигматизм.

I. Conrad-Hengerer et al. нашли противоположный эффект, что можно было бы объяснить более высокой точностью выполнения разрезов (если бы не было исследований, показавших обратные результаты) [37]. Было обнаружено достоверное увеличение доли пациентов, у которых послеоперационный результат не выходил за пределы  $\pm 0,5$  Д относительно расчетной величины. Авторами отмечено более быстрое купирование послеоперационного воспаления, скорейшая стабилизация глубины передней камеры и более быстрое восстановление зрения, однако они сами отмечают, что необходимы дальнейшие исследования для выяснения преимуществ использования ФСЛ в хирургии катаракты.

Считается, что метаанализы являются самым надежным инструментом определения подлинных преимуществ того или иного метода лечения. Но, когда речь идет о преимуществах ФСЛ в хирургии катаракты, метаанализы ясности пока не добавляют. По состоянию на конец 2017 года доступно было всего три работы подобного типа: M. Popovic et al., A. Day et al., Z. Ye et al. [31, 38, 39]. M. Popovic et al. достигли включения в исследование более 14 с половиной тысяч оперированных глаз. Но даже на этом массиве данных не удалось показать каких-либо преимуществ ФСЛ в отношении зрительных функций или показателей рефракции. Исследователи полагают, что разницу надо искать в более тонких показателях, таких как контрастная чувствительность и аберрации высших порядков [31]. В двух оставшихся метаанализах также не было найдено достоверных преимуществ использования ФСЛ [38, 39].

Вполне обоснованно считается, что качество выполнения переднего капсулорексиса является важнейшим фактором, определяющим стабильность послеоперационного положения ИОЛ и, соответственно, функциональный результат [40]. Сомнений не вызывает, что применение ФСЛ для этой цели дает возможность получить более качественное отверстие в передней капсуле по сравнению с ручным способом. Такие характеристики как центрация по отношению к оптической оси глаза, форма отверстия и характер его края, равномерность перекрытия ИОЛ остатками капсулы будут однозначно выполнены более качественно в условиях лазерной ассистенции, и это позволяет ожидать заметных результатов в клинике. Например, L. Toto et al., установив в очередной раз, что капсулорексис, выполненный при помощи ФСЛ, обеспечивает достоверно лучшую центрацию ИОЛ и ее более стабильное положение, а также диаметр капсулотомического отверстия

больше соответствует запланированному, чем в случае, когда процедура выполнена ручным способом, отметили, что это фактически не отражается на показателях послеоперационной рефракции [41].

Panther C. et al., подтвердив более высокую точность разрезов, выполненных при помощи ФСЛ, установили, что ни глубина передней камеры глаза, ни рефракционные показатели в отдаленном периоде при использовании лазерной ассистенции и без нее не различаются [42]. A. Mursch-Edlmayr et al. не обнаружили статистически достоверных различий в отношении центрации ИОЛ после ФЭК с лазерной ассистенцией и ФЭК в ручном режиме. Следует, однако, отметить, что это единственная работа в доступной литературе, показавшая подобный результат. Авторы отмечают, что после тысячи выполненных капсулотомий хирург способен выполнить процедуру с клинически приемлемым уровнем центрации и циркулярности, так что необходимость в ФСЛ отпадает сама собой [43]. Высказано мнение, что в настойчивом стремлении к максимально возможному уровню центрации линзы, достигаемому с применением лазерных технологий, нет особенного смысла, особенно если принять во внимание их стоимость. При этом не следует отрицать значение центрации линзы для обеспечения качества зрения в отличие от его остроты и показателей рефракции. В том числе надо иметь в виду, что смещение заднекамерной ИОЛ является основным показателем к ее удалению [44].

Использование лазерной ассистенции сопряжено с необходимостью выполнять дополнительные и, значит, времязатратные технологические процедуры. И первой из них является докинг – стыковка лазера с поверхностью глаза, для чего разработаны различные интерфейсы для различных моделей лазерных платформ. Их общее свойство – использование вакуума для создания плотного контакта поверхности глаза с аппаратом [16]. Создание вакуума может привести к подъему внутриглазного давления на 16-20 мм [45]. Вторая состоит в необходимости перекладывать пациента с одного операционного стола на другой, так как не все лазерные платформы, используемые в хирургии катаракты, способны крепиться на обычный хирургический стол. В реальности мобильность большинства лазерных платформ ограничена и они требуют отдельного помещения. В результате в перечне этапов операции появляется необходимость транспортировать пациента в соседнее помещение, и это не только повышает риск инфицирования глаза, но и создает возможность дополнительной травматизации [11].

Разные формы катаракты показывают разную устойчивость хрусталика к лазерной фрагментации. По мнению экспертов, большинство исследований, где применение ФСЛ перед ФЭК показало свою высокую эффективность, ограничены случаями, когда степень помутнения ядра хрусталика не превышает 2 по классификации Lens Opacities Classification System (LOCS) [8]. Результаты применения метода при более высоких градациях пока не осмыслены в полной мере.

Сторонники использования ФСЛ в хирургии катаракты позиционируют уменьшение энергии, требуемой для ФЭК, а также уменьшение длительности этого этапа как одно из существенных достижений. В первую очередь потому, что это препятствует потере эндотелия роговицы. Считают, что 8-9 % потери эндотелия роговицей – естественный побочный эффект ФЭК. В то же время A. Takács et al. установили, что при использовании платформы LenSx энергии на ФЭК тратится действительно почти в два раза меньше, однако это уменьшение не оказывает клинически значимого влияния на процесс потери эндотелия в течение всего периода послеоперационного наблюдения [46]. R. Abell et al. показали, что при использовании ФСЛ послеоперационный отек роговицы и потеря эндотелия достоверно меньше в сравнении с пациентами, подвергнутыми стандартной процедуре ФЭК как в первые сутки после операции, так и через 3 недели, но к концу первого полугодия после вмешательства различий между группами не имеется. Исследуемая группа характеризуется значительно меньшей потерей эндотелия. Из трех этапов использования ФСЛ при ФЭК (кератотомия, капсулорексис и фрагментация хрусталика) максимальное влияние на потерю роговичного эндотелия после операции оказывает разрез роговицы. В глазах, где кератотомия выполнялась при помощи ФСЛ, потеря эндотелия оказалась больше, чем в глазах, где ФСЛ использовался только для капсулорексиса и фрагментации, и глазах, где выполнялась ФЭК без лазерной ассистенции, даже через 6 месяцев после операции [29].

С другой стороны, минимизация ультразвуковой энергии, используемой для ФЭК, важна с целью уменьшения побочных эффектов со стороны желтого пятна. Изучалась его толщина после стандартной и лазер-ассистированной ФЭК, исследование показало, что использование ФСЛ способствует уменьшению толщины макулы по сравнению со стандартной операцией, но оказалось, что эти различия существуют не более месяца после операции [47]. Другие авторы указывают, что применение ФСЛ во-

обще никак не влияет на выраженность отека макулярной зоны [48, 49].

### Заключение

Существует целый ряд отдельных этапов операции, где лазерная ассистенция дает принципиально новый класс точности выполнения манипуляций. В частности, она обеспечивает значительное улучшение морфологических параметров переднего капсулорексиса, что приводит к более правильной форме отверстия, качеству его края, строгому соответствию намеченному размеру. Это дает возможность обеспечить более устойчивое и предсказуемое положение ИОЛ в оперированном глазу и как следствие, гарантирует более прогнозируемый рефракционный результат. С применением ФСЛ можно рассчитывать на повышение качества зрения за счет минимизации риска аберраций высоких порядков в отдаленном послеоперационном периоде. За счет предварительной лазерной фрагментации хрусталика соответствующей плотности можно снизить отрицательное воздействие ультразвука на эндотелий роговицы, что делает вмешательство более щадящим по отношению к тканям глаза.

Вместе с тем, высокая цена оборудования резко увеличивает себестоимость процедуры, и влияние лазерной ассистенции на общепринятый показатель эффективности вмешательства, а именно остроту зрения, пока подвергается сомнению. Сокращение длительности операции за счет уменьшения времени ультразвуковой эмульсификации хрусталика также не вызывает доверия, потому что оно с избытком компенсируется увеличением времени на введение и выведение самого лазера из процедуры.

Станет ли в будущем ФСЛ основой хирургического лечения катаракты, заменив собой традиционную ФЭК, – в настоящее время ни один из ведущих специалистов мира не отваживается делать подобный прогноз. Равно как и никто не берется прогнозировать дальнейшую динамику цен на фемтолазерные платформы. Очевидно, для этого пока не хватает убедительных результатов доказательных клинических испытаний, которые бы показывали реальные преимущества лазерной ассистенции не только с точки зрения точности и воспроизводимости выполняемых разрезов, но и с точки зрения функционального исхода операции.

Следует признать, что в настоящее время потенциал ФСЛ в хирургии катаракты полностью не реализован, и только поэтому принципиально новый класс точности выполнения отдельных хирургических манипуляций не



конвертируется в клинически значимый прирост эффективности метода. Несмотря на отсутствие единодушия экспертов по поводу преимуществ лазерной ассистенции, дальнейшее совершенствование методики даст возможность улучшить и конечный результат операции, а стандартизация и унификация отдельных хирургических этапов создадут предпосылки для применения офтальмологических роботов.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликт интересов отсутствует.

### ЛИТЕРАТУРА

- Bourne RRA, Flaxman SR, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, Keeffe J, Kempen JH, Leasher J, Limburg H, Naidoo K, Pesudovs K, Resnikoff S, Silvester A, Stevens GA, Tahhan N, Wong TY, Taylor HR. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob Health*. 2017 Sep;5(9):e888-e97. doi: 10.1016/S2214-109X(17)30293-0
- Lee CM, Afshari NA. The global state of cataract blindness. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017 Jan;28(1):98-103. doi:10.1097/ICU.0000000000000340
- Blindness: Vision 2020 – control of major blinding diseases and disorders. The global initiative for the elimination of avoidable blindness [Electronic resource]. *Fact Sheet*. 214. [cited 2018 Map 20]. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs214/en/>
- Kessel L, Andresen J, Erngaard D, Flesner P, Tendal B, Hjortdal J. Indication for cataract surgery. Do we have evidence of who will benefit from surgery? A systematic review and metaanalysis. *Acta Ophthalmol*. 2016 Feb; 94(1):10-20. doi: 10.1111/aos.12758
- Nagy Z, McAlinden C. Femtosecond laser cataract surgery. *Eye Vis.(London)*. 2015;2:11. <https://doi.org/10.1186/s40662-015-0021-7>
- Hatch KM, Talamo JH. Laser-assisted cataract surgery: benefits and barriers. *Curr Opin Ophthalmol*. 2014 Jan;25(1):54-61. doi: 10.1097/ICU.000000000000013
- Abell RG, Darian-Smith E, Kan JB, Allen PL, Ewe SY, Vote BJ. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Jan;41(1):47-52. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.06.025
- Nagy Z. New technology update: femtosecond laser in cataract surgery. *Clin Ophthalmol*. 2014 Jun;8:1157-67. doi: 10.2147/OPTH.S36040
- Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration. A report of 500 consecutive cases. *Am J Ophthalmol*. 1973 May;75(5):764-68. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(73\)90878-7](https://doi.org/10.1016/0002-9394(73)90878-7)
- Callou TP, Garcia R, Mukai A, Giacomini NT, de Souza RG, Bechara SJ. Advances in femtosecond laser technology. *Clin Ophthalmol*. 2016 Apr;19:10:697-703. doi: 10.2147/OPTH.S99741
- Miháltz K, Knorz MC, Alió JL, Takács AI, Kránitz K, Kovács I, Nagy ZZ. Internal aberrations and optical quality after femtosecond laser anterior capsulotomy in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2011 Oct;27(10):711-16. doi: 10.3928/1081597X-20110913-01
- Vasquez-Perez A, Simpson A, Nanavaty M. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in a public teaching hospital setting. *BMC Ophthalmol*. 2018;18:26. Published online 2018 Feb 2. doi: 10.1186/s12886-018-0693-6
- Wolffsohn J, Buckhurst P. Objective analysis of toric intraocular lens rotation and centration. *J Cataract Refract Surg*. 2010 May;36(5):778-82. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.12.027
- Krasnov MM. Laser-phakopuncture in the treatment of soft cataracts. *Br J Ophthalmol*. 1975 Feb;59(2):96-98. <https://bjo.bmj.com/content/bjophthalmol/59/2/96.full.pdf>
- Nagy Z, Takács A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2009 Dec;25(12):1053-60. doi: 10.3928/1081597X-20091117-04
- McAlinden C, Moore JE. Retreatment of residual refractive errors with flap lift laser in situ keratomileusis. *Eur J Ophthalmol*. 2011 Jan-Feb;21(1):5-11. doi: 10.5301/EJO.2010.391
- Bartlett JD, Miller KM. The economics of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2016 Jan;27(1):76-81. doi: 10.1097/ICU.0000000000000219
- Chung SH, Mazur E. Surgical applications of femtosecond lasers. *J Biophotonics*. 2009 Oct;2(10):557-72. doi: 10.1002/jbio.200910053
- Binder PS. Femtosecond applications for anterior segment surgery. *Eye Contact Lens*. 2010 Sep;36(5):282-85. doi: 10.1097/ICL.0b013e3181ee2d11
- Hjortdal J, Nielsen E, Vestergaard A, Søndergaard A. Inverse cutting of posterior lamellar corneal grafts by a femtosecond laser. *Open Ophthalmol J*. 2012;6:19-22. doi: 10.2174/1874364101206010019
- Levitz L, Reich J, Roberts TV, Lawless M. Incidence of cystoid macular edema: femtosecond laser-assisted cataract surgery versus manual cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Mar;41(3):683-86. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.11.039
- Nagy ZZ, Takacs AI, Filkorn T, Kránitz K, Gyenes A, Juhász É, Sándor GL, Kovacs I, Juhász T, Slade S. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):20-28. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.08.046
- Куликов АВ, Кокарева ЕВ, Дзимлихов АА. Эффективная позиция линзы. Обзор. *Офтальмохирургия*. 2018;(1):92-97. doi: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2018-1-92-97>
- Kránitz K, Takacs A, Miháltz K, Kovács I, Knorz MC, Nagy ZZ. Femtosecond laser capsulotomy and manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration. *J Refract Surg*. 2011 Aug;27(8):558-63. doi: 10.3928/1081597X-20110623-03
- Mayer WJ, Klapproth OK, Hengerer FH, Kohnen T. Impact of crystalline lens opacification on effective phacoemulsification time in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Am J Ophthalmol*. 2014 Feb;157(2):426-32.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2013.09.017
- Cao H, Zhang L, Li L, Lo S. Risk factors for acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2013 Aug 26;8(8):e71731. doi: 10.1371/journal.pone.0071731. eCollection 2013.
- Bang JW, Lee JH, Kim JH, Lee DH. Structural

- analysis of different incision sizes and stromal hydration in cataract surgery using anterior segment optical coherence tomography. *Korean J Ophthalmol.* 2015 Feb;29(1):23-30. doi: 10.3341/kjo.2015.29.1.23
28. Kankariya VP, Diakonis VF, Goldberg JL, Kymionis GD, Yoo SH. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy for postoperative trabeculectomy-induced corneal astigmatism. *J Refract Surg.* 2014 Jul;30(7):502-4. doi: 10.3928/1081597X-20140527-01
29. Abell RG, Kerr NM, Howie AR, Mustaffa Kamal MA, Allen PL, Vote BJ. Effect of femtosecond laser-assisted cataract surgery on the corneal endothelium. *J Cataract Refract Surg.* 2014 Nov;40(11):1777-83. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.05.031
30. Lawless M, Levitz L, Hodge C. Reviewing the visual benefits of femtosecond laser-assisted cataract surgery: Can we improve our outcomes? *Indian J Ophthalmol.* 2017 Dec;65(12):1314-22. doi: 10.4103/ijo.IJO\_736\_17
31. Popovic M, Campos-Möller X, Schlenker MB, Ahmed IJK. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery compared with manual cataract surgery: a meta-analysis of 14567 eyes. *Ophthalmology.* 2016 Oct;123(10):2113-26. doi: 10.1016/j.ophtha.2016.07.005
32. Chang DF. Does femtosecond laser-assisted cataract surgery improve corneal endothelial safety? The debate and conundrum. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Apr;43(4):440-42. doi: 10.1016/j.jcrs.2017.04.019
33. Day AC, Burr JM, Bunce C, Doré CJ, Sylvestre Y, Wormald RP, Round J, McCudden V, Rubin G, Wilkins MR. Randomised, single-masked non-inferiority trial of femtosecond laser-assisted versus manual phacoemulsification cataract surgery for adults with visually significant cataract: the FACT trial protocol. *BMJ Open.* 2015 Nov 27;5(11):e010381. doi: 10.1136/bmjopen-2015-010381
34. Abell RG, Vote BJ. Cost-effectiveness of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus phacoemulsification cataract surgery. *Ophthalmology.* 2014 Jan;121(1):10-16. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.07.056
35. Onukwugha E, McRae J, Kravetz A, Varga S, Khairnar R, Mullins CD. Cost-of-Illness Studies: An Updated Review of Current Methods. *Pharmacoeconomics.* 2016 Jan;34(1):43-58. doi: 10.1007/s40273-015-0325-4
36. Ewe SY, Abell RG, Oakley CL, Lim CH, Allen PL, McPherson ZE, Rao A, Davies PE, Vote BJ. A comparative cohort study of visual outcomes in femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery. *Ophthalmology.* 2016 Jan;123(1):178-82. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.09.026
37. Conrad-Hengerer I, Al Sheikh M, Hengerer FH, Schultz T, Dick HB. Comparison of visual recovery and refractive stability between femtosecond laser-assisted cataract surgery and standard phacoemulsification: six-month follow-up. *J Cataract Refract Surg.* 2015 Jul;41(7):1356-64. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.10.044
38. Day AC, Gore DM, Bunce C, Evans JR. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery (Review) [Electronic resource]. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2016;7. [cited 2018 Sept 4]. Available from: [https://researchonline.lshtm.ac.uk/4086875/1/Laser-assisted%20cataract%20surgery\\_COCHREV.pdf](https://researchonline.lshtm.ac.uk/4086875/1/Laser-assisted%20cataract%20surgery_COCHREV.pdf).
39. Ye Z, Li Z, He S. A Meta-analysis comparing postoperative complications and outcomes of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract [Electronic resource]. *J Ophthalmol.* 2017;2017:3849152 [cited 2018 Nov 23]. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/joph/2017/3849152>
40. Packer M, Teuma EV, Glasser A, Bott S. Defining the ideal femtosecond laser capsulotomy. *Br J Ophthalmol.* 2015 Aug;99(8):1137-42. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-306065
41. Toto L, Mastropasqua R, Mattei PA, Agnifili L, Mastropasqua A, Falconio G, Di Nicola M, Mastropasqua L. Postoperative IOL axial movements and refractive changes after femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification. *J Refract Surg.* 2015 Aug;31(8):524-30. doi: 10.3928/1081597X-20150727-02
42. Panthier C, Costantini F, Rigal-Sastourné JC, Brézin A, Mehanna C, Guedj M, Monnet D. Change of capsulotomy over 1 year in femtosecond laser-assisted cataract surgery and its impact on visual quality. *J Refract Surg.* 2017 Jan;33(1):44-49. doi: 10.3928/1081597X-20161028-01
43. Mursch-Edlmayr AS, Bolz M, Luft N, Ring M, Kreutzer T, Ortner C, Rohleder M, Priglinger SG. Intraindividual comparison between femtosecond laser-assisted and conventional cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Feb;43(2):215-22. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.11.046
44. Oltulu R, Erşan İ, Şatırtav G, Donbaloglu M, Kenmoğlu H, Özkağmıcı A. Intraocular lens explantation or exchange: indications, postoperative interventions, and outcomes. *Arq Bras Oftalmol.* 2015 May-Jun;78(3):154-57. doi: 10.5935/0004-2749.20150040
45. Nagy ZZ, Kiss HJ, Takács AI, Kránitz K, Czákó C, Filkorn T, Dunai Á, Sándor GL, Kovács I. Results of femtosecond laser-assisted cataract surgery using the new 2.16 software and the SoftFit® Patient Interface. *Orv Hetil.* 2015 Feb;156(6):221-25. doi: 10.1556/OH.2015.30089
46. Takács AI, Kovács I, Miháltz K, Filkorn T, Knorz MC, Nagy ZZ. Central corneal volume and endothelial cell count following femtosecond laser-assisted refractive cataract surgery compared to conventional phacoemulsification. *J Refract Surg.* 2012 Jun;28(6):387-91. doi: 10.3928/1081597X-20120508-02
47. Mastropasqua L, Toto L, Mastropasqua A, Vecchiarino L, Mastropasqua R, Pedrotti E, Di Nicola M. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery. *J Refract Surg.* 2014 Jan;30(1):27-33. doi: 10.3928/1081597X-20131217-03
48. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Al Juburi M, Schultz T, Dick HB. Femtosecond laser-induced macular changes and anterior segment inflammation in cataract surgery. *J Refract Surg.* 2014 Apr;30(4):222-26. doi: 10.3928/1081597X-20140321-01
49. Ecsedy M, Miháltz K, Kovács I, Takács A, Filkorn T, Nagy ZZ. Effect of femtosecond laser cataract surgery on the macula. *J Refract Surg.* 2011 Oct;27(10):717-22. doi: 10.3928/1081597X-20110825-01

## REFERENCES

- Bourne RRA, Flaxman SR, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, Keeffe J, Kempen JH, Leasher J, Limburg H, Naidoo K, Pesudovs K, Resnikoff S, Silvester A, Stevens GA, Tahhan N, Wong TY, Taylor HR. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-

- analysis. *Lancet Glob Health*. 2017 Sep;5(9):e888-e897. doi: 10.1016/S2214-109X(17)30293-0
2. Lee CM, Afshari NA. The global state of cataract blindness. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017 Jan;28(1):98-103. doi:10.1097/ICU.0000000000000340
3. Blindness: Vision 2020 - control of major blinding diseases and disorders. The global initiative for the elimination of avoidable blindness [Electronic resource]. *Fact Sheet*. 214. [cited 2018 Map 20]. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs214/en/>
4. Kessel L, Andresen J, Erngaard D, Flesner P, Tendal B, Hjortdal J. Indication for cataract surgery. Do we have evidence of who will benefit from surgery? A systematic review and metaanalysis. *Acta Ophthalmol*. 2016 Feb; 94(1):10-20. doi: 10.1111/aos.12758
5. Nagy Z, McAlinden C. Femtosecond laser cataract surgery. *Eye Vis.(London)*. 2015;2:11. <https://doi.org/10.1186/s40662-015-0021-7>
6. Hatch KM, Talamo JH. Laser-assisted cataract surgery: benefits and barriers. *Curr Opin Ophthalmol*. 2014 Jan;25(1):54-61. doi: 10.1097/ICU.0000000000000013
7. Abell RG, Darian-Smith E, Kan JB, Allen PL, Ewe SY, Vote BJ. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Jan;41(1):47-52. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.06.025
8. Nagy Z. New technology update: femtosecond laser in cataract surgery. *Clin Ophthalmol*. 2014 Jun;8:1157-67. doi: 10.2147/OPHTH.S36040
9. Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration. A report of 500 consecutive cases. *Am J Ophthalmol*. 1973 May;75(5):764-68. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(73\)90878-7](https://doi.org/10.1016/0002-9394(73)90878-7)
10. Callou TP, Garcia R, Mukai A, Giacomini NT, de Souza RG, Bechara SJ. Advances in femtosecond laser technology. *Clin Ophthalmol*. 2016 Apr;19:697-703. doi: 10.2147/OPHTH.S99741
11. Miháltz K, Knorz MC, Alió JL, Takács AI, Kránitz K, Kovács I, Nagy ZZ. Internal aberrations and optical quality after femtosecond laser anterior capsulotomy in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2011 Oct;27(10):711-16. doi: 10.3928/1081597X-20110913-01
12. Vasquez-Perez A, Simpson A, Nanavaty M. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in a public teaching hospital setting. *BMC Ophthalmol*. 2018;18:26. Published online 2018 Feb 2. doi: 10.1186/s12886-018-0693-6
13. Wolffsohn J., Buckhurst P. Objective analysis of toric intraocular lens rotation and centration. *J Cataract Refract Surg*. 2010 May;36(5):778-82. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.12.027
14. Krasnov MM. Laser-phakopuncture in the treatment of soft cataracts. *Br J Ophthalmol*. 1975 Feb;59(2):96-98. <https://bjoo.bmj.com/content/bjophthalmol/59/2/96.full.pdf>
15. Nagy Z, Takács A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2009 Dec;25(12):1053-60. doi: 10.3928/1081597X-20091117-04
16. McAlinden C, Moore JE. Retreatment of residual refractive errors with flap lift laser in situ keratomileusis. *Eur J Ophthalmol*. 2011 Jan-Feb;21(1):5-11. doi: 10.5301/EJO.2010.391
17. Bartlett JD, Miller KM. The economics of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2016 Jan;27(1):76-81. doi: 10.1097/ICU.0000000000000219
18. Chung SH, Mazur E. Surgical applications of femtosecond lasers. *J Biophotonics*. 2009 Oct;2(10):557-72. doi: 10.1002/jbio.200910053.
19. Binder PS. Femtosecond applications for anterior segment surgery. *Eye Contact Lens*. 2010 Sep;36(5):282-85. doi: 10.1097/ICL.0b013e3181ee2d11
20. Hjortdal J, Nielsen E, Vestergaard A, Søndergaard A. Inverse cutting of posterior lamellar corneal grafts by a femtosecond laser. *Open Ophthalmol J*. 2012;6:19-22. doi: 10.2174/1874364101206010019
21. Levitz L, Reich J, Roberts TV, Lawless M. Incidence of cystoid macular edema: femtosecond laser-assisted cataract surgery versus manual cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Mar;41(3):683-86. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.11.039
22. Nagy ZZ, Takacs AI, Filkorn T, Kránitz K, Gyenes A, Juhász É, Sándor GL, Kovacs I, Juhász T, Slade S. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jan;40(1):20-28. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.08.046
23. Kulikov AN, Kokareva EV, Dzilikhov AA. Effective lens position. A review. *Oftal'mokhirurgiia*. 2018;(1):92-97. doi: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2018-1-92-97> (in Russ.)
24. Kránitz K, Takács A, Miháltz K, Kovács I, Knorz MC, Nagy ZZ. Femtosecond laser capsulotomy and manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration. *J Refract Surg*. 2011 Aug;27(8):558-63. doi: 10.3928/1081597X-20110623-03
25. Mayer WJ, Klapproth OK, Hengerer FH, Kohnen T. Impact of crystalline lens opacification on effective phacoemulsification time in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Am J Ophthalmol*. 2014 Feb;157(2):426-32.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2013.09.017
26. Cao H, Zhang L, Li L, Lo S. Risk factors for acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2013 Aug 26;8(8):e71731. doi: 10.1371/journal.pone.0071731. eCollection 2013.
27. Bang JW, Lee JH, Kim JH, Lee DH. Structural analysis of different incision sizes and stromal hydration in cataract surgery using anterior segment optical coherence tomography. *Korean J Ophthalmol*. 2015 Feb;29(1):23-30. doi: 10.3341/kjo.2015.29.1.23
28. Kankariya VP, Diakonis VF, Goldberg JL, Kymionis GD, Yoo SH. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy for postoperative trabeculectomy-induced corneal astigmatism. *J Refract Surg*. 2014 Jul;30(7):502-4. doi: 10.3928/1081597X-20140527-01
29. Abell RG, Kerr NM, Howie AR, Mustaffa Kamal MA, Allen PL, Vote BJ. Effect of femtosecond laser-assisted cataract surgery on the corneal endothelium. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Nov;40(11):1777-83. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.05.031
30. Lawless M, Levitz L, Hodge C. Reviewing the visual benefits of femtosecond laser-assisted cataract surgery: Can we improve our outcomes? *Indian J Ophthalmol*. 2017 Dec;65(12):1314-22. doi: 10.4103/ijo.IJO\_736\_17
31. Popovic M, Campos-Möller X, Schlenker MB, Ahmed IIK. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery compared with manual cataract surgery: a meta-analysis of 14567 eyes. *Ophthalmology*. 2016 Oct;123(10):2113-26. doi: 10.1016/j.ophtha.2016.07.005
32. Chang DF. Does femtosecond laser-assisted cataract surgery improve corneal endothelial safety? The

- debate and conundrum. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Apr;43(4):440-442. doi: 10.1016/j.jcrs.2017.04.019
33. Day AC, Burr JM, Bunce C, Doré CJ, Sylvestre Y, Wormald RP, Round J, McCudden V, Rubin G, Wilkins MR. Randomised, single-masked non-inferiority trial of femtosecond laser-assisted versus manual phacoemulsification cataract surgery for adults with visually significant cataract: the FACT trial protocol. *BMJ Open.* 2015 Nov 27;5(11):e010381. doi: 10.1136/bmjopen-2015-010381
34. Abell RG, Vote BJ. Cost-effectiveness of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus phacoemulsification cataract surgery. *Ophthalmology.* 2014 Jan;121(1):10-16. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.07.056
35. Onukwugha E, McRae J, Kravetz A, Varga S, Khairnar R, Mullins CD. Cost-of-Illness Studies: An Updated Review of Current Methods. *Pharmacoeconomics.* 2016 Jan;34(1):43-58. doi: 10.1007/s40273-015-0325-4
36. Ewe SY, Abell RG, Oakley CL, Lim CH, Allen PL, McPherson ZE, Rao A, Davies PE, Vote BJ. A comparative cohort study of visual outcomes in femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery. *Ophthalmology.* 2016 Jan;123(1):178-82. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.09.026
37. Conrad-Hengerer I, Al Sheikh M, Hengerer FH, Schultz T, Dick HB. Comparison of visual recovery and refractive stability between femtosecond laser-assisted cataract surgery and standard phacoemulsification: six-month follow-up. *J Cataract Refract Surg.* 2015 Jul;41(7):1356-64. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.10.044
38. Day AC, Gore DM, Bunce C, Evans JR. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery (Review) [Electronic resource]. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2016;7. [cited 2018 Sept 4]. Available from: [https://researchonline.lshtm.ac.uk/4086875/1/Laser-assisted%20cataract%20surgery\\_COCHREV.pdf](https://researchonline.lshtm.ac.uk/4086875/1/Laser-assisted%20cataract%20surgery_COCHREV.pdf)
39. Ye Z, Li Z, He S. A Meta-analysis comparing postoperative complications and outcomes of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract [Electronic resource]. *J Ophthalmol.* 2017;2017:3849152 [cited 2018 Nov 23]. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/joph/2017/3849152>
40. Packer M, Teuma EV, Glasser A, Bott S. Defining the ideal femtosecond laser capsulotomy. *Br J Ophthalmol.* 2015 Aug;99(8):1137-42. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-306065
41. Toto L, Mastropasqua R, Mattei PA, Agnifi-  
li L, Mastropasqua A, Falconio G, Di Nicola M, Mastropasqua L. Postoperative IOL axial movements and refractive changes after femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification. *J Refract Surg.* 2015 Aug;31(8):524-30. doi: 10.3928/1081597X-20150727-02
42. Panthier C, Costantini F, Rigal-Sastourné JC, Brézin A, Mehanna C, Guedj M, Monnet D. Change of capsulotomy over 1 year in femtosecond laser-assisted cataract surgery and its impact on visual quality. *J Refract Surg.* 2017 Jan;33(1):44-49. doi: 10.3928/1081597X-20161028-01
43. Mursch-Edlmayr AS, Bolz M, Luft N, Ring M, Kreutzer T, Ortner C, Rohleder M, Priglinger SG. Intraindividual comparison between femtosecond laser-assisted and conventional cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Feb;43(2):215-22. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.11.046
44. Oltulu R, Erşan İ, Şatırtav G, Donbaloglu M, Kerimoğlu H, Özkağmıç A. Intraocular lens explantation or exchange: indications, postoperative interventions, and outcomes. *Arq Bras Oftalmol.* 2015 May-Jun;78(3):154-57. doi: 10.5935/0004-2749.20150040
45. Nagy ZZ, Kiss HJ, Takács AI, Kránitz K, Czako C, Filkorn T, Dunai A, Sándor GL, Kovács I. Results of femtosecond laser-assisted cataract surgery using the new 2.16 software and the SoftFit® Patient Interface. *Orv Hetil.* 2015 Feb;156(6):221-25. doi: 10.1556/OH.2015.30089
46. Takács AI, Kovács I, Miháltz K, Filkorn T, Knorz MC, Nagy ZZ. Central corneal volume and endothelial cell count following femtosecond laser-assisted refractive cataract surgery compared to conventional phacoemulsification. *J Refract Surg.* 2012 Jun;28(6):387-91. doi: 10.3928/1081597X-20120508-02
47. Mastropasqua L, Toto L, Mastropasqua A, Vecchiarino L, Mastropasqua R, Pedrotti E, Di Nicola M. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery. *J Refract Surg.* 2014 Jan;30(1):27-33. doi: 10.3928/1081597X-20131217-03
48. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Al Juburi M, Schultz T, Dick HB. Femtosecond laser-induced macular changes and anterior segment inflammation in cataract surgery. *J Refract Surg.* 2014 Apr;30(4):222-26. doi: 10.3928/1081597X-20140321-01
49. Ecsedy M, Miháltz K, Kovács I, Takács A, Filkorn T, Nagy ZZ. Effect of femtosecond laser cataract surgery on the macula. *J Refract Surg.* 2011 Oct;27(10):717-22. doi: 10.3928/1081597X-20110825-01.

**Адрес для корреспонденции**

210009, Республика Беларусь,  
г. Витебск, пр. Фрунзе, д. 27,  
Витебский государственный  
медицинский университет,  
кафедра офтальмологии,  
тел.: +375 33 647-65-95,  
e-mail: khodasevich2014@yandex.by,  
Ходасевич Евгений Алексеевич

**Сведения об авторах**

Приступа Вадим Витальевич, к.м.н., доцент кафедры офтальмологии, Витебский государственный медицинский университет, г. Витебск, Республика Беларусь.

**Address for correspondence**

210009, The Republic of Belarus,  
Vitebsk, Frunze Ave., 27,  
Vitebsk State Medical University,  
Department of Ophthalmology,  
Tel. +375 33 647-65-95,  
e-mail: khodasevich2014@yandex.by,  
Eugene A. Khadasevich

**Information about the authors**

Pristupa Vadim V., PhD, Associate Professor of the Department of Ophthalmology, Vitebsk State Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus.  
<https://orcid.org/0000-0003-3496-7722>

<https://orcid.org/0000-0003-3496-7722>

Королькова Наталья Кирилловна, к.м.н., доцент, исполняющая обязанности заведующего кафедрой офтальмологии, Витебский государственный медицинский университет, г. Витебск, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0002-6172-6767>

Ходасевич Евгений Алексеевич, студент 5 курса лечебного факультета, Витебский государственный медицинский университет, г. Витебск, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0002-0810-5005>

#### **Информация о статье**

*Поступила 3 апреля 2018 г.*

*Принята в печать 27 сентября 2018 г.*

*Доступна на сайте 31 декабря 2018 г.*

Karalkova Natallia K., PhD, Associate Professor, Acting Head of the Department of Ophthalmology, Vitebsk State Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0002-6172-6767>

Khadasevich Eugene A., 5-Year Medical Student, Vitebsk State Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0002-0810-5005>

#### **Article history**

*Arrived 03 April 2018*

*Accepted for publication 27 September 2018*

*Available online 31 December 2018*