

ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ CATARACT SURGERY AND IOL IMPLANTATION

Научная статья
УДК 617.741-004.
doi: 10.25276/0235-4160-2023-4-6-12

Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации в хирургическом лечении катаракты

А.В. Терещенко^{1, 2}, И.Г. Трифаненкова^{1, 2}, Ю.А. Сидорова¹, В.В. Шаулов¹, А.М. Иванов¹,
М.В. Окунева¹, Н.А. Иванова¹

¹НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калужский филиал, Калуга

²Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга

РЕФЕРАТ

Цель. Представить технологию проведения предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации в хирургическом лечении катаракты. **Материал и методы.** Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации применяется в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова с 2016 г. Суть технологии заключается в неинвазивном эндокапсулярном формировании радиальных разломов ядра катарактального хрусталика для последующей его фрагментации в ходе ультразвуковой факоэмульсификации катаракты (ФЭК). Суммарное количество импульсов составляет от 95 до 150. **Результаты.** За 2016–2023 гг. в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова предварительная радиальная ИАГ-лазерная факофрагментация выполнена на 9468 глазах с катарактой 2–4-й степеней плотности. После ИАГ-лазер-

ной фрагментации ядра катарактального хрусталика определяется его радиальное расслоение по типу «снежинки», которая состоит из 3 слоев и «лепестков», отходящих от кавитационных пузырьков, четко очерчивающих ядро. Клинико-функциональное состояние глаз после предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации свидетельствовало об отсутствии реактивного воспаления со стороны переднего и заднего отрезков глаза, что подтверждалось данными биомикроскопии и ультразвукового офтальмосканирования. **Заключение.** Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации – безопасный и эффективный способ, позволяющий достичь равномерного расслоения хрусталиковых волокон по сформированным зонам фрагментации, которые соответствуют последующим зонам разлома ядра при проведении этапа фрагментации ядра в ходе ультразвуковой ФЭК.

Ключевые слова: радиальная ИАГ-лазерная факофрагментация, катаракта, ультразвуковая факоэмульсификация катаракты ■

Для цитирования: Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Сидорова Ю.А., Шаулов В.В., Иванов А.М., Окунева М.В., Иванова Н.А. Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации в хирургическом лечении катаракты. Офтальмохирургия. 2024;142(1): 6–12. doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-6-12

Автор, ответственный за переписку: Ирина Георгиевна Трифаненкова, nauka@eye-kaluga.com

ABSTRACT

Original article

Technology of preliminary radial YAG laser phacofragmentation in the surgical treatment of cataracts

A.V. Tereshchenko^{1, 2}, I.G. Trifanenkova^{1, 2}, Yu.A. Sidorova¹, V.V. Shaulov¹, A.M. Ivanov¹, M.V. Okuneva¹, N.A. Ivanova¹

¹S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga branch, Kaluga, Russian Federation

²K.E. Tsiolkovski Kaluga State University, Kaluga, Russian Federation

Purpose. To represent the technology of preliminary radial YAG laser phacofragmentation in the surgical treatment of cataracts. **Material and methods.** The technology of preliminary radial YAG laser phacofragmentation has been used in the Kaluga branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution since 2016. The basis of the technology is the transcorneal endocapsular formation of radial cracks of the lens core for its subsequent fragmentation during ultrasonic phacoemulsification of cataracts (FEC). The total number of

pulses ranges from 95 to 150. **Results.** In the Kaluga branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, preliminary radial YAG laser phacofragmentation was performed on 9468 eyes with cataracts of 2–4 degrees of density from 2016 to 2023. After YAG laser fragmentation of the lens core, its radial separation occurs according to the «snowflake» type, which consists of 3 layers and «petals» extending from cavitation bubbles that clearly outline the core. The clinical and functional state of the eyes after preliminary YAG laser

phacofragmentation indicated the absence of reactive inflammation from the anterior and posterior segment of the eye, which was confirmed by biomicroscopy and ultrasound ophthalmoscanning data. **Conclusion.** The technology of preliminary radial YAG laser phacofragmentation is a safe and effective method that allows you to achieve uniform separation

of lens fibers along the formed fragmentation zones, which correspond to subsequent nuclear fracture zones during the nuclear fragmentation stage during ultrasonic FEC.

Key words: radial YAG laser phacofragmentation, cataract, ultrasonic phacoemulsification of cataract ■

For citation: Tereshchenko A.V., Trifanenkova I.G., Sidorova Yu.A., Shaurov V.V., Ivanov A.M., Okuneva M.V., Ivanova N.A. Technology of preliminary radial YAG laser phacofragmentation in the surgical treatment of cataracts. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2024;142(1): 6–12. doi: 10.25276/0235-4160-2024-1-6-12

Corresponding author: Irina G. Trifanenkova, nauka@eye-kaluga.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время ультразвуковая факоэмульсификация катаракты (ФЭК) с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) признана во всем мире наиболее эффективным и безопасным методом хирургического лечения данной патологии [1–3].

Фрагментирование ядра катарактального хрусталика является ответственным этапом ФЭК. При высокой плотности катаракты хирургам приходится увеличивать энергию ультразвука, чтобы добиться полноценной факофрагментации. Это негативно влияет на структуры глаза, усугубляет хирургическую травму, удлинняет продолжительность хирургии и последующий период реабилитации [4–6].

Еще в 1988 г. группой отечественных ученых была разработана технология предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации, задачей которой было снижение энергетической нагрузки и уменьшение количества интраоперационных манипуляций [7].

Претерпев ряд модификаций за прошедшие годы, данная технология активно используется в клинической практике Калужского филиала МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова и по сей день.

В настоящее время в хирургии катаракты широко применяется фемтолазерное сопровождение, в том числе на этапе факофрагментации [8, 9]. Однако при фрагментации ядра хрусталика высокой степени плотности необходима большая энергия фемтосекундного лазерного излучения, что сопряжено с риском развития внутрикапсулярного блока, кроме того, высока вероятность неполной фрагментации, что нивелирует эффективность фемтосопровождения. Помимо этого, фемтолазеры дорогостоящи и имеются не во всех офтальмологических клиниках, тогда как ИАГ-лазерные установки являются стандартным оборудованием и используются в рутинной практике лазерных хирургов.

ЦЕЛЬ

Представить технологию проведения предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации в хирургическом лечении катаракты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации применяется в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова с 2016 г.

Основной задачей, которая стоит перед лазерным хирургом при проведении предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации, является формирование линий разлома ядра для последующей его фрагментации в ходе ФЭК.

Суть технологии заключается в неинвазивном эндокапсулярном формировании радиальных разломов ядра катарактального хрусталика.

Процедура проводится за 30 мин – 3 ч до ФЭК, под эпibuльбарной анестезией 1% раствором дикаина или алкаина, в условиях максимального медикаментозного миоза, на лазерных установках с длиной волны 1,064 мкм, с использованием линзы для капсулотомии. Параметры мощности варьируют от 1,0 до 2,6 мДж и зависят от степени плотности (2–4) ядра катарактального хрусталика.

Параметры лазерного воздействия подбирают, начиная с 1,0 мДж в одном импульсе, с постепенным увеличением мощности до формирования кавитационного пузырька округлой формы в ядрах 2-й степени плотности и округлого пузырька с расходящимися от него зонами расслоения волокон ядра в виде «лепестков» при 3-й и 4-й степенях плотности. Фрагментация проводится в 3 плоскостях в задне-переднем направлении, начиная с задней части ядра хрусталика, затем наводочный луч переводится в центральную часть ядра и выполняются линии фрагментации, далее фрагментируется передняя часть ядра. В каждой из плоскостей фрагментация начинается с верхнего сегмента с 12 до 6 часовых меридианов с формированием вертикальной линии «разлома». Затем фрагментирование проводится по горизонтали с 3 до 6 часовых меридианов, далее в косых меридианах с 1:30 до 7:30 и с 11:30 и до 4:30 соответственно (рис. 1 а–г).

Суммарное количество импульсов составляет от 95 до 150. После операции конъюнктивальная полость промывается раствором антисептика. Далее пациент самостоятельно переходит в операционную, где проводится ультразвуковая ФЭК.

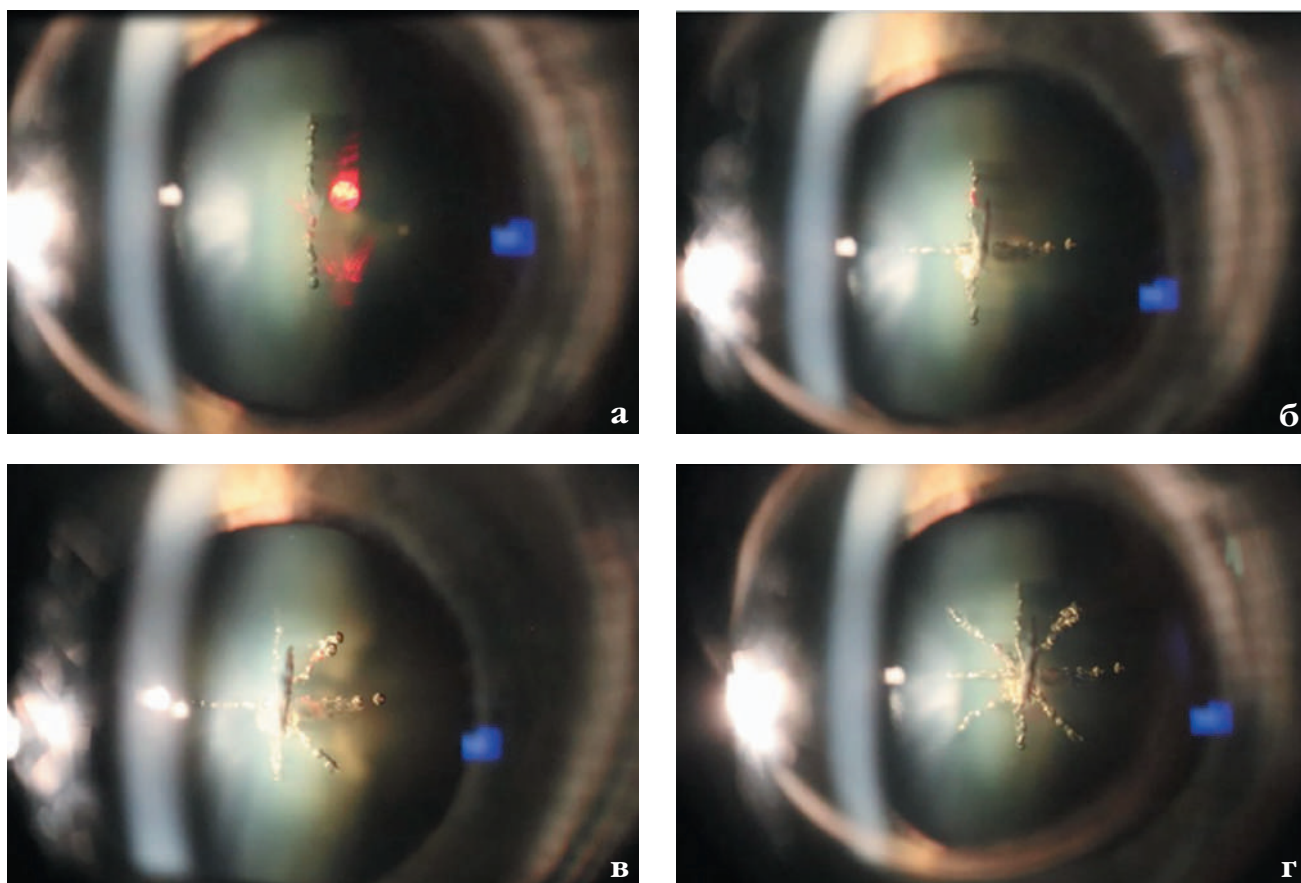


Рис. 1. Последовательные этапы проведения предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации: а) фрагментирование по вертикали с 12 до 6 часов; б) фрагментирование по горизонтали с 9 до 3 часов; в) фрагментирование в косых меридианах, начиная с 01:30; г) фрагментирование в косых меридианах, начиная с 11:30

Fig. 1. Consecutive stages of preliminary radial YAG laser phacofragmentation: а) vertical fragmentation from 12 to 6 hours; б) horizontal fragmentation from 9 to 3 hours; в) fragmentation in diagonal meridians, starting at 1:30; г) fragmentation in diagonal meridians, starting at 11:30

РЕЗУЛЬТАТЫ

За 2016–2023 гг. в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова предварительная радиальная ИАГ-лазерная факофрагментация выполнена на 9468 глазах с катарактой 2–4-й степеней плотности.

Условиями проведения методики являются наличие прозрачной передней капсулы хрусталика, оптическая однородность передних кортикальных слоев, возможность достижения медикаментозного мидриаза не менее 5 мм. Противопоказания: ригидный зрачок, фиброз передней капсулы хрусталика, оптическая неоднородность передних кортикальных слоев, зрелая и перезрелая катаракты, помутнения роговицы, препятствующие фокусировке наводочного луча лазера.

Во всех случаях после вмешательства пациенты отмечают снижение остроты зрения и усиление «тумана»,

что связано с возникновением большого количества деструктивных изменений в центральном отделе ядра хрусталика.

Непосредственно во время проведения ИАГ-лазерной факофрагментации выявляются различные деструктивные изменения, которые напрямую зависят от исходной плотности ядра. Так, в случаях, когда плотность ядер соответствует 2-й степени, в зоне лазерного воздействия происходит образование «парогазовых пузырьков» диаметром около 0,1 мм, а в случаях, если «пузырьки» сливаются, происходит формирование крупных вакуолей диаметром около 0,5 мм. При наличии ядер с высокой степенью плотности (3-й и 4-й степени) в зоне лазерного воздействия происходит расслаивание хрусталиковых волокон с образованием плоских зон деструкции в виде «лепестков». Площадь каждой зоны, образованной одним «пузырьком», достигает 0,5 мм². В случаях серо-желтых и желтых ядер во время лазерного воздействия появляются деструктивные изменения смешанного типа. В

случаях наличия ядер 2-й степени плотности энергия в одном импульсе в среднем составляет $1,4 \pm 0,12$ мДж, при 3–4-й степени – $1,8 \pm 0,22$ мДж. Среднее время проведения предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации составляет 10 мин и зависит от поведения пациента во время фрагментации, его возможности соблюдать неподвижность и от опыта лазерного хирурга.

После ИАГ-лазерной фрагментации ядра катарактального хрусталика определяется его радиальное расслоение по типу «снежинки», которая состоит из 3 слоев и «лепестков», отходящих от кавитационных пузырьков, четко очерчивающих ядро (рис. 2).

Повреждение передней капсулы отмечалось в 5 случаях, что было обусловлено неверным отбором пациентов, когда лечение проводилось при неоднородном помутнении передних кортикальных слоев или фиброзе передней капсулы. В 4 случаях произошло повреждение задней капсулы, в связи с чем процедуру прекратили и в максимально короткие сроки выполнили ФЭК.

Клинико-функциональное состояние глаз после предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации свидетельствовало об отсутствии реактивного воспаления со стороны переднего и заднего отрезков глаза, что подтверждалось данными биомикроскопии и ультразвукового офтальмосканирования. Повышения внутриглазного давления зафиксировано не было. У пациентов в анамнезе с глаукомой на постоянной гипотензивной терапии усиления медикаментозного режима не требовалось.

ОБСУЖДЕНИЕ

Катаракта остается одной из основных причин слепоты и обратимой слепоты в мире. При этом единственным способом ее лечения является хирургическое удаление помутневшего хрусталика с последующей имплантацией ИОЛ. Ежегодно в мире выполняется около 18 млн таких вмешательств [1, 3].

В настоящее время метод ультразвуковой ФЭК является «золотым стандартом» хирургического лечения катаракты. Однако на начальном этапе внедрения в клиническую практику ФЭК хирурги сталкивались с необходимостью использовать большое количество ультразвука, особенно при фрагментации ядра высокой плотности. Это обстоятельство привело к идее разработки предварительной фрагментации ядра катарактального хрусталика с использованием ИАГ-лазера.

В 1981 г. D.S. Aron-Rosa и соавт. опубликовали результаты использования Nd:ИАГ-лазера с длиной волны 1,064 мкм при транскорнеальном фрагментировании передних слоев катарактального хрусталика [10]. Применяемая длина волны слабо поглощалась роговицей ввиду низкого коэффициента абсорбции водой, что позволяло четко сфокусироваться на хрусталике. Фрагментация была обоснована генерацией плазмы в

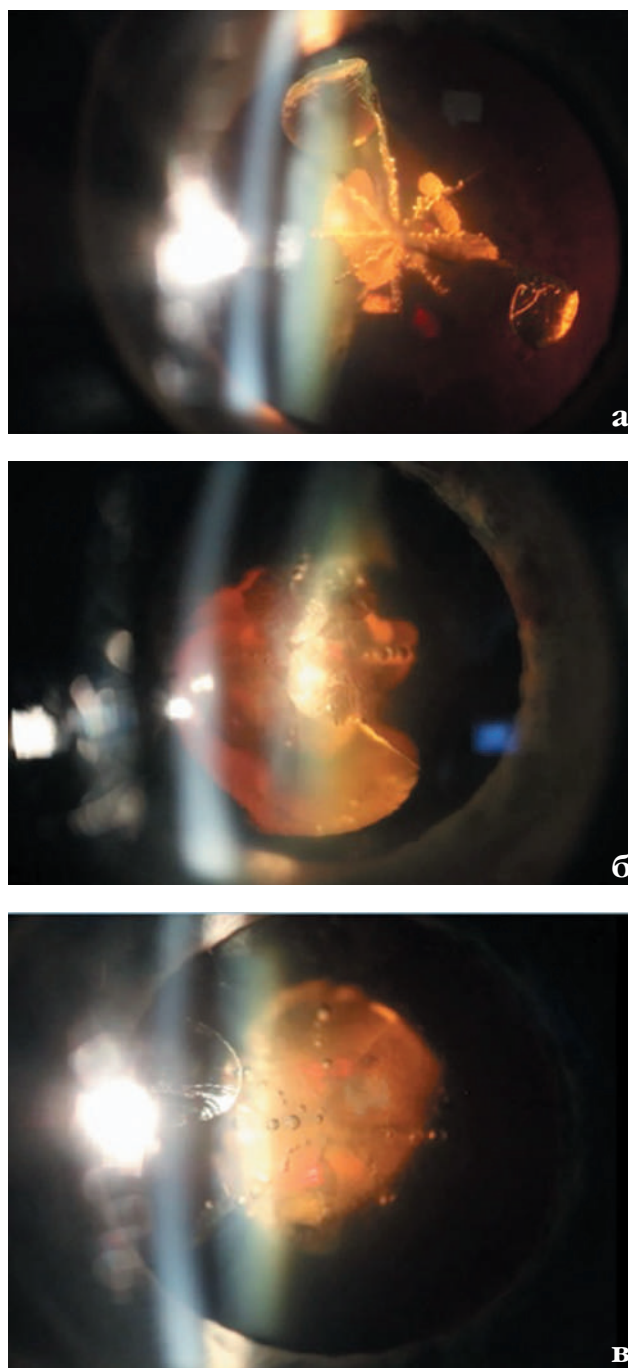


Рис. 2. Предварительная радиальная ИАГ-лазерная факофрагментация: а) 2-я степень плотности ядра хрусталика; б) 3-я степень плотности ядра хрусталика, в) 4-я степень плотности ядра хрусталика

Fig. 2. Preliminary radial YAG laser phacofragmentation: а) 2nd degree of density of the lens nucleus; б) 3rd degree of density of the lens nucleus; в) 4th degree of density of the lens nucleus

зоне приложения энергии. В физическом смысле механизм фрагментации объяснялся формированием фронта акустического давления, разрушающего хрусталиковое вещество. Однако в указанном методе не только

фрагментировали передние кортикальные слои, но и вскрывали переднюю капсулу.

С 2002 г. по настоящее время в Калужском филиале МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова активно используется технология ИАГ-лазерного воздействия на ядра катарактальных хрусталиков [11–13]. Данная методика выполняется эндокапсулярно, что исключает риски гидродинамических изменений и воспалительных реакций.

За прошедший с момента внедрения период было выполнено 10 889 предварительных ИАГ-лазерных факофрагментаций.

До 2016 г. использовалась стандартная технология проведения предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации, безопасность и эффективность которой достоверно доказана в кандидатской диссертации д.м.н. А.В. Терещенко «Оптимизация энергетических параметров ультразвуковой и лазерной хирургии катаракты с помощью предварительного ИАГ-лазерного воздействия на ядра катарактальных хрусталиков», защищенной в 2002 г. [11]. По стандартной технологии была выполнена 1421 операция. Общее количество импульсов, наносимых во всем объеме ядра хрусталика, варьировало от 150 до 280 (186 ± 23). На современном этапе в ходе предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации используется меньшее количество импульсов (105 ± 17 , $p < 0,05$). При этом эффективность технологии остается высокой, поскольку количество наносимых аппликаторов достаточно, чтобы сформировать разлом ядра в ходе последующей ФЭК.

Опыт применения предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации показывает, что ФЭК не следует откладывать на срок более одних суток, а оптимально проводить в срок от 30 мин до 3 ч после ИАГ-лазерного воздействия. Образовавшиеся в ходе фрагментации вакуоли сохраняют размеры и форму в течение 10–12 ч. Со временем происходит уменьшение сформированных кавитационных пузырьков, что нивелирует эффект ИАГ-лазерного воздействия.

В ранее проведенных исследованиях было установлено, что после предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации в ходе ФЭК достигается снижение суммарной энергии ультразвука на 33,8% при 1-й степени плотности ядра хрусталика, на 34,2% – при 2-й, на 28,8% – при 3-й, на 28,4% – при 4-й [14, 15].

Важным этапом ФЭК является формирование первичного разлома ядра по оси 0–180°. Правильное выполнение данного разлома позволяет последовательно провести дальнейшие этапы операции и снизить воздействие ультразвука на структуры глаза. Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации позволяет выполнить фрагментацию так, чтобы в последующем она четко соответствовала линиям разлома при проведении ФЭК.

В связи с вышесказанным следует обратить внимание на то, что у начинающих лазерных хирургов возникает

сложность в четком понимании фокусировки при проведении предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации, что может приводить к ятрогенному повреждению передней или задней капсул хрусталика. Во избежание этого следует: 1) соблюдать коаксиальное положение линзы во время ИАГ-лазерной факофрагментации; 2) наводочный луч должен быть четко сфокусирован в рабочем участке ядра хрусталика; 3) при работе в задней части ядра необходимо использовать режим «anterior», чтобы не повредить капсулу, а в центральной части ядра и передней переводить режим в положение «0».

Одним из высокотехнологичных направлений современной катарактальной хирургии является использование фемтосекундного лазерного сопровождения для выполнения роговичных разрезов, капсулорексиса и фрагментации ядра хрусталика. При этом если при 1–2-й степени плотности ядра катарактогенного хрусталика достигается полноценная фрагментация, то при высокой плотности (3–4-й степени по классификации К.В. Бойко [16]) полноценная фемтофрагментация крайне затруднительна даже при увеличении энергии фемтолазера. При этом увеличение энергетических параметров фемтолазерного воздействия приводит к значительной потере эндотелиальных клеток роговицы и в ряде случаев требует долечивания пациентов в условиях стационара.

В 2015–2016 гг. были проведены исследования по комбинированному лазерному воздействию на ядра катарактальных хрусталиков [17, 18]. При катарактах 3-й и 4-й степени плотности проводился этап стандартной предварительной ИАГ-лазерной фрагментации с формированием фрагментации во всем объеме ядра хрусталика, затем выполнялась фемтолазерная фрагментация ядра с последующей ФЭК. В данной работе было определено, что «вакуоли», получаемые в ходе ИАГ-лазерного воздействия, не только не мешают фемтосопровождению, но и позволяют выполнить фрагментацию ядра хрусталика с уменьшением энергетических параметров фемтолазера на 35% при 3-й степени плотности ядра и на 40% при 4-й степени. При комбинированном ИАГ-лазерном и фемтолазерном воздействии достигалось полноценное разделение ядра хрусталика по всей толщине, этапы гидродиссекции и гидроделиниции выполнялись стандартно, без особенностей, течение раннего послеоперационного периода проходило адекватно. Потеря эндотелиальных клеток, независимо от исходной плотности ядер, не превышала 5,3–7,0%, а показатели гидродинамики и электрофизиологические параметры не отличались от таковых до операции.

Достоверно доказанная безопасность ИАГ-лазерного воздействия во всем объеме ядра хрусталика легла в основу технологии предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации. Значимое снижение энергетической нагрузки на ядро катарактального хрусталика, возможность проведения ИАГ-лазерного этапа на ядрах катарактальных хрусталиков независимо от их

исходной плотности, точное повторение линий фрагментации, практически как при использовании фемтосекундных лазеров, открывают новые возможности применения технологии радиальной предварительной ИАГ-лазерной факофрагментации в повседневной клинической практике хирургии катаракты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Технология предварительной радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации – безопасный и эффективный способ, позволяющий достичь равномерного расщепления хрусталиковых волокон по сформированным зонам фрагментации, которые соответствуют последующим зонам разлома ядра при проведении этапа фрагментации ядра в ходе ультразвуковой ФЭК.

2. Проведение радиальной ИАГ-лазерной факофрагментации уменьшает суммарное энергетическое воздействие на структуры глаза в ходе ФЭК, позволяет выполнять хирургию катаракты в амбулаторных условиях с быстрой реабилитацией пациентов даже при исходно высокой и очень высокой плотности ядра хрусталика.

3. Предварительная радиальная ИАГ-лазерная факофрагментация проводится на лазерном оборудовании, которое используется в повседневной практике лазерных хирургов, не требует специальных навыков обучения, является экономичным методом, который может широко использоваться в ежедневной клинической практике и в ряде случаев стать альтернативой современным фемтолазерным технологиям.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Brian G, Taylor H. Cataract blindness – challenges for the 21 century. *Bulletin of the World Health Organization*. 2001;79: 249–256.
2. Boyers LN, Karimkhani C, Hilton J, Richheimer W, Dellavalle RP. Global burden of eye and vision disease as reflected in the Cochrane Database of Systematic Reviews. *JAMA Ophthalmol*. 2015;133(1): 25–31. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2014.3527
3. Бикбов М.М., Исрафилова Г.З., Гильманшин Т.Р. Хирургическое лечение возрастной катаракты: вехи и проблемы. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2022;19(1): 15–21. [Bikbov MM, Isragilova GZ, Gilmanshin TR. Surgical treatment of age-related cataracts: milestones and challenges. Literature review. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(1): 15–21. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2022-1-15-21
4. Chan E, Mahroo OA, Spalton DJ. Complications of cataract surgery. *Clin Exp Optom*. 2010;93: 379–389. doi: 10.1111/j.1444-0938.2010.00516.x
5. Daïen V, Le Pape A, Heve D, Carrière I, Villain M. Incidence, risk factors, and impact of age on retinal detachment after cataract surgery in France: a national population study. *Ophthalmology*. 2015;122: 2179–2185. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.07.014
6. Blomquist PH, Morales ME, Tong L, Ahn C. Risk factors for vitreous complications in resident-performed phacoemulsification surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(2): 208–214. doi: 10.1016/j.jcrs.2011.10.001
7. Пивоваров Н.Н., Коростелева Н.Ф., Нерсесов Ю.Э., Трубилин В.Н., Терещенко А.В. ИАГ-лазерная фрагментация ядра хрусталика (предварительное сообщение). Внедрение достижений медицинской науки в практику здравоохранения: Тезисы XXIII научно-практической конференции врачей Ульяновской области. Ульяновск; 1988: 132–133. [Pivovarov NN, Korosteleva NF, Nersesov YE, Trubilin VN, Tereshchenko AV. YAG laser fragmentation of the lens nucleus (preliminary report). Introduction of the achievements of medical science into healthcare

practice: Abstracts of the XXIII Scientific and Practical Conference of Doctors of the Ulyanovsk Region. Ulyanovsk; 1988: 132–133. (In Russ.)]

8. Hatch KM, Schultz T, Talamo JH, Burkhard DH. Femtosecond laser-assisted compared with standard cataract surgery for removal of advanced cataracts. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41: 1833–1838. doi: 10.1016/j.jcrs.2015.10.040.

9. Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Новак И.В., Полякова К.М., Анисимова Н.С. Результаты факоэмульсификации катаракты с фемтолазерным сопровождением. Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. научных статей. М.; 2013: 31–35. [Anisimova SY, Anisimov SI, Novak IV, Polyakova KM, Anisimova NS. The results of phacoemulsification of cataract with femtosecond laser accompaniment. Modern technologies of cataract and refractive surgery: Collection of scientific articles. M.; 2013: 31–35. (In Russ.)]

10. Aron-Rosa D, Griesemann JC, Aron JJ. Ophthalmological use of pulsed Neodymium YAG lasers. Preoperative aperture of lenses previous setting in of artificial lenses and opening of secondary cataracts behind implants (author's transl). *J Fr Ophthalmol*. 1981;4(1): 61–66.

11. Терещенко А.В. Оптимизация энергетических параметров ультразвуковой и лазерной хирургии катаракты с помощью предварительного транскорнеального эндокапсулярного ИАГ-лазерного воздействия на ядра катарактальных хрусталиков. Вестник офтальмологии. 2003;5: 22–24. [Tereshchenko AV. Optimization of energy parameters of ultrasonic and laser cataract surgery using preliminary transcorneal endocapsular IAG laser action on the nuclei of cataract lenses. The Russian Annals of Ophthalmology. 2003; 5: 22–24. (In Russ.)]

12. Патент РФ на изобретение № 1776192/09.01.1991. Коростелева Н.Ф., Медведев И.Б., Нерсесов Ю.Э., Трубилин В.Н., Шалыгин Г.Ф. Способ определения твердости изолированного хрусталика. Доступно по: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0001776192_19921115_A3_SU/ [Ссылка активна на 12.01.2024] [Patent RUS № 1776192/01.09.1991. Korosteleva NF, Medvedev IB, Nersesov YuE, Trubilin VN, Shalygin GF. Method for determining the hardness of an isolated lens. Available from: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0001776192_19921115_A3_SU/ [Accessed 12th January 2024] (In Russ.)]

13. Патент РФ на изобретение № 2635457/22.11.2016. Бюл. № 32. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Иванов А.М., Гречанинов В.Б., Окунева М.В., Сидорова Ю.А. Способ снижения потери эндотелиальных клеток роговицы после факоэмульсификации катаракты с фемтолазерным сопровождением при высокой степени плотности хрусталика. Доступно по: https://yandex.ru/patents/doc/RU2635457C1_20171113 [Ссылка активна на 12.01.2024] [Patent RUS № 2635457/22.11.2016. Byul. № 32. Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Ivanov AM, Grechaninov VB, Okuneva MV, Sidorova YuA. A method for reducing the loss of corneal endothelial cells after phacoemulsification of cataracts with femtolaser assistance at a high degree of lens density. Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2635457C1_20171113 [Accessed 12th January 2024] (In Russ.)]

14. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Иванов А.М., Окунева М.В., Орлова Н.В. Оптимизация энергетических параметров в ходе хирургии катаракты высокой степени плотности. Офтальмологические ведомости. 2020;13(2): 23–30. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Ivanov AM, Okuneva MV, Orlova NV. Optimization of energy parameters during high-density cataract surgery. *Ophthalmology reports*. 2020;13(2): 23–30. (In Russ.)]

15. Орлова Н.А., Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Иванов А.М., Окунева М.В., Ерохина Е.В., Сидорова Ю.А. Особенности состояния структур переднего отрезка глаза у пациентов с высокой степенью плотности ядра катарактального хрусталика по данным УБМ после предварительной транспупиллярной эндокапсулярной ИАГ-лазерной факофрагментации. Современные технологии в офтальмологии. 2019;4: 208–210. [Orlova NA, Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Ivanov AM, Okuneva MV, Erokhina EV, Sidorova YuA. Features of the state of the structures of the anterior segment of the eye in patients with a high degree of density of the cataract lens nucleus according to UBM data after preliminary transpupillary endocapsular YAG laser phacofragmentation. *Modern technologies in ophthalmology*. 2019;4: 208–210. (In Russ.)]

16. Бойко К.В. Структурные и температурные изменения операционной раны при микроаксиальной факоэмульсификации катаракт различной степени плотности и их влияние на оптические свойства роговицы. Дис. ... канд. мед. наук. СПб; 2013. [Boyko KV. Structural and temperature changes in the surgical wound during microaxial phacoemulsification of cataracts of varying degrees of density and their effect on the optical properties of the cornea. [Dissertation]. St. Petersburg; 2013. (In Russ.)]

17. Окунева М.В., Терещенко А.В., Гречанинов В. Б., Сидорова Ю.А. Фемто- и YAG-лазерные техники факофрагментации в хирургии катаракты. Современные технологии в офтальмологии. 2016;5(13): 67–69. [Okuneva MV, Tereshchenko AV, Grechaninov VB, Sidorova YuA. Femto-and

YAG-laser techniques of phacofragmentation in cataract surgery. Modern technologies in ophthalmology. 2016;5(13): 67–69. (In Russ.)]

18. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Окунева М.В., Орлова Н.А., Власов М.В. Комбинированная методика ИАГ-и фемтолазерного воздействия на ядра хрусталиков в хирургическом лечении катаракты. Практическая медицина. 2018;6: 117–121. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Okuneva MV, Orlova NA, Vlasov MV. Combined technique of YAG and femtolasers exposure to lens nuclei in the surgical treatment of cataracts. Practical medicine. 2018;6: 117–121. (In Russ.)]

Информация об авторах

Александр Владимирович Терещенко, д.м.н., директор Калужского филиала ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова», klg@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Ирина Георгиевна Трифаненкова, д.м.н., зам. директора по научной работе, nauka@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Юлия Александровна Сидорова, к.м.н., заведующая отделением лазерной хирургии донной патологии глаза, nauka@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0001-8396-4013>

Вадим Владимирович Шаулов, врач-офтальмолог, vadim_sh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0369-6337>

Александр Михайлович Иванов, к.м.н., зам. директора по лечебной работе, ivanov-mntk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2616-8114>

Марина Владимировна Окунева, к.м.н., зав. отделением хирургии катаракты, marina-eye@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3170-9285>

Наталья Андреевна Иванова, врач-офтальмолог, fung@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0099-1644>

Information about the authors

Alexandr V. Tereshchenko, Doctor of Sciences in Medicine, Director of Kaluga branch, klg@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Irina G. Trifanenkova, Doctor of Sciences in Medicine, Deputy Director of Scientific Work, itrifanenkova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Yuliya A. Sidorova, PhD in Medicine, Head of the Department of Laser Surgery, nauka@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0001-8396-4013>

Vadim V. Shaulov, Ophthalmologist, vadim_sh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0369-6337>

Alexandr M. Ivanov, PhD in Medicine, Deputy Director for Medical Work, ivanov-mntk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2616-8114>

Marina V. Okuneva, PhD in Medicine, Head of the Department of Cataract Surgery, marina-eye@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3170-9285>

Natal'ya A. Ivanova, Ophthalmologist, fung@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0099-1644>

Вклад авторов в работу:

А.В. Терещенко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

И.Г. Трифаненкова: редактирование.

Ю.А. Сидорова: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

В.В. Шаулов: сбор, анализ и обработка материала.

А.М. Иванов: сбор, анализ и обработка материала.

М.В. Окунева: сбор, анализ и обработка материала.

Н.А. Иванова: сбор, анализ и обработка материала.

Authors' contribution:

A.V. Tereshchenko: significant contribution to the concept and design of the work, final approval of the version to be published.

I.G. Trifanenkova: editing.

Yu.A. Sidorova: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

V.V. Shaulov: collection, analysis and processing of material.

A.M. Ivanov: collection, analysis and processing of material.

M.V. Okuneva: collection, analysis and processing of material.

N.A. Ivanova: collection, analysis and processing of material.

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

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

Конфликт интересов: Отсутствует.

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

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

Conflict of interest: There is no conflict of interest

Поступила: 24.11.2023

Переработана: 12.01.2024

Принята к печати: 22.01.2024

Originally received: 24.11.2023

Final revision: 12.01.2024

Accepted: 22.01.2024