

Сравнительная оценка качества фемтолазерного сопровождения хирургии перезрелой катаракты при ее различных типах по данным интраоперационной оптической когерентной томографии

И.Г. Трифаненкова^{1,2}✉, А.В. Терещенко^{1,2}, А.Р. Булатов¹, М.В. Окунева¹

¹ Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Калужский филиал, Калуга, Россия

² Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, Калуга, Россия

Аннотация. В исследование вошли 196 пациентов (250 глаз) с перезрелой катарактой. Пациенты были разделены на 2 группы (по 125 глаз в каждой группе). Всем пациентам интраоперационно с помощью интегрированной в операционный микроскоп интраоперационной оптической когерентной томографии (И-ОКТ), Hi-R NEO (HAAG STREIT, Германия), определяли тип перезрелой катаракты. В первой группе проводили фемтосопровождение хирургии катаракты по разработанному алгоритму с оптимизированными параметрами фемтолазерного воздействия в зависимости от типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ, во второй – фемтосопровождение по стандартной методике. При использовании разработанного алгоритма с оптимизированными параметрами фемтолазерного воздействия по сравнению с фемтосопровождением, выполняемым по стандартной методике, частота получения неполной фемтокапсулотомии при 2-м (2,5 % vs 17,4 % соответственно) и 3-м (4,9 % vs 21,6 % соответственно) типах перезрелой катаракты по данным И-ОКТ, а также частота убегания капсулорексиса при 3-м типе (2,4 % vs 16,2 % соответственно) были статистически достоверно меньше в первой группе пациентов. Разработанный алгоритм с оптимизированными параметрами фемтолазерного воздействия на этапе переднего капсулорексиса с учетом типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ обеспечивает высокое качество данного этапа хирургии и расширяет возможности практического применения фемтолазерного сопровождения хирургии катаракты в осложненных случаях.

Ключевые слова: перезрелая катаракта, фемтолазерный капсулорексис, интраоперационная оптическая когерентная томография

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2024-21-1-72-77>

Comparative evaluation of the quality of femtolaser support for surgery of overmature cataracts for its various types according to intraoperative optical coherence tomography data

I.G. Trifanenkova^{1,2}✉, A.V. Tereshchenko^{1,2}, A.R. Bulatov¹, M.V. Okuneva¹

¹ Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, Kaluga Branch, Kaluga, Russia

² Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky, Kaluga, Russia

Abstract. The study included 196 patients (250 eyes) with overmature cataracts. The patients were divided into 2 groups (125 eyes in each group). In all patients, the type of overmature cataract was determined intraoperatively using I-OCT integrated into the operating microscope [Hi-R NEO (HAAG STREIT, Germany)]. In the first group, femto-support for cataract surgery was performed according to a developed algorithm with optimized parameters of femtolaser exposure depending on the type of overmature cataract according to I-OCT data, in the second group, femto-support was performed using a standard method. When using the developed algorithm with optimized parameters of femtolaser exposure in comparison with femtoassistance, performed according to the standard method, the frequency of incomplete femtocapsulotomy at 2 (2.5 % vs 17.4 %, respectively) and 3 (4.9 % vs 21.6 %, respectively) types of overmature cataract according to I-OCT data, as well as the frequency of capsulorhexis escape in type 3 (2.4 % vs 16.2 %, respectively) were statistically significantly lower in the first group of patients. The developed algorithm with optimized parameters of femtolaser exposure at the stage of anterior capsulorhexis, taking into account the type of overripe cataract according to intraoperative OCT data, ensures high quality of this stage of surgery and expands the possibilities of practical application of femtolaser support for cataract surgery in complicated cases.

Keywords: overmature cataract, femtolaser capsulorhexis, intraoperative optical coherence tomography

Хирургическое лечение перезрелой катаракты является сложной задачей для хирурга, сопряжено с высокими рисками интраоперационных ос-

ложнений, которые зачастую происходят на этапе переднего капсулорексиса, таких как синдром «аргентинского флага», радиализация капсулорексиса

с возможным переходом на заднюю капсулу [1]. Это связано с тем, что при перезрелой катаракте лизируются хрусталиковые волокна с тотальным помутнением хрусталика, нередко с явлением набухания, что приводит к отсутствию рефлекса с глазного дна и выходу лизированных масс в переднюю камеру при выполнении капсулорексиса. При этом значительно снижается визуализация и контроль проведения данного этапа операции.

Были предложены различные методы для профилактики вышеуказанных осложнений, в их числе – окрашивание трипановым синим передней капсулы, использование вискоэластических препаратов [2]. В исследовании Ifantides С. (2023) был предложен метод использования автоматизированной прецизионной импульсной капсулотомии (Zepto-капсулорексис) при перезрелых катарактах, однако выборка была малочисленной [3].

С появлением фемтолазерной технологии в офтальмохирургии появилась возможность ее применения в осложненных случаях, в том числе и при перезрелой катаракте. Отмечено, что проведение фемтокапсулотомии при перезрелой катаракте имеет высокую безопасность с формированием переднего капсулорексиса с точными расположением и диаметром [4].

По данным литературы, частота имеющихся осложнений в ходе фемтоассистированного хирургического лечения перезрелых катаракт составляет 0–28 %, что ниже в сравнении с мануальной техникой (3,85–28,3 %) [2, 5, 6]. Однако по данным метаанализа, проведенного Carolin M. и соавт. [7], осложнения при проведении переднего капсулорексиса при фемтоассистированной хирургии перезрелых катаракт составили 0,97 % из 8022 случаев, тогда как при мануальной технике – 0,20 % из 7951 случая.

В результате анализа осложнений, с которыми встречались хирурги на этапе переднего фемтокапсулорексиса перезрелой катаракты, было выявлено, что в основном они связаны с неполным прорезыванием передней капсулы хрусталика и наличием тканевых перепонок. С внедрением в офтальмологическую практику интраоперационной оптической когерентной томографии (И-ОКТ) появилась возможность классифицировать перезрелую катаракту с учетом оценки продольных срезов И-ОКТ.

По данным Jeewan S. и соавт., с помощью И-ОКТ были классифицированы 4 типа перезрелых катаракт, которые возможно дифференцировать по морфологическим признакам [8]. На основе данной классификации нами был разработан метод проведения фемтокапсулорексиса при перезрелых катарактах в зависимости от типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ с оптимизированными параметрами [9].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценить эффективность разработанной оптимизированной технологии фемтокапсулорексиса в сравнении со стандартной фемтокапсулотомией при различных типах перезрелой катаракты по данным И-ОКТ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование вошли 196 пациентов (250 глаз) с перезрелой катарактой. Пациенты были разделены на 2 группы (по 125 глаз в каждой группе). Всем пациентам интраоперационно с помощью интегрированной в операционный микроскоп И-ОКТ, Hi-R NEO (HAAG STREIT, Германия), определяли тип перезрелой катаракты (рис. 1–4).

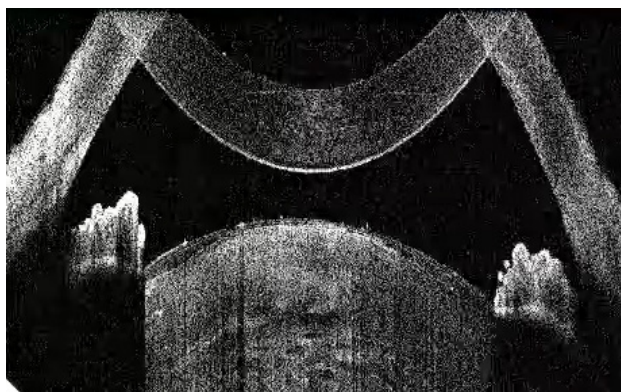


Рис. 1. Тип 1 перезрелой катаракты: равномерно расположенные кортикальные волокна, минимальные внутрихрусталиковые щели, отсутствие оводнения кортикальных масс



Рис. 2. Тип 2 перезрелой катаракты: непрерывные гиперрефлективные полосы кортикальных волокон, множественные внутрихрусталиковые щели, оводнение хрусталика

В первой группе проводили фемтосопровождение хирургии катаракты по разработанному алгоритму с оптимизированными параметрами фемтолазерного воздействия в зависимости от типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ, во второй – фемтосопровождение по стандартной методике.

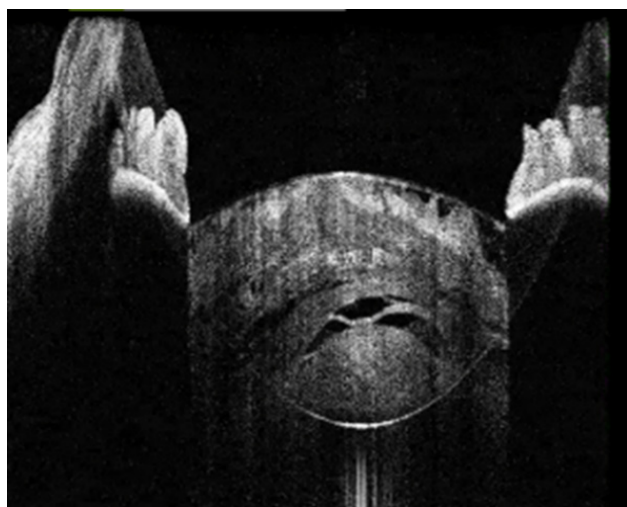


Рис. 3. Тип 3 перезрелой катаракты: выпуклая передняя капсула хрусталика, гиперрефлективные полосы набухших кортикальных волокон, внутривитреальные щели, области однородного вида «матового стекла»

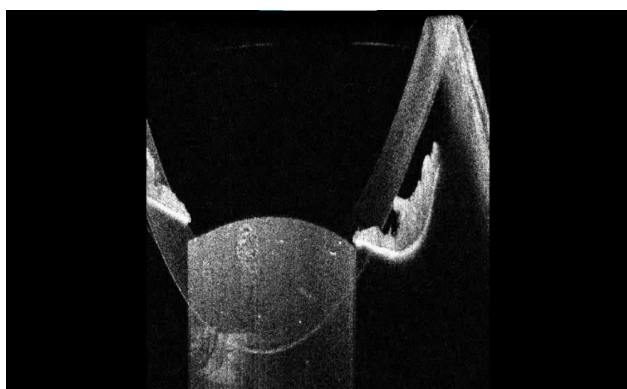


Рис. 4. Тип 4 перезрелой катаракты: гомогенные передние кортикальные слои хрусталика вида «матового стекла»

Распределение в группах пациентов по типам перезрелой катаракты представлено в табл. 1. Параметры

фемтосекундного лазера в первой группе в зависимости от типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ представлены в табл. 2.

Фемтокапсулорексис выполняли на установке FEMTO LDV Z8 (Ziemer, Швейцария), фактоэмульсификацию проводили по методике Phaco chop на аппарате Centurion VisionSystem (ALCON, США).

При определении 1-го типа перезрелой катаракты, по данным И-ОКТ, выполняли фемтолазерный этап с мощностью 55 %, скоростью фемтолазерного импульса 35 мм/с и высотой реза 600 микрон. Оценивали качество фемтокапсулорексиса с помощью И-ОКТ, после чего выполняли роговичные разрезы, окрашивали переднюю капсулу трипановым синим, вводили вискоэластик в переднюю камеру и удаляли высеченный диск передней капсулы.

При определении 2, 3, 4-го типов перезрелой катаракты предварительно выполняли роговичные разрезы, окрашивание передней капсулы хрусталика трипановым синим, введение вискоэластика в переднюю камеру. После чего выполняли фемтолазерный этап с мощностью 60 %, скоростью фемтолазерного импульса 35 мм/с и высотой реза 800 микрон. Далее с помощью И-ОКТ оценивали качество фемторексиса, определяли флотирующий край высеченного диска передней капсулы, с которого начинали удаление листка передней капсулы с помощью кангового пинцета Utrata.

Таблица 1

Распределение пациентов в группах по типам перезрелой катаракты

Тип перезрелой катаракты	1-я группа	2-я группа
1	27	28
2	40	46
3	41	37
4	17	14

Таблица 2

Параметры фемтолазера в зависимости от типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ

Тип катаракты	Скорость движения фемтолазера, мм/с	Мощность, %	Высота реза, мкм	Предварительное введение вискоэластика в ПК
1	35	55	600	—
2	35	60	800	+
3	35	60	800	+
4	35	60	600	+

Во второй группе после проведения И-ОКТ и определения типа перезрелой катаракты производили фемторексис с параметрами, рекомендованными фирмой-производителем фемтолазерной установки:

с мощностью 80 %, скоростью фемтолазерного импульса 50 мм/с и высотой реза 600 микрон, после чего выполняли роговичные разрезы, окрашивали переднюю капсулу хрусталика трипановым синим, вводили

вискоэластик в переднюю камеру и удаляли высеченный диск передней капсулы.

Качество выполненного фемтокапсулорексиса оценивали по следующим критериям: наличие тканевых перемычек, неполная капсулотомия (не прорезанный участок протяженностью более 1 часа), убегание капсулотомии от заданной траектории с завершением непрерывного капсулорексиса, радиализация края капсулорексиса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки качества фемтокапсулорексиса представлены в табл. 3.

Была проведена статистическая обработка полученных результатов с использованием критерия χ^2 (табл. 4). Проведенный статистический анализ показал, что при использовании разработанного алгоритма с оптимизированными параметрами фемтолазерного воздействия (первая группа) по сравнению с фемтосопровождением, выполняемого по стандартной методике (вторая группа), частота получения неполной фемтокапсулотомии при 2-м (2,5 % vs 17,4 % соответственно) и 3-м (4,9 % vs 21,6 % соответственно) типах перезрелой катаракты по данным И-ОКТ, а также частота убегания капсулорексиса при 3-м типе (2,4 % vs 16,2 % соответственно) были статистически достоверно меньше в первой группе пациентов.

Таблица 3

Результаты оценки качества фемтокапсулорексиса, абс. (%)

Показатели	1-я группа (125 глаз) фемтокапсулорексис по разработанному алгоритму				2-я группа (125 глаз) фемтокапсулорексис по стандартному методу			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Тип катаракты								
Количество пациентов	27	40	41	17	28	46	37	14
Пациенты с наличием перемычек	5 (18,52)	11 (27,5)	17 (41,46)	8 (47,06)	8 (28,57)	16 (34,78)	23 (62,16)	7 (50)
Пациенты с неполной капсулотомией	0 (0)	1 (2,5)	2 (4,88)	5 (29,41)	1 (3,57)	8 (17,39)	8 (21,62)	5 (35,71)
Пациенты с убеганием капсулорексиса	0 (0)	2 (5)	1 (2,44)	2 (11,76)	0 (0)	4 (8,70)	6 (16,22)	4 (28,57)
Пациенты с радиализацией переднего капсулорексиса	0 (0)	0 (0)	1 (2,44)	0 (0)	0 (0)	1 (2,17)	2 (5,41)	1 (7,14)

Таблица 4

Сравнение по осложнениям 1-й и 2-й групп с помощью критерия χ^2

Сравнения по осложнениям 1-й и 2-й групп	χ^{2*}
Наличие перемычек. Тип 1. Группа 1 и 2	0,769618
Наличие перемычек. Тип 2. Группа 1 и 2	0,526835
Наличие перемычек. Тип 3. Группа 1 и 2	3,33522
Наличие перемычек. Тип 4. Группа 1 и 2	0,026593
Неполная капсулотомия. Тип 1. Группа 1 и 2	0,982143
Неполная капсулотомия. Тип 2. Группа 1 и 2	5,06347
Неполная капсулотомия. Тип 3. Группа 1 и 2	4,87829
Неполная капсулотомия. Тип 4. Группа 1 и 2	0,139556
Убегание капсулорексиса. Тип 1. Группа 1 и 2	—
Убегание капсулорексиса. Тип 2. Группа 1 и 2	0,450254
Убегание капсулорексиса. Тип 3. Группа 1 и 2	4,51903
Убегание капсулорексиса. Тип 4. Группа 1 и 2	1,38936
Радиализация переднего капсулорексиса. Тип 1. Группы 1 и 2	—
Радиализация переднего капсулорексиса. Тип 2. Группы 1 и 2	0,879795
Радиализация переднего капсулорексиса. Тип 3. Группы 1 и 2	0,462755
Радиализация переднего капсулорексиса. Тип 4. Группы 1 и 2	1,25476

* $\chi^2 = 3,84$ – критическое значение для 5%-го уровня значимости. Если $\chi^2 > 3,84$ то имеется статистически достоверное различие между изучаемыми факторами.

Интраоперационные осложнения в ходе хирургии перезрелой катаракты на этапе проведения капсулорексиса в основном связаны с высокими рисками неконтролируемого разрыва передней капсулы и ее радиализации, с вероятностью перехода на заднюю капсулу.

Сложности выполнения капсулорексиса обусловлены отсутствием рефлекса с глазного дна и повышенным внутрихрусталиковым давлением вследствие оводнения хрусталиковых масс, ведущего к натяжению капсулы хрусталика.

По данным литературы, частота осложнений в ходе мануальной техники выполнения капсулорексиса при перезрелых катарактах составляет 3,85–28,3 % [2, 5, 6]. В этих исследованиях зачастую фиксировали только такие осложнения, как радиализация капсулорексиса и синдром «аргентинского флага».

Установлено, что фемтоассистированная хирургия перезрелых катаракт является более безопасной по сравнению с мануальной техникой [4]. Выполнение фемтокапсулорексиса при перезрелых катарактах имеет ряд преимуществ над мануальным капсулорексисом, а именно: точно заданный диаметр, правильное расположение, снижение риска радиализации. Частота имеющихся осложнений в ходе фемтолазерассистированного хирургического лечения перезрелых катаракт, по данным литературы, составляет 0–28 % [2, 6]. При этом большее количество осложнений наблюдалось при явлениях набухания хрусталика и при Морганиевой катаракте.

С учетом этого в нашем исследовании при явлениях набухания и при Морганиевой катаракте мы проводили стабилизацию передней капсулы хрусталика, учитывая, что одним из важных факторов для достижения успешного фемтокапсулорексиса является выравнивание градиента давления внутри хрусталика и давления в передней камере. Переднюю камеру заполняли вискоэластиком, что снижало натяжение передней капсулы хрусталика. Это необходимо для профилактики выхода лизированных масс в переднюю камеру и изменения пространственного положения передней капсулы хрусталика.

При этом для минимизации времени целенаправленного повышенного внутриглазного давления и вероятного смещения листков передней капсулы с вышедшими лизированными кортикальными волокнами в результате перемещения пациента мы использовали мобильную фемтолазерную установку Femto LDV Z8. Это позволило провести предварительные манипуляции, фемтолазерный этап и основной этап факоэмульсификации катаракты без перемещения пациента.

Для получения качественного фемтолазерного реза при планировании этапа фемтокапсулорексиса корректировались энергетические параметры. Индивидуальный подход обусловлен необходи-

мостью дозированного энергетического воздействия, так при превышении энергетических параметров образуется избыточное количество парогазовых пузырьков, которые изменяют оптические свойства сред, что ведет к снижению эффективности фемтолазерного воздействия. При низких энергетических параметрах возникают перемины или выполняется неполный рез.

В проведенном Latz С. (2021) исследовании было доказано улучшение качества фемтореза при уменьшении дистанции между импульсами с меньшей энергией каждого импульса [10]. Аналогично были оптимизированы параметры фемтолазера с более плотной упаковкой лазерных импульсов и с уменьшением мощности фемтолазера. Это было достигнуто за счет снижения скорости движения головы фемтолазера Femto LDV Z8 с постоянной частотой (1 МГц) подачи лазерных импульсов, что позволило добиться более качественного фемтокапсулорексиса [9].

Использование И-ОКТ перед проведением фемтолазерного этапа позволяет определить тип перезрелой катаракты и скорректировать параметры фемтолазерного воздействия с учетом структурных изменений хрусталика, его капсулы и кортикальных волокон, влияющих на качество фемтолазерного этапа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показали безопасность и высокую эффективность разработанной оптимизированной технологии проведения фемтокапсулорексиса с учетом типа перезрелой катаракты по данным И-ОКТ и более качественное ее выполнение в сравнении со стандартным проведением фемтокапсулорексиса.

При использовании оптимизированного метода проведения фемтокапсулорексиса частота развития неполной капсулотомии при 2-м и 3-м типах и убегаания капсулорексиса при 3-м типе перезрелой катаракты была статистически достоверно меньше по сравнению со стандартным методом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Chee S.P., Chan N.S.W., Yang Y., Ti S.E. Femtosecond laser-assisted cataract surgery for the white cataract. *British Journal of Ophthalmology*. 2019;103(4):544–550. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-312289.
2. Chen Z., Wu Y., Sun Y. et al. Adjusted femtosecond laser capsulotomy distance in white cataracts to decrease incomplete capsulotomy: a randomized comparative cohort study. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2022;260(8):2591–2595. doi: 10.1007/s00417-022-05630-9.
3. Ifantides C., Sretavan D. Automated precision pulse capsulotomy vs manual capsulorhexis in white cataracts: reduction in procedural time and resource utilization. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2023;49(4):392–399. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001109.

4. Анисимова Н.С., Малюгин Б.Э., Соболев Н.П. Фемтолазерное сопровождение в хирургии набухающей катаракты. *Современные технологии в офтальмологии*. 2016;5:11–13. URL: <https://eyepress.ru/article/femtolazer-noe-soprovozhdenie-v-khirurgii-nabukhayushchey-katarakty>.

5. Zhu Y., Chen X., Chen P. et al. Lens capsule-related complications of femtosecond laser-assisted capsulotomy versus manual capsulorhexis for white cataracts. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2019;45(3):337–342. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.10.037.

6. Larco P., Larco C., Borroni D. et al. Efficacy of femtosecond laser for anterior capsulotomy in complex white cataracts. *Journal Francais d'Ophthalmologie*. 2023;46(5):501–509. doi: 10.1016/j.jfo.2022.10.010.

7. Kolb C.M., Shajari M., Mathys L. et al. Comparison of femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional cataract surgery: a meta-analysis and systematic review. *Journal*

of Cataract & Refractive Surgery. 2020;46(8):1075–1085. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000228.

8. Titiyal J.S., Kaur M., Shaikh F. et al. Real-time intraoperative dynamics of white cataract-intraoperative optical coherence tomography-guided classification and management. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2020;46(4):598–605. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000086.

9. Tereshchenko A.V., Trifanenkova I.G., Okuneva M.V., Bulatov A.R. Optimization of energy parameters of femtosecond laser for anterior capsulotomy in surgery for swelling overmature cataracts. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of Volgograd State Medical University*. 2022;19(4):57–62. (In Russ.) doi: 10.19163/1994-9480-2022-19-4-57-62.

10. Latz C., Asshauer T., Rathjen C., Mirshahi A. Femtosecond-Laser Assisted Surgery of the Eye: Overview and Impact of the Low-Energy Concept. *Micromachines (Basel)*. 2021; 12(2):122. doi: 10.3390/mi12020122.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информация об авторах

Ирина Георгиевна Трифаненкова – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Калужский филиал, Калуга, Россия; nauka@mntk.kaluga.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Александр Владимирович Терещенко – доктор медицинских наук, директор, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Калужский филиал, Калуга, Россия; mail@eye-kaluga.com, <http://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Амир Равильевич Булатов – врач-офтальмолог отделения хирургии катаракты, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Калужский филиал, Калуга, Россия

Марина Владимировна Окунева – кандидат медицинских наук, заведующая отделением хирургии катаракты, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Калужский филиал, Калуга, Россия; nauka@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0003-3170-9285>

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 01.02.2024; принята к публикации 15.02.2024.

Competing interests. The authors declare no conflicts of interests.

Information about the authors

Irina G. Trifanenkova – MD, Deputy Director for Scientific Work, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, Kaluga Branch, Kaluga, Russia; nauka@mntk.kaluga.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Alexander V. Tereshchenko – MD, Director, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, Kaluga Branch, Kaluga, Russia; mail@eye-kaluga.com, <http://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Amir R. Bulatov – Ophthalmologist at the Department of Cataract Surgery, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, Kaluga Branch, Kaluga, Russia

Marina V. Okuneva – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Cataract Surgery, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Kaluga Branch, Kaluga, Russia; nauka@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0003-3170-9285>

The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 01.02.2024; accepted for publication 15.02.2024.