

---

ISSN 0235-4160 (print)  
ISSN 2312-4970 (online)

---

# **ОФТАЛЬМОХИРУРГИЯ**

## **FYODOROV JOURNAL OF OPHTHALMIC SURGERY**

---

Выходит с 1989 года

**№ 4'2023**

**Теоретический  
и научно-практический журнал**

[www.ophthalmosurgery.ru](http://www.ophthalmosurgery.ru)



## «ОФТАЛЬМОХИРУРГИЯ»

Теоретический и научно-практический журнал  
№ 4, 2023 год  
Выходит с 1989 года  
Зарегистрирован Комитетом Российской Федерации  
по печати 9 октября 1990 г. (№ 187)

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Чл.-корр. РАН, профессор Малиюгин Б.Э. (Москва)

### ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Профессор Бикбов М.М. (Уфа, Россия)  
Профессор Черных В.В. (Новосибирск)

### ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Профессор Ходжаев Н.С. (Москва)

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Генеральный директор ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»  
им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России,  
кандидат медицинских наук Арсютов Д.Г. (Москва, Россия)  
Академик Аветисов С.Э. (Москва, Россия)  
Доктор медицины Альдаве Э. (Лос-Анджелес, США)  
Доктор медицины Аршинофф С. (Торонто, Канада)  
Профессор Бойко Э.В. (Санкт-Петербург, Россия)  
Профессор Дога А.В. (Москва, Россия)  
Профессор Имшенецкая Т.А. (Минск, Белоруссия)  
Доктор медицины Князер Б. (Беэр-Шева, Израиль)  
Профессор Куликов А.Н. (Санкт-Петербург, Россия)  
Доктор медицинских наук Майчук Д.Ю. (Москва, Россия)  
Академик Мошетева Л.К. (Москва, Россия)  
Академик Нероев В.В. (Москва, Россия)  
Доктор медицины Ошер Р. (Цинцинати, США)  
Профессор Палликарис И. (Ираклион, Греция)  
Профессор Паштаев Н.П. (Чебоксары, Россия)  
Профессор Соломатин И. (Рига, Латвия)  
Доктор медицины Файн Г. (Нью-Джерси, США)  
Доктор медицинских наук Фролов М.А. (Москва, Россия)  
Профессор Шелудченко В.М. (Москва, Россия)  
Профессор Шпак А.А. (Москва, Россия)  
Профессор Щуко А.Г. (Иркутск, Россия)

### РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией – к.п.н. Политова Е.А.  
Научный редактор – к.м.н. Климова Т.Л.  
Выпускающий редактор – Зерцалова М.А.  
Корректор – Федоровская Г.И.  
Дизайн и верстка – Маринин Е.В., Ковалева М.В.

### Адрес редакции:

Россия, 127486, Москва, Бескудниковский б-р, 59а,  
ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»  
им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России  
[www.mntk.ru](http://www.mntk.ru)  
Тел.: (499) 488-8427. Факс: (499) 488-8409  
E-mail: [redakzia@mntk.ru](mailto:redakzia@mntk.ru)  
<https://www.ophtalmosurgery.ru/>  
© «Офтальмохирургия», 2023

## FYODOROV JOURNAL OF OPHTHALMIC SURGERY (OFTAL'MOHIRURGIYA)

Theoretical and research journal  
No. 4, 2023  
The journal is published since 1989  
Registered by the Committee of the Russian Federation of Press,  
October 9, 1990 (No. 187)

### EDITOR-IN-CHIEF

Malyugin B.E., Corr. Member of RAS, PhD, MD, Professor (Moscow, Russia)

### EXECUTIVE EDITORS

Bikbov M.M., PhD, MD, Professor (Ufa, Russia)  
Chernykh V.V., PhD, MD, Professor (Novosibirsk, Russia)

### EDITORIAL ASSISTANT

Khodzhaev N.S., PhD, MD, Professor (Moscow, Russia)

### EDITORIAL BOARD

Dmitry G. Arsyutov, General Director of the S. Fyodorov Eye Microsurgery  
Federal State Institution, PhD in Medicine, Honored Physician  
of the Russian Federation (Moscow, Russia)  
Avetisov S.E., PhD, MD, Academician of RAS, Professor (Moscow, Russia)  
Aldave A., MD (Los Angeles, USA)  
Arshinoff S., MD (Toronto, Canada)  
Boiko E.V., PhD, MD, Professor (St.-Petersburg, Russia)  
Doga A.V., PhD, MD, Professor (Moscow, Russia)  
Imshenetskaya T.A., PhD, MD, Professor (Minsk, Belarus)  
Knyazer B., MD (Beer-Sheva, Israel)  
Kulikov A.N., PhD, MD, Professor (St.-Petersburg, Russia)  
Maychuk D.Yu., MD (Moscow, Russia)  
Moshetova L.K., PhD, MD, Academician, Professor (Moscow, Russia)  
Neroev V.V., PhD, MD, Academician (Moscow, Russia)  
Osher R., MD (Cincinnati, USA)  
Pallikaris I., PhD, MD, Professor (Heraklion, Greece)  
Pashtaev N.P., PhD, MD, Professor (Cheboksary, Russia)  
Solomatin I., PhD, MD, Professor (Riga, Latvia)  
Fine G., MD (New Jersey, USA)  
Frolov M.A., MD (Moscow, Russia)  
Sheludchenko V.M., PhD, MD, Professor (Moscow, Russia)  
Shpak A.A., PhD, MD, Professor (Moscow, Russia)  
Shchuko A.G., PhD, MD, Professor (Irkutsk, Russia)

### EDITORIAL STAFF

Politova E.A. – Editorial Director  
Klimova T.L. – Senior Journal Editor  
Zertsalova M.A. – Coordinating Editor  
Fedorovskaya G.I. – Corrector  
Marinin E.V., Kovaleva M.V. – Design and make-up

### Editorial Office Address:

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution,  
Beskudnikovsky bld. 59a,  
Moscow, Russia 127486  
[www.mntk.ru](http://www.mntk.ru)  
Tel.: (499) 488-8427. Fax: (499) 488-8409  
E-mail: [redakzia@mntk.ru](mailto:redakzia@mntk.ru)  
<https://www.ophtalmosurgery.ru/>  
© «Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery», 2023

DOI: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2023-4>

Журнал входит в Перечень периодических изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 3.1.5 – Офтальмология (медицинские науки, клиническая офтальмология – по новой номенклатуре специальностей ВАК 2021 г.).

Журнал представлен в следующих международных индексах научного цитирования:  
Scopus, РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), RSCI (Russian Science Citation Index) Web of Science.

Подписной индекс по каталогу агентства «Урал-Пресс» – 70689.

Стоимость подписки на полугодие – 1900 рублей.

Тираж 1000 экземпляров

Номер подписан в печать 27.12.2023.

Журнал подготовлен ООО «Издательство «Офтальмология»

Адрес издательства:

Россия, 127486, Москва, Бескудниковский б-р, 59а  
<https://iol.su/>



18+

Отпечатано:

Типография «Роликс»

117105, г. Москва, Нагорный пр., д. 7 стр. 5

Номер заказа № 133944

Дата выхода тиража: 27.12.2023 г.



## Уважаемые коллеги, друзья!

Вот и подходит к концу 2023 год – год, в котором было официально объявлено об окончании пандемии COVID-19. Год, в котором мы вернулись к прежним форматам общения «лицом к лицу», когда прошли многочисленные российские и международные конгрессы и конференции в очном режиме. В наступающем 2024 году важнейшим событием для офтальмологов страны станет Съезд офтальмологов России. На съезде будут подведены итоги пятилетней работы офтальмологической службы страны и определены перспективы ее дальнейшего развития и совершенствования.

Вся практическая, творческая и научная деятельность офтальмологов направлена на профилактику и лечение заболеваний на ранней их стадии и сохранение зрения пациентов. Для решения этих проблем

необходимы взаимопомощь, обмен идеями и научными достижениями. Именно этому способствует издание журнала «Офтальмохирургия», обеспечивающего тесное взаимодействие ученых и практикующих офтальмологов.

Я надеюсь, что специалисты и в этот раз с вниманием встретят очередной номер журнала «Офтальмохирургия». В нем представлены статьи, освещающие актуальные аспекты хирургии катаракты, патологии сетчатки, травм глаза, а также лечения воспалительных заболеваний глаз и детской офтальмопатологии. Отдельные работы посвящены экспериментальным исследованиям в офтальмологии, в частности, результатам трансплантации суспензии эндотелиальных клеток в эксперименте. В обзорной статье рассмотрены современные аспекты эссенциальной младенческой эзотропии.

Дорогие коллеги, поздравляю вас с наступающим 2024 годом! Желаю всем крепкого здоровья, успешной творческой работы, энергии и оптимизма, плодотворной реализации новых идей, личного счастья и благополучия!

С уважением,

*М.М. Бикбов,  
заместитель главного редактора  
журнала «Офтальмохирургия»,  
директор Уфимского НИИ глазных болезней  
ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,  
доктор медицинских наук, профессор*

**Хирургия катаракты и имплантация ИОЛ***А.Д. Чупров, В.Л. Ким, С.Н. Летута, Д.А. Раздобреев*

Физико-химический анализ гидрофильных интраокулярных линз, эксплантированных в связи с помутнением материала 6

*Н.П. Соболев, А.Н. Бессарабов, М.А. Соболева, А.Ю. Корниенко*

Расчет поправки к силе оптической части иридохрусталиковой диафрагмы при ее различных вариантах фиксации 12

*И.С. Ребриков, Е.В. Егорова, А.С. Ребрикова, А.В. Лизунов, Е.М. Титаренко*

Оценка факторов риска развития интраоперационного синдрома девиации инфузионных потоков с учетом анатомо-топографических особенностей переднего отрезка 19

*О.В. Шиловских, Д.И. Иванов, Е.М. Титаренко, А.Н. Ульянов*

Современные подходы к хирургии катаракт с высокой остротой зрения на основании анализа волнового фронта 29

*К.Г. Хлиян, И.Р. Омариева, С.Ю. Копеев*

Новые отечественные интраокулярные линзы. Устойчивость к процессам биодеградации в сравнении с зарубежными аналогами 36

**Рефракционная хирургия***Э.В. Бойко, А.И. Шилов, К.К. Шефер, И.В. Хижняк*

Рефракционная замена хрусталика при рефракционной амблиопии: «лечение» или диагностика? 45

**Глаукома***И.В. Ширяев, С.В. Сосновский, М.М. Правосудова, И.Е. Панова*

Микроимпульсная циклофотокоагуляция в комбинированном лечении неоваскулярной глаукомы 54

**Детская офтальмология***Е.Ю. Маркова, Е.В. Кечин, Г.В. Авакянци, Н.С. Тарасова, А.С. Рязанов*

Прогнозирование клиничко-морфофункциональных результатов кросслинкинга роговичного коллагена у детей 62

**Травмы глаза***Н.В. Мащенко, А.Ю. Худяков, О.В. Коленко, Е.Л. Сорокин*

Наш опыт эндовитреального удаления внутриглазных инородных тел при выполнении хирургии тяжелых проникающих ранений глаз 68

**Патология сетчатки, сосудистой оболочки и зрительного нерва***Т.А. Докторова, А.А. Суетов, Э.В. Бойко*

Влияние исходных структурных нарушений и послеоперационного изменения перфузии на функциональное восстановление сетчатки после хирургического лечения сквозных макулярных разрывов 76

**Экспериментальные исследования в офтальмологии***Б.Э. Малюгин, С.А. Борзенко, О.П. Антонова, Д.С. Островский, З.Р. Эбзеева*

Трансплантация суспензии эндотелиальных клеток в эксперименте ex vivo 86

**Воспалительные заболевания глаза***М.И. Шляхтов, К.Г. Наумов, М.Г. Катаев*

Комбинированная техника эндоскопической дакриоцисториностомии. Первый опыт 94

*А.А. Тарханова, Д.Ю. Майчук, Е.Е. Зинич, М.Р. Таевер*

Бетагерпетические кератиты. Обоснование диагноза и тактики ведения пациентов 99

**Обзор***Д.Р. Мамулат, И.Л. Плисов, Н.Г. Анциферова, М.А. Шарохин, К.А. Белоусова,**Г.В. Гладышева, В.Б. Пуцица*

Эссенциальная младенческая эзотропия 108

### Cataract surgery and IOL implantation

*A.D. Chuprov, V.L. Kim, S.N. Letuta, D.A. Razdobreev*

Physico-chemical analysis of hydrophilic intraocular lenses explanted due to material clouding 6

*N.P. Sobolev, A.N. Bessarabov, M.A. Soboleva, A.Yu. Kornienko*

Corrections to the optical part of artificial iridolenticular diaphragm, depending on its fixation options 12

*I.S. Rebrikov, E.V. Egorova, A.S. Rebrikova, A.V. Lizunov, E.M. Titarenko*

Assessment of intraoperative fluid misdirection syndrome risk factors according to anatomical and topographical features of anterior segment 19

*O.V. Sbilovskikh, E.M. Titarenko, D.I. Ivanov, A.N. Ulyanov*

Modern approaches to cataract surgery with high visual acuity based on wavefront analysis 29

*K.G. Kbliyan, I.R. Omarieva, S.Yu. Kopaev*

New domestic intraocular lenses. Resistance to biodegradation processes in comparison with foreign analogues 36

### Refractive surgery

*E.V. Boiko, A.I. Sbilov, K.K. Shefer, I.V. Kbizbnyak*

Refractive lens replacement for refractive amblyopia: «treatment» or diagnostics? 45

### Glaucoma

*I.V. Shiryayev, S.V. Sosnovskii, M.M. Pravosudova, I.E. Panova*

Micropulse cyclophotocoagulation in combined treatments of neovascular glaucoma 54

### Pediatric ophthalmology

*E.Yu. Markova, E.V. Kechin, G.V. Avakyants, N.S. Tarasova, A.S. Ryazanov*

Prediction of clinical and morphofunctional results of corneal collagen crosslinking in children 62

### Ocular injury

*N.V. Mashchenko, A.Yu. Khudyakov, O.V. Kolenko, E.L. Sorokin*

Our experience of intraocular foreign bodies endovitreous removal when operating severe penetrating eye wounds 68

### Pathology of retina, choroid and optic nerve

*T.A. Doktorova, A.A. Suetov, E.V. Boiko*

The effect of preoperative structural changes and postoperative perfusion on the functional restoration of the retina in the surgical treatment of full-thickness macular holes 76

### Experimental studies in ophthalmology

*B.E. Malyugin, S.A. Borzenok, O.P. Antonova, D.S. Ostrovskii, Z.R. Ebzeeva*

Transplantation of endothelial cell suspension in an ex vivo experiment 86

### Ocular inflammation

*M.I. Sbiyakhtov, K.G. Naumov, M.G. Kataev*

A combined technique of endoscopic dacryocystorhinostomy. First experience 94

*A.A. Tarkhanova, D.Yu. Maychuk, E.E. Zinych, M.R. Taevere*

Betaherpetic keratitis. Substantiation of diagnosis and patient management tactics 99

### Review

*D.R. Mamulat, I.L. Plisov, N.G. Antsiferova, M.A. Sbarokbin, K.A. Belousova, G.V. Gladysheva, V.B. Pushchina*

Essential infantile esotropia 108

## ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ CATARACT SURGERY AND IOL IMPLANTATION

Научная статья  
УДК 617.741-004.1-089  
doi:

### Физико-химический анализ гидрофильных интраокулярных линз, эксплантированных в связи с помутнением материала

А.Д. Чупров<sup>1</sup>, В.Л. Ким<sup>1</sup>, С.Н. Летута<sup>2</sup>, Д.А. Раздобреев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Оренбургский филиал, Оренбург

<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Помутнение и изменение цвета интраокулярной линзы (ИОЛ) представляется мультифакторной проблемой, напрямую связанной со свойствами каждой группы материалов, из которых они изготавливаются. Поскольку точная комбинация факторов и последовательность событий пока до конца не известны, имеется основание для продолжения исследований в данном направлении, даже несмотря на то что, к сожалению, такие важные моменты, как особенности производства ИОЛ, являются закрытой от широкой публики информацией. Очевидным также является то, что эта проблема актуальна и требует комплексного подхода. **Цель.** Определение вида отложений на поверхности гидрофильных ИОЛ, эксплантированных в связи со снижением прозрачности материала. **Материал и методы.** Визуализация поверхности 8 эксплантированных гидрофильных ИОЛ производилась в цифровом инвертированном микроскопе «Альтами ИНВЕРТ 3» (ООО «Альтами», Россия). Элементный анализ поверхностных отложений проводился на электронном микроскопе JCM-6000 (Jeol Япония) с приставкой для энергодисперсионного анализа JED-2300.

Спектры комбинационного рассеяния измерялись с помощью рамановского микроскопа M532 (Epspectr, США). Инфракрасные спектры (ИК-спектры) поглощения снимались с использованием оборудования: Фурье-спектрометра «ИнфраЛюм ФТ-02» («Люмэкс», Россия) и ИК-спектрометра с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения IRTacer-100 (Shimadzu, Япония). Обработка и интерпретация полученных спектров проводилась с использованием баз и программного обеспечения из состава оборудования. **Результаты.** Характер отложений представлен различными кристаллитами, в некоторых местах формирующих целиком сплошную пленку. Основными элементами отложений являются углерод, азот, кислород. В ИК-спектре присутствуют функциональные группы, характерные для белков. **Заключение.** Отложения на поверхности помутневшей ИОЛ гидрофильного типа имеют белковую природу. Тот факт, что отложения имеют кристаллическую структуру, позволяет значительно сузить круг поиска теми соединениями, которые способны к кристаллизации при температурах, близких к нормальной температуре человеческого тела.

**Ключевые слова:** помутнение ИОЛ, гидрофильная ИОЛ, эксплантация ИОЛ ■

**Для цитирования:** Чупров А.Д., Ким В.Л., Летута С.Н., Раздобреев Д.А. Физико-химический анализ интраокулярных линз, эксплантированных в связи с помутнением материала. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Виталий Леонидович Ким, nauka@ofmntk.ru

#### ABSTRACT

Original article

### Physico-chemical analysis of hydrophilic intraocular lenses explanted due to material clouding

A.D. Chuprov<sup>1</sup>, V.L. Kim<sup>1</sup>, S.N. Letuta<sup>2</sup>, D.A. Razdobreev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Orenburg branch, Orenburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

**Relevance.** Clouding and discoloration of intraocular lens (IOL) seems to be a multifactorial problem, directly related to the properties of each group of materials from which they are made. Since the exact combination of factors and the sequence of events are not yet fully known, there is reason to continue research in this direction, even though, unfortunately,

such important points as the specifics of IOL production are information closed to the general public. It is also obvious that this problem is urgent and requires an integrated approach. **Purpose.** To determine the type of deposits on the surface of hydrophilic IOLs explanted due to a decrease in the transparency of the material. **Material and methods.** Visualization

of the surface of 8 explanted hydrophilic IOLs was carried out in a digital inverted microscope Altami INVERT 3 (LLC Altami, Russia). Elemental analysis of surface deposits was carried out on a JCM-6000 electron microscope (Jeol, Japan) with a JED-2300 energy dispersive analysis attachment. The Raman spectra were measured using M532 Raman microscope (EnSpectr, USA). Infrared absorption spectra (IR spectra) were recorded using equipment: Fourier spectrometer InfraLum FT-02 (Lumex, Russia) and an IR spectrometer with an attachment of frustrated total internal reflection IRTracer-100 (Shimadzu, Japan). The processing and interpretation of the obtained spectra was carried out using databases

and software from the equipment. **Results.** The nature of the deposits is represented by various crystallites, in some places forming a completely continuous film. The main elements of deposits are carbon, nitrogen, and oxygen. The IR spectrum contains functional groups characteristic of proteins. **Conclusion.** Deposits on the surface of a cloudy IOL of a hydrophilic type are of protein nature. The fact that the deposits have a crystalline structure makes it possible to significantly narrow the scope of the search for those compounds that are capable of crystallizing at temperatures close to the normal temperature of the human body.

**Key words:** IOL clouding, hydrophilic IOL, IOL explantation ■

**For citation:** Chuprov A.D., Kim V.L., Letuta S.N., Razdobreev D.A. Physico-chemical analysis of intraocular lenses explanted due to material clouding. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Vitaliy L. Kim, nauka@ofmntk.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

По данным Всемирной организации здравоохранения, каждый год во всем мире выполняется примерно 18–20 млн операций по удалению катаракты, в Российской Федерации проводится 460–480 тыс. операций в год [1, 2]. В борьбе с катарактой принципиальное значение имеют качество операций и используемые материалы [3, 4]. Данное обстоятельство обуславливает высокие требования к хирургии катаракты – предсказуемый рефракционный результат, в том числе его долговечность, минимизация интра- и постоперационных осложнений, что, в свою очередь, повышает качество жизни пациентов.

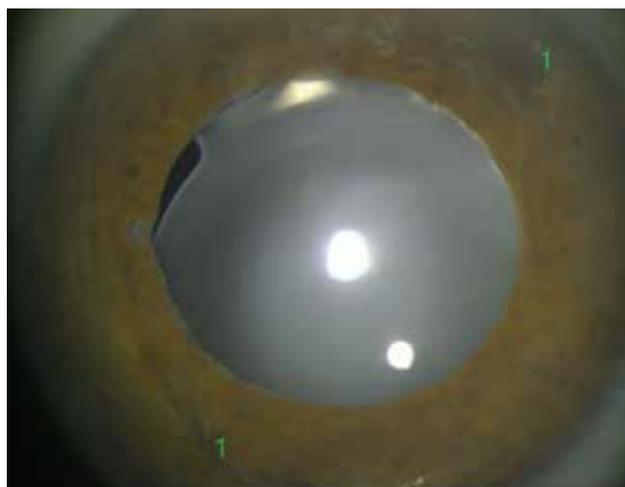
Эксплантация интраокулярных линз (ИОЛ) проводится редко и сопровождается высоким риском осложнений. Показаниями к замене ИОЛ служат децентрация/дислокация, ошибки в расчетах ИОЛ и невозможность нейроадаптации у пациентов к мультифокальным ИОЛ, помутнение материала ИОЛ.

Абсолютным показанием к эксплантации ИОЛ с последующей заменой, на наш взгляд, является клинически значимое снижение прозрачности ИОЛ (дискомфорт пациента, сопровождающийся снижением зрения, работоспособности) с учетом риска осложнений.

В статье А.А. Гамидова и соавт. [5] дается развернутый анализ морфологии отложений на ИОЛ, выполненного из гидрофильного акрила, однако природа соединений, формирующих эти отложения, осталась нераскрытой.

## ЦЕЛЬ

Определить вид отложений на поверхности гидрофильных ИОЛ, эксплантированных в связи со снижением прозрачности материала.

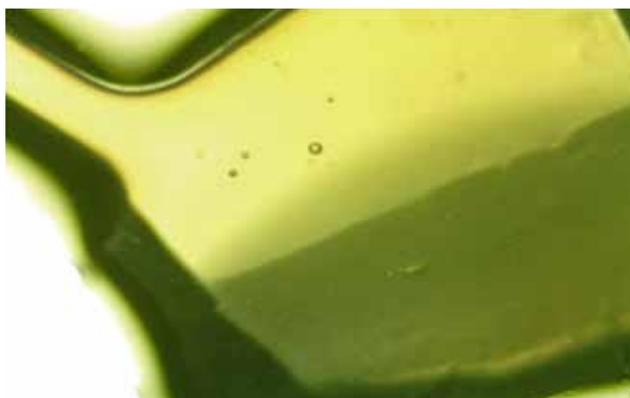


**Рис. 1.** Пациент К. (фото с щелевой лампы), 1 – место шовной фиксации к радужке

**Fig. 1.** Patient K. (photo from a slit lamp), 1 – the place of suture fixation to the iris

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

За период с 2018 по 2021 г. в Оренбургском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России в связи с помутнением эксплантировано 8 ИОЛ, выполненных из гидрофильного материала. Жалобы на снижение зрения у всех пациентов возникли в течение 1,5–2,0 года после факоэмульсификации катаракты, все пациенты в связи с сопутствующей патологией получали гипотензивную консервативную терапию. В 2 случаях имела место ранее проведенная антиглаукомная операция, причем у одного пациента отсутствовал капсульный мешок, а фиксацию ИОЛ произвели к радужной оболочке (рис. 1), у дру-



**Рис. 2.** Панорамное изображение ИОЛ с отложениями (40-кратное увеличение)

**Fig. 2.** Panoramic image of the IOL with deposits (40× magnification)

гого пациента ИОЛ располагалась в фиброзно измененном капсульном мешке, что привело к большему объему хирургического вмешательства. В одном случае пациенту дважды проведена сквозная кератопластика, у одного пациента ИОЛ дислоцирована в витреальную полость, помутнение которой хирург заметил лишь на интраоперационном этапе.

У 7 пациентов эксплантация ИОЛ проводилась после предварительной трансекции внутри передней камеры глазного яблока с помощью ножниц для фрагментации ИОЛ. У одного пациента при повторной кератопластике измененная ИОЛ эксплантирована после этапа иссечения роговицы глаза.

Визуализация поверхности всех эксплантированных гидрофильных ИОЛ как интактных участков, так и с поверхностными отложениями производилась в цифровом инвертированном микроскопе «Альгами ИНВЕРТ 3» (ООО «Альгами», Россия).

Элементный анализ поверхностных отложений проводился на электронном микроскопе JSM-6000 (Jeol, Япония) с приставкой для энергодисперсионного анализа JED-2300. Методика выполнения измерений заключалась в следующем: на изображении, полученном в режиме электронного микроскопа, выбиралась область с равномерным распределением отложений на поверхности ИОЛ. Далее с помощью приставки определялся элементный состав поверхности в выбранной области. Энергия пучка электронов при этом составляла 20 КэВ, подсчет интенсивности вторичного излучения проводился в диапазоне 0–20 КэВ.

Спектры комбинационного рассеяния (КР-спектры) измерялись с помощью рамановского микроскопа M532 (Ensprectr, США). Данное оборудование позволяет получать изображения поверхности в оптическом диапазоне, а также снимать спектры комбинационного рассеяния с выбранной поверхности при помощи приставки Ensprectr R532, зондирование лазерным лучом с  $\lambda=532$  нм.



**Рис. 3.** Изображение кристаллитов на поверхности ИОЛ (400-кратное увеличение)

**Fig. 3.** Image of crystallites on IOL surface (400× magnification)

Инфракрасные спектры (ИК-спектры) поглощения снимались с использованием оборудования: Фурье-спектрометра «ИнфраЛюм ФТ-02» («Люмэкс», Россия) и ИК-спектрометра с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения IRTracer-100 (Shimadzu, Япония). Обработка и интерпретация полученных спектров проводилась с использованием баз и программного обеспечения из состава оборудования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На *рисунках 2, 3 и 4* приведены изображения, полученные при 40- и 400-кратном увеличении в режиме на просвет.

На первом этапе исследования был проведен элементный анализ отложений. Для этого отмытый в дистиллированной воде и высушенный образец ИОЛ с помутнениями на поверхности помещался в электронный микроскоп. Результаты анализа сведены в *таблицу*.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из представленных *рисунков 2, 3*, характер отложений морфологически сходен с описанным ранее в работе [5] и представлен различными кристаллитами, в некоторых местах формирующих целиком сплошную пленку, что также отражает *рисунок 3*. Причем характер распределения отложений по поверхности ИОЛ позволяет сделать вывод, что отложения возникают даже в местах, закрытых от внешних воздействий (за радужной оболочкой).

Поперечный срез ИОЛ, сделанный в области наибольшего помутнения (*рис. 4*), позволяет сделать вывод о поверхностном характере накоплений кристаллитов. Проникновение кристаллов в массу образца, как это на-

блюдали авторы [5], в исследуемых образцах не зафиксировано.

Из *таблицы* следует, что основными элементами отложений являются углерод, азот, кислород. Такое распределение элементов, указывает на органическую природу отложений. Для уточнения органического соединения, составляющего приповерхностные отложения, была предпринята попытка использовать метод спектроскопии комбинационного рассеяния.

КР-спектры поверхности без отложений и поверхности с отложениями практически идентичны, различаются только интенсивностью пиков. Общее уменьшение интенсивности пиков в случае образца с отложениями на поверхности связано с обычным упругим рассеянием излучения, а отсутствие различия в КР-спектрах этих двух образцов свидетельствует о частичной проницаемости «пленки-отложения» для зондирующего излучения лазера с длиной волны 532 нм. Таким образом, КР-спектр «пленки-отложения» маскируется КР-спектром самого материала ИОЛ.

ИК-спектры поглощения позволяют расшифровать материал, используемый для изготовления ИОЛ. Однако для исследования поверхностных отложений ИК-спектроскопия в классическом варианте, когда ИК-излучение проходит через весь образец и детектором регистрируется только та его часть, которая способна пройти весь оптический путь, не эффективна. Поэтому нами была использована приставка нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). В методе НПВО величина проникновения излучения в образец варьируется от нескольких микрон до миллиметров, а необходимое для устойчивого детектирования падение интенсивности излучения достигается за счет многократного повторения акта поглощения ИК-излучения небольшим оптическим слоем. ИОЛ становится хрупкой только после высушивания, а в обычном состоянии представ-



**Рис. 4.** Поперечный срез ИОЛ в области наибольшего помутнения: а) материал ИОЛ; б) кристаллиты на поверхности гидрофильного материала ИОЛ

**Fig. 4.** Cross section of IOL in the area of the greatest opacification: 1) IOL material; 2) crystallites on the surface of IOL hydrophilic material

ляет собой достаточно пластичный и упругий материал, что позволяет снять ИК-спектр поглощения с поверхности образца.

Для корректного измерения спектров НПВО необходимо учитывать следующие особенности материала. При малых усилиях прижима ИОЛ к кристаллу спектры получаются бесструктурными (*рис. 5 б*), что обусловлено отсутствием эффекта НПВО. В случае с максимальным усилием прижима образца к кристаллу (*рис. 5 а*) можно наблюдать спектр полигидроксиэтилметакри-

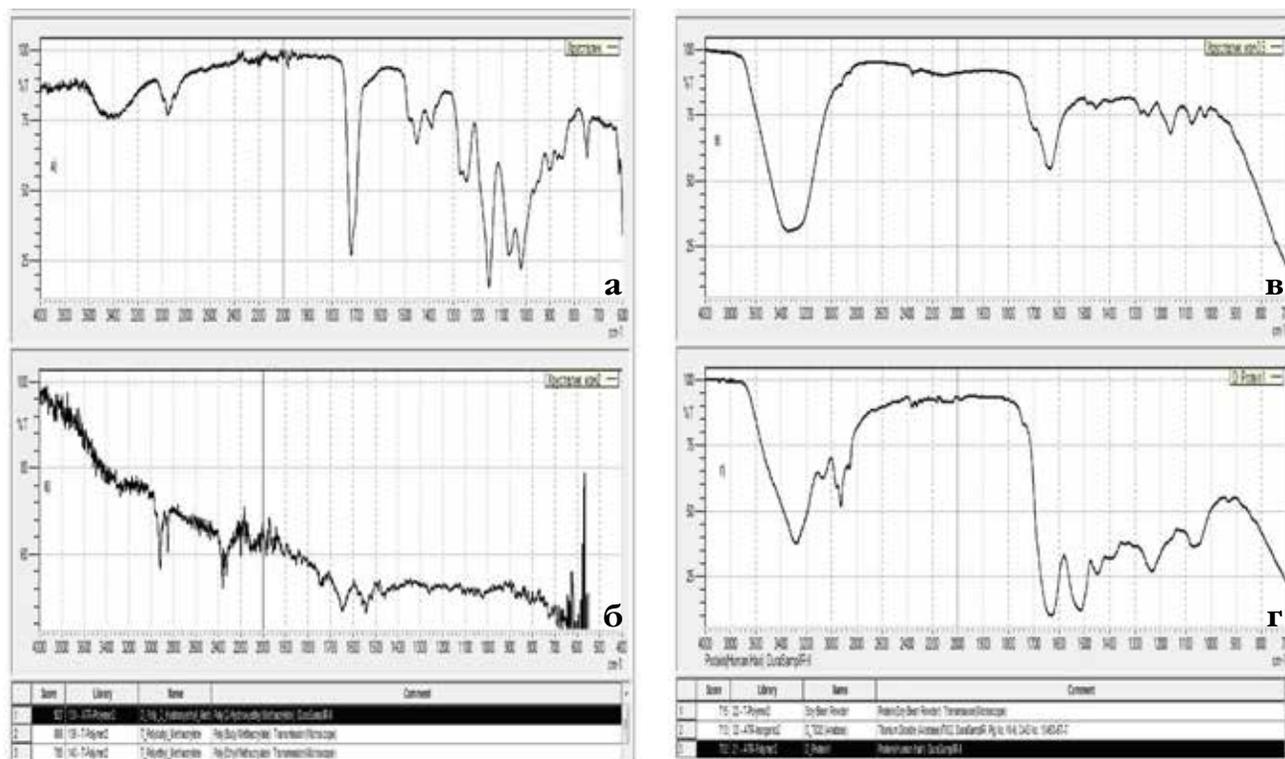
### Результаты элементного анализа отложений на поверхности ИОЛ

Таблица

Table

#### Results of elemental analysis of deposits on the IOL surface

№	Элемент Element	Содержание, % Content, %	Примечание Note
1	Углерод (C) Carbon (C)	~40	Содержание рассчитано методом нормализации Contents calculated by the normalization method
2	Азот (N) Nitrogen (N)	~18	
3	Кислород (O) Oxygen (O)	~40	
4	Калий (K), магний (Mg), натрий (Na), фосфор (P) Kalium (K), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Phosphorus (P)	~2	Суммарно все элементы All elements in total



**Рис. 5.** Инфракрасные спектры, снятые на приставке НПВО: а) спектр, снятый с максимальным усилием прижима образца; б) спектр, снятый с минимальным усилием прижима образца; в) ИК-спектр поверхностных отложений; г) ИК-спектр человеческого белка, взятый для сравнения из базы данных ИК-спектров

**Fig. 5.** Infrared spectra taken on the frustrated total internal reflection (FTIR) device: а) spectrum taken with the maximum clamping force of the sample; б) spectrum taken with a minimum clamping force of the sample; в) IR-spectrum of surface deposits; г) IR-spectrum of human protein taken for comparison from the database of IR spectra

лата, т.е. спектр материала ИОЛ. И лишь в достаточно узком диапазоне усилий прижима фиксируется ИК-спектр (рис. 5 в), который может быть интерпретирован как спектр вещества белковой природы (рис. 5 г).

Результаты эксперимента легко объяснить, используя рисунок б.

Как следует из рисунка 5, при максимальных усилиях происходит выдавливание нижележащими слоями материала поверхностной пленки отложений. Такое замещение приводит к появлению в ИК-спектре пиков, характерных для функциональных групп в составе полимера, в то время как в диапазоне средних усилий прижима целостность поверхностной пленки отложений остается не нарушенной, а соответственно, в ИК-спектре присутствуют функциональные группы, характерные для белков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

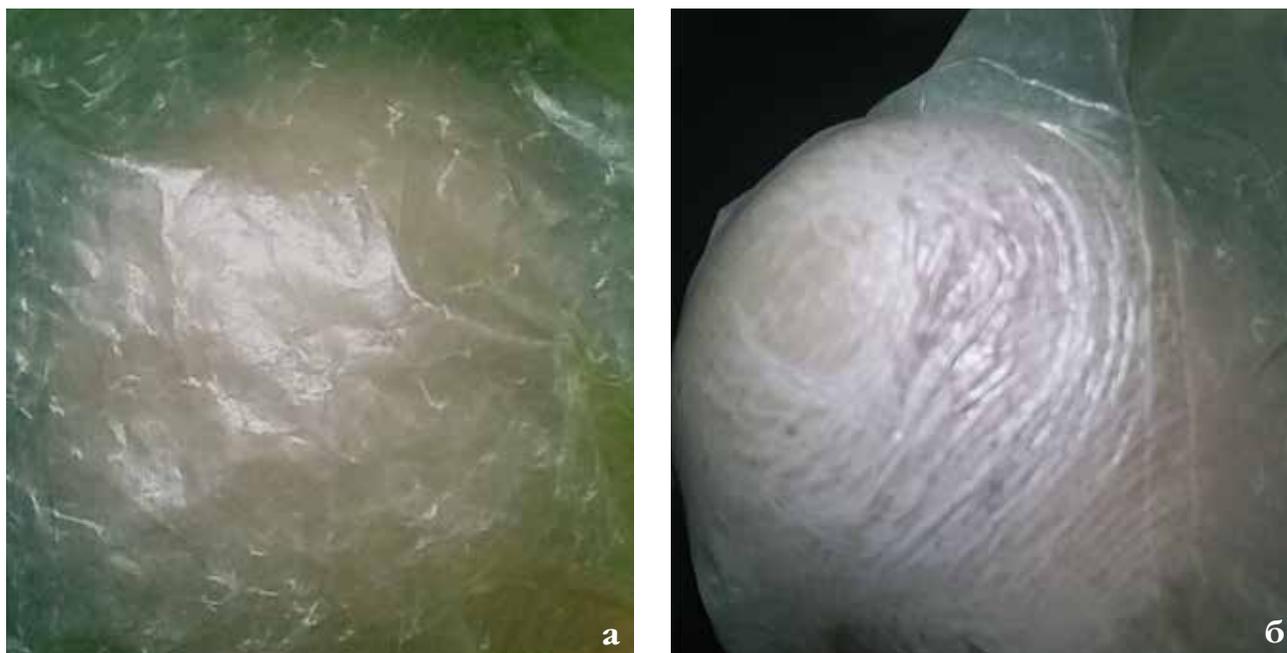
Отложения на поверхности помутневшей ИОЛ гидрофильного типа имеют белковую природу.

Точный тип белка, участвующий в процессе формирования пленки поверхностных отложений, в рамках проведенных исследований установить не удалось.

Тот факт, что отложения имеют кристаллическую структуру, что подтверждается как результатами оптической микроскопии, так и данными сканирующей электронной микроскопии, позволяет значительно сузить круг поиска теми соединениями, которые способны к кристаллизации при температурах, близких к нормальной температуре человеческого тела.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Naidoo K, Gichuhi S, Basáñez MG, Flaxman SR, Jonas JB, Keeffe J, Leasher JL, Pesudovs K, Price H, Smith JL, Turner HC, White RA, Wong TY, Resnikoff S, Taylor HR, Bourne RR. Prevalence and causes of vision loss in sub-Saharan Africa: 1990–2010. *Br J Ophthalmol*. 2014;98(5): 612–618. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-304081
2. Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой. М.; 2015. [Federal clinical guidelines for the provision of ophthalmological care to patients with age-related cataracts. Moscow; 2015. (In Russ.)]
3. Huang W, Huang G, Wang D, Yin Q, Foster PJ, He M. Outcomes of cataract surgery in urban southern China: the Liwan Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52(1): 16–20. doi: 10.1167/iovs.10-5382



**Рис. 6.** Моделирование процесса замещения верхних слоев (на рисунке окрашены в желтый цвет) на нижележащие слои (на рисунке окрашены белым) полимера: а) первоначальное состояние; б) состоянии после воздействия силы, направленной в перпендикулярном направлении плоскости полимера

**Fig. 6.** Modeling the process of replacing the upper layers (colored in yellow in the figure) with the underlying layers (colored white in the figure) of the polymer: a) initial state; б) state after force directed in the perpendicular direction of the polymer plane

4. Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Трубилин В.Н., Трубилин А.В. Фемтолазерное сопровождение хирургии катаракты. М., 2013. [Anisimova SYu, Anisimov SI, Trubilin VN, Trubilin AV. Femtolaser support of cataract surgery. Moscow, 2013. (In Russ.)]

5. Гамидов А.А., Новиков И.А., Цымбал А.А., Гамидов Р.А. Результаты сканирующей электронной микроскопии эксплантационных ИОЛ из гидрофильного акрила с помутнениями. Офтальмология. 2021;18(2): 276–283. [Gamidov AA, Novikov IA, Tsymbal AA, Gamidov RA. Results of scanning electron microscopy of explanted hydrophilic acrylic IOLs. Ophthalmology in Russia. 2021;18(2): 276–283. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2021-2-276-283

#### Информация об авторах

**Александр Дмитриевич Чупров**, д.м.н., профессор, директор Оренбургского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза», office@mail.ofmntk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7011-4220>

**Виталий Леонидович Ким**, врач-офтальмолог, vitalik002kim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6726-0104>

**Сергей Николаевич Летуа**, д.ф.-м.н., профессор, проректор по научной работе, letuta@com.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3815-9335>

**Дмитрий Анатольевич Раздобреев**, к.х.н., доцент кафедры, leks@unpk.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7749-0074>

#### Information about the authors

**Aleksandr D. Chuprov**, Doctor of Science in Medicine, Professor, Head of the Orenburg branch, office@mail.ofmntk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7011-4220>

**Vitaliy L. Kim**, Ophthalmologist, vitalik002kim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6726-0104>

**Sergey N. Letuta**, Doctor of Science in Physics and Mathematics, Professor, **Vice Rector for Research**, letuta@com.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3815-9335>

**Dmitriy A. Razdobreev**, PhD in Chemistry, Assistant Professor, leks@unpk.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7749-0074>

#### Вклад авторов в работу:

**А.Д. Чупров:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**В.Л. Ким:** сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**С.Н. Летуа:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Д.А. Раздобреев:** сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

#### Authors' contribution:

**A.D. Chuprov:** significant contribution to the concept and design of the work, final approval of the version to be published.

**V.L. Kim:** collection, analysis and processing of material, writing.

**S.N. Letuta:** significant contribution to the concept and design of the work, final approval of the version to be published.

**D.A. Razdobreev:** collection, analysis and processing of material, writing.

**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: 09.03.2023

Переработана: 14.05.2023

Принята к печати: 14.08.2023

Originally received: 09.03.2023

Final revision: 14.05.2023

Accepted: 14.08.2023

## ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ CATARACT SURGERY AND IOL IMPLANTATION

Научная статья  
УДК 617.741  
doi:

### Расчет поправки к силе оптической части иридохрусталиковой диафрагмы при ее различных вариантах фиксации

Н.П. Соболев, А.Н. Бессарабов, М.А. Соболева, А.Ю. Корниенко

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

#### РЕФЕРАТ

**Цель.** Разработать методику стандартных поправок оптической части иридохрусталиковой диафрагмы (ИХД) при ее различных вариантах фиксации в глазу. **Материал и методы.** В данной работе проанализированы оптические результаты 155 имплантаций ИХД с различными вариантами фиксации: 69 случаев имплантаций в капсульный мешок, 28 случаев – на переднюю капсулу, 58 случаев – в цилиарную борозду. **Результаты.** В результате накопленного опыта имплантаций были получены значения констант А, рассчитанных по методике Holladay. В случае внутри-

капсульной фиксации – 118,40; на передней капсуле – 117,90; в цилиарной борозде – 117,55; на радужке – 116,70. Далее были проведены расчеты (с помощью Holladay) стандартных поправок к оптической силе оптической части при различных вариантах фиксации ИХД. **Заключение.** Таким образом, возможно усовершенствование расчета силы оптической части для ИХД при различных способах ее фиксации за счет создания алгоритма поправок в соответствии с локализацией ИХД.

**Ключевые слова:** иридохрусталиковая диафрагма, расчет поправки оптической части, формула Holladay, А-константа, методы фиксации ■

**Для цитирования:** Соболев Н.П., Бессарабов А.Н., Соболева М.А., Корниенко А.Ю. Расчет поправки к силе оптической части иридохрусталиковой диафрагмы при ее различных вариантах фиксации. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX.

Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Анна Юрьевна Корниенко, akornienko096@gmail.com

#### ABSTRACT

Original article

### Corrections to the optical part of artificial iridolenticular diaphragm, depending on its fixation options

N.P. Sobolev, A.N. Bessarabov, M.A. Soboleva, A.Yu. Kornienko

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

**Purpose.** To develop a method of standard corrections to the optical part of artificial iridolenticular diaphragm, depending on its various fixation options in the eye. **Material and methods.** The results of 155 iridolenticular diaphragm implantations with various fixation options were analyzed: 69 cases had intracapsular fixation, 28 – anterior capsule fixation, 58 – ciliary sulcus fixation. **Results.** As a result of the gained experience of implantations, the values of A-constants were obtained, calculated according to the Holladay method: for intracapsular fixation – 118.40; anterior capsule fixation – 117.90; ciliary sulcus fixation –

117.55; iris-claw fixation – 116.7. Then the corrections to the optical part of artificial iridolenticular diaphragm, depending on its various fixation options in the eye, were calculated (using Holladay). **Conclusion.** Thus, it is possible to improve the calculation of the strength of the optical part of artificial iridolenticular diaphragm, depending on its fixation method, by creating a correction algorithm in accordance with artificial iridolenticular diaphragm position.

**Key words:** artificial iridolenticular diaphragm, optical correction calculation, Holladay, A-constant, fixation methods ■

**For citation:** Sobolev N.P., Bessarabov A.N., Soboleva M.A., Kornienko A.Yu. Corrections to the optical part of artificial iridolenticular diaphragm, depending on its fixation options. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Anna Yu. Kornienko, akornienko096@gmail.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Частичная или полная аниридия в сочетании с поражением хрусталика является одним из наиболее тяжелых последствий перенесенной травмы органа зрения либо носит врожденный характер [1–3]. Нарушение или отсутствие диафрагмальной функции радужки приводит не только к снижению остроты зрения, но и к возникновению выраженного косметического дефекта, препятствуя социальной адаптации и профессиональной деятельности человека [1]. Вопросы реабилитации таких пациентов до сих пор остаются открытыми. На сегодняшний день оптимальным методом коррекции сочетанной посттравматической патологии является имплантация искусственной радужки [4]. В клинической практике используют различные модели: в сочетании с искусственным хрусталиком – иридохрусталиковая диафрагма (ИХД) – и без такового, отличающиеся между собой конструктивными особенностями в зависимости от места фиксации. Единого мнения о выборе тактики хирургического лечения данной патологии и выбора модели имплантата не существует. Таким образом, выбор конструкции ИХД, а также способа ее фиксации в глазу при различной сочетанной патологии решается хирургом индивидуально. Новым качественным скачком на пути создания изделия явилось изготовление Sandwich ИХД с цветной гаптикой, являющейся копией рисунка радужки парного глаза, выполняемой индивидуально каждому пациенту с помощью цифровой печати фотографии здорового глаза. Оптическая часть данной ИХД представляет собой прозрачный оптический цилиндр из сополимера коллагена, вставленного в цветную гаптическую часть [5]. Таким образом, существует возможность подбора ИХД необходимой оптической силы из имеющегося банка цилиндров [3]. Существующие на сегодняшний день методы биометрии обладают высокой точностью, однако современные проблемы расчета оптической силы линзы кроются в недостаточной точности прогнозирования положения ИХД, а следовательно, и ее оптической части, при различных вариантах фиксации имплантата, что зачастую затрудняет достижение желаемого рефракционного результата [6].

В связи с этим клинически значимой является разработка методики расчета поправки к оптической силе цилиндра ИХД при ее различных вариантах фиксации [3].

## ЦЕЛЬ

Разработать методику стандартных поправок к силе оптической части ИХД при ее различных вариантах фиксации в глазу.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В данной работе проанализированы оптические результаты 155 имплантаций ИХД с различными вариантами фиксации. В капсульный мешок имплантировали модель F1 (ООО «Репер-НН», Нижний Новгород) – 69 случаев, на переднюю капсулу – модель Н1 (ООО «Репер НН», Нижний Новгород) – 28 случаев, в цилиарную борозду – модель Н1 (ООО «Репер НН», Нижний Новгород) – 58 случаев. Средний возраст пациентов составил  $35 \pm 11$  лет. Сроки наблюдения после операции составили от 1 до 5 лет. Оптическую силу роговицы в центральной зоне и клиническую рефракцию глаза определяли при помощи стандартных автоматических кераторефрактометров фирм Торсон (Япония) и Humphrey (США). Ультразвуковую биометрию осуществляли с применением А-метода на аппарате Ophthalmoscan-200 (Sonometric System Inc., США).

Константу А рассчитывали по разработанной методике при помощи формулы Holladay для каждого клинического случая исходя из следующих показателей: рефракция роговицы К, длина передне-задней оси глаза L, оптическая сила интраокулярной линзы (ИОЛ) Diol, сферозэквивалент артифакичного глаза S. Для оценки стабильности оптического результата в послеоперационном периоде, на разных сроках (1, 3, 6 мес., 1, 3, 5 лет), проводили трехкратное измерение указанных выше параметров глаза.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Сила оптической части ИХД изменяется в зависимости от вариантов ее фиксации: внутрикапсульная, на передней капсуле, в цилиарной борозде, на радужке. В результате накопленного опыта имплантаций были получены значения констант А, рассчитанных по методике Holladay. В случае внутрикапсульной фиксации – 118,40; на передней капсуле – 117,90; в цилиарной борозде – 117,55; на радужке – 116,70. При этом константа АСД для внутрикапсульной фиксации, на передней капсуле, в цилиарной борозде, на радужке равна соответственно 5,2; 4,9; 4,7; 4,2.

Далее были проведены расчеты (с помощью Holladay) стандартных поправок к оптической силе оптической части при различных вариантах фиксации ИХД (*таблица*). Оптические расчеты поправок проводились относительно внутрикапсульной фиксации по методике Holladay для исходной оптической части ИХД с константой  $A=118,4$  ( $ACD=5,2$ ) и средней рефракцией роговицы 42,5 Д. Диапазон значений оптической силы ИХД при внутрикапсульной фиксации принят от 5,0 до 32,0 Д. В *таблице* приведены результаты пересчета поправки оптической силы ИХД.

Для расчета поправки к оптической части ИХД нами разработана на основе методики Holladay формула в со-

Таблица

Поправка к расчету рефракции оптической силы

Table

Correction to the calculation of the refraction of the optical power

Уменьшение оптической силы ИХД относительно внутрикапсульной фиксации для различных положений оптической части  
Decrease of optical power of IOL concerning intracapsular fixation according to the position of optical part

Внутрикапсульная фиксация Intracapsular fixation	Фиксация на передней капсуле Anterior capsule fixation	Фиксация в цилиарной борозде Ciliary body fixation	Фиксация на радужке Iris claw fixation
5,0	4,89	4,82	4,64
5,5	5,38	5,29	5,09
6,0	5,87	5,77	5,56
6,5	6,35	6,25	6,02
7,0	6,84	6,73	6,48
7,5	7,33	7,21	6,94
8,0	7,81	7,69	7,40
8,5	8,30	8,17	7,86
9,0	8,79	8,65	8,32
9,5	9,28	9,13	8,77
10,0	9,76	9,61	9,23
10,5	10,25	10,08	9,69
11,0	10,74	10,56	10,15
11,5	11,23	11,04	10,61
12,0	11,71	11,52	11,07
12,5	12,20	12,00	11,53
13,0	12,69	12,48	11,99
13,5	13,18	12,96	12,44
14,0	13,66	13,43	12,90
14,5	14,14	13,90	13,35
15,0	14,63	14,38	13,81
15,5	15,12	14,87	14,27
16,0	15,60	15,34	14,72
16,5	16,10	15,82	15,18
17,0	16,58	16,30	15,63
17,5	17,06	16,77	16,08
18,0	17,55	17,25	16,54
18,5	18,04	17,73	17,00
19,0	18,53	18,21	17,46
19,5	19,01	18,68	17,92
20,0	19,50	19,16	18,37
20,5	19,99	19,64	18,83
21,0	20,47	20,11	19,28
21,5	20,96	20,59	19,74
22,0	21,45	21,07	20,19
22,5	21,93	21,54	20,64
23,0	22,42	22,02	21,10

Уменьшение оптической силы ИХД относительно внутрикапсульной фиксации для различных положений оптической части Decrease of optical power of ILD concerning intracapsular fixation according to the position of optical part			
Внутрикапсульная фиксация Intracapsular fixation	Фиксация на передней капсуле Anterior capsule fixation	Фиксация в цилиарной борозде Ciliary body fixation	Фиксация на радужке Iris claw fixation
23,5	22,90	22,50	21,55
24,0	23,38	22,97	22,01
24,5	23,87	23,45	22,46
25,0	24,36	23,92	22,92
25,5	24,85	24,40	23,37
26,0	25,33	24,87	23,82
26,5	25,82	25,35	24,28
27,0	26,30	25,83	24,73
27,5	26,78	26,30	25,17
28,0	27,27	26,77	25,63
28,5	27,76	27,25	26,08
29,0	28,24	27,73	26,53
29,5	28,72	28,20	26,98
30,0	29,21	28,68	27,44
30,5	29,69	29,14	27,88
31,0	30,18	29,62	28,33
31,5	30,66	30,09	28,78
32,0	31,14	30,57	29,23

ответствии с А-константой, изменяющейся в зависимости от способа фиксации ИХД. Оптическая сила для фиксации на передней капсуле, в цилиарной борозде и на радужке рассчитывалась по формуле:

$$D_{ИОЛ} = \frac{1336(1,336R - 0,333L - 0,12S(1,336R - 0,333L) + SLR)}{(L - ACD - SF)(1,336R - 0,333(ACD + Sf)) - 0,012S(1,336R - 0,333(ACD + Sf)) + (ACD + Sf)R},$$

где: R = 337,5/K – пересчет диоптрийности в радиус кривизны, мм; K – рефракция роговицы, D; Sf = 0,5663A – 65,6 – пересчет константы А в коэффициент Holladay; А – константа А оптической части ИХД для одного из трех видов фиксации; d = 0,533 L – оценка диаметра лимба по Holladay; ACD = 0,56 + R – √(R2 – d2) – оценка глубины передней камеры;

$$L = \frac{C3}{C2} - 0,2$$

$$C2 = (C1 Dcaps + 444,88 - 5,339 S - 1,336RS)$$

$$C3 = C1 (ACD + Sf)Dcaps + 1784,896R - 21,419R S$$

$$C1 = 1,336R - 0,333(ACD + Sf) - S(0,016 R + 0,004(ACD + Sf) - 0,001R (ACD + Sf));$$

Dcaps – заданная оптическая сила линзы с внутрикапсульной фиксацией; S – сферэквивалент артифактного глаза.

Приведенные поправки будут верны для любых значений констант А, соответствующих заднекамерным линзам, так как чувствительность расчета поправки не превосходит 0,05 (Д/измен.конст.А.) Чувствительность расчета поправки к изменению рефракции роговицы (при той же рефракции ИОЛ) так же мала и не превосходит 0,01 (Д/измен.рефр.рогов.).

Наглядно построена номограмма поправки к рефракции оптической части (рисунок), которая тем больше, чем ближе к роговице от исходного варианта фиксируется оптическая часть комплекса, а также чем выше исходная рефракция оптического цилиндра ИХД.

Предлагаемая методика расчета поправки позволяет заранее определить несколько вариантов силы оптического цилиндра при различных способах фиксации ИХД. Вычисленные значения относительны. По мере накопления опыта, использования более современных методов измерений могут быть внесены корректировки. В качестве примеров расчета оптической силы оптического цилиндра ИХД нами представлено несколько кли-



Рис. Номограмма для определения поправки к рефракции оптической силы

Fig. Nomogram for determining the correction to the refraction of the optical power

нических случаев хирургического лечения аниридии.

Пример 1. Пациент Е., 30 лет, диагноз OD: состояние после контузионного повреждения глазного яблока, травматическая катаракта, подвывих хрусталика 2-й степени, частичная аниридия (протяженностью 290°). Проведено хирургическое лечение OD – факоаспирация катаракты с имплантацией ИХД в цилиарную борозду. Острота зрения до операции (Vis) OD: 0,2. Данные авторефрактометрии OD: 179° – 42,50; 91° – 43,00. По данным авторефрактометрии OD – эмметропическая рефракция. Длина передне-задней оси глаза OD, измеренная ультразвуковым методом: 23,54 мм. Значение А-константы, измеренной теоретически, для фиксации в цилиарную борозду составляет 117,55. При расчете оптической части ИХД по формуле Holladay сила оптической части ИХД с фиксацией в цилиарную борозду составляет 22,5 дптр (желаемая послеоперационная рефракция – эмметропия). На 1-е сутки после операции острота зрения OD: 0,5, не корректировалась (н/к) положительными или отрицательными стеклами; данные авторефрактометрии свидетельствуют об эмметропии. Спустя 1 месяц после операции Vis OD: 0,6 н/к. В последующие послеоперационные измерения (3, 6 мес., 1, 3 года) острота зрения и данные авторефрактометрии оставались стабильными.

Пример 2. Пациент М., 24 года, диагноз OS – врожденная полная аниридия, врожденная катаракта. Проведено

хирургическое лечение OS – факоаспирация катаракты, имплантация ИХД с фиксацией в капсульный мешок. Данные дооперационного обследования: Vis OS: 0,01; данные авторефрактометрии OS: 159° – 43,50; 19° – 44,00; данные авторефрактометрии OS sph (–2,0); длина передне-задней оси глаза, измеренная ультразвуковым методом: 23,78 мм. Значение А-константы, измеренной теоретически, для фиксации в капсульный мешок: 118,40. При расчете оптической части ИХД по формуле Holladay сила линзы для фиксации в капсульный мешок составляет 22,5 дптр (желаемая послеоперационная рефракция – эмметропия). На 1-е сутки после операции Vis OS: 0,2 н/к. Спустя 1 месяц после операции Vis OD: 0,3 н/к. При следующих послеоперационных осмотрах (3, 6 мес., 1, 3 и 5 лет) острота зрения и данные авторефрактометрии оставались стабильными.

Пример 3. Пациент С., 34 года, диагноз OD – состояние после проникающего ранения глазного яблока, оперированная отслойка сетчатки, авитрия, послеоперационная афакия, частичная аниридия (протяженностью 60%). Планируется хирургическое лечение OD – имплантация ИХД на переднюю капсулу. Данные дооперационного обследования Vis OD: 0,1 sph (+8,0) = 0,2; данные авторефрактометрии OD: 125° – 42,25; 35° – 42,50; данные авторефрактометрии OD: sph (+8,0) cyl (+1,0) ax 5° (учитывая афакию); длина передне-задней оси глаза, измеренная ультразвуковым методом: 23,14 мм. Значение А-константы, измеренной теоретически, для фиксации ИХД на передней капсуле составляет 117,9. При расчете оптической части ИХД по формуле Holladay, сила линзы для фиксации на передней капсуле составляет 23,0 дптр (желаемая послеоперационная рефракция – эмметропия). На 1-е сутки после операции Vis OS: 0,3 н/к; данные авторефрактометрии свидетельствуют об эмметропии. Спустя месяц после операции Vis OS: 0,4 н/к; острота зрения оставалась стабильной при следующих послеоперационных осмотрах (3, 6 мес., 1, 3 и 5 лет).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Критериями выбора метода и объема хирургического лечения аниридии являются: протяженность дефекта радужной оболочки; сохранность капсульного мешка хрусталика; наличие или отсутствие «аниридийской» фиброзной мембраны или уплотненной фибризированной передней гиалоидной мембраны; обширность и локализация рубцовых деформаций переднего отрезка глаза; сопутствующая патология заднего отрезка глаза [1].

Если во время операции хирургом принимается решение о внекапсульном способе фиксации ИХД (на передней капсуле, в цилиарной борозде, ирис-клипс фиксация), то необходимо принимать во внимание уменьшение вклада рефракции оптического цилиндра ИХД в оптическую силу глаза [7]. Это уменьшение тем больше, чем ближе к роговице от исходного варианта фиксиру-

ется оптическая часть комплекса, а также чем выше исходная рефракция ИОЛ.

Для предоперационного расчета оптической силы имплантируемой ИХД необходима такая ее характеристика, как константа А. Относительно небольшое количество представленных в литературе случаев и их клиническая неоднородность не позволяют вычислить А-константу так же точно, как и для множества моделей стандартных заднекамерных ИОЛ [3, 8]. Известно, что константа А является одним из слагаемых регрессионной формулы SRK II, связывает фактические значения длины передне-задней оси глаза, оптической силы роговицы, оптической силы имплантированной ИОЛ и полученного в итоге имплантации сферозэквивалента клинической рефракции [9]. Чем больше значение константы А, тем дальше расположена оптика ИОЛ от вершины роговицы [9–11]. Важное значение при расчете оптической силы линзы в каждом конкретном случае имеет правильное определение глубины расположения ее в глазу. Наиболее удачным, признанным в мире, является способ расчета оптической силы ИОЛ по формуле Holladay [10].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, возможно усовершенствование расчета силы оптической части для ИХД при различных способах ее фиксации за счет создания алгоритма поправок в соответствии с локализацией ИХД, что позволит расширить диапазон ассортимента оптических цилиндров, позволяя хирургу тем самым определить подходящий способ хирургического лечения интраоперационно, без высокого риска увеличения рефракционных ошибок у пациентов после обширных оптико-реконструктивных вмешательств. Наиболее удачным, по нашему мнению, является способ расчета оптической силы оптического цилиндра ИХД по формуле Holladay [10]. Полученные значения поправки носят рекомендательный характер и могут быть скорректированы с увеличением накопленного клинического опыта, а также усовершенствования ультразвуковых и оптических методов измерений.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Соболев Н.П., Бессарабов А.Н., Шкандина Ю.В., Соболева М.А. Обоснованный выбор хирургического способа реабилитации пациентов с дефектами радужки. Саратовский научно-медицинский журнал. 2020;16(2): 652–655. [Sobolev NP, Bessarabov AN, Shkandina YuV, Soboleva MA. Reasonable choice of a surgical method for rehabilitation of patients with defects of the iris. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2020;16(2): 652–655. (In Russ.)]
2. Васильева Т.А., Воскресенская А.А., Кадышев В.В., Поздеева Н.А., Марахонov А.В., Зинченко Р.А. Клинико-молекулярно-генетические особенности врожденной аниридии. Русский медицинский журнал. 2018;1: 7–12. [Vasilyeva TA, Voskresenskaya AA, Kadyshchev VV, Pozdeeva NA, Marakhonov AV, Zinchenko RA. Clinical and molecular-genetic features of congenital aniridia. RMJ. Clinical ophthalmology. 2018;1: 7–12. (In Russ.)] doi: 10.21689/2311-7729-2018-18-1-7-12
3. Поздеева Н.А., Паштаев Н.П. Искусственная иридохрусталиковая диафрагма в хирургическом лечении аниридии. М.: Издательство «Офтальмология»; 2012. [Pozdeeva NA, Pashtayev NP. Artificial iridocrystal

diaphragm in the surgical treatment of aniridia. Moscow: Izdatel'stvo «Oftal'mologiya»; 2012. (In Russ.)]

4. Дьяченко Ю.Н., Сорокин Е.Л. Современные возможности оптико-реконструктивной микрохирургии глаз с аниридной. Дальневосточный медицинский журнал. 2013;1: 71–73. [Dyachenko YuN, Sorokin EL. Optic-reconstructive microsurgery of eyes with aniridia. Far Eastern Medical Journal. 2013;1: 71–73. (In Russ.)]
5. Соболев Н.П. Технология реконструктивной хирургии травматической патологии радужки и хрусталика. Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2003. [Sobolev NP. Technology of reconstructive surgery of traumatic pathology of the iris and lens. [Dissertation]. M.; 2003. (In Russ.)]
6. Куликов А.Н., Кокарева Е.В., Дзилихов А.А. Эффективная позиция линзы. Обзор. Офтальмохирургия. 2018;1: 92–97. [Kulikov AN, Kokareva EV, Dziilikhov AA. Effective lens position. A review. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2018;1: 92–97. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2018-1-92-97
7. Mayer C, Tandogan T, Hoffmann AE, Khoramnia R. Artificial iris implantation in various iris defects and lens conditions. J Cataract Refract Surg. 2017;43(6): 724–731. doi: 10.1016/j.jcrs.2017.06.003
8. Пантелеев Е.Н., Бессарабов А.Н., Поздеева Н.А. Расчет константы А для искусственной иридохрусталиковой диафрагмы. Офтальмохирургия. 2006;1: 42–44. [Panteleev EN, Bessarabov AN, Pozdeeva NA. Calculation of constant A for artificial iridohrystalic diaphragm. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2006;1: 42–44. (In Russ.)]
9. Зуев В.К., Пантелеев Е.Н., Бессарабов А.Н., Вещикова В.Н., Франковска-Герляк М.З., Сороколетов Г.В. Расчет константы А для эластичной «реверсной» ИОЛ. Офтальмохирургия. 2015;4: 6–9. [Zuev VK, Panteleev EN, Bessarabov AN, Veschikova VN, Frankovska-Gerlyak MZ, Sorokoletov GV. Calculating the A-constant for flexible «reverse» IOL. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2015;4: 6–9. (In Russ.)]
10. Holladay J.T. Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. J Cataract Refract Surg. 1997;23(6): 1356–1370. doi: 10.1016/s0886-3350(97)80115-0
11. Sanders DR, Retzlaff J, Kraff MC. Comparison of the SRK-2 formula and other second-generation formulas. J Cataract Refract Surg. 1988;14: 136–141. doi: 10.1016/s0886-3350(88)80087-7

### Информация об авторах

**Николай Петрович Соболев**, к.м.н., врач-офтальмолог, nikso7@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3413-1458>  
**Анатолий Никитич Бессарабов**, к.т.н., a.n.bessarabov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0439-4321>  
**Мария Александровна Соболева**, врач-аспирант, dr.oculi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7124-709X>  
**Анна Юрьевна Корниенко**, врач-ординатор, akornienko096@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3959-8380>

### Information about authors

**Nikolai P. Sobolev**, PhD in Medicine, Ophthalmologist, nikso7@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3413-1458>  
**Anatolii N. Bessarabov**, PhD in Technical Sciences, a.n.bessarabov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0439-4321>  
**Mariya A. Soboleva**, PhD Student, dr.oculi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7124-709X>  
**Anna Yu. Kornienko**, Clinical Resident, akornienko096@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3959-8380>

### Вклад авторов в работу:

**Н.П. Соболев**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ или обработка материала, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.  
**А.Н. Бессарабов**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных.  
**М.А. Соболева**: сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование.  
**А.Ю. Корниенко**: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

### Author's contribution:

**N.P. Sobolev**: significant contribution to the concept and design of the work; collection, analysis and processing of material; final approval of the version to be published.  
**A.N. Bessarabov**: significant contribution to the concept and design of the work; collection, analysis and processing of material, statistical data processing.  
**M.A. Soboleva**: collection, analysis and processing of material, writing, editing.  
**A.Yu. Kornienko**: collection, analysis and processing of material, writing.

**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: 09.03.2023*

*Переработана: 14.06.2023*

*Принята к печати: 19.09.2023*

*Originally received: 09.03.2023*

*Final revision: 14.06.2023*

*Accepted: 19.09.2023*

## ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ CATARACT SURGERY AND IOL IMPLANTATION

Научная статья  
УДК 617.7  
doi:

### Оценка факторов риска развития интраоперационного синдрома девиации инфузионных потоков с учетом анатомо-топографических особенностей переднего отрезка

И.С. Ребриков<sup>1</sup>, Е.В. Егорова<sup>2</sup>, А.С. Ребрикова<sup>3</sup>, А.В. Лизунов<sup>1</sup>, Е.М. Титаренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», Екатеринбург

<sup>2</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Новосибирский филиал, Новосибирск

<sup>3</sup>Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, Екатеринбург

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Интраоперационный синдром девиации инфузионных потоков (ИСДИП) остается одной из недостаточно изученных проблем хирургии хрусталика. **Цель.** Оценить частоту встречаемости проявлений ИСДИП у пациентов с псевдоэкзофолиативным синдромом (ПЭС) и без него; выявить факторы риска развития ИСДИП с учетом анатомо-топографических особенностей переднего отрезка. **Материал и методы.** В исследование были включены 2 группы пациентов, прооперированных по поводу удаления катаракты методом ультразвуковой факосмульсификации: 1) исследуемая группа (n=50) – пациенты с осложненной катарактой, ПЭС и диаметром зрачка при медикаментозном мириазае менее 6 мм; 2) контрольная группа (n=50) – пациенты с сенильной катарактой, без ПЭС и диаметром зрачка при медикаментозном мириазае более 6 мм. Помимо стандартного офтальмологического обследования выполнялись следующие дополнительные методы исследования: оптическая биометрия, исследование переднего отрезка на Шаймпфлюг-камере – оценка пупиллометрии в условиях медикаментозного мириаза, ультразвуковая биомикроскопия – определение площади сечения задней камеры, измерение толщины радужки в условиях медикаментозного мириаза. **Результаты.** Средний диаметр зрачка в условиях медикаментозного мириаза в исследуемой группе

составил  $5,46 \pm 0,46$  мм, в контрольной группе –  $6,6 \pm 0,43$  мм. Различия между исследуемой и контрольной группами статистически значимы ( $p < 0,05$ ). Площадь сечения задней камеры в исследуемой группе составила  $0,67 \pm 0,28$  мм<sup>2</sup>, толщина радужки в состоянии медикаментозного мириаза –  $0,53 \pm 0,05$  мм. В контрольной группе были определены следующие значения площади сечения задней камеры и толщины радужки:  $0,43 \pm 0,15$  мм<sup>2</sup> и  $0,64 \pm 0,07$  мм. Выявленные различия между группами были статистически значимы. Была отмечена прямая корреляционная зависимость между диаметром зрачка и толщиной радужки и обратная корреляционная зависимость между двумя этими показателями и площадью сечения задней камеры. Хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве был обнаружен после выполнения факосмульсификации у 9 пациентов (18%) исследуемой группы и у 3 пациентов (6%) группы контроля. **Заключение.** Хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве как основное проявление ИСДИП был обнаружен у 18% пациентов с ПЭС и 6% пациентов без данного патологического состояния. Сочетание ПЭС с диаметром зрачка менее 6 мм в условиях медикаментозного мириаза является неблагоприятным прогностическим фактором развития ИСДИП.

**Ключевые слова:** интраоперационный синдром девиации инфузионных потоков, псевдоэкзофолиативный синдром, витреолентилулярный интерфейс ■

**Для цитирования:** Ребриков И.С., Егорова Е.В., Ребрикова А.С., Лизунов А.В., Титаренко Е.М. Оценка факторов риска развития интраоперационного синдрома девиации инфузионных потоков с учетом анатомо-топографических особенностей переднего отрезка. Офтальмохирургия. 2023;3: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Игорь Сергеевич Ребриков, igor.augenarzt@gmail.com

#### ABSTRACT

Original article

### Assessment of intraoperative fluid misdirection syndrome risk factors according to anatomical and topographical features of anterior segment

I.S. Rebrikov<sup>1</sup>, E.V. Egorova<sup>2</sup>, A.S. Rebrikova<sup>3</sup>, A.V. Lizunov<sup>1</sup>, E.M. Titarenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eye Microsurgery Center, Yekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Novosibirsk Branch, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

© Ребриков И.С., Егорова Е.В., Ребрикова А.С., Лизунов А.В., Титаренко Е.М., 2023



**Relevance.** Despite continuous improvement in cataract surgery technology, intraoperative fluid misdirection syndrome remains an underestimated problem. **Purpose.** To evaluate intraoperative fluid misdirection syndrome clinical manifestation in patients with pseudoexfoliation syndrome (PXS) and without it; to assess intraoperative fluid misdirection syndrome risk factors according to anatomical and topographical features of anterior segment. **Material and methods.** There were two groups of patients who underwent phacoemulsification in the prospective study. Study group (50 eyes) included patients with complicated cataract, PXS and drug-induced mydriasis less than 6 mm. Control group (50 eyes) included patients with senile cataract, no PXS and drug-induced mydriasis more than 6 mm were enrolled in the control group. Clinical examination of patients included optical biometry, pupillometry using rotational Scheimpflug imaging, ultrasound biomicroscopy for evaluation of iris thickness and sectional area of posterior chamber under drug-induced mydriasis. **Results.** The average pupil diameter in 1 hour after instillation of mydriatics was  $5.46 \pm 0.46$  mm in the study

group and  $6.6 \pm 0.43$  mm in the control group. The sectional area of posterior chamber was  $0.67 \pm 0.28$  mm<sup>2</sup> and iris thickness –  $0.53 \pm 0.05$  mm in the study group. The sectional area of posterior chamber was  $0.43 \pm 0.15$  mm<sup>2</sup> and iris thickness –  $0.64 \pm 0.07$  mm in the control group. The results revealed positive correlation between pupil diameter and iris thickness, and negative correlation between pupil diameter, iris thickness and sectional area of posterior chamber. Lens floaters were determined after phacoemulsification in 9 eyes (18%) in the study group and in 3 eyes (6%) in the control group. The results showed statistically significant difference between groups ( $p < 0.05$ ). **Conclusion.** Lens floaters in the retrolental space as one of the main manifestations of the intraoperative fluid misdirection syndrome were observed in 18% patients of study group and in 6% patients of control group ( $p < 0.05$ ). Combination of PXS and drug-induced mydriasis less than 6 mm is considered to be the predictive factor of intraoperative fluid misdirection syndrome.

**Key words:** *intraoperative fluid misdirection syndrome, pseudoexfoliation syndrome, anterior vitreous face* ■

**For citation:** Rebrikov I.S., Egorova E.V., Rebrikova A.S., Lizunov A.V., Titarenko E.M. Assessment of intraoperative fluid misdirection syndrome risk factors according to anatomical and topographical features of anterior segment. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;3: XXX. Doi

**Corresponding author:** Igor' S. Rebrikov, igor.augenarzt@gmail.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Хирургия катаракты является наиболее распространенной и одной из самых высокотехнологичных сфер в офтальмохирургии. По оценкам экспертов, ежегодно во всем мире выполняется около 20 млн операций по поводу удаления катаракты [1]. Высокие функциональные результаты и низкая частота осложнений расширяют показания к хирургии хрусталика, в том числе у пациентов с прозрачным хрусталиком и высокой остротой зрения для коррекции различных видов аметропии, включая астигматизм и пресбиопию [2, 3]. Таким образом, на сегодняшний день хирургия хрусталика относится к рефракционным вмешательствам, а высокие ожидания пациентов, обращающихся с исходно высокой остротой зрения, требуют свести к минимуму риски развития интраоперационных и послеоперационных осложнений. Несмотря на непрерывное совершенствование технологий хирургии хрусталика, недостаточно изученной остается проблема патологического распространения инфузионного раствора в задней камере глаза и витреальной полости в ходе факоэмульсификации, известное как интраоперационный синдром девиации инфузионных потоков (ИСДИП).

Несмотря на то что впервые данное состояние было описано R. Mascolo в 1990 г. [4], на сегодняшний день не существует диагностических критериев стратификации риска развития ИСДИП. Рядом авторов были выделены факторы риска развития данного синдрома, такие как слабость Цинновой связки, набухающая и бурая катаракта, короткая и экстремально длинная передне-за-

дня ось (ПЗО) [5, 6], а также высокая подвижность радужки в сочетании с мидриазом менее 6 мм или прогрессирующим миозом в ходе вмешательства [7, 8]. Учитывая ранее описанные факторы риска развития ИСДИП, основным этиологическим компонентом развития данного состояния можно считать иридо-зонулярную недостаточность в сочетании с высокими скоростными характеристиками ирригационного потока в передней камере [9]. Одной из основных причин иридо-зонулярной недостаточности является псевдоэкзофолиативный синдром (ПЭС), при котором в равной степени поражаются волокна Цинновой связки и происходят структурные изменения радужки, приводящие к ее патологической подвижности и недостаточному интраоперационному мидриазу. Актуальным остается вопрос оценки факторов риска развития ИСДИП на этапе предоперационного диагностического обследования для составления корректного хирургического плана ведения подобных пациентов.

## ЦЕЛЬ

Оценить частоту встречаемости проявлений ИСДИП у пациентов с ПЭС и без него; выявить факторы риска развития ИСДИП с учетом анатомо-топографических особенностей переднего отрезка.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В рамках проспективного исследования, выполненного на базе Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия

глаза», были сформированы 2 группы пациентов, прооперированных по поводу удаления катаракты методом ультразвуковой факэмульсификации с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ): 1) исследуемая группа (n=50) – пациенты с осложненной катарактой, ПЭС и диаметром зрачка при медикаментозном мидриаза менее 6 мм; 2) контрольная группа (n=50) – пациенты с сенильной катарактой, без ПЭС и диаметром зрачка при медикаментозном мидриаза более 6 мм. Характеристика групп пациентов, включенных в исследование, представлена в *таблице 1*. Статистически значимых различий по возрасту, виду катаракты между группами не было выявлено. Тип катаракты и плотность ядра хрусталика были определены в соответствии с классификацией LOCS III по данным биомикроскопии. Факэмульсификация была выполнена стандартно одним опытным хирургом через основной доступ 2,2 мм на системе для факэмульсификации Centurion (Alcon, США) на следующих параметрах: интраоперационное внутриглазное давление (ИВГД) 28 мм рт.ст., вакуум 450 мм рт.ст. со снижением до 350 мм рт.ст. при прорыве окклюзии, аспирация 30 мл/мин, ультразвук 20–40 импульсов, мощность торсионного ультразвука 20–80%, время включения ультразвука 60%. Для достижения медикаментозного мидриаза за 30 мин до вмешательства выполнялась инстилляцией мидриатика комбинированного действия (фенилэфрин 5,0% + тропикамид 0,8%), интраоперационно дополненная введением в переднюю камеру 0,1 мл 1,0% раствора фенилэфрина. Устройства и различные мануальные приемы для расширения зрачка не применялись. Аспирация резидуальных кортикальных масс выполнялась с использованием коаксиальной автоматизированной системы ирригации-аспирации, ИОЛ была имплантирована с использованием техники имплантации «в разрез» (wound-assisted).

Помимо стандартного офтальмологического обследования выполнялись следующие дополнительные методы исследования:

1) оптическая биометрия на приборе IOL Master 700 (Carl Zeiss Meditec, Германия) – оценивались глубина передней камеры, толщина хрусталика, аксиальная длина глаза;

2) исследование переднего отрезка на Шаймпфлюг-камере Pentacam HR (Oculus, Германия) – оценка пупиллометрии в условиях медикаментозного мидриаза (через 1 ч после инстилляцией мидриатика комбинированного действия (фенилэфрин 5,0% + тропикамид 0,8%);

3) ультразвуковое В-сканирование (Tomey UD-8000, Япония) для оценки наличия задней отслойки стекловидного тела;

4) ультразвуковая биомикроскопия (УБМ) на приборе VuMaxHD (Sonomed, США) в режиме меридионального сканирования в четырех секторах – определение площади сечения задней камеры, измерение толщины радужки в условиях медикаментозного мидриаза.

Для определения площади сечения задней камеры выполнялось построение треугольника с использова-

нием встроенного в прибор VuMaxHD (Sonomed, США) программного обеспечения: 1-я сторона – задняя поверхность радужки; 2-я сторона – передняя поверхность хрусталика; 3-я сторона – цилиарное тело (*рис. 1*). Определение площади треугольника было выполнено по формуле Герона (*рис. 2*). Площадь сечения задней камеры определялась в четырех секторах, после чего вычислялось среднее значение площади сечения задней камеры.

Интраоперационно субъективно оценивалось наличие хрусталикового детрита (взвеси мелких хрусталиковых фрагментов) в ретролентальном пространстве, а также учитывались другие проявления ИСДИП, такие как патологическая подвижность задней капсулы, радужной оболочки, сужение зрачка в ходе вмешательства. Также оценивали параметр кумулятивной энергии ультразвука (С.Д.Е.) и объем аспирируемой жидкости. Анализируя эти параметры, можно косвенно судить о длительности операции, плотности катаракты и ирригационной нагрузке на структуры переднего отрезка.

В послеоперационном периоде выполнялась оптическая когерентная томография (ОКТ) переднего отрезка на томографе SOLIX (Optovue, США) с использованием насадки для широкоугольного сканирования переднего отрезка с целью визуализации структур витреоленткулярного интерфейса (ВЛИ) и хрусталикового детрита в ретролентальном пространстве. Применялся протокол Full Range AC.

Критериями исключения из данного исследования являлись диаметр зрачка менее 5 мм после достижения медикаментозного мидриаза на этапе диагностического обследования (диаметр менее 5 мм потребовал бы установки ретрактора зрачка для выполнения переднего капсулорексиса соответствующего диаметра), предшествующие операции в анамнезе, разрыв задней капсулы в ходе хирургии.

Для оценки статистической значимости различий между группами применялся непараметрический критерий Манна – Уитни. Различия считались статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ . Для оценки силы корреляционной зависимости применялся расчет коэффициента корреляции Пирсона. Корреляционная зависимость считалась сильной при значении коэффициента Пирсона более 0,5. Статистическая обработка выполнялась с использованием библиотек pandas, numpy, scipy в языке программирования Python.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний диаметр зрачка в условиях медикаментозного мидриаза через 1 ч после инстилляцией мидриатика комбинированного действия (фенилэфрин 5,0% + тропикамид 0,8%) по данным пупиллометрии, выполненной на Шаймпфлюг-камере (Pentacam HR, Oculus, Германия), в исследуемой группе составил  $5,46 \pm 0,46$  мм

Таблица 1

Характеристика групп

Table 1

Characteristics of patients' groups

Параметр Parameter	Исследуемая группа Study group (n=50)	Контрольная группа Control group (n=50)
Возраст, лет Age, years	74,9±3,94	73,4±5,6
Пол, м:ж, абс. Gender, m:f, abs.	11:39	16:34
Вид катаракты*, абс. (%) Cataract type*, abs. (%)		
корковая cortical	4 (8)	4 (8)
ядерная (2+) nuclear (2+)	15 (30)	18 (36)
ядерная (3+) nuclear (3+)	22 (44)	18 (36)
ядерная (4+) nuclear (4+)	4 (8)	5 (10)
зрелая, набухающая mature, liquified white	5 (10)	5 (10)
Материал ИОЛ, абс. (%) IOL material, abs. (%)		
гидрофильный акрил hydrophilic acryl	44 (88)	48 (96)
гидрофобный акрил hydrophobic acryl	6 (12)	2 (4)

Примечание. \* – по классификации LOCS III.

Note. \* – according to LOCS III.

(min = 5,0 мм, max = 5,86 мм), в контрольной группе – 6,6±0,43 мм (min = 6,23 мм, max = 7,17 мм). Различия значения диаметра зрачка между исследуемой и контрольной группами статистически значимы (p≤0,05).

По данным предоперационной оптической биометрии статистически значимые различия между группами пациентов были выявлены только по параметру аксиальной длины глаза (ПЗО): 23,34±1,02 мм – исследуемая группа; 24,24±1,37 мм – контрольная группа. Стоит отметить, что минимальное значение ПЗО в исследуемой группе составляло 21,85 мм, максимальное значение – 26,03 мм. В контрольной группе минимальное значение ПЗО составляло 22,04 мм, максимальное значение – 26,13 мм. Полученные результаты дооперационных биометрических данных свидетельствуют о том, что глаза с ультракороткой и экстремально длинной аксиальной длиной не были включены в данное исследование.

По данным ультразвукового В-сканирования, выполненного до операции, полная задняя отслойка стекловидного тела отмечалась у 30 пациентов (60%) в исследуемой группе и 35 пациентов (70%) в контрольной группе. Частичная задняя отслойка стекловидного тела была выявлена в 4 случаях (8%) в обеих группах. Отслойка задней гиаловидной мембраны отсутствовала у 16 пациентов (32%) в исследуемой группе и 11 пациентов (22%) в контрольной группе. Статистически значимых различий по данным ультразвукового В-сканирования между группами не выявлено. Корреляционной зависимости между развитием ИСДИП и наличием отслойки задней гиаловидной мембраны не обнаружено.

Площадь сечения задней камеры была рассчитана по методике, описанной в разделе «Материал и методы», на основании данных УБМ, выполненной на приборе VuMaxHD (Sonomed, США) в условиях медикаментозно-

го мидриаза. Площадь сечения задней камеры в исследуемой группе составила  $0,67 \pm 0,28 \text{ мм}^2$  (min =  $0,45 \text{ мм}^2$ ; max =  $1,42 \text{ мм}^2$ ) толщина радужки в состоянии медикаментозного мидриаза –  $0,53 \pm 0,05 \text{ мм}$  (min =  $0,44 \text{ мм}$ ; max =  $0,62 \text{ мм}$ ). У пациентов, включенных в контрольную группу, были определены следующие значения площади сечения задней камеры и толщины радужки соответственно:  $0,43 \pm 0,15 \text{ мм}^2$  (min =  $0,25 \text{ мм}^2$ ; max =  $0,6 \text{ мм}^2$ ) и  $0,64 \pm 0,07 \text{ мм}$  (min =  $0,51 \text{ мм}$ ; max =  $0,74 \text{ мм}$ ). Выявленные различия между группами были статистически значимы. Была отмечена прямая корреляционная зависимость между диаметром зрачка и толщиной радужки и обратная корреляционная зависимость между двумя этими показателями и площадью сечения задней камеры (корреляционная зависимость считалась сильной при значении коэффициента Пирсона более 0,5) (рис. 3).

Таким образом, меньший диаметр зрачка в условиях медикаментозного мидриаза обусловлен недостаточной реакцией радужки на эпibuльбарную инстилляцию мидриатика, что отражается на меньшей толщине радужки, что, в свою очередь, ассоциировано с большей площадью сечения задней камеры. Недостаточная реакция радужки на инстилляцию мидриатика и, как следствие, больший объем задней камеры создают благоприятные условия для распространения избыточного объема ирригационного раствора в заднюю камеру. Дальнейшее его распространение в ретролентальное пространство и витреальную полость зависит от состояния ВЛИ. Стоит отметить, что площадь сечения задней камеры также зависит от анатомических особенностей переднего отрезка: положение и толщина хрусталика, расположение цилиарного тела. Однако, учитывая то, что по биометрическим параметрам группы были равнозначны и площадь сечения задней камеры определялась в условиях медикаментозного мидриаза, основными факторами, влияющими на величину площади сечения задней камеры, являются диаметр зрачка и толщина радужки в условиях медикаментозного мидриаза. Обнаруженные закономерности анатомо-топографических особенностей переднего отрезка подтверждают значимость барьерной функции радужки в развитии ИСДИП, в условиях медикаментозного мидриаза препятствующей затеканию ирригационного раствора в заднюю камеру глаза.

Значимых различий между исследуемой и контрольной группами по параметру С.Д.Е. и объему аспирируемой жидкости не обнаружено. С.Д.Е. в исследуемой группе был равен  $8,68 \pm 5,02$  (min =  $3,51$ ; max =  $24,95$ ), в группе контроля –  $8,71 \pm 5,09$  (min =  $3,07$ ; max =  $20,29$ ). Объем аспирируемой жидкости составил  $64,4 \pm 13,5 \text{ мл}$  (min =  $45 \text{ мл}$ ; max =  $100 \text{ мл}$ ) в исследуемой группе и  $63,27 \pm 15,0 \text{ мл}$  (min =  $45 \text{ мл}$ ; max =  $100 \text{ мл}$ ) в контрольной группе. Большие значения параметра С.Д.Е. и объема аспирируемой жидкости были ассоциированы с большей плотностью катаракты. Большая ирригационная нагрузка была связана с более высокой частотой встречаемости хрусталикового детрита в ретролентальном про-

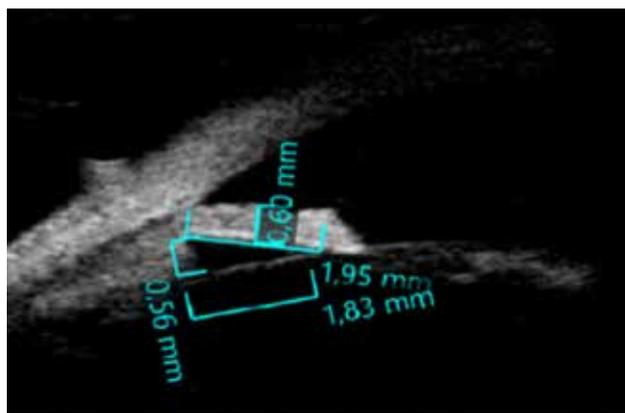
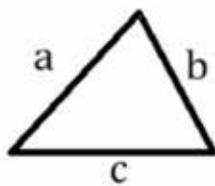


Рис. 1. УБМ-снимок в режиме меридионального сканирования. Методика определения площади сечения задней камеры и толщины радужки

Fig. 1. UBM meridional scan. Posterior chamber sectional area definition and iris thickness measurement

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

$$p = \frac{a+b+c}{2}$$


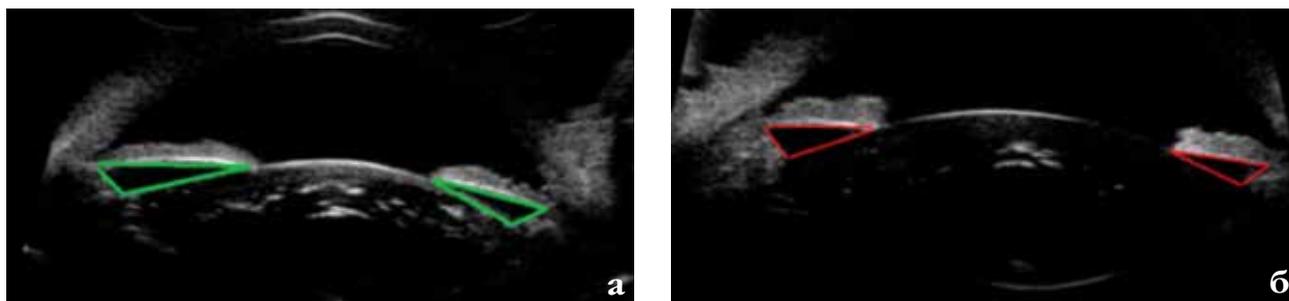
p – полупериметр треугольника  
p – triangle half-perimeter

Рис. 2. Формула Герона для определения площади треугольника

Fig. 2. Heron formula for triangle area calculation

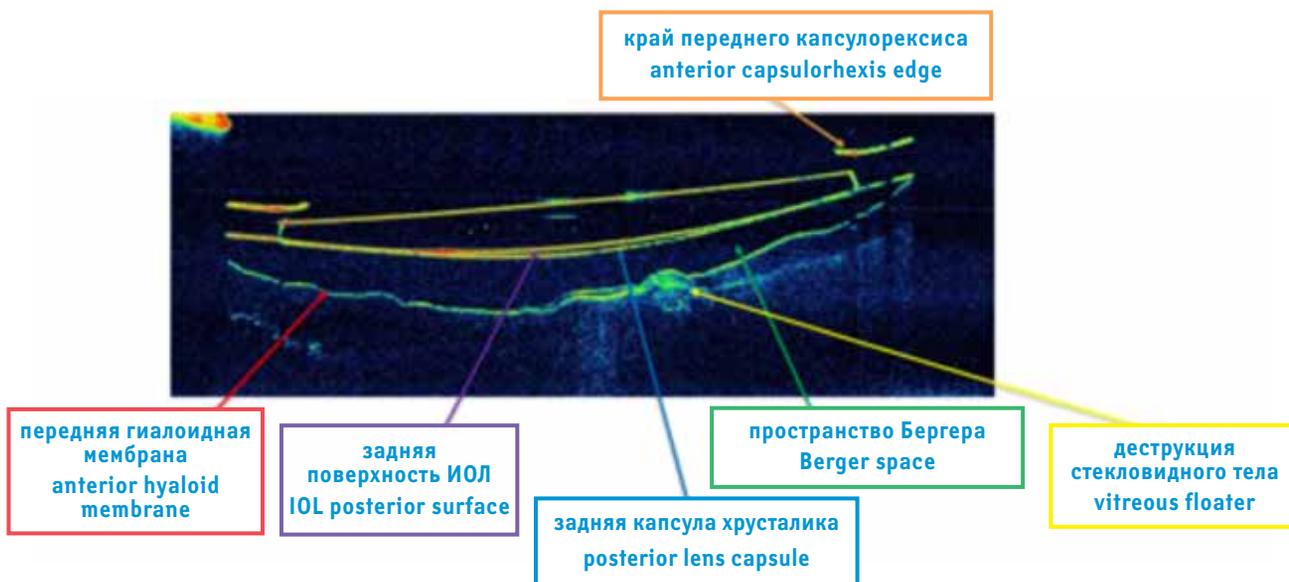
странстве, что подтверждает один из механизмов нарушения структур ВЛИ вследствие длительной ирригации. Поскольку эмульсификация плотного ядра хрусталика требует использования большего количества энергии ультразвука, как следствие, возрастает ирригационная нагрузка на структуры переднего отрезка, поэтому плотные катаракты также можно отнести к одному из факторов риска развития ИСДИП.

При равнозначности групп по виду и плотности катаракты хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве был обнаружен после выполнения факэмульсификации у 9 пациентов (18%) исследуемой группы и у 3 пациентов (6%) группы контроля. В группе пациентов с ПЭС 2 случая обнаружения хрусталикового детрита сочетались с интраоперационным сужением зрачка. В группе контроля хрусталиковый детрит был отмечен у 1 пациента с набухающей катарактой. В 1 случае был ассоциирован с бурой катарактой, параметром С.Д.Е. =  $20,29$  и объемом аспирируемой жидкости  $100 \text{ мл}$ . Также наличие хрусталикового детрита в ретролентальном



**Рис. 3.** УБМ-снимки в режиме сканирования sulcus-to-sulcus. На верхнем снимке диаметр зрачка в условиях мед. мидриаза 5 мм, площадь сечения задней камеры 1,42 мм<sup>2</sup>. На нижнем снимке диаметр зрачка в условиях мед. мидриаза 6,95 мм, площадь сечения задней камеры 0,68 мм<sup>2</sup>

**Fig. 3.** UBM sulcus-to-sulcus scan. On the upper image: pupil diameter 5 mm, posterior chamber sectional area 1,42 mm<sup>2</sup>, on the inferior image: pupil diameter 6,95 mm, posterior chamber sectional area 0,68 mm<sup>2</sup>



**Рис. 4.** ОКТ-скан переднего отрезка, выполненный на 1-е сутки после операции, протокол FullRange AC. Стрелками указаны структуры, определяемые при оценке состояния ВЛИ

**Fig. 4.** AS-OCT scan performed at 1st day post-op, FullRange AC protocol. Arrows show structures identified in anterior vitreous face (AVF) evaluation

пространстве было выявлено на 1 глазу с ПЗО >26 мм в контрольной группе.

При анализе осложнений в ближайшем послеоперационном периоде отмечалась транзиторная офтальмогипертензия, компенсированная назначением гипотензивных препаратов, у 2 пациентов (4%) исследуемой группы и 1 пациента (2%) группы контроля. Стоит отметить, что во всех 3 случаях транзиторной офтальмогипертензии интраоперационно был выявлен хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве. Можно предполагать, что транзиторная офтальмогипертензия была следствием распространения избыточного объема ирригационного раствора в заднюю камеру и его накопления в ретролентальном пространстве.

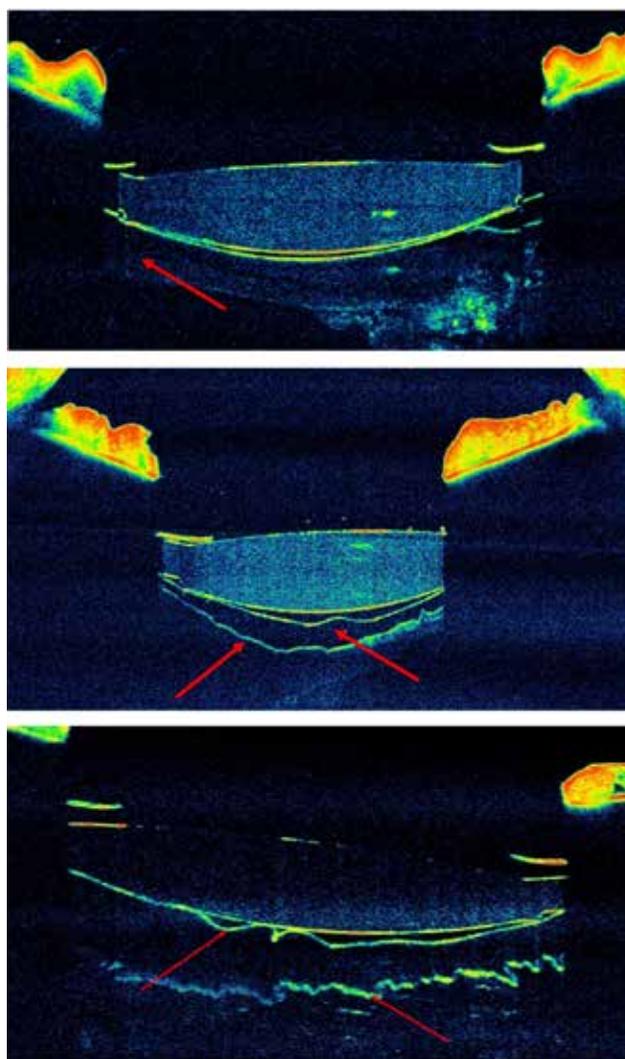
На 1-е сутки после операции была выполнена ОКТ переднего отрезка в условиях медикаментозного мидриаза с целью визуализации структур ВЛИ и подтверждения потенциального пути распространения ирригационного раствора в задней камере. На ОКТ-скане определяли следующие структуры: заднюю поверхность ИОЛ, заднюю капсулу хрусталика (ЗКХ), переднюю гиалоидную мембрану (ПГМ), ретролентальное пространство, хрусталиковый детрит (рис. 4). Для интерпретации полученных результатов была использована классификация ВЛИ, предложенная Е.В. Егоровой [10]. Данная классификация включает в себя 3 типа ВЛИ: I тип – плотная адгезия ПГМ к ЗКХ, пространство Бергера не визуализируется; II тип – наличие ретролентального простран-

ства с сохранностью структуры ПГМ и достаточным натяжением ЗКХ; III тип – расширение ретролентального пространства с грубыми структурными нарушениями: складки ЗКХ, деструкция ПГМ (рис. 5).

В исследуемой группе было отмечено следующее распределение типов ВЛИ: I тип – 3 пациента (6%), II тип – 17 пациентов (34%), III тип – 30 пациентов (60%). В контрольной группе соотношение типов ВЛИ отличалось и было следующим: I тип – 15 пациентов (30%), II тип – 17 пациентов (34%), III тип – 18 пациентов (36%). Таким образом, в исследуемой группе было выявлено преобладание III типа ВЛИ на фоне ПЭС, в то время как в контрольной группе отмечалось равномерное распределение типов ВЛИ. Наличие хрусталикового детрита в группе с ПЭС было ассоциировано со II (1 случай) и III (8 случаев) типами ВЛИ. В контрольной группе хрусталиковый детрит был отмечен у 1 пациента со II типом ВЛИ и у 2 пациентов с III типом ВЛИ. Выявленные различия в распределении типов ВЛИ обусловлены тем, что зонулопатия, вызванная ПЭС, распространяется в том числе на структуры ВЛИ, приводя к деструкции связки Вигера и, как следствие, отслойке ПГМ [11].

## ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленная в данном исследовании частота встречаемости хрусталикового детрита как главного проявления ИСДИП соответствует данным литературы [12, 13]. В.В. Потемкин, анализируя результаты хирургии катаракты при ПЭС, также отмечал более высокую частоту встречаемости данного проявления ИСДИП у пациентов с ПЭС, что сопоставимо с результатами, полученными в данном исследовании [13]. Наличие хрусталикового детрита в ретролентальном пространстве при интактной задней капсуле может рассматриваться как маркер несостоятельности Цинновой связки и структурных нарушений ВЛИ [14]. В данном исследовании факоэмульсификация выполнялась на щадящих гидродинамических параметрах с ИВГД, приближенным к нормотонусу, на системе для факоэмульсификации Centurion (Alcon, США), оснащенной системой активного поддержания ИВГД. Тем не менее результаты данного исследования показали, что применение современной системы для факоэмульсификации в сочетании с использованием щадящих гидродинамических параметров не может полностью исключить развитие ИСДИП. Стоит отметить, что несмотря на совершенствование систем для факоэмульсификации внедрение системы активного поддержания ИВГД, позволяющей автоматически корректировать смещение ирригационного-аспирационного баланса, оптимизацию хирургических параметров и техники, частота встречаемости хрусталикового детрита остается неизменной на протяжении почти 20 лет. Также до сих пор не изучено влияние хрусталикового детрита на функциональный результат хирургии и уровень воспалительной реакции



**Рис. 5.** ОКТ-скан переднего отрезка, выполненный на 1-е сутки после операции, протокол FullRange AC. Верхний снимок – I тип ВЛИ – стрелкой определена задняя капсула хрусталика (ЗКХ), пространство Бергера не визуализируется. Средний снимок – II тип ВЛИ – стрелки указывают на расширенное ретролентальное пространство и переднюю гиалOIDную мембрану (ПГМ). Нижний снимок – III тип ВЛИ – стрелками определены ЗКХ и ПГМ

**Fig. 5.** AS-OCT scan performed at 1st day post-op, FullRange AC protocol. The upper image: I AVF type – arrow shows posterior capsule, Berger's space is not identified; the middle image: II AVF type – arrows show dilated retrobulbar space and anterior hyaloid membrane; the inferior image: III AVF type – arrows define posterior capsule and anterior hyaloid membrane

в послеоперационном периоде. Изучение этих аспектов даст ответ на вопрос о необходимости дренирования ретролентального пространства и эвакуации из него ирригационного раствора с мелкими фрагментами хрусталиковых масс при развитии ИСДИП.

Роль радужки как барьера, ограничивающего избыточные ирригационные потоки от затекания в заднюю камеру и далее в ретролентальное пространство и/или

Таблица 2

Сравнительный анализ исследуемой и контрольной групп

Table 2

Comparative analysis of study and control group

Оцениваемый параметр Estimated parameter	Исследуемая группа Study group (n=50)	Контрольная группа Control group (n=50)
Диаметр зрачка, мм* Pupil diameter, mm*	5,46±0,46 (min = 5,0; max = 5,86)	6,6±0,43 (min = 6,23; max = 7,17)
Данные оптической биометрии		
глубина пер. камеры, мм Optical biometrical data: anterior chamber depth, mm	3,09±0,34 (min = 2,32; max = 3,72)	3,31±0,54 (min = 2,35; max = 4,05)
толщина хрусталика, мм lens thickness, mm	4,59±0,36 (min = 4,15; max = 5,29)	4,48±0,46 (min = 3,94; max = 5,44)
аксиальная длина (ПЗО), мм* axial length, mm*	23,34±1,02 (min = 21,85; max = 26,03)	24,24±1,37 (min = 22,04; max = 26,13)
площадь сечения задней камеры, мм <sup>2</sup> * posterior chamber sectional area, mm <sup>2</sup> *	0,67±0,28 (min = 0,45; max = 1,42)	0,43±0,15 (min = 0,25; max = 0,6)
толщина радужки, мм* iris thickness, mm*	0,53±0,05 (min = 0,44; max = 0,62)	0,64±0,07 (min = 0,51; max = 0,74)
C.D.E.	8,68 ± 5,02 (min = 3,51; max = 24,95)	8,71 ± 5,09 (min = 3,07; max = 20,29)
Объем аспир. жидкости, мл Aspirated fluid volume, ml	64,4±13,5 (min = 45; max = 100)	63,27±15,0 (min = 45; max = 100)
Хрусталиковый детрит* Retrorenal lens floaters*	9 (18%)	3 (6%)
Состояние ВЛИ п/опер. по данным ОКТ* AVF postop according to AS-OCT*		
I тип ВЛИ I AVF type	3 (6%)	15 (30%)
II тип ВЛИ II AVF type	17 (34%)	17 (34%)
III тип ВЛИ III AVF type	30 (60%)	18 (36%)
Примечание. * - p<0,05. Note. * - p<0,05.		

витреальную полость, была ранее описана в литературе. R. Bellucci и R. Korlin отмечали, что нарушение барьерной функции радужки наряду с высокими скоростными характеристиками ирригационного потока в передней камере способствуют миграции мелких хрусталиковых фрагментов трансзонолярно в ретролентальное пространство и/или витреальную полость [7, 8]. Результаты настоящего исследования подтверждают, что меньший диаметр зрачка в условиях медикаментозного миозина, обусловленный недостаточной реакцией радужки на эпibuльбарную инстилляцию мидриатика

и, как следствие, меньшей толщиной радужной оболочки, ассоциирован с большей площадью сечения задней камеры, что в сочетании с избыточной подвижностью радужки создает благоприятные условия для развития ИСДИП. Впервые в данном исследовании была применена УБМ для вычисления площади сечения задней камеры и определения взаимосвязи между структурным состоянием радужки и риском развития ИСДИП. Аналогичных исследований в литературе обнаружено не было.

Нельзя не отметить, что состояние ВЛИ является одним из звеньев патогенеза ИСДИП, что было подтвер-

дено рядом работ на основании интраоперационной ОКТ [14, 15]. Стоит отметить, что структурные изменения ВЛИ могут быть инволюционными, т.е. присутствовать до операции, или индуцированными, т.е. вызванными в ходе хирургических манипуляций. Несмотря на непрерывное совершенствование технологий ОКТ переднего отрезка, дооперационная визуализация структур ВЛИ на сегодняшний день затруднительна [16]. Поэтому дифференцировать инволюционные и индуцированные изменения ВЛИ, определяемые по данным интраоперационной ОКТ или в послеоперационном периоде, практически невозможно. В экспериментальных работах S. Kawasaki и соавт. при симуляции различных хирургических техник было продемонстрировано, что повышение внутриглазного давления (ВГД), происходящее при выполнении гидродиссекции, может приводить к разрыву ПГМ, а длительная ирригация в сочетании с перепадами ВГД является фактором риска отслойки ПГМ [17, 18].

В данном исследовании применялась только стационарная ОКТ переднего отрезка на 1-е сутки после операции для оценки состояния ВЛИ и визуализации возможных путей распространения ирригационного раствора с мелкими хрусталиковыми фрагментами в задней камере, определенных интраоперационно субъективно как хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве. По результатам настоящего исследования было установлено, что развитие ИСДИП возможно при II и III типе ВЛИ, для которых характерны расширение ретролентального пространства, деструкция связки Вигера, отслойка ПГМ и другие структурные нарушения ВЛИ. Одним из ограничений данного исследования является то, что состояние ВЛИ оценивалось на 1-е сутки после операции. Известно, что в послеоперационном периоде происходит трансформация ВЛИ при формировании комплекса «ИОЛ – капсульный мешок» [10]. Однако в рамках настоящего исследования необходимо было подтвердить взаимосвязь между состоянием ВЛИ и развитием ИСДИП, поэтому важна была оценка состояния ВЛИ в раннем послеоперационном периоде.

Таким образом, результаты данного исследования позволяют сформировать представление о патогенезе развития ИСДИП. Учитывая, что волокна Цинновой связки способны пропускать жидкость даже в неизменном состоянии, а при патологических состояниях, таких как ПЭС, их проницаемость может повышаться, ирригационный раствор в ходе фактоэмульсификации может свободно распространяться в заднюю камеру. Одним из определяющих моментов, влияющим на этот процесс, являются состояние радужной оболочки и ее реакция на эпibuльбарную инстилляцию и внутрикамерное введение мидриатиков. Недостаточная реакция зрачка связана с его меньшим диаметром в условиях медикаментозного мириаза и большей площадью сечения задней камеры, что создает благоприятные условия для распространения ирригационного раствора в заднюю камеру. Стоит отметить, что нарушение барьерной функции ра-

дужки также способствует распространению избыточного объема ирригационного раствора в заднюю камеру. Дальнейшее его распространение в ретролентальное пространство или витреальную полость зависит от состояния структур ВЛИ, что было подтверждено данными интраоперационной ОКТ [14, 15]. Известно, что избыточная длительная ирригация может приводить к отслойке ПГМ [17, 18], таким образом позволяя ирригационному раствору накапливаться в ретролентальном пространстве. Данное состояние приводит к возникновению патологической подвижности задней капсулы, что повышает риск ее повреждения, а в ряде случаев – к развитию так называемого синдрома «каменного глаза» (acute intraoperative rock-hard eye syndrome) [6]. Также результаты данного исследования демонстрируют, что использование щадящих гидродинамических параметров и системы для фактоэмульсификации с системой активного поддержания ИВГД не может полностью исключить риск развития ИСДИП, в особенности на глазах, имеющих факторы, предрасполагающие к данному состоянию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сопоставимых характеристиках по виду и плотности катаракты хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве как основное проявление ИСДИП был обнаружен у 18% пациентов с ПЭС и 6% пациентов без данного патологического состояния.

Сочетание ПЭС с диаметром зрачка менее 6 мм в условиях медикаментозного мириаза является неблагоприятным прогностическим фактором развития ИСДИП, поскольку связано с основными патогенетическими механизмами ИСДИП.

Развитие ИСДИП было выявлено при II и III типе ВЛИ, для которых характерны структурные нарушения ВЛИ. При наличии ПЭС преобладающими являются II (34%) и III (60%) тип ВЛИ.

Повышенная ирригационная нагрузка на структуры переднего отрезка, связанная с большей плотностью катаракты, и большие значения энергии ультразвука являются факторами, повышающими риск развития ИСДИП.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ianchulev T, Litoff D, Ellinger D, Stiverson K, Packer M. Office-based cataract surgery: population health outcomes study of more than 21 000 cases in the United States. *Ophthalmology*. 2016;123: 723–728. doi: 10.106/j.opht.2015.12.020
2. Alio JL, Grzybowski A, et al. Refractive lens exchange. *Surv Ophthalmol*. 2014;59(6): 579–598. doi: 10.1016/j.survophthal.2014.04.004
3. Davidson RS, Dhaliwal D, et al. Surgical correction of presbyopia. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(6): 920–930. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.05.003
4. Mackool RJ. The Stereoatlas of phacoemulsification and IOL implantation. Woodbury, NY: Stereo Arts Press; 1990: 78–79.
5. Mackool RJ, Sirota M. Infusion misdirection syndrome. *J Cataract Refract Surg*. 1993;19: 671–672. doi: 10.1016/s0886-3350(13)80032-6

6. Lau OCF, Montfort JM, Sim B, Lim C, Chen T, Ruan C, Agar A, Francis I. Acute intraoperative rock-hard eye syndrome and its management. *J Cataract Refract Surg.* 2014;40(5): 799–804. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.10.038
7. Bellucci R. Vitreous hydration: often a hidden complication of cataract surgery. *Cataract Refract Surg Today.* 2006;8: 26–28.
8. Koplin RS, Ritterband DC, Dodick JM, Donnenfeld ED, Schafer M. Untoward events associated with aberrant fluid infusion during cataract surgery: Laboratory study with corroborative clinical observations. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(8): 1135–1140. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.07.014
9. Егорова Е.В., Ребриков И.С. Синдром девиации инфузионных потоков: современное состояние вопроса. *Офтальмохирургия.* 2022;4: 74–84. [Egorova EV, Rebrikov IS. Syndrome of deviation of infusion flows: the current state of the issue. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2022;4: 74–84. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2022-4-74-84
10. Егорова Е.В., Дудилова В.В. Особенности витреолентикулярного интерфейса артификального глаза. *Офтальмохирургия.* 2019;39(3): 48–55. [Egorova EV, Dudilova VV. Features of the vitreolenticular interface of the artificial eye. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2019;39(3): 48–55. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2019-3-48-55
11. Белодедова А.В., Анисимова Н.С., Шилова Н.Ф., Гелястанов А.М., Малютина Е.А., Власенко А.В., Малюгин Б.Э. Деградация связи Вигера при слабости связочного аппарата хрусталика: миграция частиц хрусталика в пространство Бергера при фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации. Верификация интраоперационным ОКТ (клинический случай). *Современные технологии в офтальмологии.* 2018;4: 40–42. [Belodedova AV, Anisimova NS, Shilova NF, Gelastanov AM, Malyutina EA, Vlasenko AV, Malyugin BE. Degradation of the ligamentous apparatus of the lens: migration of lens particles into the Berger space during femtolaser-assisted phacoemulsification. Verification by intraoperative OCT (clinical case). *Modern technologies in ophthalmology.* 2018;4: 40–42. (In Russ.)]
12. Ang A, Shepstone L, Rallo VM, Burton R. Retrocapsular lens fragments after uneventful phacoemulsification cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30(4): 849–853. doi: 10.1016/j.jcrs.2003.08.026
13. Потемкин В.В., Гольцман Е.В. Хирургия катаракты при псевдоэкзофалиативном синдроме. *Офтальмологические ведомости.* 2020;13(1): 37–42. [Potemkin VV, Goltsman EV. Cataract surgery in pseudoexfoliative syndrome. *Ophthalmology Reports.* 2020;13(1): 37–42. (In Russ.)] doi: 10.17816/OV25739
14. Anisimova NS, Arbisser LB, Shilova NF, Melnik MA, Belodedova AV, Knyazer B, Malyugin BE. Anterior vitreous detachment: risk factor for intraoperative complications during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.* 2020;46(1): 55–62. doi: 10.1016/j.jcrs.2019.08.005
15. Tassignon MJ, Dhuhghaill SN. Innovative implantation technique. *Bag-in-the-lens cataract surgery.* Springer Nature, Switzerland; 2019.
16. Santos-Bueso E. Berger's space. *Arch Soc Esp Oftalmol.* 2019. doi: 10.1016/j.oftal.2019.06.006
17. Kawasaki S, Suzuki T, Yamagichi M, Tasaka Y, Shiraishi A, Uno T, Sadamoto M, Minami N, Naganobu K, Ohashi Yu. Disruption of the posterior chamber – anterior hyaloid membrane barrier during phacoemulsification and aspiration as revealed by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Arch Ophthalmol.* 2009;127(4): 465–470. doi: 10.1001/archophthalmol.2008.594
18. Kawasaki S, Tasaka Y, Suzuki T, Zheng X, Shiraishi A, Uno T, Ohashi Yu. Influence of elevated intraocular pressure on the posterior chamber-anterior hyaloid membrane barrier during cataract operations. *Arch Ophthalmol.* 2011;129(6): 751–757. doi: 10.1001/archophthalmol.2011.115

#### Информация об авторах

**Игорь Сергеевич Ребриков**, врач-офтальмолог, зав. диагностическим отделением АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», igor.augenarzt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4927-9044>

**Елена Владиленовна Егорова**, д.м.н., зам. директора по лечебной работе Новосибирского филиала НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, e.egorova@mntk.nsk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2901-0902>

**Анна Сергеевна Ребрикова**, студент лечебно-профилактического факультета ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, rebrikova.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0686-2228>

**Александр Владиленович Лизунов**, врач-офтальмолог I хирургического отделения АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», dnmt.oncology@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7019-3002>

**Елена Михайловна Титаренко**, врач-офтальмолог отделения функциональной диагностики АО «Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», eyetitarenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

#### Information about the authors

**Igor' S. Rebrikov**, Ophthalmologist, Head of the Diagnostic Department, igor.augenarzt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4927-9044>

**Elena V. Egorova**, Doctor of Sciences in Medicine, Deputy Director for Medical Work, e.egorova@mntk.nsk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2901-0902>

**Anna S. Rebrikova**, Student of the Medical and Preventive Faculty, rebrikova.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0686-2228>

**Aleksandr V. Lizunov**, Ophthalmologist, dnmt.oncology@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7019-3002>

**Elena M. Titarenko**, Ophthalmologist, eyetitarenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

#### Вклад авторов в работу:

**И.С. Ребриков:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**Е.В. Егорова:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии текста, подлежащей публикации.

**А.С. Ребрикова:** написание текста.

**А.В. Лизунов:** сбор, анализ и обработка материала.

**Е.М. Титаренко:** сбор, анализ и обработка материала.

#### Authors' contribution:

**I.S. Rebrikov:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**E.V. Egorova:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**A.S. Rebrikova:** writing.

**A.V. Lizunov:** collection, analysis, and processing of material.

**Elena M. Titarenko:** 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: 14.04.2023

Переработана: 12.07.2023

Принята к печати: 27.09.2023

Originally received: 14.04.2023

Final revision: 12.07.2023

Accepted: 27.09.2023

## ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ CATARACT SURGERY AND IOL IMPLANTATION

Научная статья  
УДК 617.741-004.1  
doi:

### Современные подходы к хирургии катаракт с высокой остротой зрения на основании анализа волнового фронта

О.В. Шиловских, Д.И. Иванов, Е.М. Титаренко, А.Н. Ульянов  
Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», Екатеринбург

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Острота зрения до недавних пор являлась основным критерием для определения сроков операции, но уже на ранних стадиях развития катаракты пациенты могут страдать от снижения качества изображения, что влияет на качество жизни («ночная» миопия, рассеивание света, размытость). Ухудшение зрительной функции у этих пациентов может быть объяснено ошибками преломления. Анализ внутренних aberrаций высшего порядка, возникших в результате незначительного помутнения хрусталика, имеет важное значение для определения влияния непрозрачности сред на aberrации волнового фронта и для определения показаний и сроков проведения хирургического лечения, особенно у пациентов с высокой остротой зрения.

**Цель.** Оценить свойства оптической системы глаза с начальной катарактой и высокой остротой зрения. Исследовать волновой фронт и его aberrации, а также качество изображения на сетчатке (контрастную чувствительность и коэффициент Штреля), вызванное различными типами помутнения хрусталика. **Материал и методы.** В исследование включены 111 глаз с катарактой и 42 глаза без признаков катаракты (контрольная группа). Средний возраст пациентов составил  $57 \pm 5,3$  года. Анализ волнового фронта проводили с использованием

абберрометра с трассировкой лучей iTrace (Tracey Tech., США) в темной комнате при максимальном медикаментозном мидриазе. В каждой группе измерены общие, роговичные и внутренние aberrации волнового фронта при диаметре зрачка 6,0 мм. Aberrации высших порядков анализировали с использованием полиномов Цернике (3–5-го порядка). Также оценивали функцию передачи модуляции (MTF) на разных пространственных частотах (0–30 c/deg) и коэффициент Штреля у пациентов в группах исследования. **Результаты.** Общие и внутренние aberrации высшего порядка волнового фронта были значительно более выражены в группах с различными видами катаракты по сравнению с пациентами из контрольной группы, в то время как роговичные aberrации высшего порядка статистически не различались. Нами отмечен более высокий уровень общих и внутренних aberrаций в группе пациентов с задней субкапсулярной катарактой. В связи с этим пациенты с задней субкапсулярной катарактой требуют оперативного лечения на более ранних сроках, несмотря на высокую остроту зрения. **Заключение.** Рекомендуем оценивать оптическое качество зрения и aberrации волнового фронта при наблюдении за начальной катарактой для решения о проведении операции в более ранние сроки.

**Ключевые слова:** начальная катаракта, качество зрения, aberrации высшего порядка, внутренние aberrации волнового фронта ■

**Для цитирования:** Шиловских О.В., Иванов Д.И., Титаренко Е.М., Ульянов А.Н. Современные подходы к хирургии катаракт с высокой остротой зрения на основании анализа волнового фронта. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi  
**Автор, ответственный за переписку:** Елена Михайловна Титаренко, eyetitarenko@gmail.com

#### ABSTRACT

Original article

### Modern approaches to cataract surgery with high visual acuity based on wavefront analysis

O.V. Shilovskikh, E.M. Titarenko, D.I. Ivanov, A.N. Ulyanov  
Eye Microsurgery Center, Ekaterinburg, Russian Federation

**Relevance.** Until recently, visual acuity was the main criterion for determining the timing of surgery, but already in the early stages of cataract development, patients may suffer from reduced image quality, which affects the quality of life ("night" myopia, light scattering, blurring). Deterioration in visual function in these patients may be explained by refractive errors. Analysis of internal higher-order aberrations resulting

from slight opacification of the lens is important for determining the effect of media opacity on wavefront aberrations (WF) and for determining the indications and timing of surgical treatment, especially in patients with high visual acuity. **Purpose.** Evaluate the optical system of the eye with initial cataracts and high visual acuity. Evaluate the wavefront and its aberrations, contrast sensitivity and Shtrel coefficient. **Material and methods.** The

study included 111 eyes with cataracts and 42 eyes without signs of cataracts (control group). Patients aged on average  $57 \pm 5.3$  years. Wavefront analysis was performed using an iTrace ray tracing aberrometer (Tracey Tech., USA) in a dark room under maximum drug-induced mydriasis. In each group, total, corneal, and internal wavefront aberrations were measured at a pupil diameter of 6.0 mm. Higher order aberrations were analyzed using Zernike polynomials (3rd to 5th order). The modulation transfer function (MTF) at different spatial frequencies (0–30 c/deg) and the Strehl coefficient in patients in the study groups were also assessed. **Results.** Total and internal higher-order wavefront aberrations were significant in

different cataract groups compared with control patients, while higher-order corneal aberrations were not statistically different. We noted a higher level of total and internal aberrations in the group of patients with posterior subcapsular cataract. In this regard, patients with posterior subcapsular cataract require surgical treatment at an earlier stage, despite high visual acuity. **Conclusion.** We recommend assessing the optical quality of vision and wavefront aberrations when observing early cataracts in order to decide whether to perform surgery at an earlier date.

**Key words:** *initial cataract, quality of vision, higher order aberrations, internal wavefront aberrations* ■

**For citation:** Shilovskikh O.V., Titarenko E.M., Ivanov D.I., Ulyanov A.N. Modern approaches to cataract surgery with high visual acuity based on wavefront analysis. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Elena M. Titarenko, eyetitarenko@gmail.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Человечество постепенно приспосабливается к обработке постоянно растущего объема визуальной информации, в настоящее время люди склонны замечать даже незначительное снижение качества зрения, причину которого не всегда просто установить. Хотя существует несколько тестов для оценки зрительных функций, в настоящее время нет способов разделить влияние катаракты на зрение или функциональные способности пациента от других нарушений [1, 2]. Острота зрения до недавних пор являлась основным критерием для определения сроков операции, но уже на ранних стадиях развития катаракты пациенты могут страдать от снижения качества изображения («ночная» миопия, рассеивание света, размытость). Ухудшение зрительной функции у этих пациентов может быть объяснено ошибками преломления – аберрациями [3].

Аберрации низших порядков описывают привычные для офтальмологов аметропии – миопию, гиперметропию и астигматизм. Они вызывают размытие изображения и снижение остроты зрения и компенсируются с помощью традиционных методов коррекции. Менее известны полиномы высших порядков (ВП). Аберрации ВП (АВП) существенно влияют на качество зрения ухудшая его, особенно при правильно подобранной оптической коррекции имеющейся аметропии.

Естественный процесс старения вызывает изменения в оптике глаза с увеличением количества аберраций высокого порядка за счет помутнения в хрусталике. Это происходит в результате нарушения баланса между аберрациями роговицы и хрусталика в основном за счет увеличения сферических аберраций, а также комы и других аберраций [4].

Появление нового диагностического оборудования помогает исследовать изолированно внутренние оптические аберрации [5, 6]. Аберрации волнового фронта (ВФ) в роговице рассчитывают на основе топографи-

ческих данных, а аберрации во внутренней оптике глаза вычисляются путем вычитания аберраций в роговице из аберраций во всем глазу, измеренных aberromетром с использованием встроенного программного обеспечения. Помимо данных аберраций ВФ, aberromетр рассчитывает два показателя влияния аберраций на оптическое качество зрения – функцию передачи модуляции (MTF – modulation transfer function) и коэффициент Штреля, которые являются дополнением к набору инструментов для описания оптического качества зрения.

Анализ внутренних АВП, возникших в результате незначительного помутнения хрусталика, имеют важное значение для определения влияния непрозрачности сред на аберрации ВФ и для определения показаний и сроков проведения хирургического лечения.

## ЦЕЛЬ

Оценить свойства оптической системы глаза с начальной катарактой и высокой остротой зрения. Исследовать ВФ и его аберрации, а также качество изображения на сетчатке (контрастную чувствительность и коэффициент Штреля), вызванное различными типами помутнения хрусталика.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 103 пациента (153 глаза), обследованные в Екатеринбургском центре МНТК «Микрохирургия глаза». С кортикальной катарактой – 36 глаз, с ядерной катарактой – 37 глаз и с задней субкапсулярной катарактой – 38 глаз. В контрольную группу вошли 42 глаза без признаков катаракты. Возраст пациентов варьировал от 45 лет до 71 года, средний возраст –  $57 \pm 5,3$  года. Из исследования исключались пациенты после предшествующей глазной хирургии, лазерного лечения, с заболеваниями глазной поверхности и

сетчатки и ригидным зрачком. Всем пациентам проведено полное офтальмологическое обследование, включая измерение остроты зрения, бесконтактную тонометрию, биомикроскопию, определение полей зрения и осмотр глазного дна. Пациенты имели сферический эквивалент рефракции (SE) от +3,00 до -4,5 дптр и остроту зрения с коррекцией в среднем  $0,9 \pm 0,1$ .

В каждой группе были измерены общие, роговичные и внутренние aberrации ВФ при диаметре зрачка 6,0 мм. Анализ в ВФ проводили с использованием абберметра с трассировкой лучей iTrace (Trace Tech., США) в темной комнате при максимальном медикаментозном мидриазе. АВП анализировали с использованием полиномов Цернике (3–5-го порядка). Также оценивали контрастную чувствительность – кривые MTF в соответствии с группой катаракты на разных пространственных частотах (0–30 с/deg) и коэффициент Штреля.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения Statistica версии 10.0. Для определения статистической значимости различий средних величин использовали t-критерий Стьюдента. Значение  $p < 0,05$  считали статистически значимым.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследовании оценивали 153 глаза 103 пациентов. Не было статистически значимых различий между группами по возрасту, остроте зрения с коррекцией ( $p > 0,05$ ,  $p > 0,05$ ). Интерпретировать влияние АВП на зрение сложно. Если предположить, что моды Цернике с одинаковыми ошибками ВФ в равной степени ухудшают зрение, то можно связать любую моду Цернике с дефокусом 2-го порядка. Это позволяет выразить любую aberrационную моду в SE в диоптриях с помощью выражения:

$$SE = -4/p^2 \times C_m \text{ п,}$$

где  $C_m$  – коэффициент интересующей моды Цернике (мкм), а  $p$  – радиус зрачка (мм), при котором этот коэффициент был получен. Из этого выражения можно сделать вывод, что aberrационная мода более 0,3 мкм уже существенно влияет на качество зрения, хотя различные моды Цернике оказывают разное влияние на зрение. Поэтому результат, полученный по приведенному выше уравнению, следует интерпретировать с осторожностью. Кроме того, моды Цернике с одинаковыми меридианными частотами, но с разными радианными порядками могут взаимодействовать друг с другом, ухудшая или улучшая качество зрения. Результаты исследования представлены в *таблице*. Общие и внутренние АВП ВФ были значительно больше в группе с катарактами по сравнению со здоровыми пациентами, в то время как роговичные АВП статистически не различались. При сравнении общих и внутренних aberrаций при различных видах катаракты более высокий уровень aberrаций был в группе пациентов с задней субкапсулярной катарактой.

Глаза с кортикальной катарактой показали незначительное преобладание во внутренней оптике комподобных aberrаций по сравнению с двумя другими группами катаракт как в общих, так и во внутренних aberrациях ( $p < 0,05$  и  $p = 0,05$ ). Кома – это aberrация косых пучков света, падающих под углом к оптической оси глаза. В ее основе лежит смещение основных оптических элементов глаза относительно зрительной оси. Нарушение симметрии в вышедшем пучке лучей объясняется неодинаковыми условиями преломления лучей, входящих в систему на различных зонах входного зрачка. Люди с таким типом aberrации могут испытывать размытие и двоение изображения, при этом у изображений могут появляться хвосты, как у кометы.

В группе с ядерной катарактой значительно отличались сферические aberrации (отрицательный сдвиг), чем в группах с кортикальной и задней субкапсулярной катарактой во внутренних АВП ВФ ( $p < 0,05$ ). Сферическая aberrация относится к aberrациям 4-го порядка, которая в основном обусловлена тем, что периферия хрусталика преломляет падающие на нее параллельные лучи сильнее центра. При этом происходит несовпадение фокусов для лучей света, проходящих на разных расстояниях от оптической оси. В этом случае изображение в фокусе имеет вид круга с неоднородным распределением освещенности. Сферические aberrации могут вызывать ореолы вокруг точечных источников света и снижение контрастной чувствительности.

В группе с задней субкапсулярной катарактой значительно более высокие aberrации трефоил и комподобные aberrации в общих aberrациях и во внутренних АВП ВФ по сравнению с двумя другими группами ( $p > 0,05$ ). Трефоил (или эллиптическая кома) возникает при иррегулярности оптической поверхности. Несмотря на то что трефоил относится к aberrациям 3-го порядка, он оказывает меньшее влияние на качество изображения по сравнению с равной по значению модой комой, вызывая оптический феномен, в виде лучистости.

В контрольной группе показатели внутренних, общих и роговичных aberrаций по сравнению с группами пациентов с катарактой были низкими ( $p > 0,05$ ).

Помимо данных aberrаций ВФ, абберметр рассчитывает два показателя влияния aberrаций на оптическое качество зрения – MTF и коэффициент Штреля, которые являются дополнением к набору инструментов для описания оптического качества зрения.

Зрительный коэффициент Штреля также был исследован во всех группах при диаметре зрачка от 1 до 6 мм (*рис. 1*). Низкие показатели выявлены во всех группах исследуемых пациентов с катарактой, в сравнении с контрольной группой ( $p < 0,05$ ). Коэффициент Штреля – еще один показатель, демонстрирующий соотношение между пиком интенсивности функции светорассеяния изображения точки определенного глаза и глаза без aberrаций, который позволяет демонстрировать качество оптической системы. Коэффициент Штреля варьирует от

Таблица

Показатели АВП ВФ в исследуемых группах

Table

Indicators of higher-order aberrations in the study groups

Тип катаракты Type of cataract	Среднее значение ± стандартное отклонение Mean ± standard deviation				p
	Кортикальная Cortical	Ядерная Nuclear	Задняя Субкапсулярная Posterior subcapsular	Контрольная группа Control group	
Внутренние аберрации, мкм Internal aberrations, μm					
АВП HOA RMS	0,42±0,23	0,57±0,38	0,9±0,31	0,10±0,08	<0,05
Кома Coma	0,6±0,33	0,31±0,27	0,45±0,24	0,05±0,02	<0,05
Сферическая Spherical	0,10±0,02	-0,63±0,12	0,26±0,17	0,005±0,01	<0,05
Трефоил Trefoil	0,42±0,13	0,05±0,13	0,59±0,21	0,05±0,01	<0,05
Общие аберрации, мкм Total aberrations, μm					
АВП HOA RMS	0,48±0,27	0,69±0,31	0,89±0,32	0,18±0,04	<0,05
Кома Coma	0,75±0,13	0,22±0,24	0,31±0,17	0,09±0,02	<0,05
Сферическая Spherical	0,25±0,11	0,21±0,12	0,29±0,09	0,04±0,01	<0,05
Трефоил Trefoil	0,24±0,19	0,10±0,05	0,32±0,14	0,14±0,04	<0,05
Роговичные аберрации, мкм Corneal aberrations, μm					
АВП HOA RMS	0,09±0,03	0,19±0,08	0,04±0,01	0,17±0,02	>0,05
Кома Coma	0,02 ±0,001	0,03 ±0,01	0,05±0,01	0,05±0,01	>0,05
Сферическая Spherical	0,01±0,005	0,09±0,02	0,14±0,03	0,08±0,01	>0,05
Трефоил Trefoil	0,09±0,06	0,04±0,01	0,07±0,02	0,03±0,02	p >0,05

0 до 1, где 1 – лучший визуальный результат, а 0 – худший. Исходя из данных этого коэффициента можно прогнозировать остроту зрения, моделируя изменения изображения привычных опто типов на сетчатке.

На рисунке 2 показаны графики MTF при диаметре зрачка 6 мм в группах кортикальной, ядерной и задней субкапсулярной катаракты. Группа пациентов с задней субкапсулярной катарактой имела более низкие показате-

тели ( $p < 0,05$ ), чем в группе кортикальной, ядерной катаракты и контрольной группе от 5 до 30 цикл/градусов. Статистически значимых различий между группами корковой и ядерной катаракты на всех пространственных частотах обнаружено не было ( $p > 0,05$ ). MTF описывает качество изображения оптической системы и измеряет передачу модуляции (контрастности) от объекта к изображению, т.е. насколько достоверно оптическая си-

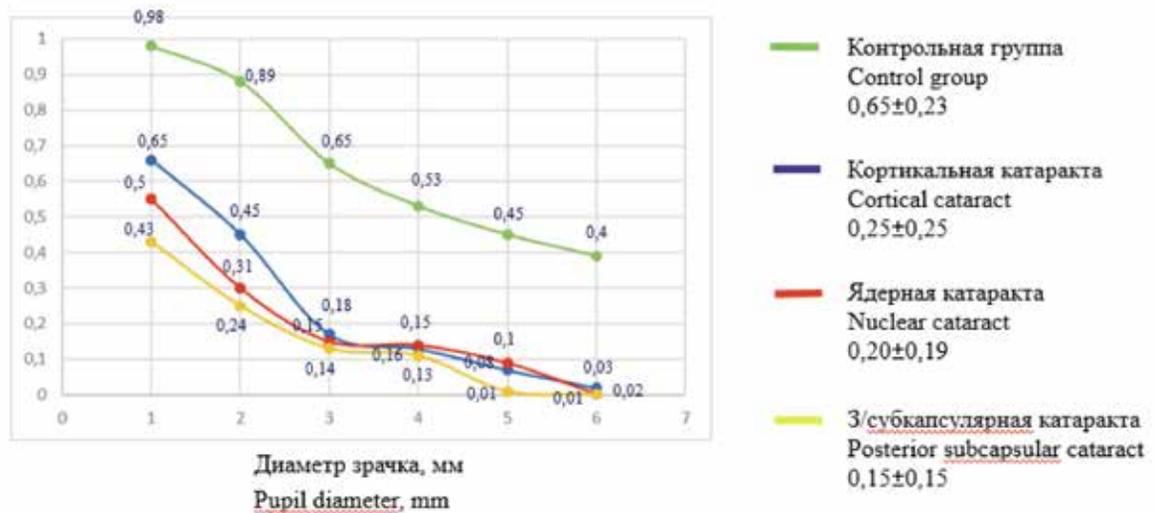


Рис. 1. Оценка коэффициента Штреля

Fig. 1. Estimation of the Strehl ratio

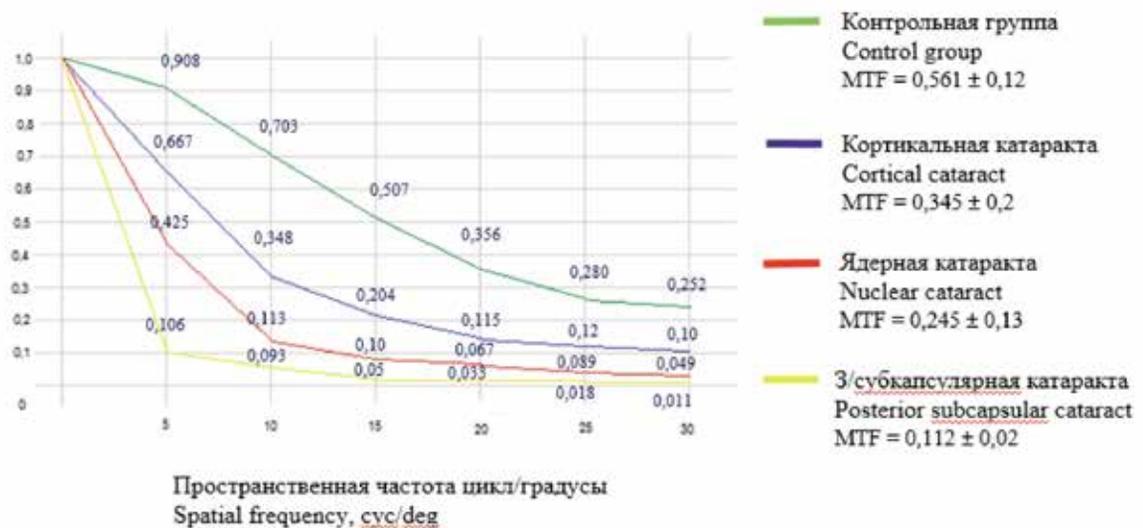


Рис. 2. Графики функции передачи модуляции (MTF) в исследуемых группах

Fig. 2. Graphs of the modulation transfer function (MTF) in the studied groups

стема воспроизводит (передает) различные уровни детализации (пространственные частоты) от объекта к изображению. MTF клинически полезна для оценки субъективной зрительной функции.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Технология ВФ является уникальным инструментом для измерения и количественной оценки аберра-

ций, создаваемых глазом как целостной оптической системой [7]. АВП вблизи центра пирамиды полиномов Цернике (такие, как кома, трейлоид и сферические аберрации) имеют тенденцию более значительно влиять на качество зрения, чем аберрации на периферии пирамиды [8, 9]. Описано, что внутренние АВП ВФ в группе кортикальной катаракты имели значительно более высокие комаподобные аберрации, а в группе ядерных катаракт – значительно более сферические аберрации, тогда как аберрации роговицы не показали статистических разли-

чий. В литературе описывают, что при ядерных катарактах полярность сферических аберраций отрицательна, потому что ВФ задерживается, когда луч проходит внутри твердого ядра с более высоким показателем преломления, тогда как прозрачные хрусталики имеют положительные сферические аберрации [10, 11]. При сравнении контрастной чувствительности и коэффициента Штреля в группах с ядерной, кортикальной и задней субкапсулярной катарактой группа пациентов с задней субкапсулярной катарактой показала значительно сниженные показатели контрастной чувствительности и коэффициента Штреля по сравнению с другими группами [12, 13]. В этом исследовании группа с задней субкапсулярной катарактой имела самую низкую кривую передачи функции модуляции, а также статистически значимые более высокие АВП по сравнению с группами корковой и ядерной катаракты. Сравнительно сильное влияние задней субкапсулярной катаракты на качество зрения может быть обусловлено типичной морфологией непрозрачности задней капсулы хрусталика, которая располагается чаще в оптической оси глаза и может привести к снижению центрального зрения и увеличению АВП ВФ. Эти выводы согласуются с нашим исследованием.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Даже при самых незначительных помутнениях хрусталика уже отмечаются достоверно значимые изменения ВФ – усиление комоподобных аберраций при кортикальной катаракте, усиление отрицательных сферических аберраций при ядерной катаракте и усиление трефоила при задней субкапсулярной катаракте.

Исследование ВФ полезно для анализа качества ретинального изображения объективно и количественно и предоставляет клинически значимую информацию при разных типах помутнения хрусталика. В связи с выраженностью патологических изменений ВФ при задней субкапсулярной катаракте оперативное лечение должно быть рекомендовано на ранних сроках, несмотря на высокую остроту зрения.

Рекомендуем оценить свойства оптической системы глаза с начальной катарактой и высокой остротой зрения, проанализировать аберрации ВФ при наблюдении за пациентами с начальной катарактой, для определения оптимального времени хирургического лечения.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Lombardo M, Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(2): 313–331. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.09.026
2. Oshika T. Quantitative assessment of quality of vision. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 2004;108(12): 770–807. (In Japan.)
3. Maeda N. Wavefront technology in ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol*. 2001;12(4): 294–299. doi: 10.1097/00055735-200108000-00009

4. Packer M, Fine IH, Hoffman RS. Wavefront technology in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2004;15(1): 56–60. doi: 10.1097/00055735-200402000-00011
5. Rozema JJ, Van Dyck DE, Tassignon MJ. Clinical comparison of 6 aberrometers. Part 1: Technical specifications. *J Cataract Refract Surg*. 2005;31(6): 1114–1127. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.11.051
6. Pallikaris IG, Panagopoulou SI, Molebny VV. Clinical experience with the Tracey technology wavefront device. *J Refract Surg*. 2000;16(5): S588–591. doi: 10.3928/1081-597X-20000901-21
7. Hwang JS, Lee YP, Bae SH, Kim HK, Yi K, Shin YJ. Utility of the optical quality analysis system for decision-making in cataract surgery. *BMC Ophthalmol*. 2018;18(1): 231. doi: 10.1186/s12886-018-0904-1
8. Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg*. 2003;29(8): 1487–1495. doi: 10.1016/s0886-3350(03)00334-1
9. Егорова Г.Б., Бородина Н.В., Бубнова И.А. Аберрации человеческого глаза, способы их измерения и коррекции. *РМЖ Клиническая офтальмология*. 2003;4(4): 30–32. [Egorova GB, Borodina NV, Bubnova IA. Aberrations of the human eye, methods of their measurement and correction. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2003;4(4): 30–32. (In Russ.)]
10. Rocha KM, Nosé W, Bottós K, Bottós J, Morimoto L, Soriano E. Higher-order aberrations of age-related cataract. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(8): 1442–1446. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.03.059
11. Zhu X, Ye H, He W, et al. Objective functional visual outcomes of cataract surgery in patients with good preoperative visual acuity. *Eye*. 2017;3: 452–459. doi: 10.1038/eye.2016.239
12. Stifter E, Sacu S, Thaler A, Weghaupt H. Contrast acuity in cataracts of different morphology and association to self-reported visual function. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006;47(12): 5412–5422. doi: 10.1167/iov.05-1564
13. Packer M, Fine IH, Hoffman RS. Wavefront technology in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2004;15(1): 56–60. doi: 10.1097/00055735-200402000-00011

### Информация об авторах

Олег Владимирович Шиловских, к.м.н., врач-офтальмохирург, генеральный директор, [ekmntk@gmail.com](mailto:ekmntk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4931-8266>

Елена Михайловна Титаренко, врач-офтальмолог, [eyetitarenko@gmail.com](mailto:eyetitarenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

Дмитрий Иванович Иванов, д.м.н., врач-офтальмохирург, заведующий хирургическим отделением, [ivanov@eyeclinic.ru](mailto:ivanov@eyeclinic.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9777-3779>

Алексей Николаевич Ульянов, врач-офтальмохирург, заместитель генерального директора по лечебной работе, [eyealexey@gmail.com](mailto:eyealexey@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4545-3236>

### Information about the authors

Oleg V. Shilovskikh, PhD in Medicine, Ophthalmic Surgeon, General director, [ekmntk@gmail.com](mailto:ekmntk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4931-8266>

Elena M. Titarenko, Ophthalmologist, [eyetitarenko@gmail.com](mailto:eyetitarenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5227-9398>

Dmitry I. Ivanov, Doctor of Science in Medicine, Ophthalmic Surgeon, Head of the Surgical Department, [ivanov@eyeclinic.ru](mailto:ivanov@eyeclinic.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9777-3779>

Alexey N. Ulyanov, Ophthalmic Surgeon, Deputy Director General for medical work, [eyealexey@gmail.com](mailto:eyealexey@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4545-3236>

### Вклад авторов в работу:

О.В. Шиловских: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Е.М. Титаренко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста, редактирование.

Д.И. Иванов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

А.Н. Ульянов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

### Authors' contribution:

O.V. Shilovskikh: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

E.M. Titarenko: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing the text, editing.

D.I. Ivanov: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

A.N. Ulyanov: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

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: 29.09.2023*

*Переработана: 13.10.2023*

*Принята к печати: 15.11.2023*

*Originally received: 29.09.2023*

*Final revision: 13.10.2023*

*Accepted: 15.11.2023*

## ХИРУРГИЯ КАТАРАКТЫ И ИМПЛАНТАЦИЯ ИОЛ CATARACT SURGERY AND IOL IMPLANTATION

Научная статья  
УДК 617.741-08  
doi:

### Новые отечественные интраокулярные линзы. Устойчивость к процессам биodeградации в сравнении с зарубежными аналогами

К.Г. Хлиян, И.Р. Омариева, С.Ю. Копаев

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Учитывая высокий спрос на импортозамещение, перспектива оценки отдаленных результатов имплантации отечественных моделей интраокулярных линз (ИОЛ) позволит определить их место среди широкого спектра моделей, предлагаемых современными производителями на территории нашей страны и за рубежом. **Цель.** Изучить в эксперименте *in vitro* по моделированию старения устойчивость новых отечественных ИОЛ к процессам биodeградации в сравнении с зарубежными аналогами. **Материал и методы.** Взяты по 3 ИОЛ следующих моделей: отечественные ИОЛ из гидрофобного акрила «Цитрин», «Цитрин ТТ», «Цитрин Action»; отечественные ИОЛ из гидрофильного акрила «Акварин». В качестве эталонных взяты зарубежные гидрофобные акриловые ИОЛ модели AcrySof SN60AT и гидрофильные ИОЛ Rumex rAqua-4. Перед проведением эксперимента измерены оптические параметры исследуемых ИОЛ: оптическая сила, функция передачи модуляции, число Штреля. Индуцирование глестенинга проводили следующим образом: ИОЛ, погруженные в раствор BSS, помещали в печь на 24 ч с поддержанием температуры 45 °С. Далее проводили охлаждение до 37 °С в те-

чение 2,5 ч. Проводили фотофиксацию ИОЛ под 80-кратным увеличением с оценкой степени глестенинга. Повторно измеряли оптические параметры. **Результаты.** Глестенинг не выявлен в ИОЛ «Акварин» и Rumex rAqua-4. Ни в одной модели гидрофобных ИОЛ не обнаружен глестенинг 2-й степени и более. Оптическая сила всех исследованных ИОЛ изменилась в пределах от 0,23 до 1,6%. Изменения МТФ колебались в пределах от 0 до 3,7%. Число Штреля изменилось в пределах от 0 до 8,5%. Отсутствие глестенинга в гидрофильных ИОЛ можно объяснить более равномерным распределением воды в материале. Различия в степени глестенинга в гидрофобных моделях ИОЛ, возможно, обусловлены отличиями в методах производства. Выявленные изменения оптических параметров незначительны и не выходят за пределы государственных стандартов. **Заключение.** Отечественные ИОЛ представляют достойную конкуренцию зарубежным моделям, поскольку имеют преимущества в плане доступности высококачественных ИОЛ асферического дизайна и сниженной степенью подверженности к глестенингу.

**Ключевые слова:** отечественные интраокулярные линзы, гидрофобный акрил, гидрофильный акрил, глестенинг, индуцирование глестенинга, моделирование старения ИОЛ ■

**Для цитирования:** Хлиян К.Г., Омариева И.Р., Копаев С.Ю. Новые отечественные интраокулярные линзы. Устойчивость к процессам биodeградации в сравнении с зарубежными аналогами. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Кристина Григорьевна Хлиян, christina\_khliyan@mail.ru

#### ABSTRACT

Original article

### New domestic intraocular lenses. Resistance to biodegradation processes in comparison with foreign analogues

K.G. Khliyan, I.R. Omarieva, S.Yu. Kopayev

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

**Relevance.** Due to the high demand for import substitution, the prospect of assessing the long-term results of implantation of domestic models of intraocular lenses (IOL) will determine their place among a wide range of models offered by modern manufacturers in our country and abroad. **Purpose.** To evaluate, in an *in-vitro* experiment on aging modeling, the resistance of new domestic IOLs to biodegradation processes in comparison with foreign analogues. **Material and**

**methods.** 3 IOLs of the following models were taken: domestic IOLs made of hydrophobic acrylic: Citrine, Citrine TT, Citrine Action; domestic hydrophilic acrylic Aquamarine IOLs. Foreign hydrophobic acrylic IOLs of the AcrySof SN60AT model and hydrophilic IOLs of Rumex rAqua-4 were taken as reference. Before the experiment, the optical parameters of the studied IOLs were measured: optical power, modulation transmission function (MTF), Strel number. The induction of glistening was carried

out as follows: IOLs immersed in a BSS solution were placed in an oven for 24 hours with a temperature of 45 °C. Further, cooling was carried out to 37 °C for 2.5 hours. IOL photofixation was performed at 80-fold magnification with an assessment of the degree of glistening. Optical parameters were repeatedly measured. **Results.** Glistening was not detected in Aquamarine IOL and Ruxem rAqua-4. The 2nd and higher degree of glistening was not detected in any model of hydrophobic IOLs. The optical strength of all the studied IOLs changed in the range from 0.23 to 1.6%. MTF changes ranged from 0 to 3.7%. The number of Strel has changed in the range from 0 to 8.5%. The absence of glistening in

hydrophilic IOLs can be explained by a more uniform distribution of water in the material. Differences in the degree of glistening in hydrophobic IOL models may be due to differences in production methods. The revealed changes in optical parameters are insignificant and do not exceed the limits of state standards. **Conclusion.** Domestic IOLs represent a worthy competition to foreign models, as they have advantages in terms of the availability of high-quality IOLs of aspherical design and a reduced degree of susceptibility to glistening.

**Key words:** domestic intraocular lenses, hydrophobic acrylic, hydrophilic acrylic, glistening, inducing glistening, modeling of IOL aging ■

**For citation:** Khliyan K.G., Omarieva I.R., Kopaev S.Yu. New domestic intraocular lenses. Resistance to biodegradation processes in comparison with foreign analogues. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Kristina G. Khliyan, christina\_khliyan@mail.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

С момента первой успешной имплантации интраокулярной линзы (ИОЛ) (Harold Ridley, 1948) прошло уже более 70 лет [1]. Теперь же невозможно представить неосложненную хирургию хрусталика без этого этапа операции. Интраокулярная коррекция стала стандартной процедурой и спустя десятилетия перестала играть роль исключительно метода реабилитации пожилых людей с помутнением хрусталика. В результате «эволюционирования» и расширения спектра модификаций имплантация ИОЛ становится частью рефракционной хирургии. Значительно расширяются возрастной диапазон и сроки пребывания ИОЛ в глазу. Таким образом, возрастают требования к материалам ИОЛ [2].

Известно, что полиметилметакрилат (ПММА), из которого были изготовлены первые модели ИОЛ, подвержен биodeградации. Длительный срок наблюдения (более 50 лет) пациентов с имплантированными ИОЛ из ПММА позволил выявить предрасположенность данного материала к образованию микрополостей, заполненных жидкостью. При увеличении количества микрополостей может нарушаться прозрачность ИОЛ и возникает эффект глестининга, когда эти микрополости начинают поблескивать на оптическом срезе при осмотре за щелевой лампой [3].

На сегодняшний день лидирующие позиции занимают эластичные акриловые ИОЛ [2], и испытание их устойчивости к процессам биodeградации становится актуальным в современных реалиях интраокулярной коррекции.

Наиболее мощные предприятия по производству высококачественных ИОЛ принадлежат зарубежным компаниям. Выпускаемые ими ИОЛ являются эталонными для большинства офтальмохирургов.

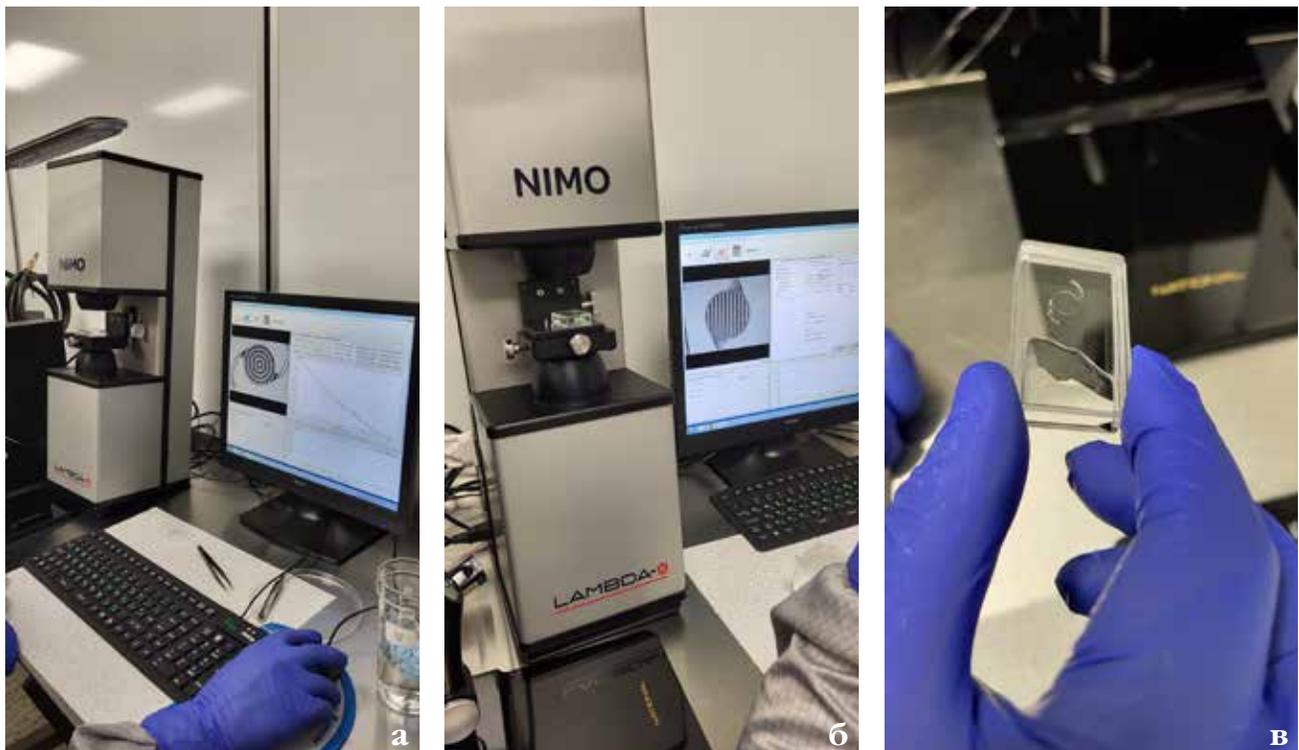
Согласно Федеральной службе по надзору в сфере здравоохранения [4], на территории Российской

Федерации на конец 2021 г. зарегистрировано 98 свидетельств о регистрации ИОЛ и офтальмологических устройств и наборов, содержащих ИОЛ. Из них 23 свидетельства (23,5%) принадлежит отечественным производителям.

Учитывая высокий спрос на импортозамещение, в настоящее время ведется активная работа по созданию и производству ИОЛ, не уступающих зарубежным аналогам.

Заслуга по созданию и внедрению первой отечественной ИОЛ принадлежит академику С.Н. Фёдорову (1960). Линза «Спутник» и ее модификации многие десятилетия оставались основной моделью искусственного хрусталика глаза, имплантируемого в СССР и во многих других странах. Спустя длительный период превалирования на отечественном рынке ИОЛ зарубежного производства, в настоящее время в нашей стране начало налаживаться производство высококачественных современных ИОЛ собственного производства. Экспериментально-техническое производство «Микрохирургия глаза» (г. Москва) – первое отечественное предприятие, которое уже более 40 лет выпускает ИОЛ. С 1997 г. изготовлением ИОЛ занимается компания «Репер-НН» (г. Нижний Новгород). В этом же году начала выпускать искусственные хрусталики компания «Латан» (г. Набережные Челны). С 2007 г. компания «Оптимед» (г. Уфа) внедрила на российский рынок свои модификации ИОЛ. Наиболее «молодой» компанией, производящей отечественные ИОЛ, является «НанОптика» (г. Москва). Она с 2015 г. выпускает монофокальные асферические эластичные акриловые ИОЛ. Они пока еще не внедрены в широкую практику и представляют большой интерес для клинического использования.

Перспектива оценки отдаленных результатов имплантации данных моделей позволит определить их место среди широкого спектра ИОЛ, предлагаемых современными производителями на территории нашей страны и за рубежом.



**Рис. 1.** Измерение оптических параметров ИОЛ на приборе NIMO TR0815, Lambda-X (Бельгия): а) рабочая зона; б) процесс измерения оптических параметров ИОЛ. Стрелкой указан стеклянный контейнер; в) ИОЛ, помещенная в специализированный контейнер с раствором BSS

**Fig. 1.** Measuring of the optical parameters of the IOL on the device NIMO TR0815, Lambda-X (Belgium): а) work zone; б) the process of measuring the optical parameters of the IOL. The arrow indicates the glass container; в) IOL placed in a specialized container with BSS solution

## ЦЕЛЬ

Изучить в эксперименте *in vitro* устойчивость новых отечественных ИОЛ к процессам биодegradации в сравнении с зарубежными аналогами.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

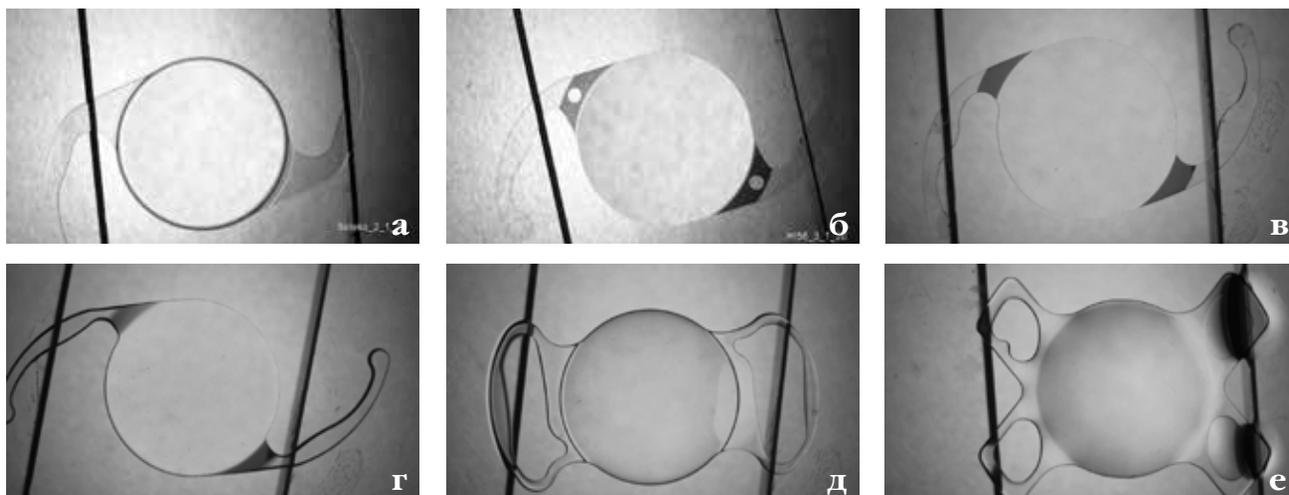
Определение устойчивости ИОЛ к процессам биодegradации проводили с помощью моделирования старения путем индуцирования глистенинга [3, 5].

Индуцирование глистенинга предполагает термическое воздействие в условиях жидкостной среды. Применяемая нами технология моделирует процессы старения сроком 5 лет и выполнялась в соответствии с разработанными ранее протоколами наиболее авторитетных зарубежных исследований, направленных на сравнительный анализ материалов ИОЛ [6–8].

Взяты по 3 ИОЛ следующих моделей: отечественные ИОЛ из гидрофобного акрила: «Цитрин» из материала Soleko, равновесное содержание воды (PCB)  $2,9 \pm 0,2\%$ ; «Цитрин ТТ» из материала Contamac, PCB 0,5%; «Цитрин

Action» из материала Action Medical Marketing Pvt Ltd, PCB 0,5%; отечественные ИОЛ из гидрофильного акрила «Акварин» из материала Contamac, PCB 26%. В качестве эталонных, хорошо зарекомендовавших себя ИОЛ, взяты зарубежные гидрофобные акриловые ИОЛ модели AcrySof SN60AT (Alcon, США), PCB 0,5%, и гидрофильные ИОЛ rAqua-4 (Rumex International Co, США), PCB  $25,5 \pm 2,0\%$ .

Перед проведением эксперимента проводили измерение оптических параметров всех исследуемых ИОЛ (рис. 1 а): оптической силы в диоптриях (D), функции передачи модуляции (modulation transfer function, (MTF), проводили пространственно-частотную характеристику (ПЧХ), а также определяли число Штреля (Strehl ratio, St). Измерение MTF выполняли при стандартной частоте  $100 \text{ мм}^{-1}$  и апертуре 3 мм [9]. В качестве норматива MTF приняты значения не менее 0,43 [9]. В качестве нормативных значений числа Штреля приняты значения в пределах от 0,8 до 1,0, поскольку в этих пределах оптическая система считается безаберрационной [10]. Исследование проводили на приборе NIMO (NIMO TR0815, Lambda-X, Бельгия). К прибору прилагается программное обеспечение для визуализации измерений на компьютере.



**Рис. 2.** Фотография ИОЛ под 20-кратным увеличением на приборе Микромед MC-4-ZOOM LED (Россия) после индуцирования глистенинга, режим проходящего освещения: а) «Цитрин»; б) «Цитрин ТТ»; в) «Цитрин Action»; г) SN60AT; д) «Аквамарин»; е) rAqua-4

**Fig. 2.** IOL photo under 20x zoom on the Micromed MC-4-ZOOM LED device (Russia) after glistening induction, transmitted light mode: a) Citrine; б) Citrine TT; в) Citrine Action; г) SN60AT; д) Aquamarine; е) rAqua-4

Особенность измерений на приборе NIMO заключается в том, что ИОЛ предварительно погружают в специализированный стеклянный контейнер с раствором BSS (рис. 1 б, в). Далее контейнер помещают на предметный столик, над которым расположен объектив прибора.

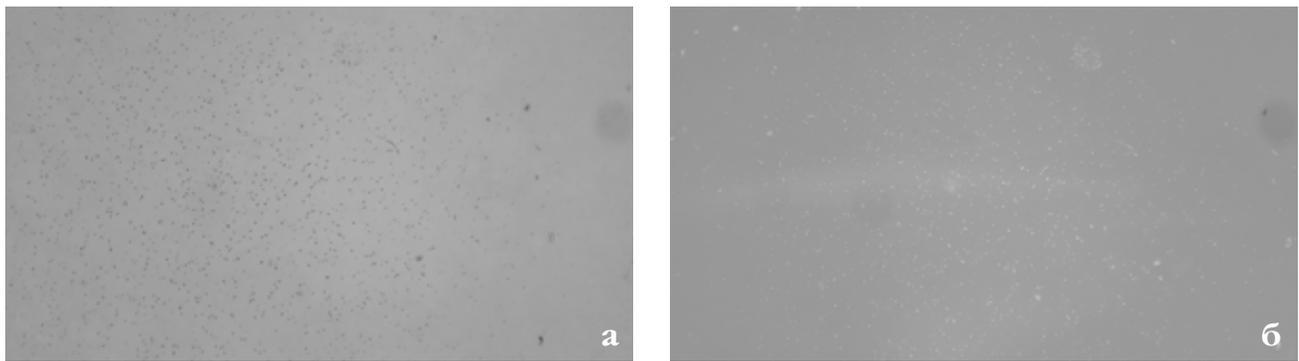
Учитывая относительно высокое для гидрофобного материала РСВ, ИОЛ «Цитрин» из материала Soleko приобретает свои окончательные оптические свойства не ранее 24 ч после имплантации, т.е. помещения в жидкостную среду. По этой причине перед измерением оптических параметров данной модели, по рекомендации производителя, потребовалась предварительная гидратация путем помещения ИОЛ в раствор BSS на 48 ч при температуре 20 °С.

Для идентификации каждой ИОЛ на емкости (стеклянный стакан объемом 200 мл) с раствором BSS (100 мл) наносили надписи с названием материала. Каждую ИОЛ помещали в индивидуальный контейнер и выполняли маркировку с нумерацией (№1, №2, №3). Далее с помощью утяжелителя (стеклянный стакан меньшего объема, 100 мл) контейнеры с ИОЛ полностью погружали в раствор BSS. После этого емкости с ИОЛ помещали в печь на 24 ч с поддержанием постоянной температуры 45 °С. Далее температуру в печи снижали до 37 °С, проводили охлаждение в течение 2,5 ч. После извлечения из раствора BSS ИОЛ промывали в деионизированной воде. Фотофиксацию ИОЛ проводили на приборе «Микромед» MC-4-ZOOM LED (Россия) под обзорным 20-кратным увеличением (рис. 2), затем под 80-кратным увеличением в 5 участках оптической части ИОЛ: центральном и краевых: верхнем, нижнем, правом и левом. Фотоснимки выполняли в проходящем свете. В некото-

рых случаях для лучшей идентификации микровакуолей глистенинга дополнительно применяли режим отраженного освещения (рис. 3).

По выполненным фотоснимкам оценивали степень глистенинга следующим образом: размер изображения составлял 1728×3072 пикселей при 80-кратном увеличении. Для калибровки результатов изображения отрезок в 1 мм сопоставляли с общим диаметром оптической части ИОЛ, который составляет 6 мм. Определено, что 1 мм соответствует 80 мм изображения и, следовательно, 302 пикселям. Таким образом, общая площадь изображения составила 5,72 мм × 10,17 мм = 58,17 мм<sup>2</sup>. Выявленное количество микровакуолей на снимках делили на 58,17, чтобы определить их плотность на 1,0 мм<sup>2</sup> (МВ/мм<sup>2</sup>).

Степень глистенинга устанавливали по результатам анализа фотоснимков центральных участков оптической части ИОЛ под 80-кратным увеличением по модифицированной шкале Miyata Skale (табл. 1), где степень 0 соответствовала наименьшей выраженности глистенинга с единичными микровакуолями, а степень 3 – наиболее выраженному глистенингу [11]. В настоящее время предложено несколько способов и классификаций определения степени глистенинга, в том числе с применением оптической когерентной томографии [12]. Тем не менее недостатком всех предложенных способов является субъективизм. В оригинальном способе, предложенном А. Miyata и соавт. [5, 11, 13], авторы предлагают классификацию глистенинга с определением количества микровакуолей в оптическом срезе ИОЛ за щелевой лампой. Нами применена модифицированная шкала Miyata Skale, предложенная специалистами Международной лаборатории глазной пато-



**Рис. 3.** Фотография ИОЛ «Цитрин Action» под 80-кратным увеличением на приборе «Микромед» MC-4-ZOOM LED (Россия): а) режим проходящего освещения; б) режим отраженного освещения

**Fig. 3.** Citrine Action IOL photo under 80x zoom on the Micromed MC-4-ZOOM LED device (Russia): а) transmitted light mode; б) reflected light mode

Таблица 1

**Степени глестенинга по модифицированной шкале Miyata Skale**

Table 1

**Degrees of glistening according to the modified Miyata Skale**

Степень глестенинга Grade of glistening	Плотность микровакуолей глестенинга на 1,0 мм <sup>2</sup> , МВ/мм <sup>2</sup> Density of microvacuoles glistening per 1,0 mm <sup>2</sup> , MV/ mm <sup>2</sup>
Степень 0 Grade 0	Менее 25 Less, than 25
Степень 1 Grade 1	25-100 25-100
Степень 2 Grade 2	100-200 100-200
Степень 3 Grade 3	Более 200 Over, than 200

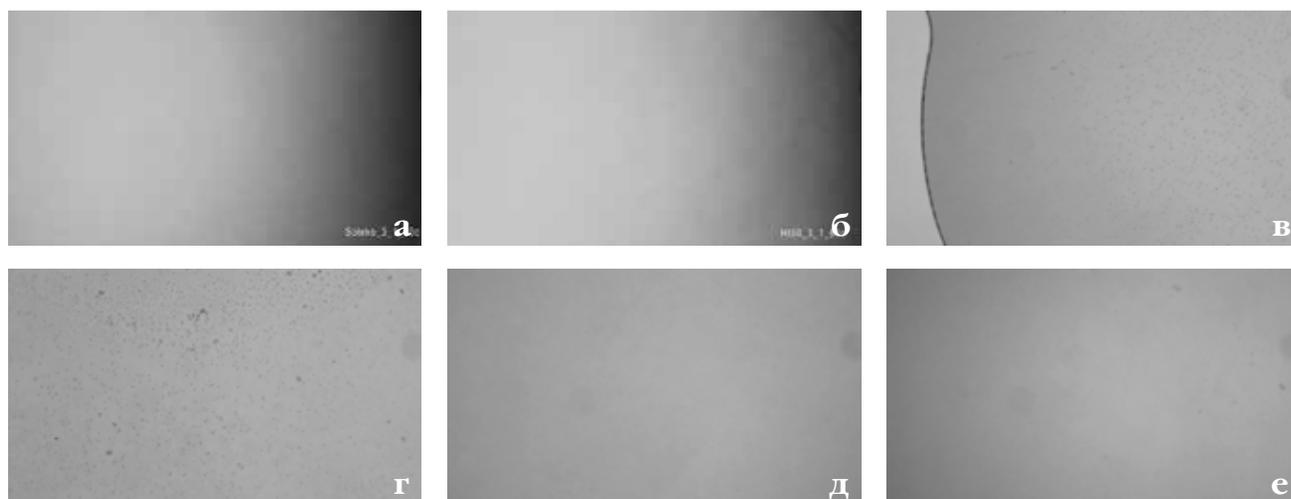
логии Дэвида Дж. Эппла Гейдельбергского университета (Германия), Т.М. Yıldırım и соавт., которая отличается наибольшей простотой воспроизведения [6]. С целью снижения субъективизма подсчет количества микровакуолей на 1 мм<sup>2</sup> проводили три специалиста.

После фотофиксации оптические параметры ИОЛ (оптическая сила, МТГ и число Штреля) измеряли повторно.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

При анализе фотоснимков глестенинга не выявили в ИОЛ «Аквамарин» и gAqua-4 (рис. 4 д, е). В гидрофобных ИОЛ «Цитрин» и «Цитрин ТТ» выявили единичные микровакуоли во всех участках оптической части ИОЛ

(рис. 4 а, б). Плотность микровакуолей в данных моделях составила 2±1 и 3±2 МВ/мм<sup>2</sup> соответственно и в обоих случаях составила степень 0 по модифицированной шкале Miyata Skale. В ИОЛ «Цитрин Action» выявили глестенинг с плотностью микровакуолей от 31,45 до 40,28 МВ/мм<sup>2</sup>, что соответствует 1-й степени (рис. 4 в). Интенсивность глестенинга постепенно уменьшалась от центра оптической части к краю линз (рис. 4 в), что соответствует классической картине глестенинга, когда наибольшая плотность микровакуолей определяется в самой толстой части ИОЛ. В ИОЛ SN60AT выявили глестенинг с плотностью от 19,03 до 40,77 МВ/мм<sup>2</sup>, что соответствует 1-й степени по классификации модифицированной шкалы Miyata Skale (рис. 4 г), и так же плотность микровакуолей уменьшалась от центра к периферии оптического элемента ИОЛ.



**Рис. 4.** Фотография ИОЛ под 80-кратным увеличением на приборе «Микромед» MC-4-ZOOM LED (Россия) после индуцирования глистенинга, режим проходящего освещения: а) «Цитрин»; б) «Цитрин ТТ»; в) «Цитрин Action», левый край оптической части, демонстрирующий уменьшение плотности глистенинга от центра к краю ИОЛ; г) SN60AT; д) «Аквамарин»; е) rAqua-4

**Fig. 4.** IOL photo under 80x zoom on the Micromed MC-4-ZOOM LED device (Russia) after glistening induction, transmitted light mode: а) Citrine; б) Citrine TT; в) Citrine Action, the left edge of the optical part, demonstrating a decrease in the density of glistening from the center to the edge of the IOL; г) SN60AT; д) Aquamarine; е) rAqua-4

Ни в одной из исследуемых ИОЛ не обнаружили 2-ю степень глистенинга и выше.

В *таблице 2* представлены результаты измеренных оптических параметров ИОЛ до и после индуцирования глистенинга. Оптическая сила всех исследованных ИОЛ изменилась в пределах от 0,23 до 1,6%, что не отразилось на соответствии государственным стандартам (*табл. 3*). Изменения MTF также не выходили за пределы допустимых значений и колебались в пределах от 0 до 3,7%. Число Штреля, оценивающее степень аберраций оптической системы, ни в одном случае не выходило за пределы референтных значений: изменения зафиксированы в пределах от 0 до 8,5%.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие глистенинга в гидрофильных ИОЛ можно объяснить особенностями химической структуры материала: он достаточно пористый и способствует равномерному распределению воды между цепями полимера в отличие от гидрофобного акрилата [14].

Влияние глистенинга на оптические свойства ИОЛ, несомненно, будет зависеть от степени глистенинга [3, 15–19]. J. Weindler и соавт. продемонстрировали, что для влияния на качество центрального изображения необходимо большое количество микровакуолей. Авторы индуцировали различные степени глистенинга в монофокальных ИОЛ AcrySof и оценивали влияние глистенинга на качество изображения путем измерения MTF и числа Штреля. Обнаружили, что статистически значимые

изменения оптических свойств происходят только при 3-й степени глистенинга. Так, значение MTF было снижено с 0,580 в прозрачных контрольных ИОЛ до 0,533 в ИОЛ с плотностью микровакуолей более 500 МВ/мм<sup>2</sup>. Тем не менее столь незначительные изменения оптических свойств практически не могут влиять на качество зрения пациента [3].

ИОЛ «Цитрин» из материала Soleko и «Цитрин ТТ» из материала Contamac производятся методом точения полимера на токарном станке. Материал Soleko имеет высокое РСВ (2,9%), чем обусловлена низкая подверженность его глистенингу. Однако гидрофобный Contamac имеет сопоставимое с AcrySof содержание гидроксильных групп (т.е. РСВ) в составе полимера (0,5%) и, тем не менее, степень глистенинга в данной модели ИОЛ ниже. ИОЛ «Цитрин Action» изготовлена методом литья, имеет равное с AcrySof РСВ 0,5%, и по результатам моделирования старения у данной модели индуцирована такая же степень глистенинга (1-я степень). Возможно, различие в степени глистенинга обусловлено вышеупомянутыми отличиями в методах производства, что подтверждает мнение авторов, связывающих развитие глистенинга с технологическими особенностями изготовления ИОЛ [17]. Данная теория пока не имеет прямых доказательств и требует дальнейшего изучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спустя длительный период превалирования на российском рынке ИОЛ зарубежного производства сей-

Таблица 2

**Оптические параметры ИОЛ до и после эксперимента с индуцированием глостенинга**

Table 2

**Optical parameters of the IOL before and after the experiment with glistening induction**

ИОЛ IOL	Оптическая сила, дптр Optic power, D	MTF (100)		Число Штреля Strale ratio			
		до before	после after	до before	после after	до before	после after
Модель Model	№ образца Model number	до before	после after	до before	после after	до before	после after
«Цитрин» Citrine	1	16,48	16,52	0,61	0,60	0,97	0,96
	2	21,81	21,86	0,65	0,64	0,98	0,97
	3	27,84	27,94	0,67	0,67	0,97	0,96
«Цитрин ТТ» Citrine TT	1	16,83	16,81	0,62	0,62	0,98	0,98
	2	21,83	21,96	0,58	0,60	0,89	0,93
	3	27,50	27,43	0,62	0,62	0,92	0,93
«Цитрин Action» Citrine Action	1	24,40	24,30	0,62	0,58	0,94	0,86
	2	24,37	24,25	0,58	0,62	0,88	0,95
	3	27,50	27,43	0,61	0,58	0,93	0,90
SN60AT SN60AT	1	16,50	16,40	0,63	0,63	0,99	0,99
	2	16,40	16,40	0,62	0,63	0,97	0,99
	3	16,44	16,41	0,63	0,63	0,99	0,99
«Аквамарин» Aquamarine	1	20,40	20,60	0,61	0,60	0,92	0,89
	2	18,40	18,57	0,60	0,59	0,94	0,96
	3	21,50	21,70	0,60	0,58	0,99	0,97
гAqua-4 гAqua-4	1	24,41	24,80	0,54	0,52	0,91	0,89
	2	24,47	24,79	0,53	0,55	0,83	0,88
	3	23,74	23,51	0,59	0,58	0,91	0,92

Таблица 3

**Допустимые отклонения задней вершинной рефракции (дптр)**

Table 3

**Permissible deviations of the back vertex refraction (D)**

Номинальное значение задней вершинной рефракции Nominal back vertex power	Допускаемое отклонение значений задней вершинной рефракции Permissible deviation of back vertex power values
От 0 до 15 включительно From 0 to 15 inclusive	±0,3
Более 15 до 25 включительно Over, than 15 to 25 inclusive	±0,4
Более 25 до 30 включительно Over, than 25 to 30 inclusive	±0,5
Свыше 30 Over, than 30	±1,0

Примечание. Номинальное значение задней вершинной рефракции приведено как для положительной, так и для отрицательной рефракции

Note. The nominal value of the back vertex power is given for both positive and negative powers

час наблюдается экономическая ситуация, требующая внедрения отечественных технологий, не уступающих импортным аналогам. В эксперименте *in vitro* нам удалось убедиться в том, что отечественные ИОЛ «Цитрин», «Цитрин ТТ», «Цитрин Асiон» и «Аквамарин» соответствуют государственным стандартам и не уступают ИОЛ, произведенным за рубежом. Несомненно, современная офтальмология шагнула далеко вперед в создании новых материалов ИОЛ на примере ИОЛ Clareon (Alcon, США), Iser 251 (Ноуа, Япония), Sensar AR40e (Johnson & Johnson, США), enVista MX60 (Bausch & Lomb, США) и др. Данные модели имеют асферический дизайн и лишены столь интенсивных проявлений глестенинга по сравнению с предыдущими поколениями ИОЛ. Однако, если говорить об экономической составляющей, то следует отметить, что ИОЛ российского производителя представляют достойную конкуренцию зарубежным моделям, поскольку имеют преимущества в плане доступности высококачественных ИОЛ асферического дизайна и сниженную степень подверженности глестенингу [20]. Кроме того, у компаний имеется возможность изготовления индивидуальных ИОЛ для сложных случаев хирургии хрусталика, описанных нами в предыдущих публикациях [21, 22].

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Ridley H. Intra-ocular acrylic lenses; a recent development in the surgery of cataract. *Br J Ophthalmol.* 1952;36(3):113–122. doi: 10.1136/bjo.36.3.113
- Терещенко А.В., Белый Ю.А., Демьянченко С.К., Малугин Б.Э. Современные стандарты хирургии катаракты с имплантацией интраокулярной линзы. Обзор литературы. *Рефракционная хирургия и офтальмология.* 2010;10(3): 4–10. [Tereshchenko AV, Belyi YuA, Demyanenko SK, Malugin BE. Modern standards of cataract surgery with intraocular lens implantation. Literature review. *Refraktsionnaya khirurgiya i oftalmologiya.* 2010;10(3): 4–10. (In Russ.)]
- Weindler JN, Labuz G, Yildirim TM, Tandogan T, Khoramnia R, Auffarth GU. The impact of glistenings on the optical quality of a hydrophobic acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2019;45(7): 1020–1025.
- Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения. Доступно по: <https://roszdravnadzor.gov.ru/> [Ссылка активна на 01.12.2023]. [Federal Service for Supervision of Healthcare. Available from: <https://roszdravnadzor.gov.ru/> [Accessed 1st December 2023] (In Russ.)]
- Miyata A, Uchida N, Nakajima K, Yaguchi S. Clinical and experimental observation of glistening in acrylic intraocular lenses. *Jpn J Ophthalmol.* 2000;44(6): 693. doi: 10.1016/s0021-5155(00)00257-4
- Yildirim TM, Fang H, Schickhardt SK, Wang Q, Merz PR, Auffarth GU. Glistening formation in a new hydrophobic acrylic intraocular lens. *BMC Ophthalmol.* 2020;20(1): 186. doi: 10.1186/s12886-020-01430-z
- Tandogan T, Auffarth GU, Son HS, Merz P, Choi CY, Khoramnia R. In vitro glistening formation in six different foldable hydrophobic intraocular lenses. *BMC Ophthalmol.* 2021;21(1): 126. doi: 10.1186/s12886-021-01879-6
- Tandogan T, Auffarth GU, Choi CY, Son HS, Khoramnia R. Comparative analysis of in vitro accelerated glistening formation in foldable hydrophobic intraocular lenses. *Int Ophthalmol.* 2021;41(9): 3073–3080. doi: 10.1007/s10792-021-01870-6
- ГОСТ 31580.2-2012 (ISO 11979-2:1999). Импланты офтальмологические. Интраокулярные линзы. Часть 2. Оптические свойства и методы испытаний. <https://docs.cntd.ru/document/1200100323> [Ссылка активна на 01.12.2023] ГОСТ 31580.2-2012 (ISO 11979-2:1999). [Ophthalmic implants. Intraocular lenses. Part 2. Optical properties and test methods. Available from: <https://roszdravnadzor.gov.ru/> [Accessed 1st December 2023] (In Russ.)]
- Liang J, Williams DR. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1997;14(11): 2873–2883. doi: 10.1364/josaa.14.002873
- Miyata A, Uchida N, Nakajima K, Yaguchi S. Clinical and experimental observation of glistening in acrylic intraocular lenses. *Jpn J Ophthalmol.* 2001;45(6): 564–569. doi: 10.1016/s0021-5155(01)00429-4
- Fernández-Vigo JI, Burgos-Blasco B, De-Pablo-Gómez-de-Liaño L, Sánchez-Guillén I, Albitre-Barca V, Fernández-Aragón S, Fernández-Vigo JA, Macarro-Merino A. Objective classification of glistening in implanted intraocular lenses using optical coherence tomography: proposal for a new classification and grading System. *J Clin Med.* 2023;12(6): 2351. doi: 10.3390/jcm12062351
- Miyata A, Yaguchi S. Equilibrium water content and glistenings in acrylic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30(8): 1768–1772. doi: 10.1016/j.jcrs.2003.12.038
- Tetz M, Jorgensen MR. New hydrophobic IOL materials and understanding the science of glistenings. *Curr Eye Res.* 2015;40(10): 969–981. doi: 10.3109/02713683.2014.978476
- Werner L. Glistenings and surface light scattering in intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(8): 1398–1420. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.06.003
- Dhaliwal DK, Mamalis N, Olson RJ, Crandall AS, Zimmerman P, Alldredge OC, Durcan FJ, Omar O. Visual significance of glistenings seen in the AcrySof intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 1996;22(4):452–457. doi: 10.1016/s0886-3350(96)80041-1
- Nishihara H, Yaguchi S, Onishi T, Chida M, Ayaki M. Surface scattering in implanted hydrophobic intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29(7): 1385–1388. doi: 10.1016/s0886-3350(02)01994-6
- Thomes BE, Callaghan TA. Evaluation of in vitro glistening formation in hydrophobic acrylic intraocular lenses. *Clin Ophthalmol.* 2013;7: 1529–1534. doi: 10.2147/OPTH.S44208
- Hayashi K, Hirata A, Yoshida M, Yoshimura K, Hayashi H. Long-term effect of surface light scattering and glistenings of intraocular lenses on visual function. *Am J Ophthalmol.* 2012;154(2): 240–251.e2. doi: 10.1016/j.ajo.2012.03.011
- Хлиян К.Г., Сажин С.В., Григорьева Ю.В., Копяев С.Ю. Технологические приемы изготовления интраокулярных линз и их влияние на качество зрения. *Отражение.* 2022;1(13): 94–96. [Khliyan KG, Sazhin SV, Grigorieva YuV, Kopyaev SYu. Technological methods of manufacturing intraocular lenses and their impact on the quality of vision. *Otrazhenie.* 2022;1(13): 94–96. (In Russ.)] doi: 10.25276/2686-6986-2022-1-94-96
- Арутюнян Л.Л., Ким Е.В., Хлиян К.Г. и др. Интраокулярная коррекция при микрокорнеа (клинический случай). *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2022;17(S4): 34–36. [Harutyunyan LL, Kim EV, Heyan KG, et al. Intraocular correction in microcornea (clinical case). *Bulletin of Pirogov National Medical&Surgical Center.* 2022;17(S4): 34–36. (In Russ.)] doi: 10.25881/20728255-2022-17-4-S1-34
- Хлиян К.Г., Арутюнян Л.Л., Григорьева Ю.В., Копяев С.Ю. Технологии производства интраокулярных линз. Индивидуальные интраокулярные линзы (опыт применения). *Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского международного конгресса.* М.; 2022. С. 109–116. [Khliyan KG, Harutyunyan LL, Grigorieva YuV, Kopyaev SYu. Technologies of intraocular lens production. Individual intraocular lenses (application experience). *High school: scientific research. Materials of the Interuniversity International Congress.* Moscow, 2022. P. 109–116. (In Russ.)]

### Информация об авторах

**Кристина Григорьевна Хлиян**, врач-офтальмолог, аспирант, christina\_khliyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5814-3368>  
**Ирада Рамазановна Омариева**, ординатор, iradaomariva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9862-2134>  
**Сергей Юрьевич Копяев**, д.м.н., kopayevsu@yahoo.com, врач-офтальмохирург, <https://orcid.org/0000-0001-5085-6788>

### Information about the authors

**Kristina G. Khliyan**, Ophthalmologist, PhD Student, christina\_khliyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5814-3368>  
**Irada R. Omarieva**, Clinical Resident, iradaomariva@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9862-2134>  
**Sergei Yu. Kopyaev**, Doctor of Sciences in Medicine, Ophthalmic Surgeon, kopayevsu@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0001-5085-6788>

### Вклад авторов в работу:

**К.Г. Хлиян:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка данных, написание текста.

**И.Р. Омариева:** сбор, анализ и обработка данных, написание текста.  
**С.Ю. Копаев:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование текста, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Authors' contribution:**

**K.G. Khliyan:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**I.R. Omarieva:** collection, analysis and processing of material, writing.

**S.Yu. Kopayev:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**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.

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

**Согласие пациента на публикацию:** Получено.

**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:** Accepted.

**Conflict of interest:** There is no conflict of interest.

*Поступила: 15.09.2023*  
*Переработана: 24.10.2023*  
*Принята к печати: 27.11.2023*

*Originally received: 15.09.2023*  
*Final revision: 24.10.2023*  
*Accepted: 27.11.2023*

## РЕФРАКЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ REFRACTIVE SURGERY

Научная статья  
УДК 617.741-089  
doi:

### Рефракционная замена хрусталика при рефракционной амблиопии: «лечение» или диагностика?

Э.В. Бойко<sup>1</sup>, А.И. Шилов<sup>1</sup>, К.К. Шефер<sup>1,2</sup>, И.В. Хижняк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Рефракционная амблиопия – одно из состояний, снижающих максимальную скорректированную остроту зрения (МКОЗ) у пациентов с детского возраста. С появлением новых методик рефракционной хирургии отмечаются новые особенности течения рефракционной амблиопии у взрослых пациентов после проведения рефракционной хирургии. **Цель.** Определение изменения некорректированной остроты зрения и МКОЗ, а также изменение степени амблиопии у пациентов с астигматизмом на фоне аметропий высокой степени после проведения имплантации торических интраокулярных линз в ходе рефракционной замены прозрачного хрусталика. **Материал и методы.** Ретроспективная оценка функциональных результатов 20 пациентов старше 18 лет (28 глаз), получивших хирургическое лечение в виде рефракционной замены хрусталика, по поводу сложного миопического и сложного гиперметропического астигматизма на фоне аметропий высокой степени с сопутствующей амблиопией. **Результаты.** У 35,3% пациентов с миопической рефракцией диагноз «амблиопия» был снят. У 41,2% диагноз был уточнен в сторону уменьшения степени амблиопии, 23,5% прибавили 1 строчку МКОЗ без изменения в степени амблиопии. При сравнении МКОЗ пациентов с миопи-

ческой рефракцией (1-я группа) до и после хирургического лечения были получены достоверные различия. На всех глазах с гиперметропической рефракцией не отмечалось изменения степени амблиопии после хирургии, однако 22% прооперированных получили прибавку по МКОЗ на 1 строчку. Достоверных различий в средних значениях МКОЗ до операции и через неделю после операции у пациентов с гиперметропической рефракцией получено не было. **Заключение.** Выявленное изменение степени амблиопии у пациентов в ранние сроки после рефракционной замены прозрачного хрусталика заставляет задуматься, уточнить диагноз и усомниться в достаточности стандартных методов диагностики амблиопии и определения ее степени. У пациентов с амблиопией при миопии высокой степени, в сравнении с пациентами с гиперметропией, рефракционная замена прозрачного хрусталика в большинстве случаев приводит к повышению МКОЗ в короткие сроки после операции. Рефракционная лентэктомия, с одной стороны, является вариантом лечения амблиопии, а с другой – является важным, хоть и инвазивным, инструментом либо для исключения диагноза «амблиопия» (28% в нашем исследовании), либо для уменьшения ее степени (14% в нашем исследовании).

**Ключевые слова:** амблиопия, хрусталик, рефракционная хирургия, миопия, гиперметропия ■

**Для цитирования:** Бойко Э.В., Шилов А.И., Шефер К.К., Хижняк И.В. Автор, ответственный за переписку: Рефракционная замена хрусталика при рефракционной амблиопии: «лечение» или диагностика? Офтальмохирургия. 2023;4: XXX.

Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Александр Игоревич Шилов, alshilov1995@mail.ru

#### ABSTRACT

Original article

### Refractive lens replacement for refractive amblyopia: «treatment» or diagnostics?

E.V. Boiko<sup>1</sup>, A.I. Shilov<sup>1</sup>, K.K. Shefer<sup>1,2</sup>, I.V. Khizhnyak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, St. Petersburg branch, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

**Relevance.** Refractive amblyopia is one of conditions that reduce best corrected visual acuity (BCVA) in patients. With the advent of new methods of

refractive surgery, we note new features of the course of refractive amblyopia in adult patients after refractive surgery. **Purpose.** Determination of changes

in uncorrected visual acuity and BCVA as well as changes in the degree of amblyopia in patients with high-grade refractive errors after implantation of toric IOLs during refractive lens replacement (RLL). **Materials and methods.** Retrospective evaluation of functional outcomes in 20 patients over 18 years (28 eyes) who received surgical treatment in the form of refractive lens replacement for myopic and hypermetropic astigmatism in the presence of high-grade ametropia with amblyopia. **Results.** In 35.3% of patients with myopic refraction, the diagnosis of amblyopia was removed. In 41.2%, we saw reducing the degree of amblyopia, 23.5% added 1 line of BCVA without changing the degree of amblyopia. When comparing the BCVA of patients with myopic refraction before and after surgical treatment, significant differences were obtained. In all eyes with hypermetropic refraction, there was no change

in the degree of amblyopia after surgery, 22% of operated ones received an increase in BCVA by 1 line. There were no significant differences of BCVA a week after surgery in patients with hyperopic refraction. **Conclusion.** The revealed change in the degree of amblyopia in patients in early stages after RLL makes us clarify diagnosis and doubt sufficiency of standard methods for diagnosing amblyopia and determining its degree. In amblyopic patients with high myopia, in comparison with patients with hyperopia, refractive replacement of the transparent lens in most cases leads to an increase in BCVA in a short time after. Refractive lensectomy, is a amblyopia treatment, and is an important tool to exclude the diagnosis of amblyopia or reduce its degree.

**Key words:** amblyopia, lens, refractive surgery, myopia, hypermetropia ■

**For citation:** Boiko E.V., Shilov A.I., Shefer K.K., Khizhnyak I.V. Refractive lens replacement for refractive amblyopia: «treatment» or diagnostics? Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Aleksandr I. Shilov, alshilov1995@mail.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

**А**мблиопия – одно из частых состояний, снижающих максимальную скорректированную остроту зрения (МКОЗ) у пациентов с детского возраста, является социально значимым фактором, так как снижает качество жизни пациентов. Частота встречаемости амблиопии была подробно изучена в двух популяционных международных исследованиях VPEDS и MEPEDS. Результаты показали, что амблиопия встречается в среднем среди 2% детского населения. Среди них 47% занимала амблиопия, связанная с нарушениями рефракции, 32% – связанная с косоглазием, 5% – депривационная амблиопия и 11% – комбинированная [8]. В России регистрируется примерно такая же частота встречаемости данной проблемы – диагноз «амблиопия» выставляется у 2–2,5% детского населения [6, 11]. Среди всех видов амблиопии наиболее часто встречается рефракционная. При отсутствии адекватной коррекции она остается на всю жизнь [4]. Рефракционная амблиопия значительно чаще развивается на фоне аметропий высокой степени, особенно при наличии сопутствующего астигматизма [8, 12].

Современной тенденцией в катарактальной хирургии является увеличение количества операций по проведению рефракционной замены прозрачного хрусталика у пациентов молодого возраста с аметропиями высокой степени. В работе Н.П. Соболева и Б.Э. Малогиной [3] было показано, что после рефракционной замены хрусталика с имплантацией трифокальных интраокулярных линз (ИОЛ) значительно увеличиваются острота зрения и качество жизни пациентов в ранние сроки после операции. В связи с этим стали возникать вопросы о целесообразности проведения данного вида хирургического вмешательства у пациентов с рефракционной

амблиопией на фоне аметропий средней и высокой степени. Для развития этого направления представляет интерес выявление взаимосвязи погрешностей оптической системы глаза с послеоперационной остротой зрения. На сегодняшний день в литературе имеются единичные данные, описывающие динамику степени рефракционной амблиопии после рефракционной замены хрусталика на фоне миопии высокой степени [7]. Достоверные данные по поводу течения рефракционной амблиопии после рефракционной замены хрусталика на фоне других аномалий рефракции в литературе отсутствуют.

## ЦЕЛЬ

Определение изменения некорректированной остроты зрения (НКОЗ) и МКОЗ, а также изменение степени амблиопии у пациентов с аномалиями рефракции высокой степени после проведения имплантации торических ИОЛ в ходе рефракционной замены прозрачного хрусталика.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Мы провели ретроспективную оценку функциональных результатов у 20 пациентов старше 18 лет (28 глаз), получивших хирургическое лечение в виде рефракционной замены хрусталика, по поводу сложного миопического и сложного гиперметропического астигматизма на фоне аметропий высокой степени с сопутствующей амблиопией в Санкт-Петербургском филиале НМИЦ «МНТК» «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» с 2019 по 2022 г. Средний возраст пациентов на момент операции составил 43 года. Данным пациентам роговичная рефракционная хирургия не была показана из-за вы-

Таблица 1

## Данные клинической рефракции, степени амблиопии и ПЗО до операции

Table 1

## Clinical refraction data, amblyopia grade, and AL before surger

Параметр Parameter	Средний возраст, лет Average age, years	Рефракция, дптр Refraction, D		Диапазон рефракции, дптр Refraction range, D		ПЗО, мм AL, mm	Степень амблиопии, количество глаз Degree of amblyopia, number of eyes		
		Sph	Cyl	Sph	Cyl		слабая mild	средняя medium	высокая high
Миопия Myopia	46±5 (от 40 до 55) 46±5 (from 40 to 55)	-15,16±7,3	-1,97±0,8	От -6,0 до -28,0 From -6,0 to -28,0	От -1,0 до -5,0 From -1,0 to -5,0	27,89±2,1 (от 23,4 до 33,99) 27,89±2,1 (from 23,4 to 33,99)	12	6	1
Гиперметропия Hypermetropia	47±4 (от 42 до 55) 47±4 (from 42 to 55)	7,69±1,5	-1,53±2	От 6,0 до 9,25 From 6,0 to 9,25	От -1,5 до 2,0 From -1,5 to 2,0	21,14±0,6 (от 20,32 до 22,05) 21,14±0,6 (from 20,32 to 22,05)	3	6	0

соких значений аметропий и недостаточной толщины роговицы. В 55% случаев мы имели дело с анизометропической амблиопией. Проводили сбор анамнеза с уточнением значений МКОЗ в детстве. Все пациенты имели субъективный дискомфорт и непереносимость контактной коррекции зрения. Проверку остроты зрения перед оперативным лечением проводили на проекторе знаков как с использованием пробных очковых линз, так и с помощью мягких контактных линз, соответствующих их объективной рефракции, авторефрактометрию и биометрию – на приборе «ИОЛ-Мастер», оптическую когерентную томографию – на аппарате OrtoVue с целью исключения другой патологии, снижающей МКОЗ. Расчет ИОЛ выполнен на аппарате Verion + «ИОЛ-мастер». В предоперационном периоде всем пациентам проводили тщательный осмотр на предмет наличия дистрофических изменений глазного дна, произошедшей задней отслойки стекловидного тела с анализом риска возникновения отслойки сетчатки. На хирургическое лечение отбирались только пациенты без регматогенных форм периферических витреохориоретинальных дистрофий (ПВХРД) и имевших минимальный риск развития отслойки сетчатки после операции.

В работе использовалась классификация амблиопии профессора Е.Е. Сомова от 1997 г.

Показатели рефракции и передне-задней оси (ПЗО) глаза у пациентов до операции представлены в таблице 1. Всем пациентам была проведена ленэктомия по стандартной методике с имплантацией торических ИОЛ и использованием электронных систем навига-

ции. Целевая рефракция у всех пациентов – эметропия. Интраоперационных и ранних послеоперационных осложнений хирургии не было ни у одного пациента. Все операции проводились одним хирургом. Все данные заносили в электронную историю болезни для последующего анализа. Обработку данных и статистический анализ проводили в программе Microsoft Excel, а также с помощью онлайн-калькулятора U-критерия Манна – Уитни и T-критерия Стьюдента.

Пациенты были разделены на две группы: со сложным миопическим астигматизмом на фоне общей миопии высокой степени (1-я группа, n=19), со сложным гиперметропическим астигматизмом на фоне общей гиперметропии высокой степени (2-я группа, n=9). В 1-й группе распределение по степеням амблиопии составило: амблиопия слабой степени – 12 глаз, средней степени – 6 глаз и высокой степени – 1 глаз. Во 2-й группе распределение по степеням амблиопии составило: амблиопия слабой степени – 3 глаза, средней степени – 6 глаз (табл. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех случаях в обеих группах пациентов получено значимое повышение НКОЗ по сравнению с дооперационными значениями (табл. 2). При этом важно отметить, что средние значения НКОЗ в обеих группах пациентов как с миопической, так и с гиперметропической рефракцией были сопоставимы. Индекс безопасности

Таблица 2

## Данные НКОЗ, индексов эффективности и безопасности до и после рефракционной замены прозрачного хрусталика

Table 2

## UCVA, efficacy and safety indices before and after refractive lens replacement

Группа Group	НКОЗ до операции UCVA before surgery	НКОЗ после операции UCVA after surgery	Индекс эффективности Index of efficiency	Индекс безопасности Index of safety
1-я группа – миопия 1st group – myopia	0,02±0,01	0,6±0,2	1,2	1,7*
2-я группа – гиперметропия 2nd group – hypermetropia	0,14±0,11	0,5±1,5	0,9	1,05*

Примечание. \* – различия достоверны.

Note. \* – the differences are significant.

Таблица 3

## Данные клинической рефракции, степени амблиопии через 1 неделю после операции

Table 3

## Clinical refraction, degree of amblyopia 1 week after surgery

Параметр Parameter	Рефракция, дптр Refraction, D		Диапазон рефракции, дптр Refraction range, D		Степень амблиопии, количество глаз Degree of amblyopia, number of eyes			
	Sph	Cyl	Sph	Cyl	нет амблиопии no amblyopia	слабая mild	средняя medium	высокая high
Миопия Myopia	-1,36±1,04	-0,5±0,6	От -0,0 до -2,75 From -0,0 to -2,75	От 0 до -1,0 From 0 to -1,0	8	11	0	0
Гиперметропия Hypermetropia	0,5±0,6	-0,22±1	От -0,25 до 1,5 From -0,25 to 1,5	От -0,25 до 1,0 From -0,25 to 1,0	0	3	6	0

(ИБ) рефракционной замены прозрачного хрусталика был высокий в обеих группах, но в группе пациентов с миопическим астигматизмом значения ИБ были достоверно выше. Индекс эффективности (ИЭ) был на уровне высоких значений в обеих группах и статистически достоверной разницы получено не было.

После проведения хирургического лечения были получены следующие результаты, представленные в таблице 3.

При сравнении МКОЗ пациентов с миопической рефракцией (1-я группа) до и после хирургического лечения были получены достоверные различия (0,47±0,22 против 0,81±0,1 соответственно; U=70,5 – в зоне значимости, p<0,05) (рис. 1). У пациентов с миопической рефракцией в 7 случаях (35,3%) в раннем послеоперационном периоде был снят диагноз «амблиопия», а в 8 случаях (41,25%) степень амблиопии была изменена со средней на слабую.

Достоверных различий в средних значениях МКОЗ до операции и через неделю после операции у пациентов

с гиперметропической рефракцией получено не было (2-я группа): 0,53±0,17 до операции против 0,56±0,15 после операции (U=30 – в зоне незначимости) (рис. 2). Ни в одном случае у пациентов с гиперметропией диагноз «амблиопия» не был снят в раннем послеоперационном периоде, а также не была изменена степень амблиопии.

При сравнении прироста МКОЗ в двух группах получена достоверная разница. У пациентов с миопической рефракцией прирост МКОЗ был достоверно выше (0,22±0,1 в 1-й группе против 0,03±0,06 во 2-й группе (Uэмп – 11,5, p<0,05). Различия находятся в зоне значимости (рис. 3).

На рисунке 4 представлена динамика изменения МКОЗ после проведения рефракционной замены хрусталика. Среди всех пациентов 57% прибавили 2 или более строчек МКОЗ.

В общей группе пациентов при оценке изменений степени амблиопии после проведенного хирургического лечения мы получили следующие результаты: у

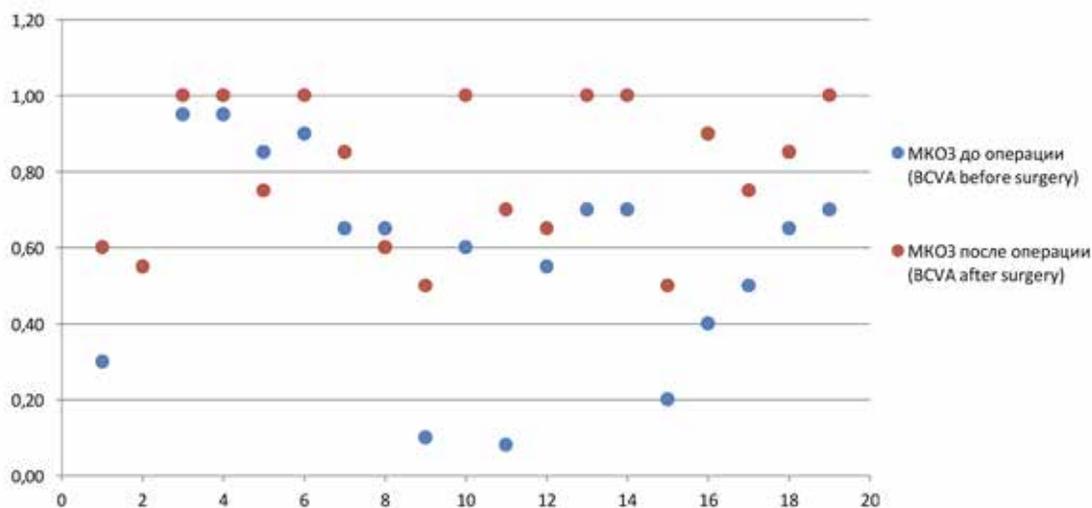


Рис. 1. Сравнение МКОЗ до и в первую неделю после операции у пациентов с миопической рефракцией

Fig. 1. Comparison of BCVA before and in the first week after surgery in patients with myopic refraction

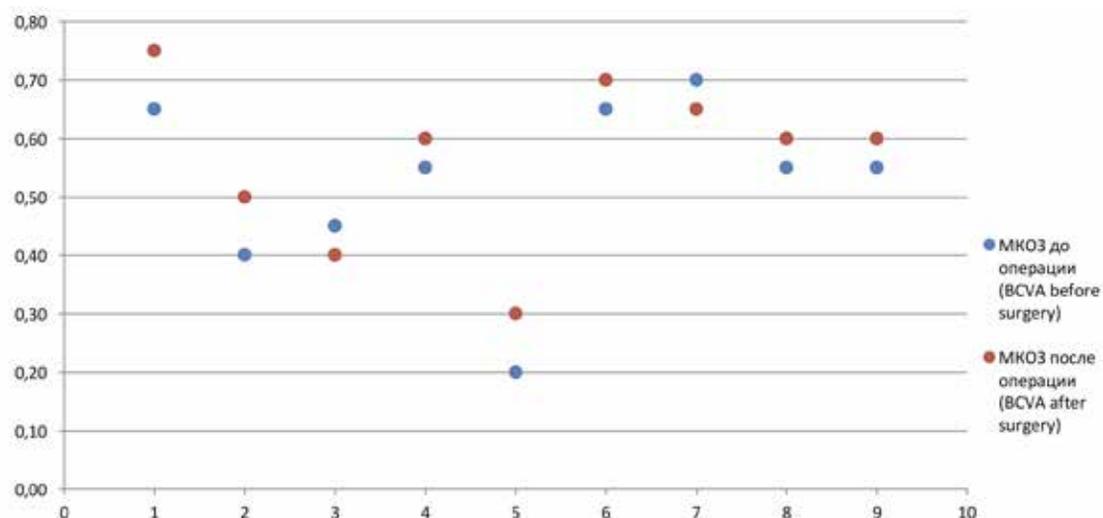


Рис. 2. Сравнение МКОЗ до и в первую неделю после операции у пациентов с гиперметропической рефракцией

Fig. 2. Comparison of BCVA before and in the first week after surgery in patients with hyperopic refraction

8 (28%) прооперированных пациентов был полностью снят диагноз «рефракционная амблиопия», сопровождавший их с детства (МКОЗ после операции составила 0,9–1,0) (рис. 5).

При этом мы выявили статистически достоверную разницу по этим показателям при сравнении между двумя группами.

У 35,3% пациентов с миопической рефракцией диагноз «амблиопия» был снят. У 41,2% диагноз был уточнен в сторону уменьшения степени амблиопии, 23,5% прибавили 1 строчку МКОЗ без изменения в степени амблиопии.

На всех глазах с гиперметропической рефракцией не отмечалось изменения степени амблиопии после хирургии, однако 22% прооперированных получили прибавку по МКОЗ на 1 строчку.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Рефракционная замена хрусталика признана безопасной процедурой без достоверного увеличения риска развития послеоперационных осложнений [4]. В некоторых работах приведены данные, что даже у детей с миопической рефракцией замена хрусталика приводит к значительному улучшению зрения.

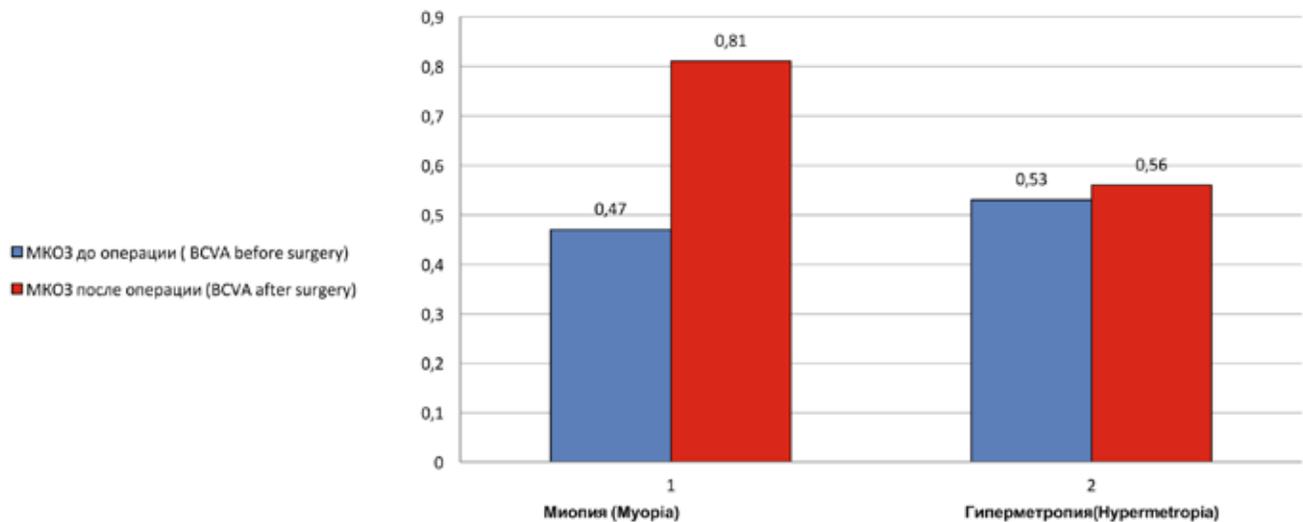


Рис. 3. Сравнение МКОЗ у пациентов с миопической и гиперметропической рефракцией до и после рефракционной замены прозрачного хрусталика

Fig. 3. Comparison of BCVA in patients with myopic and hyperopic refraction before and after refractive lens replacement

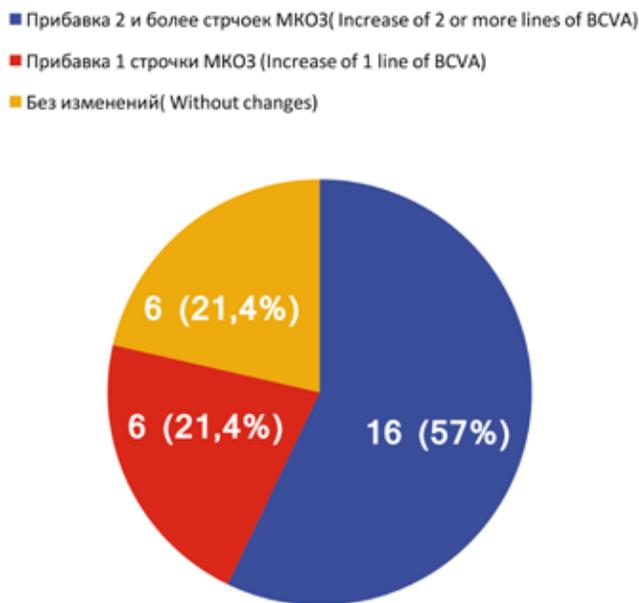


Рис. 4. Изменение МКОЗ у прооперированных пациентов обеих групп через неделю после рефракционной замены прозрачного хрусталика

Fig. 4. Change in BCVA in operated patients

пией высокой степени рефракционная замена хрусталика была признана эффективным решением для лечения амблиопии [5]. Учитывая прирост МКОЗ у части пациентов в ранние сроки после операции, мы сделали предположение, что существует гипердиагностика амблиопии на фоне аметропий высокой степени и это особенно касается пациентов с миопической рефракцией.

Вероятнее, в данном случае мы имеем дело с нарушениями светорассеивания (абберации высшего порядка) в миопичном глазу, которые препятствуют четкой фокусировке изображения на сетчатке и не уменьшаются при использовании стандартных методов экстраокулярной оптической коррекции [10]. У пациентов с миопической рефракцией нами выявлено изменение степени амблиопии со средней и высокой степени до слабой в 100% случаев. Пациенты с амблиопией слабой степени в 50% случаев прибавляли 1–2 строчки МКОЗ без изменения степени амблиопии и в 50% случаев прибавляли более 2 строк МКОЗ со снятием диагноза «амблиопия».

У пациентов с гиперметропической рефракцией прибавка 1 строчки МКОЗ происходила только при амблиопии средней степени без уменьшения ее степени.

Предположительно такая закономерность в изменении МКОЗ связана с тем, что в миопичных глазах абберации высшего порядка практически соответствуют значениям эметропичного глаза в отличие от гиперметропов [2]. Также на возможность изменения МКОЗ влияет плотность расположения колбочек в макулярной зоне, а именно то, что в миопичных глазах эта величина достоверно выше, чем в гиперметропичных, что свидетельствует о неполном развитии макулярной зоны у дальнозорких пациентов [13].

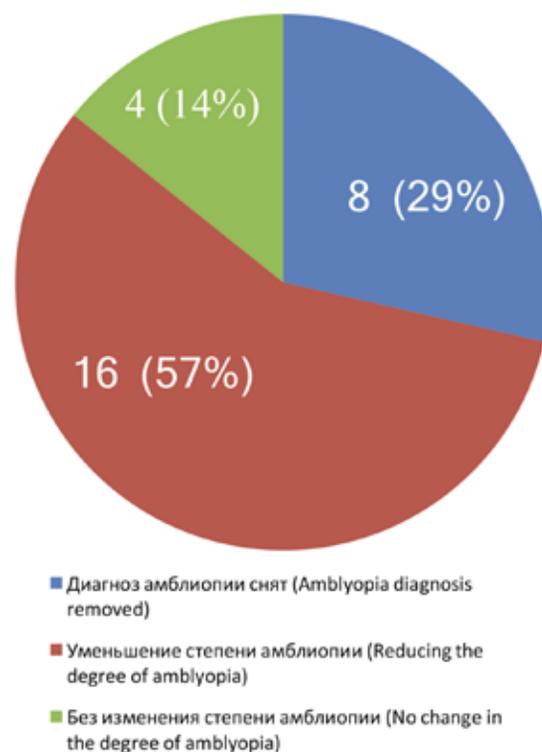
Обобщая полученные данные, следует отметить, что в большинстве случаев рефракционная замена хрусталика являлась средством, позволяющим уточнить действительную степень рефракционной амблиопии. Кроме того, в группе пациентов с рефракционной амблиопией на фоне миопического астигматизма она приводила к повышению МКОЗ до 1,0, что можно трактовать как

«лечение» рефракционной амблиопии, сопровождавшей пациента с детского возраста.

Исходя из этого необходимо проведение дополнительных исследований для выявления закономерностей послеоперационной динамики МКОЗ и степени амблиопии в отдаленные сроки после рефракционной замены прозрачного хрусталика. У части пациентов могут встречаться субклинические лентиконус и лентиглобус, которые влияют на невозможность получения оптимальной МКОЗ. При гиперметропии, не получив таких результатов по приросту остроты зрения, как при миопии, мы предполагаем, что даже при формировании оптимальной фокусировки светового пучка, не удастся достигнуть достоверно лучшей остроты зрения в связи с большим недоразвитием коркового отдела зрительного анализатора у данной группы пациентов, т.е. истинной амблиопии. В то же время, несмотря на взрослый возраст и сохраняющуюся амблиопию, необходимы большие сроки наблюдения, а возможно, как плеоптическое аппаратное лечение, так и активное фармакологическое сопровождение для таких пациентов.

Учитывая инвазивность рефракционной замены хрусталика, существует возможный риск возникновения регматогенной отслойки сетчатки, связанный с операцией после рефракционной замены хрусталика. С учетом этого, следует соблюдать повышенную настороженность при отборе пациентов на операцию. Каждый кандидат на операцию должен быть осмотрен лазерным хирургом с целью выявления ПВХРД и проведения профилактического лечения, также важным фактором является состояние стекловидного тела. При задней отслойке стекловидного тела значительно снижается риск возникновения отслойки сетчатки.

Для более точной диагностики амблиопии и определения ее степени существуют такие редко используемые в клинической практике методы исследования, как определение ретиальной остроты зрения, которая может помочь отдифференцировать амблиопию средней степени от амблиопии слабой степени. Использование aberрометрии также может помочь в определении полного спектра погрешностей оптической системы глаза пациента и их влияния на возможную МКОЗ. С помощью использования этих методов мы сможем лучше прогнозировать потенциально возможное улучшение МКОЗ после интраокулярной рефракционной хирургии. Используя определение ретиальной остроты зрения, мы можем поставить под сомнение наличие и степень амблиопии еще до проведения операции, что, несомненно, сможет повлиять на возможный выбор типа имплантируемой пациенту ИОЛ. При прогнозируемой высокой МКОЗ для улучшения качества жизни пациентов, особенно молодого возраста, возможно использование современных мультифокальных ИОЛ и ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса (EDOF), которая частично заменяет естественную accommodation хрусталика.



**Рис. 5.** Изменение степени амблиопии у прооперированных пациентов обеих групп через неделю после рефракционной замены прозрачного хрусталика

**Fig. 5.** Change in the grade of amblyopia in operated patients of both groups one week after refractive replacement of the transparent lens

В результате проведенной работы подтверждается, что истинная амблиопия является характерной чертой в большей степени именно дальновзорного глаза, при котором выраженное недоразвитие зрительного анализатора ведет к нарушению миелинизации и правильного созревания центральных отделов зрительного анализатора. А в случае миопии высокой степени в большинстве случаев имеет место гипердиагностика амблиопии и невозможность достоверно оценить ее степень при использовании стандартной очковой коррекции, так как экстраокулярные средства оптической коррекции не всегда могут полностью устранить весь спектр погрешностей оптической системы и позволить сформировать четкое изображение на сетчатке. В диссертации Е.П. Тарутта [5] при рефракционной и анизометропической амблиопии выявлена корреляционная связь параметров остроты зрения и фиксации с внутренними aberрациями Т. Coma, Т. Trefoil. В работе А.А. Варавки [1] было показано, что наличие таких структурных изменений хрусталика, как лентиконус или начальная катаракта, вызывает различные изменения сферических и комоподобных aberраций, что обуславливает сниже-

ние остроты зрения и качества жизни даже после роговичной рефракционной хирургии. Таким образом, рефракционная лентасэктомия, влияющая на уровень аберраций, с одной стороны, является вариантом лечения амблиопии, а с другой – важным, хоть и инвазивным, инструментом либо для исключения диагноза «амблиопия» (28% в нашем исследовании), либо для уменьшения ее степени (14% в нашем исследовании).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рефракционная замена хрусталика у взрослых пациентов с амблиопией представляет собой безопасный способ коррекции имеющихся аномалий рефракции высокой степени, значимо повышающий качество жизни пациента прежде всего в связи с увеличением НКОЗ и возможным увеличением МКОЗ.

Выявленное изменение степени амблиопии у пациентов в ранние сроки после рефракционной замены прозрачного хрусталика заставляет нас задуматься, уточнить диагноз и усомниться в достаточности стандартных методов диагностики амблиопии и определения ее степени. Скорее всего необходимо использовать дополнительные уточняющие методы диагностики амблиопии и оценить их диагностическую способность в дальнейших исследованиях.

У пациентов с амблиопией при миопии высокой степени, в сравнении с пациентами с гиперметропией, рефракционная замена прозрачного хрусталика в большинстве случаев приводит к повышению МКОЗ в короткие сроки после операции и, следовательно, улучшению качества жизни пациента.

Рефракционная замена хрусталика у пациента с подзрением на амблиопию, в совокупности с значительным улучшением НКОЗ, может являться уточняющим способом диагностики наличия рефракционной амблиопии или определять ее степень более точно.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Варавка А.А., Качанов А.Б. Современная aberrometry хрусталика. Практическая медицина. 2016;2(94): 167. [Varavka AA, Kachanov AB. Modern lens aberrometry. Practical Medicine. 2016;2(94): 167. (In Russ.)]
2. Курганова О.В., Маркова Е.Ю., Безмельницкая Л.Ю., Пронько Н.А., Венидиктова Л.В. Миопия и другие аномалии рефракции у детей школьного возраста. Практическая медицина. 2018;3(114): 106–109. [Kurganova OV, Markova EYu, Bezmelnitsyna LYu, Pronko NA, Venidiktova LV. Myopia and other refractive errors in school-age children. Practical medicine. 2018;3(114): 106–109]
3. Малюгин Б.Э., Соболев Н.П., Фомина О.В., Белокопытов А.В. Сравнительный анализ функциональных результатов имплантации различных моделей трифокальных дифракционных интраокулярных линз. Вестник офтальмологии. 2020;136(1): 8089. [Maliugin BE, Sobolev NP, Fomina OV, Belokopytov AV. Comparative analysis of the functional results after implantation of various diffractive trifocal intraocular lenses. The Russian Annals of Ophthalmology. 2020;136(1): 8089. (In Russ.)]

4. Сорокина Е.В. Комплексный подход к лечению рефракционной амблиопии больных миопией высокой степени. Вестник Оренбургского государственного университета. 2014;12(173): 293. [Sorokina EV. An integrated approach to the treatment of refractive amblyopia in patients with high myopia. Vestnik Orenburg State University. 2014;12(173): 293. (In Russ.)]

5. Тарутта Е.П., Хубиева Р.Р., Маркосян Г.А. Сравнение некоторых хориоретинальных параметров при врожденной и приобретенной миопии и изучение их взаимосвязи с анатомо-оптическими показателями глаз. Российский офтальмологический журнал. 2021;14(3): 46–53. [Tarutta EP, Khubieva RR, Markosyan GA. Comparison of some chorioretinal parameters in congenital and acquired myopia and the study of their relationship with the anatomical and optical parameters of the eyes. Russian Ophthalmological Journal. 2021;14(3): 46–53. (In Russ.)]

6. Фомина Е.В., Коновалова Н.А. Анализ медицинской результативности мер по купированию амблиопии. Восток–Запад. Сборник трудов. 2012. [Fomina EV, Konovalova NA. Analysis of the medical effectiveness of measures to stop amblyopia. East–West. Collection of works. 2012. (In Russ.)]

7. Ali A, Packwood E, Lueder G, Tychsen L. Unilateral lens extraction for high anisometropic myopia in children and adolescents. J AAPOS. 2007;11(2): 153–158.

8. Levi DM. Rethinking amblyopia. 2020. Vis Res. 2020;176: 118–129.

9. Tychsen L, Packwood E, Hoekel J, Lueder G. Refractive surgery for high bilateral myopia in children with neurobehavioral disorders: 1. Clear lens extraction and refractive lens exchange. J AAPOS. 2006;10(4): 357–363.

10. Packard R. Refractive lens exchange for myopia: a new perspective? Curr Opin Ophthalmol. 2005;16(1): 53–56.

11. Hashemi H, Pakzad R, Yekta A, et al. Global and regional estimates of prevalence of amblyopia: a systematic review and meta-analysis. Strabismus. 2018;26(4): 168–183.

12. Tailor V, Bossi M, Greenwood JA, Dahlmann-Noor A. Childhood amblyopia: current management and new trends. Br Med Bull. 2016;119(1): 75–86.

13. Raja T, Garg P, Agrawal A. Comparison of macular thickness in myopia, hypermetropia and emmetropia: An OCT based study. Ind J Clin Exp Ophthalmol. 2018;4(3): 329–332.

### Информация об авторах

**Эрнест Витальевич Бойко**, директор Санкт-Петербургского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, д.м.н., профессор, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Кристина Константиновна Шефер**, к.м.н., врач-офтальмолог высшей категории, заведующая детским отделением, доцент кафедры офтальмологии СЗГМУ им. И.И. Мечникова, kristinashefer@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-0568-6593>

**Игорь Валерьевич Хижняк**, заведующий операционным отделением, врач-офтальмолог, igor.khizhnyak126@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Александр Игоревич Шилов**, врач-офтальмолог, alshilov1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3315-3057>

### Information about the authors

**Ernest V. Boiko**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director General, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Kristina K. Shefer**, PhD in Medicine, Ophthalmologist of the Highest Category, Head of the Children's Department, Associate Professor, kristinashefer@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-0568-6593>

**Igor' V. Khizhnyak**, Head of the Surgery Department, Ophthalmologist, igor.khizhnyak126@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Aleksandr I. Shilov**, Ophthalmologist, alshilov1995@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3315-3057>

### Вклад авторов в работу:

**Э.В. Бойко**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**К.К. Шефер**: сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование.

**И.В. Хижняк**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка информации, редактирование.

**А.И. Шилов**: сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование.

**Authors' contribution:**

**E.V. Boiko:** significant contribution to the concept and design of the work, writing, editing, final approval of the version to be published.

**K.K. Shefer:** collection, analysis and processing of material, writing, editing.

**I.V. Khizhnyak:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, editing.

**A.I. Shilov:** collection, analysis and processing of material, writing, editing.

**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: 26.06.2023*

*Переработана: 13.08.2023*

*Принята к печати: 16.11.2023*

*Originally received: 26.06.2023*

*Final revision: 13.08.2023*

*Accepted: 16.11.2023*

Научная статья  
УДК 617.7-007.681  
doi:

## Микроимпульсная циклофотокоагуляция в комбинированном лечении неоваскулярной глаукомы

И.В. Ширяев, С.В. Сосновский, М.М. Правосудова, И.Е. Панова

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России,  
Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

### РЕФЕРАТ

**Цель.** Изучить эффективность микроимпульсной циклофотокоагуляции (мЦФК) в комбинированном лечении пациентов со вторичной рефрактерной неоваскулярной глаукомой (НВГ), имеющих предметное зрение. **Материал и методы.** Обследовано 30 пациентов (30 глаз) с НВГ в стадии частичной и полной блокады угла передней камеры с декомпенсированным, стойким к медикаментозной терапии внутриглазным давлением (ВГД), имеющих предметное зрение. Сформировано две исследуемые группы по 15 глаз в каждой. Первая – основная группа, представлена пациентами, которым проводилась мЦФК (аппарат Cyclo G6 Glaucoma Laser System фирмы IRIDEX) как этап комбинированного лечения перед имплантацией клапана Ахмеда (ИКА); вторая – контрольная группа, включала лица, которым первично выполнялся данный вид дренажной хирургии без предварительного микроимпульсного лазерного воздействия. Срок наблюдения составил 18 месяцев. **Результаты.** Выполнение мЦФК в основной группе привело к достоверному снижению показателей ВГД в 1-е сутки после лечения с  $27,5 \pm 6,1$  до  $23,6 \pm 4,6$  мм рт.ст., с максимальным достижением нормальных значений на 3-и сутки наблюдения, которые составили в среднем  $20,3 \pm 4,4$  мм рт.ст. ( $p < 0,05$ ). К кон-

цу 1-го месяца зафиксирован рост средних значений ВГД до субкомпенсированных показателей –  $24,4 \pm 6,3$  мм рт.ст. После имплантации клапанного дренажа к концу 1-го месяца наблюдения в основной группе ВГД составило 19 ( $16,5; 2,20$ ) мм рт.ст., а в контрольной группе –  $24,5 (20,5; 25,8)$  мм рт.ст. ( $p < 0,05$ ). Через 18 месяцев послеоперационного периода уровень офтальмотонуса в основной группе равен  $15,5 (15,0; 18,2)$ , а в контрольной группе –  $16,5 (15,0; 19,5)$  мм рт.ст. ( $p > 0,05$ ). Установлено значимое снижение количества гипотензивных препаратов в основной группе: 1 (0; 2) против 2 (1; 3) в контрольной группе ( $p = 0,03$ ). В обеих группах значимого ухудшения зрительных функций в течение всего срока наблюдения не зафиксировано. **Заключение.** мЦФК может рассматриваться в качестве предварительного этапа комбинированного лечения неоваскулярной рефрактерной глаукомы, так как снижает риск предоперационной офтальмогипертензии перед клапанной хирургией, приводит к значимому уменьшению количества гипотензивных препаратов в отдаленном послеоперационном периоде, тем самым позволяет повысить эффективность лечения пациентов с неоваскулярной рефрактерной глаукомой, имеющих предметное зрение.

**Ключевые слова:** микроимпульсная циклофотокоагуляция, неоваскулярная глаукома, клапан Ахмеда ■

**Для цитирования:** Ширяев И.В., Сосновский С.В., Правосудова М.М., Панова И.Е. Микроимпульсная циклофотокоагуляция в комбинированном лечении неоваскулярной глаукомы. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX.  
Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Игорь Валерьевич Ширяев, garry83dm@gmail.com.

### ABSTRACT

Original article

## Micropulse cyclophotocoagulation in combined treatments of neovascular glaucoma

I.V. Shiryayev, S.V. Sosnovskii, M.M. Pravosudova, I.E. Panova

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russian Federation

**Purpose.** To evaluate the efficiency of micropulse cyclophotocoagulation (MP-CPC) in the combined treatment of patients with secondary refractory neovascular glaucoma with object vision. **Material and methods.** The study involved 30 patients (30 eyes) with neovascular glaucoma (NVG) in the stage of partial or complete

blockade of the iridocorneal angle with decompensated intraocular pressure (IOP) resistant to drug therapy, who had object vision. Two study groups were formed, 15 eyes each. The first main group is represented by patients whom performed MP-CPC (Cyclo G6 Glaucoma Laser System by IRIDEX), as a stage of combined treatment before implantation of Ahmed

glaucoma valve (IAGV). The second control group included patients who initially were treated by this type of drainage surgery without preliminary micropulse laser exposure. The follow-up period was 18 months. **Results.** The implementation of MP-CPC in the main group led to a significant decrease in IOP on the 1st day after treatment from  $27.5 \pm 6.1$  to  $23.6 \pm 4.6$  mm Hg, with the maximum attainment of normal values on the 3rd day of observation, which averaged  $20.3 \pm 4.4$  mm Hg. ( $p < 0.05$ ). By the end of the 1st month, an increase in mean IOP values to subcompensated values was recorded –  $24.4 \pm 6.3$  mm Hg. After valve drainage implantation, by the end of the 1st month of observation, IOP in the main group was 19 ( $16.5; 22.0$ ) mm Hg, and in the control group it was 24.5 ( $20.5; 25.8$ ) mm Hg. ( $p < 0.05$ ). After 18 months of the postoperative period, the level of ophthalmotonus in the main group is 15.5 ( $15.0; 18.2$ ), and in the

control group – 16.5 ( $15.0; 19.5$ ) mm Hg. ( $p > 0.05$ ). A significant decrease in the amounts of hypotensive drugs in the main group was revealed: 1 (0; 2) versus 2 (1; 3) in the control group ( $p = 0.03$ ). In both groups, there was no significant deterioration in visual functions during the entire observation period. **Conclusions.** MP-CPC can be considered as a preliminary stage in the combined treatment of neovascular refractory glaucoma, as it reduces the risk of preoperative ophthalmohypertension before valve surgery, leads to a significant decrease in the amounts of hypotensive drugs in the late postoperative period, thereby improving the effectiveness treatment of patients with neovascular refractory glaucoma who have object vision.

**Key words:** micropulse cyclophotocoagulation, neovascular glaucoma, valve's Ahmed ■

**For citing:** Shiryaev I.V., Sosnovskii S.V., Pravosudova M.M., Panova I.E. Micropulse cyclophotocoagulation in combined treatments of neovascular glaucoma. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2023;4: XXXX. doi  
**Corresponding author:** Igor V. Shiryaev, garry83dm@gmail.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Неоваскулярная глаукома (НВГ) относится к осложнениям тяжелой пролиферативной диабетической ретинопатии или ишемической окклюзии центральной вены сетчатки или ее ветвей [1]. Данное заболевание носит торпидный характер течения, отличается высоким, устойчивым к медикаментозной терапии и стандартным хирургическим методам уровнем внутриглазного давления (ВГД) и прогрессирующей потерей зрительных функций [2]. Согласно шкале Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS), перечисленные особенности такой формы глаукомы подчеркивают не столько социальную значимость проблемы, сколько актуализируют поиск и алгоритм проведения терапевтических и хирургических методов лечения [3, 4].

Наиболее радикальным способом снижения ВГД при НВГ с частичной и полной блокадой угла передней камеры (УПК) является имплантация клапана Ахмеда (ИКА) с доказанной эффективностью по сравнению с трубчатými дренажами, которая объясняется его структурными особенностями, обеспечивающими контролируемый отток внутриглазной жидкости из передней камеры глаза [5, 6]. Однако, учитывая особенности патогенеза НВГ [7], существует риск развития послеоперационных геморрагических осложнений и резкого гипотонического синдрома, частоту которых возможно снизить путем поэтапного проведения терапевтических и лазерных процедур [8]. Микроимпульсная циклофотокоагуляция (мЦФК), по нашему мнению, может рассматриваться как актуальное решение, обеспечивающее повышение безопасности проведения хирургического лечения и уменьшение количества перечисленных осложнений, так как является малотравматичной неинвазивной технологией [9–10]. Основной гипотензивный механизм данной опе-

рации заключается в избирательном поглощении лазерной энергии меланинсодержащим ресничным эпителием цилиарного тела без чрезмерного термического воздействия на структуры, ответственные за выработку внутриглазной жидкости [11].

Достаточно широко освещенные в литературе результаты гипотензивной эффективности и безопасности мЦФК в лечении терминальной и далеко зашедшей первичной открытоугольной глаукомы [12–14] позволяют рассмотреть возможности использования данной технологии в лечении НВГ.

## ЦЕЛЬ

Изучить эффективность мЦФК в комбинированном лечении пациентов со вторичной рефрактерной НВГ в стадии частичной или полной блокады УПК, имеющих предметное зрение.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование выполнено на базе Санкт-Петербургского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России в период с 2021 по 2022 г. Все пациенты подписывали информированное согласие на диагностическое обследование и хирургическое вмешательство. Работа выполнена согласно требованиям Хельсинкской декларации (в редакции 2003 г.).

В исследование включено 30 пациентов (30 глаз) с неоваскулярной декомпенсированной глаукомой на максимальной гипотензивной терапии в стадии частичной или полной блокады УПК, которым перед операцией проводилось стандартное комплексное офтальмологическое обследование, включающее в себя оценку мор-

Таблица 1

Сравнительная характеристика исследуемых групп до лечения

Table 1

Comparative characteristic of the studied groups before treatment

Параметры Parameters	Наличие мЦФК как этап комбинированного лечения Patients with MP-CPC	Отсутствие мЦФК как этапа комбинированного лечения Patients without MP-CPC
Возраст, лет, Me (IQR) Age, years, Me (IQR)	60,5 (18,1)	57,5 (31)
Распределение по полу, % Sex distribution, %	М – 65% Ж – 35%	М – 50% Ж – 50%
ВГД до лечения, мм рт.ст., Me (IQR) IOP before treatment, Hg mm, Me (IQR)	27,5 (5,8)	30 (5,5)
Количество гипотензивных препаратов, n (все группы) Number of hypotensive drops, n	3 (2)	3 (2)
МКОЗ Me (IQR) BCVA	0,09 (0,32)	0,1 (0,21)
ПЗО, мм Me (IQR) Axial, mm	23,7 (1,4)	24 (1,6)

фоструктурного состояния сетчатки (при достаточной прозрачности оптических сред). В 9/30 (30%) случаях причиной неоваскуляризации стали последствия ишемического тромбоза центральной вены сетчатки или ее ветвей, в 21/30 (70%) – тяжелая пролиферативная диабетическая ретинопатия. Все обследованные пациенты первичные, без гипотензивной хирургии в анамнезе, предварительно на протяжении 1–3 месяцев получали интравитреальные инъекции ингибиторов ангиогенеза (ИВВИА). Гипотензивная терапия включала применение трех и более препаратов всех известных групп, кроме м-холиномиметиков. Наиболее частая схема у 80% пациентов включала в себя комбинацию β-блокатора с ингибитором карбоангидразы и α2-адреномиметик. Среднее количество инстилляций составило не менее 6–9 капель в сутки. Панретинальная лазеркоагуляция (ПРЛК) проведена у 12 пациентов (40%), задняя витректомия – у 6 (20%) больных, имеющих сахарный диабет. При объективном обследовании 25 глаз (83,3%) зафиксирована артифакция, частичная и полная блокада радужно-роговичного угла – в 8 и 22 случаях (26,7%, 73,3%) соответственно, вне зависимости от этиологии заболевания.

Критерии исключения: пациенты с первичной открытоугольной глаукомой, другие формы вторичной глаукомы, наличие хирургических гипотензивных вмешательств, отсутствие предметного зрения.

Сформировано две исследуемые группы по 15 глаз в каждой. Первая – основная группа, представлена пациентами, которым проводилась мЦФК как этап комбинированного лечения перед ИКА. Вторая – контроль-

ная группа, включала лиц, которым первично выполнялась дренажная хирургия без предварительного микроимпульсного лазерного воздействия.

Общая характеристика исследуемых групп до лечения представлена в *таблице 1*.

Исходя из данных *таблицы 1* видно, что статистически значимых различий по возрасту, полу, исходному ВГД, количеству инстиллируемых гипотензивных препаратов, максимальной корригируемой остроте зрения (МКОЗ), показателей биометрии не выявлено ( $p > 0,05$ ).

Циклофотокоагуляция в микроимпульсном режиме проводилась на аппарате Cyclo G6 Glaucoma Laser System фирмы IRIDEX (США) со следующими параметрами: мощность – 2000 мВт; экспозиция – 160–180 сек (80–90 сек на каждую полусферу); суммарное лазерное воздействие – 100,2–112,7 Дж; рабочий цикл – 31,3%.

ИКА, модель FP7, выполнялась по стандартной технологии спустя 28–35 дней после проведения мЦФК. В послеоперационном периоде всем пациентам проводилась стандартная антибактериальная и противовоспалительная терапия.

Оцениваемые параметры. Срок наблюдения составил 18 месяцев. Клинико-инструментальный мониторинг у пациентов, которым выполнено лазерное вмешательство, проводился на сроках 1, 3, 7, 14, 30-е сутки после операции, далее, после ИКА в обеих группах – через 1, 5, 3, 6, 9, 12 и 18 месяцев. Проводилась сравнительная оценка уровня ВГД, зрительных функций до и после лечения, особенностей послеоперационного периода в ранние и поздние сроки наблюдения.

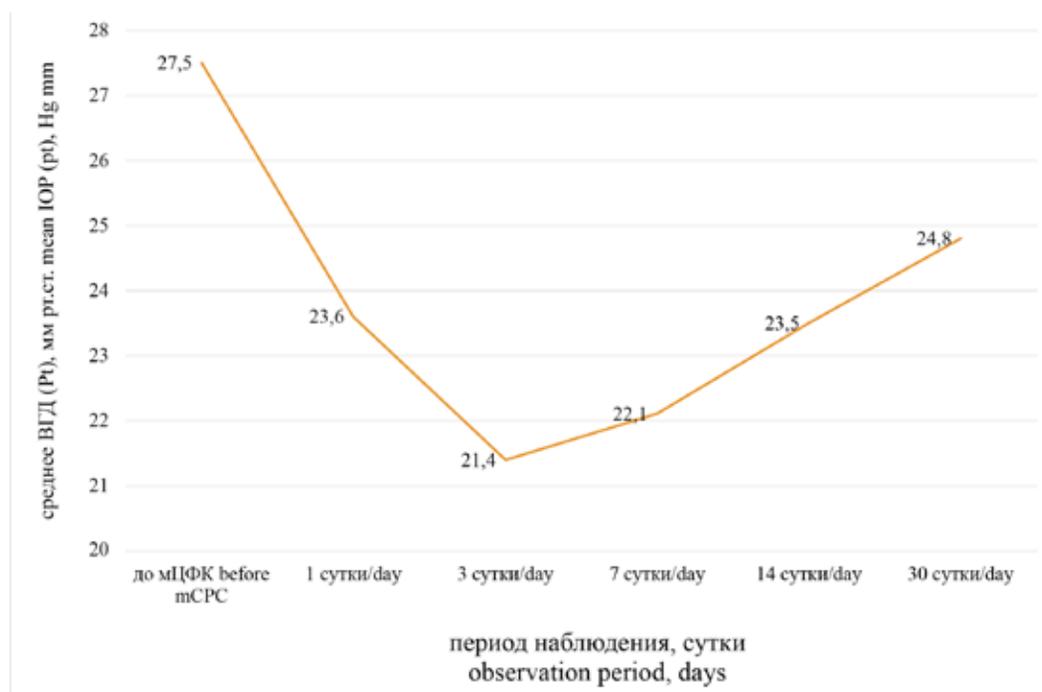


Рис. 1. Динамическая оценка средних значений ВГД после мЦФК в течение 1 месяца наблюдения

Fig. 1. Dynamic estimation of average IOP values after mCPhC during 1 month of follow-up

Статистическая обработка данных. Качественные признаки представлены в виде абсолютных (n) и относительных (%) величин. Количественные признаки, рассматриваемые в настоящей работе, не соответствуют закону нормального распределения, поэтому описательная статистика представлена в виде Me (IQR), где Me – медиана значений; IQR – интерквартильный размах. Статистическая обработка данных проведена с использованием методов непараметрической статистики. Для сравнения двух и более независимых выборок с переменной группой или без нее применялись критерии Манна – Уитни и Краскела – Уоллиса соответственно. Оценка значимости результатов до и после лечения в определенные сроки наблюдения осуществлялась с помощью критерия Фридмана и коэффициента Кендала.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Выполнение мЦФК в основной группе привело к достоверному снижению показателей ВГД в 1-е сутки после лечения с 27,5 (5,8) до 23,6 (4,5) мм рт.ст., с максимально достигнутым гипотензивным эффектом на 3-и сутки наблюдения, уровень которого составил в 20,3 (3,4) мм рт.ст. ( $p < 0,05$ ). К концу 1-го месяца наблюдения отмечена тенденция роста уровня офтальмотонуса до субкомпенсированных показателей – 24,4 (6,1) мм рт.ст. (рис. 1).

При оценке безопасности мЦФК у пациентов основной группы в раннем послеоперационном периоде нами не отмечено воспалительной реакции в виде симптома Тиндаля. В 4 случаях (26,7%) после мЦФК зафиксирована цилиарная болезненность, которая была полностью купирована на 5-е сутки наблюдения. Снижения МКОЗ не выявлено, гипотензивная терапия проводилась без изменения дооперационного режима.

На 28–35-и сутки у пациентов основной группы выполнена операция по установке клапана Ахмеда. Обращает на себя внимание статистически значимая разница исходных средних предоперационных показателей ВГД: 26,7 (2,3) и 31,4 (2,5) мм рт.ст. в основной и контрольной группах соответственно ( $p < 0,05$ ). Более низкие показатели уровня офтальмотонуса у пациентов основной группы обеспечили лучшие условия для выполнения хирургического вмешательства.

Все операции прошли без осложнений. Динамическая оценка средних значений ВГД после клапанной хирургии представлена на рисунке 2.

Исходя из рисунка 2, в 1-е сутки после операции уровень офтальмотонуса был сопоставим в обеих исследуемых группах. Однако у лиц основной группы, с предварительной мЦФК, отмечен более низкий уровень ВГД: 13,8 (6,0) против 14,5 (5,5) мм рт.ст. в контрольной группе ( $p > 0,05$ ). К концу 1-го месяца наблюдения у пациентов, которым проводилась мЦФК как этап комплексного лечения, ВГД составило 19 (5,5) мм рт.ст., а в контроль-

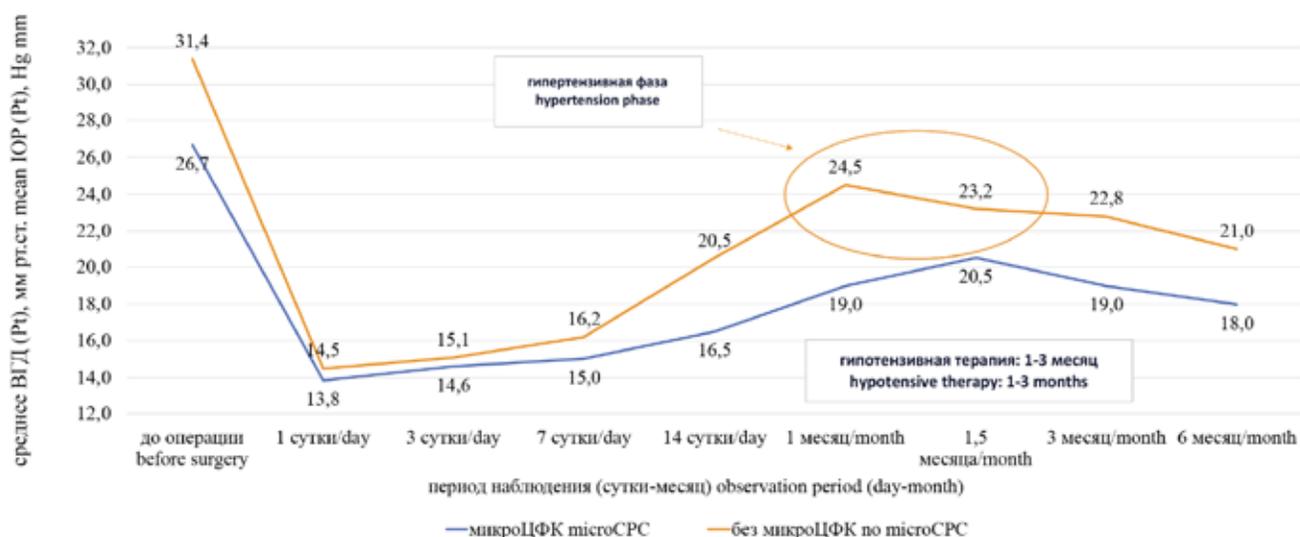


Рис. 2. Динамика ВГД после имплантации клапана Ахмед в исследуемых группах

Fig. 2. Dynamics of IOP after implantation of the Ahmed valve in the study groups

ной группе – 24,5 (5,3) мм рт.ст. ( $p < 0,05$ ). В контрольной группе более высокие цифры ВГД обусловлены возобновившимся неоваскулярным процессом и пролиферацией тканей вокруг имплантата, что потребовало продолжения ИВВИА, сеансов ПРЛК и дополнительного назначения ингибиторов карбоангидразы. Вместе с тем вероятно предположить, что лучшие показатели ВГД у пациентов основной группы определялись отсроченным эффектом мЦФК.

Как показало проведенное исследование, через 6 месяцев у пациентов основной группы уровень ВГД составил 18 (3,3), в контрольной группе – 21 (3,2) мм рт.ст. ( $p > 0,05$ ). В ходе последующего мониторинга выраженных флуктуаций ВГД не выявлено. Представленные графические данные (рис. 2) свидетельствуют, что через 18 месяцев послеоперационного периода уровень офтальмотонуса в основной группе равен 15,5 (3,2), а в контрольной группе – 16,5 (4,5) мм рт.ст. ( $p > 0,05$ ). Установлено значимое снижение количества гипотензивных препаратов в основной группе по сравнению с дооперационной терапией: 1 (2) против 2 (2) в контрольной группе ( $p = 0,03$ ). Среднее количество инстилляций в основной группе составило 2 (2), в контрольной – 3 (2). Абсолютный успех лечения к концу исследования (ВГД менее 20 мм рт.ст.) был достигнут только у пациентов с проведенной предварительной мЦФК и составил 30%. В остальных случаях, при фиксации показателей ВГД более 20 мм рт.ст., была сохранена гипотензивная терапия (1–2 препарата), назначенная в среднем через 1,5 месяца после ИКА. В обеих группах в течение всего срока наблюдения статистически значимые различия ВГД не превышали 15% (скорректированный  $R^2 = 0,15$ ).

Оценка динамики МКОЗ в исследуемых группах представлена *рисунке 3*.

В ходе дальнейшего динамического наблюдения ухудшения зрительных функций после клапанной хирургии, в том числе у пациентов с предварительной мЦФК, в течение всего срока наблюдения не зафиксировано ( $p > 0,05$ ). Через 6 месяцев отмечено значимое улучшение максимально корректируемой остроты зрения в обеих группах (в 3 раза по сравнению с исходной), что обусловлено не только нормализацией показателей ВГД, но и мониторингом состояния сетчатки и проведением при необходимости медикаментозных (ИВВИА) и лазерных процедур (ПРЛК).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Применение лазеров в лечении глаукомы неразрывно связано с отечественной офтальмологией, а именно с работами академика М.М. Краснова, который впервые в мировой практике разработал новые методы «безножевого» лечения данного заболевания с помощью предложенных им оригинальных лазерных установок, не применявшихся ранее в медицинской практике [15–17].

Бурное развитие лазерных технологий на современном этапе обусловило появление такой методики, как мЦФК [18, 19]. Дозированность лазерного воздействия, отсутствие деструктивного воздействия на структуры цилиарного тела, атравматичность, возможность комбинированного использования с различными хирургическими методами лечения глаукомы определяют особое место данного способа в клинической практике [20].

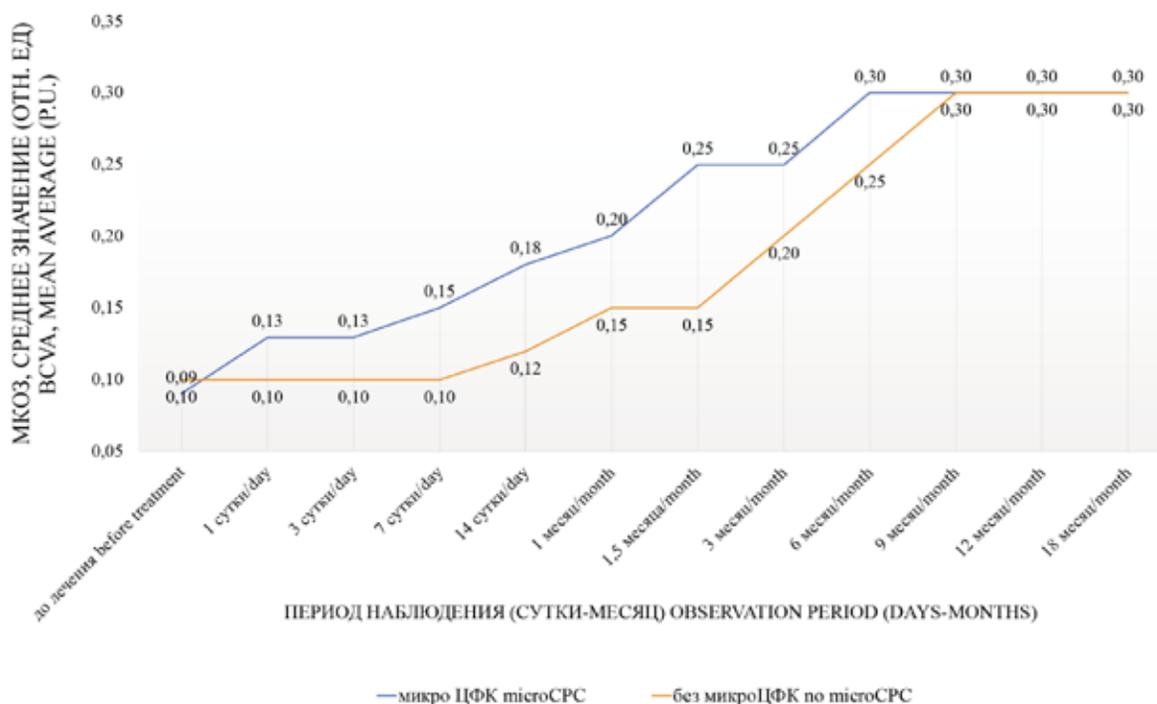


Рис. 3. Сравнительный анализ динамики МКОЗ

Fig. 3. The comparative analysis of BCVA dynamics

Механизм действия мЦФК при НВГ до конца не изучен [21, 22]. Ряд исследований указывает на снижение явлений неоваскуляризации за счет избирательного воздействия на клетки пигментного эпителия цилиарного тела, что приводит к синтезу фактора роста пигментного эпителия (PEDF), обладающего нейротрофическим, нейропротективным и антиангиогенным действием [23]. В то же время другие работы показывают отсутствие статистически значимых различий в уровне PEDF до и после лазерного воздействия [24]. Мы полагаем, что гипотензивный эффект мЦФК при НВГ обусловлен прежде всего частичным снижением выработки внутриглазной жидкости вследствие рассеивания лазерной энергии, и ее коллатерального воздействия на структуры цилиарного тела, ответственных за выработку внутриглазной жидкости [25]. Склонность к повторной декомпенсации ВГД у таких пациентов скорее всего обусловлена прогрессирующей блокадой УПК, нарастающим дисбалансом между выработкой и оттоком внутриглазной жидкости и сохраняющимся патологическим ангиогенезом [26]. Однако данные мониторинга ВГД после проведения лазерного вмешательства у пациентов с НВГ, полученные в данной работе, позволяют предположить, что наиболее благоприятным периодом для проведения хирургического вмешательства по установке клапана Ахмед является более ранний интервал (от 7 до 14 суток после мЦФК), при котором показатели ВГД не превышают 22–24 мм рт.ст.

Применение ИВВИА и ПРЛК как патогенетически ориентированных методов снижения неоваскуляризации структур глаза в монорежимах может быть недостаточным, в связи с чем дополнительное проведение мЦФК позволяет значительно снизить риск геморрагических осложнений у пациентов после имплантации клапанного дренажа [27]. Безусловно, роль мЦФК и ее обоснованность в лечении рефрактерной неоваскулярной глаукомы требуют дальнейшего изучения и анализа большего количества данных. Однако доказанная в данной работе эффективность мЦФК перед ИКА в плане снижения ВГД определяет создание благоприятных условий для хирургического вмешательства у больных, зачастую имеющих отягощенный соматический анамнез. Кроме того, установленное в ходе исследования значимое снижение количества гипотензивных препаратов в отдаленном послеоперационном периоде способствует расширению показаний к использованию мЦФК у пациентов с неоваскулярной глаукомой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

мЦФК может рассматриваться в качестве предварительного этапа комбинированного лечения неоваскулярной рефрактерной глаукомы и является достаточно безопасной гипотензивной технологией, так как снижа-

ет риск преоперационной офтальмогипертензии перед клапанной хирургией. Выполнение МЦФК перед имплантацией дренажа приводит к значимому уменьшению количества гипотензивных препаратов в отдаленном послеоперационном периоде, тем самым позволяет повысить эффективность хирургического лечения пациентов с неоваскулярной рефрактерной глаукомой, имеющих предметное зрение.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Сидорова А.В., Старостина А.В., Печерская М.А., Хабазова М.Р., Арисов А.А. Исследование эффективности микроимпульсной транссклеральной циклофотокоагуляции в комбинированном лечении пациентов с вторичной неоваскулярной глаукомой. Клиническая практика. 2021;12(4): 44–50. [Sidorova AV, Starostina AV, Pecherskaia MA, Khabazova MR, Arisov AA. The study of the efficiency of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in the combined treatment of patients with secondary neovascular glaucoma. Journal of Clinical Practice. 2021;12(4): 44–50. (In Russ.)] doi: 10.17816/clinpract89576
2. Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Смирнова Е.А., Елисеева М.А., Старостина А.В. Терапия неоваскулярной глаукомы. Национальный журнал Глаукома. 2020;19(2): 76–87. [Khodzaev NS, Sidorova AV, Smirnova EA, Eliseeva MA, Starostina AV. Neovascular glaucoma treatment. National Journal glaucoma. 2020; 19(2): 76–87. (In Russ.)] doi: 10.25700/NJG.2020.02.09
3. Early photocoagulation for diabetic retinopathy. ETDRS report number 9. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Ophthalmology. 1991;98(5 Suppl): 766–785.
4. Липатов Д.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., и др. Эпидемиология диабетической ретинопатии в Российской Федерации по данным федерального регистра пациентов с сахарным диабетом (2013–2016 гг.). Сахарный диабет. 2018;21(4): 230–240. [Lipatov DV, Vikulova OK, Zheleznyakova AV, et al. Trends in the epidemiology of diabetic retinopathy in Russian Federation according to the Federal Diabetes Register (2013–2016). Diabetes Mellitus. 2018;21(4): 230–240. (In Russ.)] doi: 10.14341/DM9797
5. Liu L, Xu Y, Huang Z, Wang X. Intravitreal ranibizumab injection combined trabeculectomy versus Ahmed valve surgery in the treatment of neovascular glaucoma: assessment of efficacy and complications. BMC Ophthalmol. 2016;16: 65. doi: 10.1186/s12886-016-0248-7
6. Sun JT, Liang HJ, An M, Wang DB. Efficacy and safety of intravitreal ranibizumab with panretinal photocoagulation followed by trabeculectomy compared with Ahmed glaucoma valve implantation in neovascular glaucoma. Int J Ophthalmol. 2017;10(3): 400–405. doi: 10.18240/IJO.2017.03.12
7. Barac IR, Pop MD, Gheorghe AI, Taban C. Neovascular secondary glaucoma, etiology and pathogenesis. Rom J Ophthalmol. 2015;59(1): 24–28
8. Фокин В.П., Балалин С.В., Ефремова Т.Г., Потапова В.Н. Интравитреальное введение люцента и транссклеральная циклофотокоагуляция в лечении неоваскулярной глаукомы на фоне сахарного диабета. Acta Biomedica Scientifica. 2016;1(6): 122–124. [Fokin VP, Balalin SV, Yefremova TG, Potapova VN. Intravitreal introduction of lucentis and transscleral cyclophotocoagulation in the treatment of neovascular glaucoma in diabetes mellitus. Acta Biomedica Scientifica. 2016;1(6): 122–124. (In Russ.)] doi: 10.12737/23792
9. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, Lim ZI, See JL, Chew PT. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. Clin Exp Ophthalmol. 2010;38(3): 266–272. doi: 10.1111/j.1442-9071.2010.02238.x
10. Elwehidy AS, Bayoumi NHL, Badawi AE, Hagra ShM. Intravitreal ranibizumab with panretinal photocoagulation followed by trabeculectomy versus viscotrabeculectomy in management of neovascular glaucoma. Asia Pac. J. Ophthalmol. (Phila). 2019;8(4): 308–313. doi: 10.1097/APO.0000000000000248.
11. Aquino MC, Barton K, Tan AM, Sng C, Li X, Loon SC, Chew PT. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: a randomized exploratory study. Clin Exp Ophthalmol. 2015;43(1): 40–46. doi: 10.1111/ceo.12360
12. Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Старостина А.В., Елисеева М.А. Микроимпульсная транссклеральная циклофотокоагуляция в лечении глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2020;13(2): 105–111. [Khodzaev NS, Sidorova AV, Starostina AV, et al. Micropulse

transscleral cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. Russian Ophthalmological Journal. 2020;13(2): 105–111. (In Russ.)] doi: 10.21516/2072-0076-2020-13-2-105-111

13. Иошин И.Э., Толчинская А.И., Максимов И.В., Ракова А.В. Микроимпульсная циклофотокоагуляция при лечении рефрактерной глаукомы. Опыт повторной процедуры. Российский офтальмологический журнал. 2022;15(3): 18–25. [Ioshin IE, Tolchinskaya AI, Maksimov IV, Rakova AV. Repeated micropulse cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. A clinical experience. Russian Ophthalmological Journal. 2022;15(3): 18–25. (In Russ.)] doi: 10.21516/2072-0076-2022-15-3-18-25
14. Михайлов Н.О., Горбунова Н.Ю., Поздеева Н.А. Сравнение эффективности транссклеральной лазерной циклофотокоагуляции в непрерывном и микроимпульсном режимах в лечении терминальной глаукомы. Точка зрения. Восток–Запад. 2021;2: 49–51. [Mikhailov NO, Gorbunova NYu, Pozdeeva NA. Comparison of the effectiveness of transscleral laser cyclophotocoagulation in continuous and micro-pulse modes in the treatment of terminal glaucoma. Point of view. East–West. (In Russ.)] doi: 10.25276/2410-1257-2021-2-49-51
15. Krasnov M.M. Laserpuncture of anterior chamber angle in glaucoma. Am J Ophthalmol. 1973;75(4): 674–678. doi: 10.1016/0002-9394(73)90819-2
16. Краснов М.М., Аюбян В.С., Ильина Т.С. Лазерное лечение первичной глаукомы. Вестник офтальмологии. 1982;98(5): 18–22. [Krasnov MM. Laser treatment of primary glaucoma. The Russian Annals of Ophthalmology. 1982;98(5): 18–22. (In Russ.)]
17. Краснов М.М., Наумиди Л.П., Федоров А.А. Морфологические исследования цилиарного тела при контактной транссклеральной лазерной циклокоагуляции на глазах человека и кролика. Вестник офтальмологии. 1988;104(5): 11–13. [Krasnov MM, Naumidi LP, Fyodorov AA. Morphological studies of the ciliary body during contact transscleral laser cycloagulation in human and rabbit eyes. The Russian Annals of Ophthalmology. 1988;104(5): 11–13. (In Russ.)]
18. Бойко Э.В., Куликов А.Н., Скворцов В.Ю. Оценка эффективности и безопасности применения диод-лазерной транссклеральной термотерапии цилиарного тела как способа лечения рефрактерной глаукомы. Вестник офтальмологии. 2014;130(5): 64–66. [Boiko EV, Kulikov AN, Skvortsov VYu. Evaluating the effectiveness and safety of diode laser transscleral thermotherapy of the ciliary body as a treatment for refractory glaucoma. The Russian Annals of Ophthalmology. 2014;130(5): 64–66. (In Russ.)]
19. Ndulue JK, Rahmatnejad K, Sanvicente C, Wizov ShS. Evolution of cyclophotocoagulation. J Ophthalmic Vis Res. 2018;13(1): 55–61. doi: 10.4103/jovr.jovr\_190\_17
20. Елисеева М.А., Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Старостина А.В. Микроимпульсная транссклеральная циклофотокоагуляция в комбинированном хирургическом лечении рефрактерной глаукомы: предварительные результаты. Современные технологии в офтальмологии. 2019;4: 95–8. [Eliseeva MA, Khodzhaev NS, Sidorova AV, Starostina AV. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation in combined surgical treatment of refractory glaucoma. Modern technologies in ophthalmology. 2019;4: 95–98. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2019-4-95-98
21. Souissi S, Baudouin C, Labbé A, Hamard P. Micropulse transscleral cyclophotocoagulation using a standard protocol in patients with refractory glaucoma naive of cyclodestruction. Eur J Ophthalmol. 2021;31(1): 112–119. doi: 10.1177/1120672119877586
22. Tekeli O, Köse HC. Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in primary open-angle glaucoma, pseudoexfoliation glaucoma, and secondary glaucoma. Eur J Ophthalmol. 2021;31(3): 1113–1121. doi: 10.1177/1120672120914231
23. Li Z, Song Y, Chen X, Chen Z, Ding Q. Biological modulation of mouse RPE cells in response to subthreshold diode micropulse laser treatment. Cell Biochem Biophys. 2015;73(2): 545–552. doi: 10.1007/s12013-015-0675-8
24. Williams AL, Moster MR, Rahmatnejad K, Resende AF, Horan T, Reynolds M, Yung E, Abramowitz B, Kuchar S, Waisbourd M. Clinical efficacy and safety profile of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. J Glaucoma. 2018;27(5): 445–449. doi: 10.1097/IJG.0000000000000934
25. Sanchez FG, Lerner F, Sampaulesi J, Noecker R, Becerra N, Iribarren G, Grippo TM. Efficacy and safety of Micropulse® transscleral cyclophotocoagulation in glaucoma. Arch Soc Esp Ophthalmol. 2018;93(12): 573–579. doi: 10.1016/j.oftal.2018.08.003
26. Старостина А.В., Сидорова А.В., Клепинина О.Б., Норман К.С., Смирнова Е.А., Халецкая А.А. Комбинированное лечение неоваскулярной посттромботической глаукомы (клиническое наблюдение). Национальный журнал Глаукома. 2021;20(3): 41–48. [Starostina AV, Sidorova AV, Klepinina OB, Norman KS, Smirnova EA, Khaletskaya AA. Combined treatment of post-thrombotic neovascular glaucoma (clinical

case study). National Journal glaucoma. 2021;20(3): 41–48. (In Russ.)] doi: 10.53432/2078-4104-2021-20-3-41-48

27. Балалин С.В., Ефремова Т.Г., Потапова В.Н. Применение анти-VEGF препаратов и транссклеральной циклофотокоагуляции в лечении неоваскулярной глаукомы на фоне сахарного диабета. Практическая медицина. 2016;6(12–14). [Balanin SV, Efremova TG, Potapova VN. Application of anti-VEGF drugs and transscleral cyclophotocoagulation in the treatment of neovascular glaucoma with diabetes mellitus. Practical Medicine. 2016;(6):12–14. (In Russ.)]

#### Информация об авторах

**Игорь Валерьевич Ширяев**, врач-офтальмолог, garry83dm@gmail.com, <https://orcid.org/57196148556>

**Сергей Викторович Сосновский**, к.м.н., заместитель директора по лечебной работе, svsosnovsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8969-6240>

**Марина Михайловна Правосудова**, к.м.н., заведующая отделением лечебного контроля, mpravosudova52@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-8322-579X>

**Ирина Евгеньевна Панова**, д.м.н., профессор, eyeren@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7443-4555>

#### Information about the authors

**Igor V. Shiryayev**, Ophthalmologist, garry83dm@gmail.com, <https://orcid.org/57196148556>

**Sergei V. Sosnovskii**, PhD in Medicine, Deputy Director for Medical Work, svsosnovsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8969-6240>

**Marina M. Pravosudova**, PhD in Medicine, Head at Department of Treatment Control, mpravosudova52@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-8322-579X>

**Irina E. Panova**, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, eyeren@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7443-4555>

#### Вклад авторов в работу:

**И.В. Ширяев:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**С.В. Сосновский:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование текста, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**М.М. Правосудова:** сбор, анализ и обработка материала, редактирование.

**И.Е. Панова:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

#### Authors' contribution:

**I.V. Shiryayev:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**S.V. Sosnovskii:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**M.M. Pravosudova:** collection, analysis and processing of material, editing.

**I.E. Panova:** significant contribution to the concept and design of the work, final approval of the version to be published.

**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: 19.07.2023*

*Переработана: 14.08.2023*

*Принята к печати: 23.09.2023*

*Originally received: 19.07.2023*

*Final revision: 14.08.2023*

*Accepted: 23.09.2023*

Научная статья  
УДК 617.713:616-053.5  
doi:

## Прогнозирование клинко-морфофункциональных результатов кросслинкинга роговичного коллагена у детей

Е.Ю. Маркова<sup>1</sup>, Е.В. Кечин<sup>1-3</sup>, Г.В. Авакянц<sup>1</sup>, Н.С. Тарасова<sup>1</sup>, А.С. Рязанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

<sup>2</sup>Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, Москва

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный

### РЕФЕРАТ

**Цель.** Разработать способы прогнозирования максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ) и минимальной толщины роговицы через 12 месяцев после кросслинкинга у детей на основе дооперационных данных. **Материал и методы.** Исследование проведено на 30 глазах у 30 пациентов (21 (68%) мальчик, 9 (32%) девочек) с медианным возрастом 16 [15; 17] лет (от 12 до 17 лет), которые подверглись процедуре ускоренного «эпи-офф»-кросслинкинга. Всем пациентам было проведено стандартное и специальное обследование, в том числе с применением высокотехнологичных методов (Шаймпflug-камера). Для разработки моделей прогнозирования МКОЗ и минимальной толщины роговицы применяли множественную регрессию. Период наблюдения составил 12 месяцев. **Результаты.** Разработана модель прогнозирования МКОЗ через 12 месяцев по

сле кросслинкинга в зависимости от данных МКОЗ и кератометрии (K2) до операции, описанная формулой:  $MKOZ_{12\text{ мес после}} = -0,833 + 0,907 \times MKOZ_{до} + 0,020 \times K2$  (Adj R2=0,739, p<0,001). Разработана модель прогнозирования минимальной толщины роговицы через 12 месяцев после кросслинкинга у детей в зависимости от данных минимальной толщины роговицы и МКОЗ до операции, описанная формулой  $TP_{12\text{ мес после}} = 49,868 + 0,866 \times TP_{до} + 14,551 \times MKOZ_{до}$  (Adj R2=0,950 (p<0,001)). **Заключение.** Разработанные методы оценки клинко-морфофункциональных результатов кросслинкинга роговичного коллагена у детей могут значительно помочь в выборе оптимальной тактики после проведенного лечения кератоконуса у детей с помощью кросслинкинга.

**Ключевые слова:** кератоконус, кератоконус у детей, кросслинлинг роговичного коллагена, искусственный интеллект, множественная регрессия ■

**Для цитирования:** Маркова Е.Ю., Кечин Е.В., Авакянц Г.В., Тарасова Н.С., Рязанов А.С. Прогнозирование клинко-морфофункциональных результатов кросслинкинга роговичного коллагена у детей. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX.  
Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Евгений Владимирович Кечин, evgeny.kechin@gmail.com

### ABSTRACT

Original article

## Prediction of clinical and morphofunctional results of corneal collagen crosslinking in children

E.Yu. Markova<sup>1</sup>, E.V. Kechin<sup>1-3</sup>, G.V. Avakyan<sup>1</sup>, N.S. Tarasova<sup>1</sup>, A.S. Ryazanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russian Federation

**Purpose.** To develop methods of predicting corrected distance visual acuity (CDVA) and minimum corneal thickness 12 months after crosslinking in children using preoperative data. **Material and methods.** This study was conducted on 30 eyes in 30 patients (21 (68%) boys, 9 (32%) girls) with a median age of 16 [15; 17] years (from 12 to 17 years)

who underwent the procedure of accelerated «epi-off» crosslinking. All patients underwent standard and special examination, including high-tech methods (Sheimpflug camera). Multiple regression was used to develop models for predicting CDVA and the minimum thickness of the cornea. The follow-up period was 12 months. **Results.** A model was developed

for predicting CDVA 12 months after crosslinking, depending on the CDVA data and keratometry K2 before surgery, described by the formula:  $CDVA_{12 \text{ months after}} = -0,833 + 0,907 \times CDVA_{\text{before}} + 0,020 \times K2$  (Adj R2=0.739, p<0.000). A model has been developed for predicting the minimum thickness of the cornea 12 months after crosslinking in children, depending on the data of the minimum thickness of the cornea and CDVA before surgery, described by the formula  $TR_{12 \text{ months after}}$

$= 49,868 + 0,866 \times TR_{\text{before}} + 14,551 \times CDVA_{\text{before}}$  (Adj R2=0,950 (p<0,001). **Conclusion.** The developed methods for assessing the clinical and morphofunctional results of corneal collagen crosslinking in children can significantly help in choosing the optimal tactics after the treatment of keratoconus in children using crosslinking.

**Key words:** *keratoconus, keratoconus in children, corneal collagen crosslinking, artificial intelligence, multiple regression* ■

**For citation:** Markova E.Yu., Kechin E.V., Avakyants G.V., Tarasova N.S., Ryazanov A.S. Prediction of clinical and morphofunctional results of corneal collagen crosslinking in children. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Evgeny V. Kechin, evgeny.kechin@gmail.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

**К**ератоконус – это прогрессирующее дегенеративное заболевание роговицы, вызывающее нарушение структуры и организации роговичного коллагенового матрикса и приводящее к истончению и протрузии [1–3]. Кератоконус у детей развивается быстрее и отличается более тяжелым течением, по сравнению со взрослыми, что связано с возрастными особенностями строения детской роговицы [4, 5]. До недавнего времени лечение кератоконуса включало в себя зрительную реабилитацию на ранних стадиях и хирургическое лечение на поздних стадиях, при этом ни один из методов лечения не воздействовал на причину развития заболевания. С появлением кросслинкинга как метода, замедляющего прогрессирующее кератоконуса, подход к лечению этого заболевания у взрослых принципиально изменился. Это связано с тем, что кросслинкинг является в настоящее время единственным методом, действующим непосредственно на патогенез кератоконуса, формируя новые молекулярные связи между нитями коллагена, укрепляя строму роговицы и меняя ее биомеханические свойства, что позволяет замедлить прогрессирующее заболевание [6, 7]. Учитывая особенности развития кератоконуса у детей, применение кросслинкинга в детской практике представляется более перспективным, чем у взрослых [8]. Тем не менее новизна метода, отсутствие долгосрочных исследований влияния излучения на детскую роговицу и вариабельность протоколов лечения являются основными факторами, которые обуславливают применение этого метода у детей с осторожностью ввиду формирования умеренного цитотоксического действия на кератоциты за счет взаимодействия ультрафиолетового излучения с рибофлавином [9]. Сложность определения оптимальной тактики ведения детей с кератоконусом включает следующие аспекты: значительно быстрый характер прогрессирования и несвоевременная диагностика заболевания, отсутствие стопроцентно эффективного и стабильного результата лечения, не исключено рецидивирование процесса и отсутствие способа прогнозирования отдаленных послеоперационных клиничко-функциональных результатов кросслинкинга [10].

В последние годы появляется все больше исследований и способов применения машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ). На основе применения данных технологий могут быть разработаны автоматизированные диагностические методы оценки кератоконуса, что может повысить эффективность и точность клинической диагностики, а также результаты проведенного лечения кератоконуса, в частности у детей [11, 12].

Толщина роговицы является одним из ключевых параметров, определяющих тактику ведения пациентов с кератоконусом. В процессе развития заболевания данный показатель существенно изменяется и может служить прогностическим и диагностическим критерием [13].

Максимальная корригированная острота зрения (МКОЗ) имеет важное значение для анализа состояния органа зрения. Определение МКОЗ при ведении пациентов с кератоконусом – одна из важнейших диагностических рутинных процедур и входит в стандартное офтальмологическое обследование [13, 14]. Кроме того, она является элементом клинических и научных исследований для оценки глазной патологии, в частности кератоконуса, начиная от постановки диагноза, выбора дальнейшей диагностики и тактики лечения и заканчивая мониторингом показателей после хирургического лечения [15, 16].

Таким образом, актуальной является разработка способов прогнозирования МКОЗ и минимальной толщины роговицы у детей с кератоконусом после проведения кросслинкинга роговичного коллагена.

## ЦЕЛЬ

Разработать способы прогнозирования МКОЗ и минимальной толщины роговицы через 12 месяцев после кросслинкинга у детей на основе дооперационных данных.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Общая характеристика пациентов и методы обследования, а также технология проведения кросслинкинга опубликованы в работе Е.Ю. Марковой и соавт. [17].

Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Statistica 10.0 (StatSoft, США) и

Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft, США). Характер распределения данных оценивали с использованием критерия Шапиро – Уилка. Данные, включенные в модель прогнозирования, имели нормальное либо близкое к нормальному распределение. Для выявления соотношения между количественными показателями проводили множественный регрессионный анализ, а также корреляционный анализ по Спирмену (коэффициент корреляции R). Силу корреляционной связи определяли в соответствии со шкалой Чеддока (по абсолютной величине): менее 0,10 – связь отсутствует, 0,1–0,3 – слабая, 0,3–0,5 – умеренная, 0,5–0,7 – средняя, 0,7–0,9 – высокая, 0,9 и более – очень высокая. Статистически достоверными признавали различия, при которых уровень достоверности (p) менее 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные до и после проведения кросслинкинга опубликованы в работе Е.Ю. Марковой и соавт. [17].

Анализ зависимости минимальной толщины роговицы после кросслинкинга роговичного коллагена от дооперационных параметров

Для выявления дооперационных факторов, позволяющих спрогнозировать толщину роговицы после кросслинкинга, вначале проводили корреляционный анализ Спирмена. По результатам данного анализа были выявлены статистически значимые коэффициенты корреляции между минимальной толщиной роговицы через 12 месяцев и элевацией передней поверхности роговицы, элевацией задней поверхности роговицы, минимальной толщиной роговицы до операции, кератометрией ( $K_2$ ), МКОЗ до операции (таблица).

Вышеуказанные отобранные показатели были включены в множественный регрессионный анализ с пошаговым включением, по результатам которого в формулу программой были включены два статистически значимых показателя – минимальная толщина роговицы до операции ( $p < 0,001$ ) и МКОЗ до операции ( $p < 0,032$ ). Остальные дооперационные факторы не имели статистической значимости (элевация передней и задней поверхностей, кератометрия ( $K_2$ )). В результате проведенного анализа была получена модель прогнозирования толщины роговицы через 12 месяцев после кросслинкинга, описанная формулой ( $p < 0,001$ ):

$$TR_2 = 49,868 + 0,866 \times TR_1 + 14,551 \times \text{МКОЗ},$$

где  $TR_2$  – прогнозируемая минимальная толщина роговицы через 12 месяцев после кросслинкинга в мкм; 49,868 – независимая константа; МКОЗ – максимальная корректируемая острота зрения в десятичной системе до операции;  $TR_1$  – минимальная толщина роговицы до проведения кросслинкинга в мкм.

Вышепредставленная формула имеет скорректированный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,950$  ( $p < 0,001$ ). Остатки имели нормальное распределение. Средняя

абсолютная ошибка предсказания составила 7 мкм. Проверка с помощью кросс-валидации показала сопоставимые результаты.

### *Анализ зависимости МКОЗ после кросслинкинга роговичного коллагена от дооперационных параметров*

Для выявления дооперационных факторов, позволяющих спрогнозировать МКОЗ через 12 месяцев после кросслинкинга, вначале проводили корреляционный анализ Спирмена. По результатам данного анализа были выявлены статистически значимые коэффициенты корреляции между МКОЗ через 12 месяцев и элевацией передней поверхности роговицы, минимальной толщиной роговицы до операции, кератометрией ( $K_2$ ), цилиндрическим компонентом рефракции объективно, МКОЗ до операции (таблица).

Вышеуказанные отобранные показатели были включены в множественный регрессионный анализ с пошаговым включением, по результатам которого в формулу программой были включены два статистически значимых показателя – МКОЗ до операции ( $p < 0,001$ ) и кератометрия ( $K_2$ ) ( $p = 0,039$ ). Остальные дооперационные факторы не имели статистической значимости (элевация передней поверхности роговицы, минимальная толщина роговицы, цилиндрический компонент рефракции объективно). В результате проведенного анализа была получена модель прогнозирования МКОЗ через 12 месяцев после кросслинкинга, описанная формулой ( $p < 0,001$ ):

$$\text{МКОЗ}_2 = -0,833 + 0,907 \times \text{МКОЗ}_1 + 0,020 \times K_2,$$

где  $\text{МКОЗ}_2$  – прогнозируемая максимальная корректируемая острота зрения в десятичной системе через 12 месяцев после кросслинкинга;  $-0,833$  – независимая константа;  $\text{МКОЗ}_1$  – максимальная корректируемая острота зрения в десятичной системе до кросслинкинга;  $K_2$  – кератометрия ( $K_2$ ) до проведения кросслинкинга (дптр).

Вышепредставленная формула имеет скорректированный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,739$  ( $p < 0,001$ ). Остатки имели нормальное распределение. Средняя абсолютная ошибка предсказания составила 0,1 в десятичной системе. Проверка с помощью кросс-валидации показала сопоставимые результаты.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из основных целей применения машинного обучения и ИИ в медицине является прогнозирование состояния пациента по тем или иным показателям после проведенного хирургического лечения. Для этого с успехом в том числе применяется линейная регрессия, которая является разновидностью машинного обучения «с учителем». Возможности ИИ нашли широкое применение в офтальмологии, однако прогресс в реше-

Таблица

**Зависимость минимальной толщины роговицы и МКОЗ через 12 месяцев после кросслинкинга от различных дооперационных параметров**

Table

**The dependence of the minimum thickness of the cornea and CDVA 12 months after crosslinking on various preoperative parameters**

Фактор (до операции) Factor (before the operation)	Через 12 мес. после кросслинкинга 12 months after crosslinking			
	Минимальная толщина роговицы Minimum corneal thickness		МКОЗ CDVA	
	R	p	R	p
Возраст, лет Age, years	-0,125	0,533	-0,067	0,746
НКОЗ UDVA	-0,128	0,523	0,107	0,602
МКОЗ CDVA	0,663	<0,001	0,818	<0,001
Сферозэквивалент субъективно, дптр SE subjectively, D	-0,119	0,579	-0,073	0,742
Сфера субъективно, дптр Sphere subjectively, D	-0,182	0,405	-0,091	0,688
Цилиндр субъективно, дптр Cylinder subjectively, D	0,014	0,949	0,199	0,363
Сферозэквивалент объективно, дптр SE objectively, D	0,130	0,518	-0,049	0,812
Сфера объективно, дптр Sphere objectively, D	-0,142	0,481	-0,314	0,118
Цилиндр объективно, дптр Cylinder objectively, D	0,231	0,246	0,416	0,035
Элевация передней поверхности роговицы, мкм Elevation (front), $\mu$ m	-0,596	0,001	-0,431	0,028
Элевация задней поверхности роговицы, мкм Elevation (back), $\mu$ m	-0,457	0,017	-0,222	0,275
Минимальная толщина роговицы, мкм Minimum corneal thickness, $\mu$ m	0,964	<0,001	0,478	0,013
K1, дптр K1, D	-0,344	0,078	-0,187	0,359
K2, дптр K2, D	-0,695	<0,001	-0,523	0,006

нии проблем детской офтальмологии достигнут сравнительно меньше с использованием аналогичных методов у взрослой категории пациентов. В последние годы наблюдается рост применения ИИ [18].

В работе статье R. Wisse и соавт. (2014) [19] описаны прогностические факторы для прогнозирования максимальной кератометрии и МКОЗ через 1 год после проведения кросслинкинга. Модель прогнозирования максимальной кератометрии через 1 год после кросслинкин-

га у пациентов со средним возрастом 23 года, разработанная данными авторами с применением метода многомерной регрессии, показала плохую прогностическую значимость ( $R^2=0,15$ ), которая описывает лишь 15% значений выборки. Также в этой работе была разработана модель, которая позволяет прогнозировать МКОЗ через 12 месяцев по дооперационным данным МКОЗ, описанная формулой МКОЗ(logMAR) через 12 мес =  $(-0,518 \times \text{МКОЗ}(\log\text{MAR}) \text{ до операции}) + 0,043$ , коэффициент де-

терминации данной модели  $R^2=0,45$ , это говорит о том, что данная модель описывает только 45% выборки.

В работе F. Gilevska и соавт. (2021) [20] с применением множественной регрессии разработана модель, прогнозирующая МКОЗ<sub>(log)</sub> у пациентов со средним возрастом 24 года через 12 месяцев после кросслинкинга ( $y$ ) по данным МКОЗ<sub>(log)</sub>( $x_1$ ) и соотношения переднего и заднего радиусов роговицы в самой тонкой точке роговицы ( $x_2$ ) до операции, описываемая формулой  $y = 0,356x_1 - 1,312x_2 + 1,806$ , коэффициенты детерминации составили  $R^2_{x_1}=0,494$  и  $R^2_{x_2}=0,203$ .

По сравнению с вышеуказанными исследованиями в настоящей работе, с применением множественной регрессии разработана модель прогнозирования МКОЗ через 12 месяцев после операции в зависимости от данных МКОЗ и кератометрии ( $K_2$ ) у детей с медианным возрастом 16 лет. Модель описана формулой  $МКОЗ_{12 \text{ мес после}} = -0,833 + 0,907 \times МКОЗ_{до} + 0,020 \times K_2$  и показала лучшую прогностическую ценность ( $Adj R^2=0,739$ ,  $p<0,001$ ). Кроме того, в настоящем исследовании разработана модель, прогнозирующая минимальную толщину роговицы через 12 месяцев после кросслинкинга у детей в зависимости от данных минимальной толщины роговицы и МКОЗ до операции с хорошей прогностической значимостью ( $Adj R^2=0,950$ ,  $p<0,001$ ) и описанная формулой  $TP_{12 \text{ мес после}} = 49,868 + 0,866 \times TP_{до} + 14,551 \times МКОЗ_{до}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методы оценки клинко-морфофункциональных результатов кросслинкинга роговичного коллагена у детей могут значительно помочь в выборе оптимальной тактики после проведенного лечения кератоконуса у детей с помощью кросслинкинга.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Маркова Е.Ю., Костенев С.В., Григорьева А.Г., Перфильева Е.А. Современные тенденции в лечении кератоконуса у детей. Обзор литературы. Офтальмология. 2017;14(3): 188–194. [Markova EYu, Kostenev SV, Grigor'eva AG, Perfil'eva EA. Modern trends in the treatment of keratoconus in children. Ophthalmology in Russia. 2017;14(3): 188–194. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2017-3-188-194
2. Cheng EL, Maruyama I, Sundar Raj N, Sugar J, Federer RS, Yue BY. Expression of type XII collagen and hemidesmosome-associated proteins in keratoconus corneas. Curr Eye Res. 2001;22: 333–340. doi: 10.1076/ceyr.22.5.333.5491
3. Burdon KP, Vincent AL. Insights into keratoconus from a genetic perspective. Clin Exp Optom. 2013;96(2): 146–154. doi: 10.1111/cxo.12024
4. Buzzonetti L, Bohringer D, Liskova P, Lang S, Valente P. Keratoconus in children: a literature review. Cornea. 2020;39(12): 1592–1598. doi: 10.1097/ICO.0000000000002420
5. McAnena L, Doyle F, O'Keefe M. Cross-linking in children with keratoconus: a systematic review and meta-analysis. Acta Ophthalmol. 2017;95(3): 229–239. doi: 10.1111/aos.13224
6. Mukhtar S, Ambati B. Pediatric keratoconus: a review of the literature. Int Ophthalmol. 2018;38(5): 2257–2266. doi: 10.1007/s10792-017-0699-8

7. Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Сахнов С.Н., Комарова О.Ю., Яркин Д.А., Малышев И.С. Десятилетний опыт применения оригинального алгоритма хирургического лечения пациентов с начальными стадиями кератоконуса. Офтальмохирургия. 2021;3: 28–39. [Izmailova SB, Malugin BE, Sahnov SN, Komarova OY, Yarkin DA, Malyshev IS. Ten years of experience in applying an original algorithm for surgical treatment of patients with the initial stages of keratoconus. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2021;3: 28–39. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2021-3-28-39

8. Léoni-Mesplé S, Mortemousque B, Touboul D, Malet F, Praud D, Mesplé N, Colin J. Scalability and severity of keratoconus in children. Am J Ophthalmol. 2012;154(1): 56–62. doi: 10.1016/j.ajo.2012.01.025

9. Badawi AE. Accelerated corneal collagen cross-linking in pediatric keratoconus: One year study. J Ophthalmol. 2017;31(1): 11–18. doi: 10.1016/j.sjopt.2017.01.002

10. Knutsson KA, Paganoni G, Matuska S, Ambrosio O, Ferrari G, Zennaro A, Caccia M, Rama P. Corneal collagen cross-linking in paediatric patients affected by keratoconus. Br J Ophthalmol. 2018;102(2): 248–252. doi: 10.1136/bjophthalmol-2016-310108

11. Klyce SD. The Future of Keratoconus Screening with Artificial Intelligence. Ophthalmology. 2018;125(12): 1872–1873. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.08.019

12. Сахнов С.Н. Комплексная медико-технологическая система диагностики, оптико-реконструктивной хирургии и периоперационного ведения пациентов с инвалидизирующей патологией роговицы. Дис. ... д-ра мед. наук. Краснодар; 2022 [Sahnov SN. Comprehensive medical and technological system of diagnostics, opto-reconstructive surgery and perioperative management of patients with disabling corneal pathology. [Dissertation]. Krasnodar; 2022. (In Russ.)]

13. Li Y, Gokul A, McGhee C, Ziaei M. Repeatability of corneal and epithelial thickness measurements with anterior segment optical coherence tomography in keratoconus. PLoS One. 2021;16(6): e0248350. doi: 10.1371/journal.pone.0248350

14. Serrao S, Lombardo G, Cali C, Lombardo M. Role of corneal epithelial thickness mapping in the evaluation of keratoconus. Cont Lens Anterior Eye. 2019;42(6): 662–665. doi: 10.1016/j.clae.2019.04.019

15. Belin M, Kundu G, Shetty N, Gupta K, Mullick R, Thakur P. ABCD: A new classification for keratoconus. Indian J Ophthalmol. 2020;68(12): 2831–2834. doi: 10.4103/ijo.IJO\_2078\_20

16. Danesh Z, Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Yekta AA, Belin M. Corneal stability and visual acuity 1 year after corneal cross-linking assessed using the ABCD keratoconus staging system. J Refract Surg. 2021;37(10): 700–706. doi: 10.3928/1081597X-20210712-09

17. Маркова Е.Ю., Авакянц Г.В., Кечин Е.В. Кератоконус у детей. Современные возможности лечения. Офтальмология. 2021;18(4): 840–844. [Markova EYu, Avakyan G, Kechin EV. Keratoconus in children. Modern treatment options. Ophthalmology in Russia. 2021;18(4): 840–844. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2021-4-840-844

18. Reid J, Eaton E. Artificial intelligence for pediatric ophthalmology. Curr Opin Ophthalmol. 2019;30(5): 337–346. doi: 10.1097/ICU.0000000000000593

19. Wisse R, Godefrooij D, Soeters N, Imhof S, Lelij A. A multivariate analysis and statistical model for predicting visual acuity and keratometry one year after cross-linking for keratoconus. Am J Ophthalmol. 2014;157(3): 519–525.e1–2. doi: 10.1016/j.ajo.2013.11.001

20. Gilevska F, Biscevic A, Suic SP, Bohac M, Patel S. Are changes in visual acuity and astigmatism after corneal cross-linking (CXL) in keratoconus predictable? Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2021;259(8): 2259–2268. doi: 10.1007/s00417-021-05173-5

### Информация об авторах

**Елена Юрьевна Маркова**, д.м.н., зав. отделом микрохирургии и функциональной реабилитации глаза у детей, markova\_ej@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4981-0755>

**Евгений Владимирович Кечин**, к.м.н., начальник отдела реализации инновационных программ, трансфера и коммерциализации технологий, доцент кафедры общей врачебной практики и поликлинической терапии, студент магистратуры МФТИ, evgeny.kechin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6732-1226>

**Гоар Вардановна Авакянц**, врач-офтальмолог, аспирант, goar\_ava@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8474-8926>

**Наталья Сергеевна Тарасова**, клинический ординатор, tn.medart@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9871-1366>

**Алексей Сергеевич Рязанов**, д.м.н., профессор, зав. кафедрой общей врачебной практики и поликлинической терапии, alexeydoc72@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9574-6021>

**Information about the authors**

**Elena Yu. Markova**, Doctor of Sciences in Medicine, Head of the Microsurgery and Functional Rehabilitation of Children' Department, markova\_ej@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4981-0755>

**Evgeny V. Kechin**, PhD in Medicine, Head of the Department for Implementation of Innovation Programs, Transfer and Commercialization of Technologies, Associate Professor, Master's Student (Institute of Physics and Technology), [evgeny.kechin@gmail.com](mailto:evgeny.kechin@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6732-1226>

**Goar V. Avakyants**, Ophthalmologist, PhD Student, [goar\\_ava@mail.ru](mailto:goar_ava@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8474-8926>

**Nataliya S. Tarasova**, Clinical Resident, [tn.medart@gmail.com](mailto:tn.medart@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9871-1366>

**Alexey S. Ryazanov**, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Head of the department of General Medical Practice and Polyclinic Therapy, [alexeydoc72@yandex.ru](mailto:alexeydoc72@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9574-6021>

**Вклад авторов в работу:**

**Е.Ю. Маркова:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Е.В. Кечин:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**Г.В. Авакянц:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**Н.С. Тарасова:** сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**А.С. Рязанов:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование.

**Authors' contribution:**

**E.Yu. Markova:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**E.V. Kechin:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**G.V. Avakyants:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**N.S. Tarasova:** collection, analysis and processing of material, writing.

**A.S. Ryazanov:** significant contribution to the concept and design of the work, editing.

**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: 17.05.2023*

*Переработана: 23.06.2023*

*Принята к печати: 15.10.2023*

*Originally received: 17.05.2023*

*Final revision: 23.06.2023*

*Accepted: 15.10.2023*

Научная статья  
УДК 617.7:613.955  
doi:

## Наш опыт эндовитреального удаления внутриглазных инородных тел при выполнении хирургии тяжелых проникающих ранений глаз

Н.В. Машченко<sup>1</sup>, А.Ю. Худяков<sup>1</sup>, О.В. Коленко<sup>1, 2</sup>, Е.Л. Сорокин<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Хабаровский филиал, Хабаровск

<sup>2</sup>Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения министерства здравоохранения Хабаровского края, Хабаровск

<sup>3</sup>Дальневосточный государственный медицинский университет Минздрава России, Хабаровск

### РЕФЕРАТ

**Цель.** Оценка эффективности и атравматичности трансовитреального удаления внутриглазных инородных тел (ВГИТ) при выполнении эндовитреальной хирургии проникающих травм глаза. **Материал и методы.** 12 пациентов (12 глаз) с проникающими травмами глазного яблока с внедрением ВГИТ. В 2 глазах ВГИТ были удалены в нашей клинике в тот же день при экстренном проведении первичной хирургической обработки, сразу при поступлении пациентов, в 10 глазах – отсрочено. При поступлении в Хабаровский филиал острота зрения во всех 12 глазах была низкой либо отсутствовала: в 8 глазах – от 0,001 до 0,4; в 4 глазах – от правильного до неправильного светоощущения. Всем пациентам выполнялась стандартная трехпортовая 25G-витрэктомия, в ходе которой выполнялась локализация ВГИТ у 10 пациентов. **Результаты.** Во всех глазах ВГИТ были корректно удалены, в 3 глазах с отслойкой сетчатки удалось достичь полного ее прилегания. В 7 глазах удаление

ВГИТ было выполнено с помощью витреального пинцета: 5 глаз – через роговичный тоннель – зрачковую зону – задний капсулорексис на этапе факоаспирации; 2 глаза – через порт; в 3 глазах – с помощью витрэктомии; в одном глазу – с помощью эндомагнита через зрачковую зону перед имплантацией интраокулярной линзы РСП-3, в одном – с помощью склерального пинцета. **Заключение.** Входными воротами фиброзной капсулы при внедрении ВГИТ в 12 глазах являлись: роговичные раны – 5 глаз, склеральные раны – 5 глаз, корнеосклеральные – 2 глаза. В 11 глазах ВГИТ были металлическими (9 магнитных и 2 немагнитных), в 1 глазу – немагнитным. Объемы и тактика витреальной хирургии в каждом случае удаления ВГИТ была обусловлена исходной тяжестью травм глаза, локализацией ВГИТ, его размерами, степенью вторичной травматизации внутриглазных структур после их удаления при выполнении первичной хирургической обработки.

**Ключевые слова:** травма глаза, внутриглазное инородное тело, проникающая травма глаза, витрэктомия ■

**Для цитирования:** Машченко Н.В., Худяков А.Ю., Коленко О.В., Сорокин Е.Л. Наш опыт эндовитреального удаления внутриглазных инородных тел при выполнении хирургии тяжелых проникающих ранений глаз. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX.  
Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Николай Владимирович Машченко, naukakhvmtk@mail.ru

### ABSTRACT

Original article

## Our experience of intraocular foreign bodies endovitreous removal when operating severe penetrating eye wounds

N.V. Mashchenko<sup>1</sup>, A.Yu. Khudyakov<sup>1</sup>, O.V. Kolenko<sup>1, 2</sup>, E.L. Sorokin<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Khabarovsk Branch, Khabarovsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Postgraduate Institute for Public Health Specialists, Khabarovsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation

**Purpose.** To evaluate efficiency and safety of transvitreal removal of intraocular foreign bodies (IOFB) when performing vitrectomy after penetrating eye injuries. **Material and methods.** 12 patients (12 eyes) with penetrating ocular trauma with IOFB were included in this study.

In 2 eyes, IOFB was removed in our clinic on the same day during an emergency surgical treatment, immediately upon admission of patients: in 10 eyes – delayed. At the time of admission to the Khabarovsk branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, we registered

low visual acuity or blindness in all 12 eyes: in 8 eyes – from 0.001 to 0.4; in 4 eyes – from LP to NLP. A standard three-port 25-gauge vitrectomy was performed in all patients, during which IOFB was localized. **Results.** In all eyes IOFB was correctly removed; in 3 eyes with retinal detachment, it was possible to achieve its total reattachment. In 7 eyes, IOFB removal was performed using intraocular forceps: 5 eyes – through the corneal tunnel – the pupillary zone – posterior capsulorhexis at the stage of phacoaspiration, 2 eyes – through the port; in 3 eyes – with the help of a vitreotom; in one eye – with the help of a magnet through the pupillary zone before implantation of the IOL RSP-3 (Russia), and in one eye –

with the help of scleral forceps. **Conclusion.** The IOFB entry wound in 12 eyes were: corneal – 5 eyes, scleral – 5 eyes, corneoscleral – 2 eyes. In 11 eyes IOFB were metallic (9 magnetic and 2 non-magnetic), in 1 eye – non-metallic. The volume and tactics of vitreoretinal surgery in each case of IOFB removal was determined by the initial severity of eye injuries, size, and location of the IOFB, the degree of secondary trauma to the intraocular structures after their removal during the primary wound repair.

**Key words:** *ocular trauma, intraocular foreign body, penetrating eye injury, vitrectomy* ■

**For citation:** Mashchenko N.V., Khudyakov A.Yu., Kolenko O.V., Sorokin E.L. Our experience of intraocular foreign bodies endovitreal removal when operating severe penetrating eye wounds. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Nikolai V. Mashchenko, naukakhvmtk@mail.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Проникающие травмы глаза с внедрением внутриглазных инородных тел (ВГИТ) встречаются в 17–41% случаев глазных травм. Они относятся к группе наиболее тяжелых повреждений глаз, грозящих слабослышанием, слепотой (16–57%), потерей глаза как органа и инвалидизацией до 84,5% лиц молодого возраста [1–7].

Наличие ВГИТ существенно усугубляет степень тяжести травмы глаза. Ведь помимо механического повреждения внутриглазных структур, ВГИТ оказывает также токсическое воздействие, обуславливая риск эндофтальмита, пролиферативного процесса [8–10].

Традиционным методом удаления магнитных ВГИТ в большинстве клиник до сих пор остается экстрасклеральный путь, подразумевающий расширение склеральной раны или формирование новой склеральной раны и удаление через них ВГИТ с помощью магнита. Но данный метод, который ранее был единственным и безальтернативным, в настоящее время становится лишь одним из возможных. Его существенный недостаток – высокий вторичный травматизм внутриглазных структур. Поэтому при наличии локализации ВГИТ в труднодоступных зонах ряд офтальмохирургов с осторожностью оценивают целесообразность их удаления вследствие высокого риска дополнительной травматизации окружающих тканей [11].

Но к настоящему времени благодаря развитию микроинвазивных технологий витреальной хирургии (25–27G) перспективы хирургической реабилитации пациентов с ВГИТ при тяжелых глазных травмах значительно улучшились. Поэтому в последнее время все чаще офтальмохирурги стали прибегать к удалению ВГИТ методом витреальной хирургии.

В Хабаровском филиале ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (далее – Филиал) накоплен значи-

тельный клинический опыт витреальной хирургии проникающих травм глаза и реконструктивной хирургии их последствий [12–14]. В течение многих лет хирургия травм глаза в Филиале выполнялась лишь периодически, но с марта 2020 г., в связи с пандемией новой коронавирусной инфекции (COVID-19), все случаи проникающих травм глазного яблока стали поступать в отделение витреоретинальной хирургии Филиала. Это обусловлено перепрофилированием в инфекционный госпиталь единственного учреждения в Хабаровске, оказывающего краевым и городским пациентам стационарную специализированную круглосуточную офтальмологическую помощь, – офтальмологического центра на базе КГБУЗ «Городская клиническая больница» им. проф. А.М. Войно-Ясенецкого Министерства здравоохранения Хабаровского края.

В литературе имеются работы, посвященные оценке эффективности удаления ВГИТ при проникающих травмах глаза. При этом используются как трансклеральные, так и витреальные хирургические методики [13–20].

Но все же следует отметить, что работ по изучению эффективности и атравматичности трансклерального удаления ВГИТ сравнительно немного, поскольку каждый подобный случай уникален.

В этой связи мы решили поделиться собственным опытом хирургического удаления ВГИТ при выполнении витреоретинальной хирургии. Возможно, он будет полезен офтальмохирургам при выборе тактики удаления ВГИТ и оценке степени риска вторичного повреждения внутриглазных структур.

## ЦЕЛЬ

Клиническая оценка эффективности и атравматичности трансклерального удаления ВГИТ при выполнении эндovitреальной хирургии проникающих травм глаза.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Клинический материал представлен 12 пациентами (12 глаз) с тяжелыми проникающими травмами глазного яблока с внедрением ВГИТ. Все они были прооперированы в нашей клинике в 2013–2020 гг. Возраст пациентов варьировал от 14 до 67 лет (в среднем 36,25 года). Мужчин было 9, женщин – 3. У 9 пациентов травмы носили бытовой, у 3 – производственный характер.

Внедрение инородных тел внутрь глаза у 7 человек произошло в момент удара металлическим инструментом по металлическим деталям, в одном случае – при работе на циркулярной пиле. В оставшихся 4 случаях механизм проникающего ранения был иным: травма от пульки от пневматического ружья (мальчик 14 лет), от стебля сухого растения при сельхозработках, от осколка медной проволоки при кошении травы триммером, и в последнем случае – рабочий наткнулся на железную проволоку, торчащую из стены.

Давность травм в 10 глазах к моменту поступления широко варьировала: от 1 до 28 дней (в среднем 8,54 дня). У одного пациента имел место очень продолжительный срок после травмы – 180 дней.

Сроки с момента травмы до выполнения первичной хирургической обработки (ПХО) в 10 глазах составили от одного до 28 дней (в среднем 10,2 дня). В 2 глазах ПХО была проведена экстренно, в нашей клинике, в день травмы.

Пяти пациентам ПХО была выполнена по месту жительства в офтальмологических отделениях региональных офтальмологических клиник Дальневосточного федерального округа. Среди них у 4 пациентов имелись ушитые склеральные раны с височной стороны (на 8, 10 и 2, 4 часах правого и левого глаза соответственно), в одном случае – линейная роговичная рана 3,0 мм в параоптической зоне, ушитая двумя узловыми погружными швами 10/0. Объем ПХО, выполненной этим 5 пациентам, включал восстановление герметичности фиброзной капсулы глаза с проведением лечебных мероприятий по профилактике внутриглазной инфекции. Из них в 2 глазах были удалены ВГИТ: в одном глазу – транссклерально с помощью магнита удален металлический осколок (согласно выписке из истории болезни); в другом случае – внедренный в полость глаза кусочек сухого стебля растения. В обоих случаях травмы глаз сопровождались отслойкой сетчатки с небольшими ретинальными дефектами и гемофтальмом. Еще в 2 глазах попытки удаления ВГИТ с помощью магнита при выполнении ПХО не увенчались успехом. Это было обусловлено наличием сопутствующей отслойки сетчатки в одном случае и немагнитного металлического инородного тела (свинцовая пулька), в другом. У одного пациента с ранее выполненной ПХО попытка удаления ВГИТ в региональной клинике не производилась, была выполнена лишь герметизация капсулы глаза. У всех данных 5 пациентов имел-

ся сопутствующий гемофтальм, в 3 случаях – отслойка сетчатки, в одном глазу – афакия.

У других 7 пациентов ПХО была выполнена в Филиале: у 5 человек – ввиду отсутствия офтальмохирургических отделений в месте проживания, у 2 человек – непосредственно после травмы, при перенаправлении из травмпункта. У 4 из 5 иногородних пациентов сроки после травмы составили от 3 до 28 дней (2 глаза с линейными ранами роговицы от 0,5 до 3,5 мм в параоптической зоне; один глаз с линейной раной 3,0 мм в оптической зоне роговицы; один глаз с линейной корнеосклеральной раной 2,5 мм). У одного пациента ПХО была выполнена через 180 дней после травмы (склеральное ранение на правом глазу при работе на циркулярной пиле), при осмотре не определялись следы склеральной раны. Он предъявлял жалобы на сниженное зрение, периодическое покраснение глаза, плавающие помутнения и усиление пелены перед глазом. Глаз выглядел умеренно раздраженным с явлениями вялотекущего увеита, организовавшегося гемофтальма и помутнением заднекортикального слоя хрусталика. В стекловидном теле, в зоне экватора на 5 часах визуализировалось металлическое ВГИТ, окутанное фибрином, размером 0,5–0,7 мм, свободно перемещающееся в стекловидном теле.

У 2 пациентов, поступивших в Филиал экстренно, с проникающими травмами глазных яблок с внедрением ВГИТ (производственная и бытовая травмы), нами была выполнена ранняя ПХО. В одном случае имелась роговичная рана 3,5 мм в параоптической зоне с дезадаптацией ее краев с повреждением передней капсулы хрусталика и вставлением в рану радужки. Глаз был умеренно гипотоничен, передняя камера была мелкой, неравномерной, в ней определялись фрагменты мягких хрусталиковых масс, зрачок неправильной формы, подтянут к ране, в стекловидном теле определялся диффузный гемофтальм в заднем полюсе глаза находилось ВГИТ. Интраоперационная картина выявила, что ВГИТ было вколочено в макулярную зону. У другого пациента имелось фестончатое корнеосклеральное ранение 3,0 мм (на 13 часах) с неровными краями раны. Из просвета раны, на 0,5 мм выступало инородное тело, оказавшееся, как выяснилось позже, концом кусочка коррозированной железной проволоки. Рабочий в темном подвале наткнулся на торчащую из стены проволоку и с ее обломком внутри глаза поступил для проведения ПХО. Обзорную рентгенографию орбит ему в травмпункте не выполнили. Передняя камера была сохранена, средней глубины, с умеренной взвесью эритроцитов. Зрачок был медикаментозно расширен, центрирован. Хрусталик был мутным с набуханием, рефлекс с глазного дна был ослаблен, глубжележащие структуры не офтальмоскопировались из-за гемофтальма.

Выполнение витреоретинальной и реконструктивной хирургии в Филиале у всех 12 пациентов было обосновано наличием ВГИТ в 10 случаях (с гемофтальмом разной степени выраженности в 9 глазах, из них в 5 гла-

зах в сочетании с набухающей катарактой, в 3 глазах – с отслойкой сетчатки, в одном глазу – с афакией), а также необходимостью устранения последствий трассклерального удаления ВГИТ на этапе ПХО (2 глаза).

Исходная максимальная корригированная острота зрения (МКОЗ) во всех 12 глазах была низкой либо отсутствовала: в 8 глазах она составила от 0,001 до 0,4 (в среднем 0,1); в 4 глазах – от правильного до неправильного светоощущения. Уровень внутриглазного давления варьировал от нормальных значений офтальмотонуса (21 мм рт.ст.) до умеренной и средней гипотонии в глазах со свежими открытыми травмами и отслойкой сетчатки.

Комплекс предоперационного офтальмологического обследования включал визометрию с определением МКОЗ, биомикроскопию (щелевая лампа XCEL 250 Slit Lamp, Италия), тонометрию по Маклакову, ультразвуковое А- и В-сканирование витреальной полости при ушитых травмах (А-скан ОТИ-scan, датчик 10 МГц ±10%, Канада; В-скан Aviso, датчик 10 МГц, Франция), обратную офтальмоскопию бинокулярным офтальмоскопом. Обзорная рентгенография орбит в двух проекциях была выполнена у 5 пациентов, из них в одном случае с протезом Балтина – Комберга. На всех рентгенограммах определялись рентгеноконтрастные ВГИТ в проекции глазных яблок.

Всем пациентам была выполнена стандартная трехпортовая 25G-витректомия по бимануальной методике. Использовалось дополнительное освещение с помощью осветителя-шандельеры. Стекловидное тело тщательно удалялось до его базиса. Использовались хирургические системы Constellation (Alcon, США) и Eva (DORC, Нидерланды). Локализация ВГИТ внутри глаза проводилась визуально в ходе выполнения витреальной хирургии по завершении удаления гемофтальма при выполнении ревизии витреальной полости. После обнаружения ВГИТ определялся наименее травматичный способ его удаления.

Оценивались технические сложности и эффективность удаления ВГИТ эндовитреальным способом, интраоперационные осложнения, степень атравматичности хирургии, постоперационные осложнения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Удаление ВГИТ во всех 10 глазах удалось выполнить при проведении эндовитреальных вмешательств. По результатам визуальной интраоперационной оценки локализации ВГИТ, в 7 глазах они оказались вколоченными в сетчатку (в 5 глазах – в зоне экватора, в 2 глазах – в зоне фовеа). В одном глазу ВГИТ находилось пристеночно, располагаясь на поверхности сетчатки под ступком крови и фибрина, оно было неподвижным. После его удаления под ним сформировался ретинальный пролежень серого цвета. В одном глазу ВГИТ было в подвиж-

ном состоянии рядом с цилиарным телом, на 5 часах, и было окутано волокнами стекловидного тела и фибрина. И в одном случае инородное тело располагалось субхориоидально.

Удаление ВГИТ проводили различными доступами в фиброзной капсуле глаз, что зависело от размеров ВГИТ, их местоположения внутри глаза. Так, в 5 случаях с большими размерами вколоченных ВГИТ (от 2,5 до 3,5 мм) и сопутствующей травматической катарактой, их удаление выполняли витреальным пинцетом путем перехвата через дефекты в задней капсуле через роговичный тоннель – зрачковую зону – задний капсулорексис на этапе факоэмульсификации – факоаспирации. В 2 случаях ВГИТ (осколок медной проволоки от триммера 3,0×0,3 мм и осколок металла 0,7×0,1 мм) были удалены витреальным пинцетом через витреальный порт. В остальных 3 глазах ВГИТ было удалено с помощью витреотома. В одном случае (последствия работы с циркулярной пилой) металлический осколок ВГИТ 0,5×1,0 мм был подвижным и локализовался в зоне цилиарного тела, при выполнении витректомии был случайно захвачен наконечником витреотома, но оказался хрупким из-за коррозии. В одном глазу с исходной афакией ВГИТ было удалено с помощью выдвигного эндомагнита, введенного через роговичный тоннель. Данная манипуляция была выполнена через зрачковую зону, перед имплантацией зрачковой интраокулярной линзы (ИОЛ) РСПЗ. Подобная тактика была обоснована тем, что крупный осколок металла размером 2,5 2,8 мм не поддавался захвату пинцетом из-за своей пирамидальной формы. И еще в одном глазу большой кусок проволоки был удален склеральным пинцетом через входную проникающую корнеосклеральную рану на 13 часах.

Методика удаления ВГИТ через порт с помощью витреального пинцета. После установки портов, максимально полного удаления витреума и визуальной локализации ВГИТ выполняли тампонаду перфторорганическими соединениями, при наличии отслоенной сетчатки восстанавливали ее анатомическое прилегание, проводили ограничительную эндолазеркоагуляцию вокруг зон внедрения ВГИТ (3 плотных вала коагулятов). Далее захват ВГИТ проводили витреальным пинцетом. Медленными движениями выполняли осторожные небольшие раскачивания ВГИТ до достижения полного их освобождения от прилежащих тканевых структур, после чего их осторожно извлекали из витреальной полости и удаляли из глаза.

В 6 глазах (3 глаза с отслойкой сетчатки, 2 глаза с фовеолярными разрывами и один глаз с крупным посттравматическим дефектом сетчатки в зоне вколоченного ВГИТ) эндовитреальная хирургия была завершена тампонадой силиконом с его последующим удалением через 3 месяца. В 3 глазах с травматической отслойкой сетчатки (в 2 из них ВГИТ были удалены по месту жительства и в одном глазу с локализацией вколоченного ВГИТ в экваториальной зоне) проводили стандартный

объем 25G-витреоретинальной хирургии: интраоперационную локализацию ретиального разрыва с тщательным освобождением его краев и затем с тампонадой витреальной полости перфторорганическими соединениями. У пациента с ВГИТ его аккуратно извлекали из оболочек с помощью витреального пинцета, проводили эвакуацию субретинальной жидкости через ретиальные разрывы с последующей щадящей транссклеральной криокоагуляцией их краев и дополнительной эндолазеркоагуляцией.

В 3 глазах (один глаз после удаления магнитного ВГИТ, один глаз после удаления кусочка сухого стебля растения (оба глаза – после ПХО, проведенной в других клиниках) и одном глазу после удаления металлической пульки) из-за значительных размеров ретиальных дефектов, вызванных внедрением ВГИТ, помимо проведенной ограничительной эндолазеркоагуляции, была дополнительно выполнена транссклеральная криокоагуляция сетчатки (криокоагулятор CryoStar, DORC, Нидерланды). Добивались интенсивности коагулята 2-й степени интенсивности по L'Esperance.

На одном глазу с послеоперационной афакией была имплантирована зрачковая ИОЛ РСРЗ с ее подшиванием к радужке. В 5 глазах с травматической катарактой проводили факоэмульсификацию, в ходе которой были удалены ВГИТ с последующей имплантацией в капсульный мешок заднекамерных ИОЛ (RayOne (Великобритания) и Ноуа (Япония)).

У пациента с длительным нахождением ВГИТ (180 дней) после удаления гемофтальма был обнаружен хориоретинальный линейный рубец размером 1,0 мм, расположенный радиально на 3 часах в 4 мм от ога сетчатки. Поскольку в проекции данной зоны на склере имелся рубец 1 мм (входное отверстие), то необходимость в герметизации раны отсутствовала. После удаления ВГИТ с помощью витреотома была выполнена ограничительная эндолазеркоагуляция вокруг хориоретинального рубца.

Как видно, во всех 10 глазах с ВГИТ их удалось корректно удалить, а также достичь полного прилегания сетчатки в 3 глазах с ее отслойкой. Все удаленные ВГИТ были металлическими: 8 магнитных и 2 амагнитных (кусочек медной проволоки и свинцовая пулька).

На следующие сутки после операции во всех глазах (как с тампонадой силиконом, так и в авитреальных) внутренние оболочки занимали правильное анатомическое положение, вокруг ретиальных разрывов определялись белые очаги лазер- и криокоагулятов. В 2 случаях имела место умеренная взвесь эритроцитов в витреальной полости авитреальных глаз. Ушитые раны фиброзной капсулы были герметичными, глубина передней камеры во всех глазах была в пределах 2,5–3,0 мм. В глазу с исходно подтянутой в роговичную рану радужкой зрачок был центрирован, отмечена небольшая гифема 0,5 мм с умеренной взвесью эритроцитов в передней камере. Имплантируемые ИОЛ во всех 6 глазах занимали правильное положение (5 заднекамерных ИОЛ и одна зрач-

ковая модель). Нативные хрусталики были интактными. Все пациенты отмечали улучшение периферического и центрального зрения. МКОЗ в общей совокупности глаз пациентов повысилась и колебалась от 0,005 до 0,8, составив в среднем 0,17.

Спустя 3 месяца удалось осмотреть 11 пациентов. МКОЗ осмотренных пациентов варьировала от 0,01 до 0, (в среднем 0,3). Все глаза выглядели спокойными, роговичные швы были удалены, на месте ушитых ран сформировались локальные помутнения роговицы: в 2 глазах – в оптической, в 4 глазах – в параоптической зоне, в 2 глазах имелись краевые паралимбальные локальные помутнения. Передняя камера во всех случаях была средней глубины – 3,0–3,2 мм. У 6 пациентов с имплантированными ИОЛ все они занимали правильное положение. По ретиальному статусу все было стабильно, оболочки прилежали. К этому сроку силиконовая тампонада была завершена во всех 6 глазах. У 3 пациентов с нативными хрусталиками определялись начальные помутнения задних кортикальных слоев как следствие силиконовой тампонады. В одном случае с послеоперационным повышением уровня внутриглазного давления пациенту был назначен гипотензивный режим.

Лишь у одного пациента (исходно с роговичной раной в параоптической зоне и вколоченным ВГИТ 2,5×3,0 мм в зоне экватора) к этому сроку развилась локальная отслойка сетчатки в нижне-наружном квадранте, с ретиальным разрывом по краю хориоретинального рубца, сформированного в зоне внедрения ВГИТ. Причиной формирования ретиального разрыва и отслойки сетчатки, на наш взгляд, могла явиться чрезмерная экспозиция криокоагуляции, хотя ее параметры при проведении были стандартными. После повторного эндовитреального вмешательства, завершившегося тампонадой силиконом и дополнительной эндолазеркоагуляцией сетчатки вокруг зоны ретиального разрыва, было достигнуто анатомическое прилегание сетчатки, что способствовало улучшению периферического и центрального зрения. Через 3 месяца после удаления силикона у данного пациента МКОЗ значительно повысилась до 0,4.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Удаление ВГИТ при выполнении эндовитреальных операций постепенно становится рутинной клинической практикой. Преимуществом эндовитреальной технологии является ее гораздо меньшая травматичность, направленная на максимальное сохранение окружающих структур, столь подверженных разрушениям при выполнении магнитного извлечения ВГИТ.

Но в то же время следует отметить, что удаление ВГИТ с помощью эндовитреальных технологий требует дорогостоящего оборудования, подготовленных практикующих витреоретинальных хирургов. Далеко не все офтальмологические клиники располагают подобными ре-

сурсами. К тому же осложнения, такие как гемофтальм, отслойка сетчатки, эндофтальмит, могут возникнуть и при данной тактике лечения [8].

В этой связи приведенный в данной статье собственный опыт эндovitреального удаления ВГИТ в 10 глазах, имевших различные размеры и конфигурации, а также устранение последствий их транссклерального удаления на этапе выполнения ПХО (2 глаза), показал, что во всех случаях удалось максимально атравматично удалить ВГИТ с помощью эндovitреального пинцета, витреотома, причем уточнение их локализации во всех глазах выполнялось интраоперационно.

Становится очевидным принцип стремления к минимальной травматизации сохраненных внутриглазных структур при удалении ВГИТ, что может быть достигнуто лишь в специализированном отделении витреоретинальной хирургии. Поэтому, согласно данным ряда авторов и собственному клиническому опыту, офтальмохирургам, не располагающим возможностью выполнения витреоретинальной хирургии, не следует стремиться непременно срочно удалить ВГИТ. В подобных случаях целесообразнее добиться герметизации раны фиброзной капсулы и провести лечебные мероприятия по профилактике инфицирования глазных структур, направив пациента в специализированное отделение витреоретинальной хирургии [11, 21–27].

Изложенные в настоящей статье собственные данные о тактике удаления ВГИТ, осложнениях и устранении их последствий вполне согласуются с результатами, представленными рядом авторов, свидетельствуя о высокой эффективности и малой травматичности трансвитреального удаления ВГИТ [17, 19–21, 28, 29].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследуемой совокупности 12 тяжелых проникающих травм глаза с внедрением ВГИТ входными воротами фиброзной капсулы являлись: роговичные раны – 5 глаз, склеральные раны – 5 глаз, корнеосклеральные – 2 глаза; в 11 глазах ВГИТ были металлическими (9 магнитных и 2 амагнитных), в 1 глазу – немагнитным.

Во всех глазах ВГИТ были удалены. Объемы и тактика витреальной хирургии в каждом случае удаления ВГИТ была обусловлена исходной тяжестью травм глаза, локализацией ВГИТ, его размерами, степенью вторичной травматизации внутриглазных структур после их удаления при выполнении ПХО в клиниках по месту проживания.

Во всех глазах, независимо от срока проведения ПХО, эндovitреальный способ удаления ВГИТ показал свою эффективность, что сопровождалось минимальной степенью вторичной травматизации внутриглазных структур. Лишь в одном случае мы сочли более целесообразным удаление его с помощью эндомагнита, что было обусловлено неудобством захвата ВГИТ витреальным пинцетом из-за его пирамидальной формы.

Спустя 3 месяца после выполнения эндovitреальной и реконструктивно-восстановительной хирургии все 12 глаз характеризовалось полным восстановлением целостности фиброзной капсулы, сохранением анатомо-морфометрических соотношений внутриглазных структур, повышением зрительных функций, степень которых зависела от исходной тяжести травмы и сроков реконструктивно-восстановительной хирургии.

Наш опыт удаления ВГИТ эндovitреальным способом согласуется с данными других авторов о том, что подобная тактика дает возможность максимального снижения травматизации внутриглазных структур за счет возможности деликатного захвата ВГИТ браншами микропинцета под четким визуальным контролем, с последующим осторожным его продвижением к отверстию порта либо к капсулорексису. Данный способ следует предпочитать транссклеральному магнитному извлечению ВГИТ в случаях его залегания в витреальной полости либо интраретинально, центральнее экватора, в заднем полюсе глаза.

Учитывая полученные данные, следует отметить, что офтальмохирургам, выполняющим ПХО в клиниках, не располагающих возможностями витреоретинальной хирургии, не следует стремиться к максимально экстренному удалению ВГИТ с помощью магнита. Целесообразнее ограничиться герметизацией фиброзной капсулы с профилактикой развития инфекционных осложнений и срочно направить пациента в специализированную офтальмохирургическую клинику.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Волков В.В., Даниличев В.Ф., Ерюхин И.А., Шилиев В.Г., Шишкин М.М. Повреждения органа зрения. В кн.: Современная офтальмология. Под ред. Даниличева В.Ф. СПб.: Питер; 2009: 121–48. [Volkov VV, Danilichev VF, Eryukhin IA, Shilyayev VG, Shishkin MM. Damage to the organ of vision. In: Danilichev VF (ed.). Modern ophthalmology. St. Petersburg: Piter; 2009: 121–148. (In Russ.)]
2. Петраевский А.В., Гндоян И.А., Тришкин К.С., Виноградов А.Р. Глазной травматизм в Российской Федерации. Вестник офтальмологии. 2018;134(4): 80–83. [Petraevskii AV, Gndoian IA, Trishkin KS, Vinogradov AR. Ocular traumatism in Russian Federation. The Russian Annals of Ophthalmology. 2018;134(4): 80–83. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma201813404180
3. Гундорова Р.А., Степанов А.В. Травмы органа зрения. В кн.: Глазные болезни. Под ред. Копаевой В.Г. М.: Издательство «Офтальмология»; 2018: 338–363. [Gundorova RA, Stepanov AV. Injuries of the visual organ. In: Kopaeva VG (ed.). Eye diseases. M.: Izdatel'stvo «Oftal'mologiya»; 2018: 338–363. (In Russ.)]
4. Нероев В.В. Разработка системы диагностики и хирургического лечения больных с внутриглазными инородными телами. Дис. ... д-ра мед. наук. М.; 1998. [Neroev VV. Development of a diagnostic and surgical treatment system for patients with intraocular foreign bodies. [Dissertation]. M.; 1998. (In Russ.)]
5. Гундорова Р.А., Капитонов Ю.А., Овечкин Н.И., Романова И.Ю. Современные тенденции в фармакотерапии инфекционных осложнений у пациентов с травматическими поражениями органа зрения. Российский офтальмологический журнал. 2012;5(4): 10–12. [Gundorova RA, Kapitonov YuA, Ovechkin NI, Romanova IYu. Modern trends in drug therapy of infectious complications in patients with traumatic injuries of the eye. Russian Ophthalmological Journal. 2012;5(4): 10–12. (In Russ.)]
6. Соболев Н.П., Афанасьева Д.С. Одномоментное проникающее ранение обоих глаз (случай из практики). Офтальмохирургия. 2016;(1): 68–72. [Sobolev NP, Afanasyeva DS. Simultaneous penetrating injury in both eyes (a case report). Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2016;(1): 68–72. (In Russ.)] doi: 10.25276/0235-4160-2016-1-68-72

7. Бойко Э.В., Шишкин М.М., Куликов А.Н., Чурашов С.В., Софронов Г.А. Сравнительная оценка применения перфтороктилбромида и перфтордекалина в витреоретинальной хирургии открытой травмы глаза. Офтальмохирургия. 2008;(4): 28–31. [Boiko EV, Shishkin MM, Kulikov AN, Churashov SV, Sofronov GA. Using of perfluorooctylbromide and perfluorodecaline in vitreoretinal surgery of open-globe injuries. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2008;(4): 28–31. (In Russ.)]

8. Набиева М.К., Хорошилова-Маслова И.П. Морфогенез осложнений после удаления внутриглазных инородных тел. Российский офтальмологический журнал. 2011;4(4):46–49. [Nabieva MK, Khoroshilova-Maslova IP. The morphogenesis of complications after removal of intraocular foreign bodies. Russian Ophthalmological Journal. 2011;4(4):46–49. (In Russ.)]

9. Марачева Н.М. Алгоритм прогноза клинического течения проникающего ранения глазного яблока в зависимости от локализации ранения. Вестник Оренбургского государственного университета. 2010;(12): 144–149. [Maracheva NM. Algorithm of clinical flow forecast of penetrating eye wound depended on wound localization. Vestnik Orenburg State University. 2010;(12): 144–149. (In Russ.)]

10. Намазова И.К., Джаруллазаде И.Ч., Джалилова Э.Р., Ибрагимхалилова А.Б. Ультразвуковая биомикроскопия при механической травме глаза у пациентов старшей возрастной группы. Офтальмохирургия. 2012;(4): 76–81. [Namazova IK, Jarullazade IC, Jalilova ER, Ibragimkhalilova AB Ultrasound biomicroscopy in the diagnosis of mechanic injury of the eye in patients of senile age group. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2012;(4): 76–81. (In Russ.)]

11. Гулиева С.А., Нагизаде Г.А. Современные подходы в методах диагностики и удаления внутриглазных инородных тел (обзор литературы). Офтальмология. 2015;(2): 94–100. [Guliyeva SA, Naghizada GA. Modern approaches in methods of diagnosis and removal of intraocular foreign bodies. Ophthalmologia. 2015;(2): 94–100. (In Russ.)]

12. Машенко Н.В. Организация и выполнение экстренной офтальмохирургической помощи в условиях специализированной офтальмологической клиники в период пандемии COVID-19. Современные технологии в офтальмологии. 2021;(1): 25–29. [Mashchenko NV. Organization and implementation of emergency ophthalmic surgical assistance in a specialized ophthalmic clinic during the pandemic period COVID-19. Modern technologies in ophthalmology. 2021;(1): 25–29. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2021-1-25-29

13. Машенко Н.В., Худяков А.Ю. Результаты хирургического лечения открытой травмы глаза с внутриглазным инородным телом. Современные технологии в офтальмологии. 2018;(1): 258–61. [Mashchenko NV, Khudyakov AYU. Results of surgical treatment of an open eye injury with an intraocular foreign body. Modern technologies in ophthalmology. 2018;(1): 258–61. (In Russ.)]

14. Машенко Н.В. Клиническая эффективность отсроченного эндовитреального удаления внутриглазных инородных тел после первичной хирургической обработки тяжелых проникающих травм глазного яблока. Современные технологии в офтальмологии. 2019;(2): 122–125. [Mashchenko NV. Clinical efficiency of deferred endovitreous removal of intraocular foreign bodies after primary surgical treatment of severe penetrating injuries of eyeball. Modern technologies in ophthalmology. 2019;(2): 122–125. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2019-2-122-125

15. Сороколетова Н.В., Киселева О.А. Основные аспекты проблемы возникновения и профилактики отслойки сетчатки при осколочной травме глазного яблока. Офтальмология. 2006;3(4): 6–13. [Sorokoletova NV, Kiseleva OA. The basic aspects of the aetiology of occurrence of retinal detachment in case of a fragmental trauma of the eyeball and the basic methods of preventive measures. Ophthalmology in Russia. 2006;3(4): 6–13. (In Russ.)]

16. Алиев А.Д., Алиев А.А., Абдулаев А.Б., Нурудинов М.М. Клинический анализ эффективности многокомпонентных витреоретинальных вмешательств при травмах глаза. Офтальмология. 2019;16(2): 174–8. [Aliyev AD, Aliyev AA, Abdulaev AB, Nurudinov MM. Clinical analyses of efficiency of multicomponental, vitreoretinal surgery of eye trauma. Ophthalmology in Russia. 2019;16(2): 174–178. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2019-2-174-178

17. Ботабеков Р.М., Аль-Асталь М.С., Оразбеков Л.Н., Жайлаубеков Ж.С., Асаинова М.С. Трансвитреальный доступ удаления внутриглазных инородных тел через pars plana. Современные технологии в офтальмологии. 2017;(4): 34–36. [Botabekov RM, Al'-Astal' MS, Orzbekov LN, Zhaylaubekov ZHS, Asainova MS. Transvitreal access for removal of intraocular foreign bodies via pars plana. Modern technologies in ophthalmology. 2017;4: 34–36. (In Russ.)]

18. Попова И.И., Красюк Е.Ю. Хирургическая реабилитация пациентов с внутриглазным инородным телом и травматической катарактой. Клинические случаи. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2015;20(3): 667–669. [Popova II,

Krasyuk EYu. Surgical rehabilitation of patients with intraocular foreign body and traumatic cataract. Clinical cases. Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences. 2015;20(3): 667–669. (In Russ.)]

19. Письменская В.А., Кислицына Н.М. Хирургическое лечение проникающих осколочных ранений с вовлечением заднего сегмента глазного яблока. Практическая медицина. 2012;(4-2): 167–172. [Pismenskaya VA, Kislitcyna NM. Surgical treatment of penetrating shrapnel wounds involving the posterior segment of the eyeball. Practical medicine. 2012;(4-2): 167–72. (In Russ.)]

20. Арсютов Д.Г., Николаева Т.Ю., Васильева И.В., Григорьева А.В., Почейкина Е.Н. Витреоретинальная хирургия проникающих ранений с внутриглазным инородным телом. Здравоохранение Чувашии. 2018;3: 4–15. [Arsyutov DG, Nikolaeva TYu, Vasilyeva IV, Grigoryeva AV, Pocheikina EN Vitreoretinal surgery of penetrating wounds with an intraocular foreign body. Healthcare of Chuvashia. 2018;3: 4–15. (In Russ.)]

21. Файзиева У.С., Гулямова М.Д., Икрамов О.И. Отдаленные результаты отсроченного удаления внутриглазного инородного тела при открытой травме глазного яблока с поражением заднего сегмента. Современные технологии в офтальмологии. 2021;(3): 175–178. [Fayzieva US, Gulyamova MD, Ikramov OI. Long-term results of delayed removal of the intraocular foreign body in open eyeball injury with damage to the posterior segment of the eye. Modern technologies in ophthalmology. 2021;(3): 175–178. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2021-3-175-178

22. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Михин А.А., Даниличев В.Ф., Волков В.В. Удаление стеклянного внутриглазного инородного тела (анализ исходов и способов хирургического лечения). Современные технологии в офтальмологии. 2019;(1): 109–111. [Kulikov AN, Churashov SV, Mikhin AA, Danilichev VF, Volkov VV. Removal of intraocular foreign body made of glass (analysis of outcomes and methods of surgical treatment). Modern technologies in ophthalmology. 2019;(1): 109–111. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2019-1-109-111

23. Попова А.А., Гусев А.А. Применение витреоретинальной хирургии при лечении проникающего ранения глазного яблока с внутриглазной локализацией инородного тела. Университетская медицина Урала. 2019;(2): 32–36. [Popova AA, Gusev AA. The use of vitreoretinal surgery in the treatment of penetrating wounds of the eyeball with intraocular localization of a foreign body. Universitetskaya meditsina Urala. 2019;(2): 32–36. (In Russ.)]

24. Нам В.А., Томенко А.А., Зюзина А.Г. Современные методы удаления внутриглазных инородных тел (ВГИТ). Бюллетень медицинских Интернет-конференций. 2019;9(8): 330. [Nam VA, Tomenko AA, Zyuzina AG Modern methods of removal of intraocular foreign bodies (IFB). Bulletin of Medical Internet Conferences. 2019;9(8): 330. (In Russ.)]

25. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Михин А.А. Комбинированный путь удаления внутриглазных инородных тел (способы и результаты). Современные технологии в офтальмологии. 2019;(3): 104–107. [Kulikov AN, Churashov SV, Mikhin AA. Combined way to remove intraocular foreign bodies (methods and results). Modern technologies in ophthalmology. 2019;(3): 104–107. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911-2019-3-104-107

26. Керимов М.И., Шамилова Ф.Г., Заргарли И.А., Гусейнов Э.С. Применение 23 gauge pars plana витректомии при удалении внутриглазных инородных тел. Офтальмология. 2011;(1): 23–28. [Karimov MI, Shamilova FH, Zargarli IA, Hüseyinov ES. Results of 23 gauge pars plana vitrectomy for removal of intraocular foreign bodies. Ophthalmologia. 2011;(1): 23–28. (In Russ.)]

27. Николаенко В.П., Катаева М.В. Результаты удаления внутриглазных инородных тел из заднего отрезка глазного яблока прямым путем. Офтальмологические ведомости. 2015;8(4): 24–29. [Nikolaenko VP, Kataeva MV. Results of intraocular foreign body removal from the posterior segment by direct approach. Ophthalmology Journal. 2015;8(4): 24–29. (In Russ.)] doi: 10.17816/OV2015424-29

28. Белый Ю.А., Терещенко А.В., Юдина Н.Н., Плахотный М.А. Удаление внутриглазных инородных тел в среде силиконового масла. Точка зрения. Восток–Запад. 2015;(1): 224–226. [Belyy YuA, Tereshchenko AV, Yudina NN, Plakhotniy MA. Udaleniye vnutriglaznykh inorodnykh tel v srede silikonovogo masla. Point of view. East–West. 2015;(1): 224–226. (In Russ.)]

29. Субботина С.Н., Шамкин С.С., Колесникова Е.И. Клинический случай проникающего корнеосклерального ранения с особо крупным внутриглазным амагнитным инородным телом (осколком петарды) у ребенка. Отражение. 2017;(2): 61–64. [Subbotina SN, Shamkin SS, Kolesnikova EI. A clinical case of penetrating corneoscleral injury with a hudge intraocular nonmagnetic foreign body (sheet of petard) in a child. Otrazhenie. 2017;(2): 61–64. (In Russ.)]

#### Информация об авторах

**Николай Владимирович Машенко**, врач-офтальмолог, naukakhvmtk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2200-2221>

**Александр Юрьевич Худяков**, врач-офтальмолог, <https://orcid.org/0000-0001-8027-9192>

**Олег Владимирович Коленко**, д.м.н., <https://orcid.org/0000-0001-7501-5571>

**Евгений Леонидович Сорокин**, д.м.н., <https://orcid.org/0000-0002-2028-1140>

#### Information about the authors

**Nikolai V. Mashchenko**, Ophthalmologist, [naukakhvmtk@mail.ru](mailto:naukakhvmtk@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2200-2221>

**Alexandr Yu. Khudyakov**, Ophthalmologist, <https://orcid.org/0000-0001-8027-9192>

**Oleg V. Kolenko**, Doctor of Sciences in Medicine, <https://orcid.org/0000-0001-7501-5571>

**Evgenii L. Sorokin**, Doctor of Sciences in Medicine, <https://orcid.org/0000-0002-2028-1140>

#### Вклад авторов в работу:

Н.В. Мащенко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**А.Ю. Худяков**: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных.

**О.В. Коленко**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Е.Л. Сорокин**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование.

#### Authors' contribution:

**N.V. Mashchenko**: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**A.Yu. Khudyakov**: collection, analysis and processing of material, statistical data processing.

**O.V. Kolenko**: significant contribution to the concept and design of the work, final approval of the version to be published.

**E.L. Sorokin**: significant contribution to the concept and design of the work, editing.

**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: 14.03.2023*

*Переработана: 22.05.2023*

*Принята к печати: 10.08.2023*

*Originally received: 14.03.2023*

*Final revision: 22.05.2023*

*Accepted: 10.08.2023*

## ПАТОЛОГИЯ СЕТЧАТКИ, СОСУДИСТОЙ ОБОЛОЧКИ И ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА PATHOLOGY OF RETINA, CHOROID AND OPTIC NERVE

Научная статья  
УДК 617.735-08  
doi:

### Влияние исходных структурных нарушений и послеоперационного изменения перфузии на функциональное восстановление сетчатки после хирургического лечения сквозных макулярных разрывов

Т.А. Докторова<sup>1, 2</sup>, А.А. Суетов<sup>1, 3</sup>, Э.В. Бойко<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны РФ, Санкт-Петербург

#### РЕФЕРАТ

**Цель.** Исследовать взаимосвязь функционального восстановления сетчатки с исходным нарушением ее структуры и изменениями капиллярной перфузии после хирургического лечения идиопатических сквозных макулярных разрывов (СМР). **Материал и методы.** На 25 глазах с СМР с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) и ОКТ в ангио-режиме (ОКТ-А), микропериметрии, мультифокальной электроретинографии в 13 точках, находящихся на различном удалении от точки фиксации, исследованы плотность капилляров в поверхностном и глубоком капиллярном сплетении (ПКС и ГКС), световая чувствительность (СЧ), амплитуда и латентность P1 в проекции разрыва, интратретиальных кистозных изменений (КИ), отслойки нейрорепителлия (НЭ) и интактной сетчатки до оперативного лечения, через 7 дней и 3 месяца после. **Результаты.** В зоне разрыва, КИ и отслойки НЭ в сравнении с интактными участками сетчатки выявлено значимое снижение СЧ, увеличение латентности и снижение амплитуды P1, снижение плотности капилляров в ПКС и ГКС. Через 3 месяца после операции отмечено функциональное восстановление сет-

чатки с увеличением ее перфузии. Выявлена корреляция послеоперационного изменения СЧ с изменением плотности капилляров в ПКС в проекции отслойки НЭ ( $R=0,32$ ,  $p=0,001$ ) и КИ ( $R=0,19$ ,  $p=0,001$ ), а также в ГКС в проекции отслойки НЭ и КИ ( $R=0,31$ ,  $p=0,001$ ). Изменение амплитуды P1 в послеоперационном периоде значимо коррелировало с изменением перфузии в ПКС в проекции отслойки НЭ ( $R=0,38$ ,  $p=0,001$ ) и зоне разрыва ( $R=0,31$ ,  $p=0,001$ ), а также в ГКС в проекции КИ ( $R=0,31$ ,  $p=0,01$ ) и в зоне отслойки НЭ ( $R=0,28$ ,  $p=0,001$ ). **Заключение.** Таким образом, при использовании мультимодального топографически-ориентированного подхода выявлена взаимосвязь в послеоперационном периоде изменений функциональных показателей в различных точках макулярной области с изменениями локальной перфузии на уровне как ПКС, так и ГКС, при этом взаимосвязь наиболее выражена в проекции отслойки НЭ по краю разрыва и в зонах интратретиальных КИ.

**Ключевые слова:** сквозной макулярный разрыв, оптическая когерентная томография, оптическая когерентная томография-ангиография, микропериметрия, мультифокальная электроретинография, мультимодальная визуализация ■

**Для цитирования:** Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В. Влияние исходных структурных нарушений и послеоперационного изменения перфузии на функциональное восстановление сетчатки после хирургического лечения сквозных макулярных разрывов. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Таисия Александровна Докторова, taisiiaadok@mail.ru

#### ABSTRACT

Original article

### The effect of preoperative structural changes and postoperative perfusion on the functional restoration of the retina in the surgical treatment of full-thickness macular holes

T.A. Doktorova<sup>1, 2</sup>, A.A. Suetov<sup>1, 3</sup>, E.V. Boiko<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Saint-Petersburg Branch, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>I.I. Mechnikov North-Western State Medical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup>State Scientific Research Test Institute of Military Medicine, Saint-Petersburg, Russian Federation

© Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., 2023



**Purpose.** To evaluate effect of preoperative local structural retinal changes and capillary perfusion in idiopathic full-thickness macular holes (FTMH) on the recovery of functional activity of the retina after surgical treatment. **Materials and methods.** We used optical coherence tomography (OCT) and OCT-angiography (OCT-A), microperimetry, multifocal electroretinography. In 25 eyes with FTMH the density of capillaries in the superficial and deep capillary plexus (SCP and DCP), retinal sensitivity (RS), amplitude and implicit time of P1 were studied at 13 points located at different distances from the fixation point were evaluated. Data were analyzed in the projection of the hole, intraretinal cystic changes (ICC), neuroepithelial detachment (NED) and intact retina before surgical treatment, 7 days, and 3 months after. **Results.** In the area of hole, ICC, and NED, in comparison with intact areas of the retina, a significant decrease in RS, an increase in implicit time and a decrease in amplitude of P1, and a decrease in capillary density in the SCP and DCP were revealed. Functional restoration of the retina with an increase in its perfusion was noted 3 months after the surgery. The

correlation was found between postoperative changes in RS and changes in capillary density in the SCP in the projection of NED ( $R=0.32$ ,  $p=0.001$ ) and ICC ( $R=0.19$ ,  $p=0.001$ ), as well as in the DCP in the projection of NED and ICC ( $R=0.31$ ,  $p=0.001$ ). The change in the amplitude P1 in the postoperative period significantly correlated with the change in perfusion in the SCP in the projection of the NED ( $R=0.38$ ,  $p=0.001$ ) and the hole area ( $R=0.31$ ,  $p=0.001$ ), as well as in the DCP in the projection of the ICC ( $R=0.31$ ,  $p=0.01$ ) and in the area of NED ( $R=0.28$ ,  $p=0.001$ ). **Conclusion.** Thus, when using a multimodal topographically oriented approach, a relationship was found in the postoperative period of changes in functional parameters at various points in the macular area with changes in local perfusion at the level of both SCP and DCP, while the relationship is most significant in the projection of NED along the tear edge and in the areas of ICC.

**Key words:** full-thickness macular hole (FTMH), microperimetry, multifocal electroretinography, multimodal imaging, optical coherence tomography, optical coherence tomography-angiography ■

**For citation:** Doktorova T.A., Suetov A.A., Boiko E.V. The effect of preoperative structural changes and postoperative perfusion on the functional restoration of the retina in the surgical treatment of full-thickness macular holes. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;4: XXXX. doi  
**Corresponding author:** Taisiia A. Doktorova, taisiiaadok@mail.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Идиопатические сквозные макулярные разрывы (СМР) являются причиной значительного снижения центрального зрения у лиц трудоспособного возраста [1]. Задняя витрэктомия стала «золотым стандартом» лечения СМР, при этом совершенствование хирургических техник, разработка новых подходов позволили достигнуть высоких результатов анатомического закрытия разрывов [2]. Тем не менее, функциональная активность сетчатки после хирургического лечения часто восстанавливается не в полной мере, что может быть связано с влиянием различных факторов, в том числе с вторичными структурными нарушениями в нейроретине [3, 4].

Для оценки сетчатки в макулярной области как при СМР, так и при другой ретинальной патологии становится востребованным мультимодальный подход, одной из основных составляющих которого является оптическая когерентная томография (ОКТ) [5]. Дополнение структурных методов исследования функциональными (микропериметрия (МП) и мультифокальная электроретинография (мФЭРГ)) позволило объективно изучать локальные функциональные показатели, сопоставлять их со структурными нарушениями в выбранных точках сетчатки [5–9]. О прогностической значимости некоторых показателей МП и мФЭРГ при СМР ранее сообщалось в ряде исследований [8, 10, 11], но при этом остаются малоизученными взаимосвязи данных различных методов функциональных исследований при отдельных формах структурных нарушений в сетчатке.

Метод оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А), позволяющий оценить перфузию сетчатки и сосудистой оболочки, получает все большее распространение в клинической практике [12]. Если при таких заболеваниях макулы, как неоваскулярная макулярная дегенерация или диабетическая макулопатия, ОКТ-А играет важную роль в принятии решений, то при СМР неизвестно влияние изменения кровоснабжения отдельных участков и слоев сетчатки на их функциональную активность.

С учетом ограниченных данных о многих аспектах функционального восстановления сетчатки после оперативного лечения СМР, применение функционального мультимодального топографически-ориентированного подхода в различные сроки после хирургического лечения может помочь выявить закономерности и возможные предикторы функционального успеха оперативного лечения СМР.

## ЦЕЛЬ

Исследовать взаимосвязь функционального восстановления сетчатки с исходным нарушением ее структуры и изменениями капиллярной перфузии после хирургического лечения СМР.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное исследование 25 пациентов (25 глаз) с СМР в Санкт-Петербургском филиале ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.

Н. Федорова» Минздрава России в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации (в редакции 2003 г.) в 2022 г. Все пациенты подписывали информированное согласие на диагностическое обследование и хирургическое вмешательство.

Критерии включения: ранее не оперированные СМР. Критерии исключения: другие заболевания макулы, перенесенные или имеющиеся на момент осмотра воспалительные заболевания органа зрения, глаукома, сосудистая ретиальная патология, миопия более 6 дптр, помутнения оптических сред, препятствующие проведению функционального тестирования.

Кроме стандартного офтальмологического обследования (авторефрактометрия, визометрия, биометрия с определением переднезаднего размера глазного яблока, биомикроскопия и биомикроофтальмоскопия), выполняли ОКТ, ОКТ-А, МП и мфЭРГ. Обследование проводили перед хирургическим лечением, затем через 1 неделю и 3 месяца.

Для ОКТ-и ОКТ-А исследования использовали томограф Cirrus HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany), протокол сканирования: макулярный куб 512-128, радиальные линейные структурные сканы, в режиме ОКТ-А область 3x3 мм. С помощью программы Image J (Version 1.49v; NIH, США) [5], на анфас-ОКТ и ОКТ-А изображениях оценивали апикальную площадь разрыва, площадь интратретинальных кистозных изменений (КИ) на уровне внутреннего ядерного слоя (ВЯС) и комплекса наружного плексиформного слоя и слоя Генле (НПС+СГ), площадь отслойки нейроэпителлия (НЭ) в зоне разрыва, площадь фовеолярной аваскулярной зоны (ФАЗ), плотность поверхностного и глубокого капиллярного сплетения (ПКС и ГКС).

Исследование СЧ в отдельных точках макулы было выполнено с помощью микропериметра Compass (CenterVue, Италия) по протоколу 10-2 (68 точек и 1 точка фиксации), пороговая стратегия 4-2, ахроматический объект III по Гольдману, время предъявления стимула 200 мс. СЧ оценивали в 13 точках, сгруппированных в три кольца – МП1 (точка фиксации), МП2, МП3 и расположенных на удалении 0-2,50, 2,5-5,00 и 5,0-10,00 от точки фиксации.

МфЭРГ регистрировали с помощью электроретинографа «Нейро-ЭРГ» (Нейрософт, Россия) с модулем для мультифокальной электроретинографии по протоколу, соответствующему стандарту ISCEV в условиях световой адаптации [13]. Использовали паттерн-стимулятор, состоящий из 61 гексагона, условия тестирования обеспечивали поле тестирования на сетчатке 17,90. В ответе первого порядка анализировали латентность и амплитуду компонента Р1 в центральном гексагоне (R1), соответствующем точке фиксации, 4 гексагонах кольца R2 и 8 гексагонах кольца R3, топографически соответствующих точкам тестирования при проведении МП.

Сопоставляли результаты ОКТ, ОКТ-А, МП и мфЭРГ, масштабируя и соотнося по анатомическим ориентирам

(ДЗН, фовеа, ретиальные сосуды) изображения ретиальных карт из отдельных исследований в графическом редакторе, затем накладывали данные друг на друга (рис. 1). Суммарно 13 точек при проведении МП соответствовали 13 гексагонам паттерна мфЭРГ, проецирующимся в зонах 0-2,50, 2,5-5,00 и 5,0-10,00 от точки фиксации, что анатомически соответствует фовеолярной аваскулярной зоне, фовеа и парафовеа. В проекции исследуемых гексагонов отмечали наличие/отсутствие структурных изменений, определяли плотность капилляров в ПКС и ГКС.

Для оценки корреляции динамики изменений показателей перфузии в ПКС и ГКС, СЧ и биоэлектрической активности сетчатки сопоставили разницу показателей до лечения и через 3 месяца после хирургического лечения, при этом анализ проводили в зонах отдельных структурных изменений (разрыв, КИ, отслойка НЭ, интактная сетчатка).

В ходе оперативного лечения выполнялась трехпортовая задняя витрэктомия 25G с удалением ВПМ, закрытием дефекта обогащенной тромбоцитами плазмой (PRP) или аутологичной кондиционированной плазмой (АСР), тампонадой воздухом или газом SF6. В послеоперационном периоде пациентам рекомендовалось соблюдать положение «лицом вниз» в течение 2 суток после операции.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Все количественные данные представлены в формате  $M \pm m$ . Сравнение показателей между группами выполнялось с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Для определения связи между параметрами в группах использовали расчет рангового коэффициента корреляции. Статистически значимыми считали результаты с уровнем значимости  $p < 0,05$ .

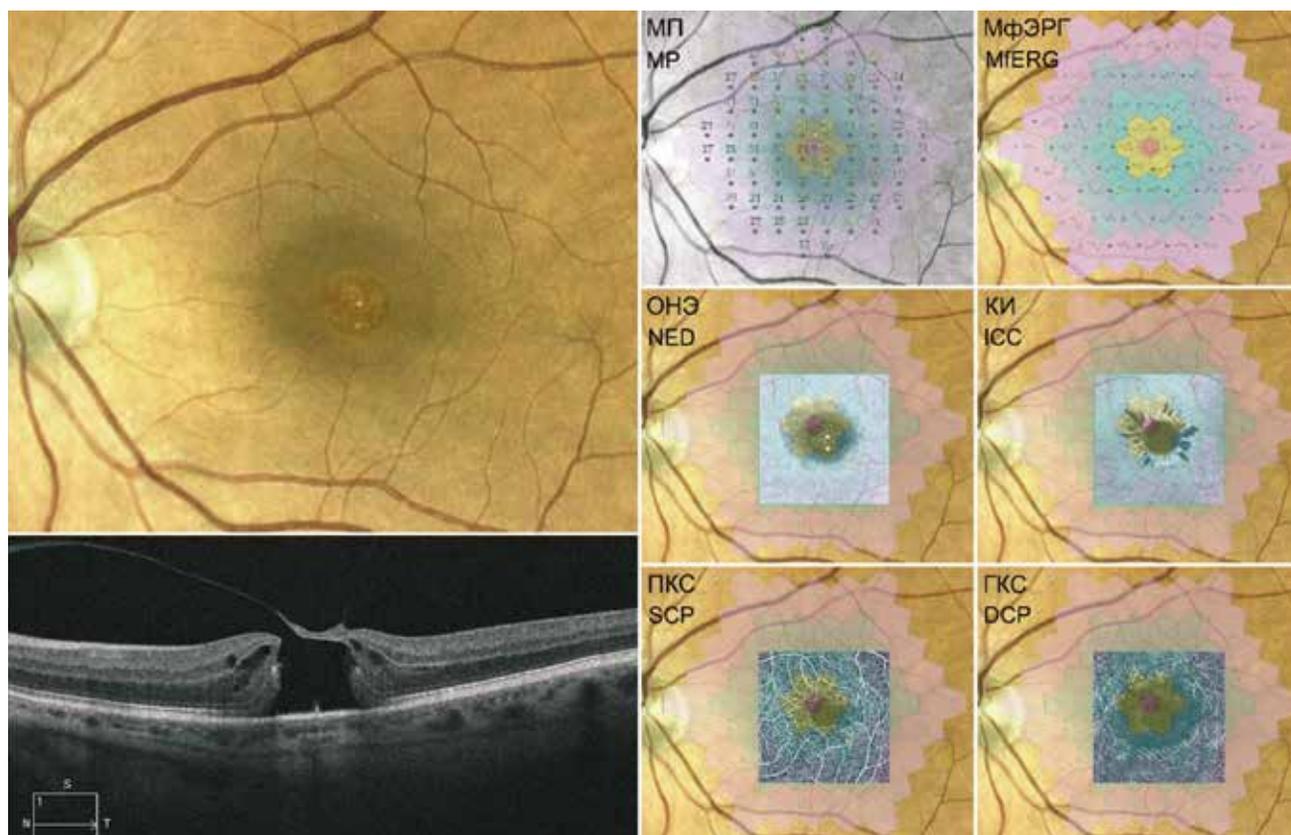
## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Общая характеристика группы

Общая характеристика группы представлена в таблице 1. В группе преобладали СМР 4 стадии [14]. Во всех случаях в нейроретине, окружающей разрыв, были выявлены интратретинальные КИ, а также в 22 случаях определялась отслойка НЭ по краю разрыва. В послеоперационном периоде КИ регрессировали полностью и при проведении ОКТ через 3 месяца не были выявлены.

### Результаты ОКТ-А

До хирургического лечения площадь ФАЗ составила  $0,32 \pm 0,08$  мм<sup>2</sup>, через 3 месяца значимо уменьшилась до  $0,25 \pm 0,05$  мм<sup>2</sup> ( $p = 0,01$ ). Из-за смещения точки фиксации центр паттерна мфЭРГ располагался экстрафовеолярно, что обуславливало регистрацию сосудистого сигнала в центральном гексагоне R1 (точка фиксации при проведении мфЭРГ, рис. 1). Плотность капилляров была зна-



**Рис. 1.** Пример мультимодальной визуализации макулярной области при СМР, включающей функциональные методы исследования: фундус-изображение и структурный ОКТ-скан (слева), наложение паттерна мультифокальной ЭРГ (мфЭРГ) на карту МП и анфас-изображения слоев со структурными изменениями (отслойка НЭ и КИ) и картами перфузии в ПКС и ГКС (справа)

**Fig. 1.** The example of multimodal visualization of the macular area in FTMH, including functional research methods: fundus imaging and structural OCT scan (left), overlay of a multifocal ERG (mfERG) pattern on a microperimetry map, and enface images of layers with structural changes (NED and ICC) and perfusion maps in SCP and DCP (right)

чимо снижена в ПКС и ГКС не только в проекции разрыва, но и в зонах отслойки НЭ, а также интратретиальных КИ (табл. 2). После проведения хирургического лечения СМР плотность сосудов в капиллярных сплетениях значительно увеличилась ( $p < 0,01$ ).

Результаты микропериметрии. Среднее значение СЧ до лечения было значительно ниже в сравнении с интактной сетчаткой в проекции всех учитываемых нарушений структуры сетчатки ( $p < 0,001$ , табл. 2). После оперативного лечения и закрытия разрыва отек в нейроретине регрессировал, при этом наблюдалось значимое увеличение СЧ в точке фиксации и в проекции разрыва уже на 7-е сутки ( $p < 0,001$ ). Через 3 месяца значимых отличий СЧ в точках, соответствовавших интактной сетчатке и зонам структурных изменений сетчатки, регистрируемых до хирургического вмешательства, не выявлено (табл. 2). Во всех случаях точка фиксации через 3 месяца после хирургического лечения не изменилась.

Результаты мультифокальной ЭРГ. В предоперационном периоде выявлено значимое увеличение латент-

ности Р1 в проекции всех учитываемых структурных изменений в сравнении с интактными участками тестируемой макулярной области (табл. 2). Снижение латентности Р1 через 7 дней и 3 месяца после хирургического лечения наблюдали в проекции разрыва и отслойки НЭ, при этом в проекции точки фиксации и зон интратретиальных КИ латентность пика Р1 в течение 3 месяцев после закрытия разрыва значимо не изменилась.

До операции выявлены достоверно более низкие показатели амплитуды Р1 в проекции исследуемых структурных изменений ( $p < 0,001$ ), которые в послеоперационном периоде выросли и через 3 месяца не отличались от значений в интактных участках сетчатки (табл. 2). Менее выраженное восстановление регистрировалось в проекции разрыва.

Взаимосвязь изменений показателей ОКТА, МП и мфЭРГ в послеоперационном периоде. В пределах тестируемой макулярной области между послеоперационным изменением СЧ и амплитуды Р1 выявлена значимая

Таблица 1

Общая характеристика пациентов с СМР

Table 1

Demography and clinical characteristics of subjects with FTMH

Показатель Parameter	Значение Value
Возраст, лет Age, years	65.7 ±6.63
Пол, женщины/мужчины (N) Gender, female/male (N)	20/5
Ср.рефракция, дптр Refraction, dptr	-0.67±1.93
ПЗО, мм Axial length, mm	23,63±1,33
МКОЗ BCVA	0,32±0,17
Артифакция / Катаракта (N) Pseudophakic eyes/ Cataract (N)	3/22
Стадия СМР 1-4 (N) FTMH grade 1-4 (N)	1 (2), 2 (4), 3 (1), 4 (18)
Апикальный диаметр, мкм Apical diameter, mkm	412,72±129,42
Базальный диаметр, мкм Basal diameter, mkm	835,38±129,43
Площадь изменений в анфас-режиме ОКТ, мм <sup>2</sup> Changes area in En Face OCT imaging	
Кистозные изменения в ВЯС Cystic changes in INL	0,98±0,67
Кистозные изменения в НПС+СГ Cystic changes in ONL+Genle layer	2,25±1,46
Отслойка НЭ в зоне разрыва Neuroepithelium detachment in hole area	0,55±0,38
Фовеолярная аваскулярная зона Foveal avascular zone	0,32±0,08

корреляция ( $R=0,24$ ,  $p<0,05$ ), более выраженная в проекции разрыва ( $R=0,51$ ,  $p=0,01$ ).

Послеоперационное изменение СЧ в наибольшей степени коррелировало с изменением плотности капилляров в ПКС (рис. 2) в проекции отслойки НЭ ( $R=0,32$ ,  $p=0,001$ ) и менее выражено в проекции интратретиальных КИ ( $R=0,19$ ,  $p=0,001$ ). Сходная взаимосвязь изменений СЧ в проекции отслойки НЭ и КИ отмечена с изменением плотности капилляров в ГКС ( $R=0,31$ ,  $p=0,001$ ).

Изменение амплитуды Р1 в послеоперационном периоде (рис. 3) значимо коррелировало с изменением перфузии в ПКС в проекции отслойки НЭ ( $R=0,38$ ,  $p=0,001$ ) и зоне разрыва ( $R=0,31$ ,  $p=0,001$ ). С изменениями плотности капилляров в ГКС взаимосвязь отмечена

в проекции интратретиальных КИ ( $R=0,31$ ,  $p=0,01$ ) и в зоне отслойки НЭ ( $R=0,28$ ,  $p=0,001$ ).

Между изменениями латентности Р1 и перфузии сетчатки в ПКС и ГКС не было выявлено значимой корреляции, в том числе в проекции отдельных структурных изменений.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В ряде исследований описано топографическое сопоставление результатов отдельных методов структурного и функционального анализа сетчатки при макулярной патологии, в том числе и при СМР [6, 8, 15–

Таблица 2

## Показатели ОКТА, МП и мФЭРГ до и после лечения СМР

Table 2

## OCTA, MP and mfERG data values before and after FTMH surgery

Период Period	Точка фиксации Fixation point	Зона разрыва Macular hole	Проекция КИ Intraretinal cystic changes	Проекция отслойки НЭ Neuroepithelium detachment	Интактная сетчатка Intact retina	Общая площадь Total area
Световая чувствительность, дБ Retinal sensitivity, dB						
до лечения before treatment	15,4±11,8 в	9,5±10,7 в	26,1±5,0 в	18,4±10,9 в	30,2±3,9	25,6±7,4
7 суток 7 days	24,9±5,0 в†	20,8±9,9 в†	26,3±3,9 б†	23,3±7,2 в†	28,3±2,3	26,6±4,7
3 месяца 3 months	28,6±4,0 †	27,9±4,9†	28,7±3,0†	27,8±4,0†	29,4±2,4	28,9±3,0
Латентность P1, мс P1 implicit time, ms						
до лечения before treatment	48,9±6,7 б	48,9±6,4 б	47,2±6,7 а	47,2±7,1 а	43,2±6,4	46,7±6,7
7 суток 7 days	49,5±8,8 б	46,8±6,3 а‡	46,5±7,7 а	46,3±6,9 а‡	44,1±5,8	46,3±6,9
3 месяца 3 months	49,2±4,7 б	47,0±6,6 а‡	47,1±6,2 а	45,4±5,8 ‡	44,7±5,9	46,9±6,2
Амплитуда P1, мкВ P1 amplitude, dB						
до лечения before treatment	0,27 ±0,16 в	0,23±0,18 в	0,33±0,16 в	0,27±0,14 в	0,47±0,16	0,35±0,17
7 суток 7 days	0,43±0,26 б†	0,38±0,27 в‡	0,43±0,20 б‡	0,43±0,22 б†	0,59±0,20	0,46±0,21
3 месяца 3 months	0,44±0,17 †	0,38±0,16 †	0,42±0,20 †	0,43±0,22 †	0,48±0,19	0,43±0,2
Плотность капилляров в поверхностном капиллярном сплетении, % Vessel density in the superficial capillary plexus, %						
до лечения before treatment	7,7 ±9,9 в	6,1±12,3 в	28,0±12,8 в	19,8±14,5 в	39,9±11,5	30,9±15,4
7 суток 7 days	9,6±9,8 в‡	8,6±12,6 в	30,1±11,3 в	22,5±12,9 в‡	40,1±11,8	32,1±14,6
3 месяца 3 months	13,1±11,4 в†	11,6±12,9 в†	31,0±11,4	25,1±13,8 в‡	40,5±11,1	33,3±13,9
Плотность капилляров в глубоком капиллярном сплетении, % Vessel density in the deep capillary plexus, %						
до лечения before treatment	4,9 ±7,4 в	1,8±2,8 в	20,3±10,7 в	12,3±10,5 в	36,6±8,3	25,2±14,0
7 суток 7 days	7,6±9,1 в‡	4,1±3,8 в†	24,0±9,5 в‡	17,0±9,9 в‡	36,6±8,7	27,2±12,8
3 месяца 3 months	9,9±10,0 в†	6,5±6,2 в†	24,9±8,9 в†	18,5±9,9 в†	37,5±7,9	28,6±12,2

Примечание. а -  $p < 0,05$ ; б -  $< 0,01$ ; в -  $< 0,001$  в сравнении со значениями интактной сетчатки;  
‡ -  $p < 0,05$  и † -  $p < 0,001$  в сравнении с исходными (предоперационными) показателями.

Note. а -  $p < 0,05$ ; б -  $< 0,01$ ; в -  $< 0,001$  compared with the values of the intact retina;  
‡ -  $p < 0,05$  and † -  $p < 0,001$  compared with baseline (preoperative) values

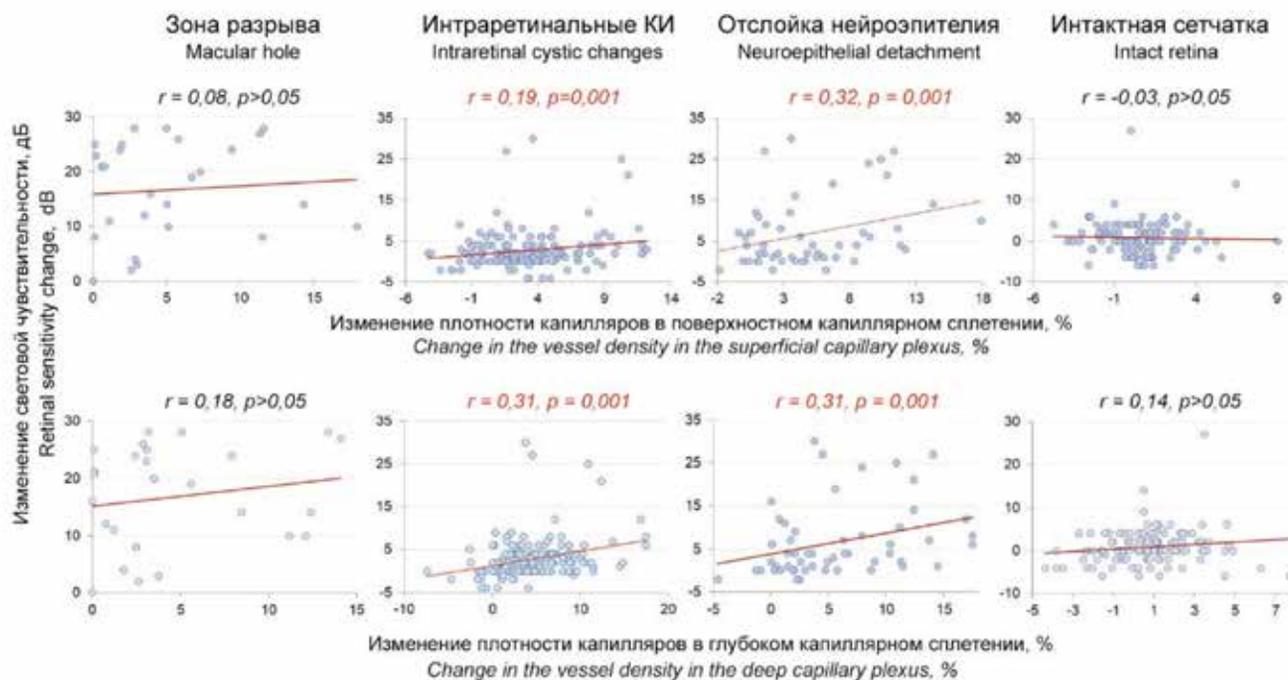


Рис. 2. Взаимосвязь послеоперационного изменения СЧ и перфузии сетчатки в проекции разрыва, отслойки НЭ, интратретиальных КИ и интактной сетчатке

Fig. 2. Correlation between postoperative changes in RS and retinal perfusion in the projection of the hole, NED, ICC and intact retina

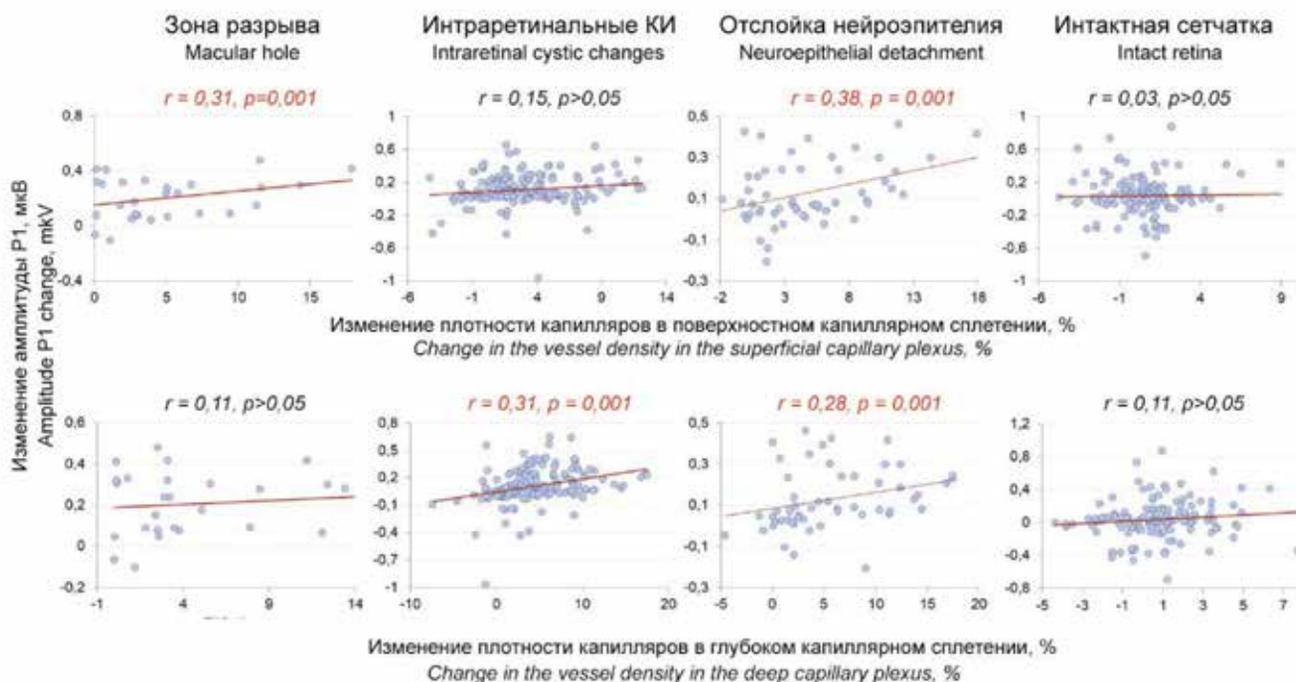
18]. Мы расширили мультимодальный подход, объединив возможности ОКТ, ОКТА, МП и мфЭРГ: регистрируемые локальные функциональные показатели МП и мфЭРГ топографически сопоставляются со структурными ОКТ-изображениями и анфас-изображениями ОКТ-А, позволяя изучать особенности патогенеза СМР и выявлять возможные прогностически значимые взаимосвязи. Совмещение результатов происходит по паттерну МП, где определяется точка фиксации, и паттерну мфЭРГ, в проекции гексагонов которого анализируются структурные изменения и капиллярная перфузия в отдельных участках сетчатки.

С использованием данного подхода ранее мы уже исследовали взаимосвязь различных показателей при СМР до проведения хирургического лечения, при этом было выявлено, что, в отличие от интактной сетчатки, при СМР между показателями СЧ и мфЭРГ в отдельных точках существует значимая связь, наиболее выраженная в зонах КИ, а также существует взаимосвязь между капиллярной перфузией в различных слоях сетчатки и ее биоэлектрической активностью. Было выдвинуто предположение, что снижение перфузии в макулярной области на уровне ГКС при длительно существующем разрыве может выступать предиктором более низкого функционального прогноза в исходе хирургического лечения СМР [19, 20].

Показатель СЧ характеризует общую функциональную активность сетчатки в конкретной тестируемой

точке, а показатели мфЭРГ позволяют оценить биоэлектротрогенез сетчатки на уровне преимущественно биполярных клеток и в меньшей степени фоторецепторов [6, 21]. Несмотря на то, что проекции отслойки НЭ и интратретиальных КИ частично совпадают, можно сказать, что показатели мфЭРГ в большей степени отражают влияние КИ на функциональное состояние нейроретины, а на СЧ может влиять наличие как отслойки НЭ, так и КИ.

До оперативного лечения наиболее низкие показатели при проведении МП и мфЭРГ регистрировали не только в зоне разрыва, но также в проекции интратретиальных КИ и отслойки НЭ по краю разрыва. Ранее было показано, что при СМР на фоне длительно существующей отслойки НЭ наблюдаются дегенеративные изменения наружных слоев сетчатки, при этом атрофия пигментного эпителия и дезорганизация сегментов фоторецепторов (т.е. утрата линии сочленения наружных и внутренних сегментов IS-OS) в зоне разрыва являются отрицательными прогностическими признаками успешности хирургического лечения [8, 11]. Интратретиальный отек с кистообразованием при длительном персистировании макулярного разрыва также ведет к угнетению функций сетчатки, и площадь кистозных изменений находится в зависимости от площади отслойки НЭ [5]. В проведенном нами исследовании не учитывалась давность СМР и, соответственно, давность отслойки НЭ, поскольку пациенты не всегда могли назвать точное время



**Рис. 3.** Взаимосвязь послеоперационного изменения амплитуды P1 и перфузии сетчатки в проекции разрыва, отслойки НЭ, интраретинальных КИ и интактной сетчатке

**Fig. 3.** Relationship between postoperative changes in P1 amplitude and retinal perfusion changes in the projection of the hole, NED, ICC and intact retina

возникновения симптомов. Тем не менее, после хирургического лечения СМР наблюдали признаки функционального восстановления сетчатки в макулярной области в различных ее слоях и в проекции различных структурных нарушений, включая отслойку НЭ и КИ, при этом между изменением показателей в послеоперационном периоде выявили значимую взаимосвязь, особенно сильную в зоне разрыва. В то же время присутствовали признаки сохраняющегося функционального дефицита: несмотря на увеличение СЧ и амплитуды P1, латентность компонента P1 не изменилась в сравнении с предоперационными значениями и осталась увеличенной относительно интактных участков сетчатки.

Известно, что при СМР не только увеличивается площадь ФАЗ, но также снижается перфузия сетчатки вокруг разрыва [7, 22, 23]. Тем не менее в опубликованных работах не были исследованы особенности перфузии сетчатки в зонах различных структурных изменений. В проведенном исследовании перфузия в макулярной области была значимо снижена на уровне ПКС и ГКС, при этом более выраженное снижение наблюдали в зонах, примыкающих к разрыву и особенно в проекции отслойки НЭ и КИ. Хотя увеличение объема сетчатки за счет отека само по себе снижает плотность распределения капилляров, тем не менее ранее было показано, что при кистозном макулярном отеке в макуле уменьшается количество капилляров [24]. При нарушении капиллярной

перфузии ишемия тканей ведет к усилению отека с нарушением функциональной активности клеток, что по механизму обратной связи ведет к дальнейшему усилению кистообразования. С этим согласуются и полученные результаты: при анализе локальных изменений перфузии сетчатки и связи с восстановлением ее функций наиболее значимые взаимосвязи отмечены именно в проекции отслойки НЭ и КИ.

Исходя из полученных результатов можно предположить, что угнетение функциональной активности сетчатки при СМР происходит не только вследствие формирования сквозного дефекта ткани с сопутствующим отеком и изменениями наружных слоев сетчатки, но и ухудшения кровоснабжения отдельных участков сетчатки. Наблюдаемая в работе взаимосвязь восстановления функциональных показателей и изменения перфузии сетчатки в различных ее участках и на различной глубине требует дальнейшего исследования ввиду возможности выявления новых прогностически значимых показателей при СМР.

Исследование имеет ряд ограничений. В частности, анализировали ограниченное количество случаев, поэтому для более убедительных выводов в дальнейшем необходимо исследование на большем количестве случаев СМР. Мы не можем исключить возможность пространственных смещений при наложении данных, хотя влияние этого фактора на результаты мы уменьшили, ис-

пользуя одинаковый протокол сопоставления данных различных исследований во всех случаях, а при проведении ОКТ-А для анализа использовали снимки максимального качества.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при использовании мультимодально-топографически-ориентированного подхода выявлена взаимосвязь в послеоперационном периоде изменений функциональных показателей в различных точках макулярной области с изменениями локальной перфузии на уровне как поверхностного, так и глубокого капиллярных сплетений, при этом взаимосвязь наиболее выражена в проекции отслойки нейроэпителия по краю разрыва и в зонах интратретиальных кистозных изменений.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Forsaas VA, Lindtjorn B, Kvaloy JT, Frøystein T, Krohn J. Epidemiology and morphology of full-thickness macular holes. *Acta Ophthalmol.* 2018;96: 397–404. doi: 10.1111/aos.13618
2. Ittarat M, Somkijrungrong T, Chansangpetch S, Pongsachareonnon P. Literature review of surgical treatment in idiopathic full-thickness macular hole. *Clin Ophthalmol.* 2020;14: 2171–2183. doi: 10.2147/OPHT.S262877
3. Steel DHW, Lotery AJ. Idiopathic vitreomacular traction and macular hole: A comprehensive review of pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Eye.* 2013;27: S1–21. doi: 10.1038/eye.2013.212
4. Шпак А.А., Шкворченко Д.О., Шарафетдинов И.Х., Юханова О.А. Функциональные результаты хирургического лечения идиопатических макулярных разрывов. *Вестник офтальмологии.* 2016;132(2): 14–20. [Shpak AA, Shkvorchenko DO, Sharafetdinov IKh, Yukhanova OA. Functional outcomes of idiopathic macular hole surgeries. *The Russian Annals of Ophthalmology.* 2016;132(2): 14–20. (In Russ.)] doi: 10.17116/oftalma2016132214-20
5. Nair U, Sheth JU, Indurkar A, Soman M. Intraretinal cysts in macular hole: A structure-function correlation based on en face imaging. *Clin Ophthalmol.* 2021;15: 2953–2962. doi: 10.2147/OPHT.S321594
6. Apostolopoulos MN, Koutsandrea CN, Moschos MN, Alonistiotis DA, Papaspyrou AE, Mallias JA, et al. Evaluation of successful macular hole surgery by optical coherence tomography and multifocal electroretinography. *Am J Ophthalmol.* 2002;134: 667–674. doi:10.1016/S0002-9394(02)01700-2
7. Teng Y, Yu M, Wang Y, Liu X, You Q, Liu W. OCT angiography quantifying choriocapillary circulation in idiopathic macular hole before and after surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017;255: 893–902. doi: 10.1007/s00417-017-3586-0
8. Chen WC, Wang Y, Li XX. Morphologic and functional evaluation before and after successful macular hole surgery using spectral-domain optical coherence tomography combined with micropertimetry. *Retina.* 2012;32: 1733–1742. doi:10.1097/IAE.0b013e318242b81a
9. Kim YJ, Jo J, Lee JY, Yoon YH, Kim JG. Macular capillary plexuses after macular hole surgery: An optical coherence tomography angiography study. *Br J Ophthalmol.* 2018;102: 966–970. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311132
10. Steel DH, Donachie PHJ, Aylward GW, Laidlaw DA, Williamson TH, Yorston D, et al. Factors affecting anatomical and visual outcome after macular hole surgery: findings from a large prospective UK cohort. *Eye.* 2021;35: 316–325. doi: 10.1038/S41433-020-0844-X
11. Caprani SM, Donati S, Bartalena L, Vinciguerra R, Mariotti C, Testa F, et al. Macular hole surgery: The healing process of outer retinal layers to visual acuity recovery. *Eur J Ophthalmol.* 2017;27: 235–239. doi: 10.5301/ejo.5000905
12. de Carlo TE, Romano A, Waheed NK, Duker JS. A review of optical coherence tomography angiography (OCTA). *Int J Retin Vitreous.* 2015;1: 1–15. doi: 10.1186/s40942-015-0005-8
13. Hoffmann MB, Bach M, Kondo M, Li S, Walker S, Holopigian K, et al. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2021 update). *Doc Ophthalmol.* 2021;142: 5–16. doi: 10.1007/s10633-020-09812-w
14. Gass JDM. Idiopathic senile macular hole: Its early stages and pathogenesis. *Arch Ophthalmol.* 1988;106: 629–639. doi: 10.1001/archophth.1988.01060130683026
15. Файзрахманов Р.Р., Зайнуллин Р.М., Гильманшин Т.Р., Ярмухаметова А.Л. Картирование фовеолярной области зоны сетчатки при идиопатическом макулярном разрыве. *Вестник ОГУ.* 2014;12(173):322–324. [Fajzrahmanov RR, Zajnullin RM, Gil'manshin TR, Jarmuhametova AL. Mapping of the foveolar region of the retinal zone in idiopathic macular rupture. *Vestnik Orenburg State University.* 2014;12(173): 322–324. (In Russ.)].
16. Afridi R, Agarwal A, Nguyen N V, Hassan M, Sadiq MA, Nguyen QD. Topographic correlation between multifocal electroretinography, micropertimetry, and spectral-domain optical coherence tomography of the macula in patients with birdshot chorioretinopathy. *J Ophthalmic Inflamm Infect.* 2019;9: 1–8. doi: 10.1186/s12348-019-0188-5
17. Bacherini D, Savastano MC, Dragotto F, Finocchio L, Lenzetti C, Bitossi A, et al. Morpho-functional evaluation of full-thickness macular holes by the integration of optical coherence tomography angiography and micropertimetry. *J Clin Med.* 2020;9: 229. doi: 10.3390/JCM9010229
18. Жоголев К.С., Панова И.Е. Функциональные, ОКТ-морфометрические и структурные показатели сетчатки в мониторинге течения ламеллярных макулярных разрывов. *Современные технологии в офтальмологии.* 2020;1: 319–324. [Zhogolev KS, Panova IE. Functional, OCT-morphometric and structural parameters of the retina in monitoring the course of lamellar macular holes. *Modern technologies in ophthalmology.* 2020;1: 319–324. (In Russ.)]. doi: 10.25276/2312-4911-2020-2-319-324
19. Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., Сосновский С.В. Фундус-контролируемая микропериметрия и мультифокальная электро-ретинография при идиопатических сквозных макулярных разрывах. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2022;17(4): 65–68. [Doktorova TA, Suetov AA, Boiko EV, Sosnovskiy SV. Fundus-controlled micropertimetry and multifocal electroretinography for idiopathic full-thickness macular holes. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center.* 2022;17: 65–68. (In Russ.)]. doi: 10.25881/20728255\_2022\_17\_4\_2\_65
20. Докторова Т.А., Суетов А.А., Бойко Э.В., Сосновский С.В. Влияние ретикулярной перфузии на биоэлектрическую активность сетчатки при сквозных макулярных разрывах. *Офтальмологические ведомости.* 2022;15(4): 7–14. [Doktorova TA, Suetov AA, Boiko EV, Sosnovskiy SV. The effect of retinal perfusion on the bioelectric activity of the retina in full-thickness macular holes. *Ophthalmology Reports.* 2022;15(4): 7–14. (In Russ.)]. doi: 10.17816/OV111903
21. Wang Z, Qi Y, Liang X, Yu Y, Chen J, Wang J, et al. MP-3 measurement of retinal sensitivity in macular hole area and its predictive value on visual prognosis. *Int Ophthalmol.* 2019;39: 1987–1994. doi: 10.1007/s10792-018-1032-x
22. Шкворченко Д.О., Крупина Е.А., Фомин А.В. ОКТ-ангиография в оценке результатов хирургического лечения макулярных разрывов. *Офтальмология.* 2019;16(3): 310–316. [Shkvorchenko DO, Krupina EA, Fomin AV. OCT Angiography in evaluation of the macular holes treatment results. *Ophthalmology in Russia.* 2019;16(3): 310–316. (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2019-3-310-316
23. Rizzo S, Savastano A, Bacherini D, Savastano MC. Vascular features of full-thickness macular hole by OCT angiography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina.* 2017;48: 62–68. doi: 10.3928/23258160-20161219-09
24. Spaide RF. Retinal vascular cystoid macular edema: Review and new theory. *Retina.* 2016;36: 1823–1842. doi: 10.1097/IAE.0000000000001158

### Информация об авторах:

**Тайсия Александровна Докторова**, врач-офтальмолог, аспирант, taisiadok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2162-4018>  
**Алексей Александрович Суетов**, к.м.н., врач-офтальмолог, ophtalm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8670-2964>  
**Эрнест Витальевич Бойко**, д.м.н., профессор, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

### Information about the authors

**Taisiia A. Doktorova**, Ophthalmologist, PhD Student, taisiadok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2162-4018>  
**Alexey A. Suetov**, PhD in Medicine, Ophthalmologist, ophtalm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8670-2964>  
**Ernest V. Boiko**, Doctor of Science in Medicine, Professor, boiko111@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7413-7478>

**Вклад авторов в работу:**

**Т.А. Докторова:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**А.А. Суетов:** сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**Э.В. Бойко:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактурирование текста и окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Authors' contribution:**

**Taisiia A. Doktorova:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**Alexey A. Suetov:** significant contribution to the collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**Ernest V. Boiko:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**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: 17.07.2023*

*Переработана: 13.08.2023*

*Принята к печати: 21.11.2023*

*Originally received: 17.07.2023*

*Final revision: 13.08.2023*

*Accepted: 21.11.2023*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ EXPERIMENTAL STUDIES IN OPHTHALMOLOGY

Научная статья  
УДК 617.7  
doi:

### Трансплантация суспензии эндотелиальных клеток в эксперименте *ex vivo*

Б.Э. Малюгин<sup>1, 2</sup>, С.А. Борзенко<sup>1, 2</sup>, О.П. Антонова<sup>1</sup>, Д.С. Островский<sup>1</sup>, З.Р. Эбзеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

<sup>2</sup>Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Единственным вариантом лечения пациентов с патологией эндотелиального слоя роговицы остается выполнение трансплантации роговицы с заменой всей роговицы или ее патологически измененных слоев. В последние два десятилетия внедряется в клиническую практику методика селективной замены эндотелия, а именно задняя послойная кератопластика, которая имеет преимущества перед сквозной кератопластикой. Дальнейшие усовершенствования этого метода привели к созданию методики, при которой трансплантируется изолированная Десцеметова мембрана с монослоем эндотелия без стромального слоя роговицы донора. Однако данная технология сопряжена с рисками развития интра- и послеоперационных осложнений, а также является технически сложно исполнимой. На сегодня ведутся разработки по внедрению технологии трансплантации эндотелиальных клеток (ЭК) роговицы без стромального слоя и даже без Десцеметовой мембраны. Трансплантация ЭК в виде суспензии имеет потенциал изменить подход к лечению эндотелиальных патологий роговицы с возможностью быстрого восстановления зрения и уменьшения потребности в донорском материале. **Цель.** Оценить эффективность трансплантации суспензии ЭК на кадаверном глазу в эксперименте *ex vivo*. **Материал и методы.** Для проведения эксперимента предварительно получали суспензию ЭК

роговицы модифицированным энзимным методом. Эксперимент по трансплантации суспензии ЭК разделили на 3 этапа. На первом этапе проводили расчет потери ЭК в зависимости от способа введения клеток. На втором этапе в качестве реципиента для полученной суспензии был использован корнеосклеральный диск. Третий этап проводили на кадаверном глазном яблоке. **Результаты.** В данном эксперименте нами подтверждена жизнеспособность трансплантированных ЭК и факт их эффективной адгезии к Десцеметовой мембране. По истечении одной недели культивирования методом иммуногистохимического анализа в образцах роговицы были определены характерные маркеры ЭК ZO-1, Na+/K+-АТФаза, Ki67, а также обнаружены единичные клетки, экспрессирующие виментин. **Заключение.** По результатам эксперимента по трансплантации суспензии ЭК можно отметить перспективность данной методики в хирургической реабилитации пациентов с дисфункцией роговичного эндотелия. Таким образом, представляется актуальным выполнение дальнейших экспериментальных исследований по достижению основной цели – полноценному заполнению дефекта центральной зоны задней поверхности роговицы изолированными ЭК при условии сохранения их морфологии и функциональной активности.

**Ключевые слова:** роговица, эндотелиальная дистрофия роговицы, суспензия эндотелиальных клеток, трансплантация эндотелиальных клеток роговицы ■

**Для цитирования:** Малюгин Б.Э., Борзенко С.А., Антонова О.П., Островский Д.С., Эбзеева З.Р. Трансплантация суспензии эндотелиальных клеток в эксперименте *ex vivo*. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Дмитрий Сергеевич Островский, dmitriy.ostrovskiy@gmail.com

#### ABSTRACT

Original article

### Transplantation of endothelial cell suspension in an *ex vivo* experiment

B.E. Malyugin<sup>1,2</sup>, S.A. Borzenok<sup>1,2</sup>, O.P. Antonova<sup>1</sup>, D.S. Ostrovskii<sup>1</sup>, Z.R. Ebzeeva<sup>1</sup>

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

2A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

**Relevance.** Corneal transplantation with entire cornea or anormal layers replacement remains the only treatment option for patients with corneal endothelium pathology. Selective endothelial replacement was

introduced into practice two decades ago, namely posterior lamellar keratoplasty, which has advantages over penetrating keratoplasty. Improvements of this method led to technique creation where isolated

Descemet's membrane with endothelium monolayer without stromal layer is transplanted. This technology is associated with risks of intra- and postoperative complications, and is difficult to perform. Nowadays, development is in progress of introducing corneal endothelial cells (CECs) transplantation without stromal layer and even without Descemet's membrane. CECs transplantation in suspension form has potential to change treatment approach of corneal endothelium pathologies giving possibility of rapid eyesight recovery and reducing need for graft material. **Purpose.** To evaluate effectiveness of corneal CECs suspension transplantation on cadaver eye in *ex vivo* experiment. **Material and methods.** CECs suspension was obtained by modified enzymatic method. CECs transplantation experiment consisted of 3 stages. Firstly, CECs loss was calculated depending on cell administration method. Secondly, corneal button was used as recipient for the obtained suspension.

The third stage was carried out on cadaver eyeball. **Results.** The viability of transplanted CECs and their effective adhesion to Descemet's membrane was confirmed in this experiment. The characteristic markers of CECs ZO-1, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase, Ki67 were determined in corneal samples by immunohistochemistry assay and single cells expressing Vimentin were detected after one-week cultivation. **Conclusion.** Based on transplantation experiment results, it can be noted this technique is quite promising in surgical rehabilitation of patients with corneal endothelial dysfunction. Thus, it seems relevant to continue research to achieve the main goal – to fully cover the defect of central zone of corneal posterior surface with isolated CECs given that their morphology and functional activity are preserved.

**Key words:** *cornea, endothelial corneal dystrophy, endothelial cell suspension, corneal endothelial cell transplantation* ■

**For citation:** Malyugin B.E., Borzenok S.A., Antonova O.P., Ostrovskii D.S., Ebezeva Z.R. Transplantation of endothelial cell suspension in an *ex vivo* experiment. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;4: XXXX. doi  
**Corresponding author:** Dmitrii S. Ostrovskii, dmitriy.ostrovskiy@gmail.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Патологии эндотелиального слоя роговицы различного генеза, включая как первичную генетически детерминированную эндотелиальную дистрофию роговицы Фукса, так и вторичную буллезную кератопатию, являются одними из наиболее часто встречающихся и требуют проведения оптической кератопластики [1]. Единственный эффективный вариант лечения таких пациентов – это выполнение трансплантации роговицы с полной или частичной заменой ее слоев на донорскую ткань. В практике офтальмохирургов у пациентов с эндотелиальной недостаточностью роговицы преобладает метод сквозной кератопластики. Однако в последние два десятилетия активно внедрялась в клиническую практику более патогенетически обоснованная методика селективной замены эндотелия – задняя послойная кератопластика (ЗПК) [2].

В ходе ЗПК у реципиента удаляется дефектный монослой эндотелия с подлежащей Десцеметовой мембраной (ДМ), после чего на подготовленное ложе укладывается предварительно выкроенный донорский трансплантат, состоящий из нескольких слоев: стромы роговицы, ДМ и монослоя эндотелиальных клеток (ЭК) [3]. Толщина заднего послойного трансплантата может варьировать в широких пределах, но в среднем составляет 120 мкм. Данная технология имеет массу преимуществ в сравнении со сквозной кератопластикой. Одним из главных является исключение необходимости проведения операции по типу «открытого неба», когда глазное яблоко реципиента полностью разгерметизировано, соответственно, минимизируется вероятность сопряженных с этим операционных осложнений. Также при ЗПК трансплантируется меньшее количество донорской тка-

ни, что, в свою очередь, снижает риск развития реакции отторжения.

Дальнейшие разработки метода ЗПК привели к ее усовершенствованию и созданию метода эндотелиальной кератопластики ЭК, при которой трансплантируется изолированная ДМ с монослоем эндотелия без стромального слоя роговицы донора (ТЭДМ) [4]. Метод ТЭДМ имеет ряд существенных преимуществ в сравнении с ЗПК, а именно: трансплантируется меньший объем донорской ткани, получается более предсказуемый оптический результат по причине минимального влияния трансплантата (толщина порядка 20 мкм) на послеоперационную рефракцию, улучшаются оптические свойства зоны интерфейса (между подлежащей стромой реципиента и адаптированной трансплантированной ДМ донора). Несмотря на высокую технологичность и результативность метода ТЭДМ, она несет ряд специфических интра- и послеоперационных осложнений: высокая вероятность повреждения ДМ в ходе заготовки трансплантата (при отсепаровке от стромы роговицы донора), скручивание мембраны в передней камере глаза реципиента после имплантации, возможность инверсной фиксации трансплантата (эндотелием к строме реципиента), отслойка мембраны в послеоперационном периоде [5].

В связи с вышесказанным существуют предпосылки для дальнейшего усовершенствования эндотелиальной кератопластики, при этом одним из путей является трансплантация суспензии ЭК непосредственно в переднюю камеру глаза реципиента. В случае культивирования ЭК донора имеется потенциал существенного увеличения пула клеток, пригодных для трансплантации. Это даст возможность использования одного донора на несколько пациентов. Данный факт может стать решением проблемы дефицита донорского материала, при-

годного для проведения эндотелиальной кератопластики. Еще одним преимуществом технологии прямой инъекции ЭК реципиенту является возможность использования доноров с исходно низкой плотностью эндотелиальных клеток не пригодных для целей трансплантации. Подобный донорский материал чаще всего отбраковывается, однако он может быть использован для реабилитации пациентов с дисфункцией эндотелия при условии разработки эффективной технологии имплантации суспензии ЭК.

К настоящему моменту опубликованы лишь две работы по клиническому применению культивированных клеток эндотелия роговицы человека [6, 7]. Стоит отметить, что данным методом были пролечены пациенты с буллезной кератопатией. Указанные работы базировались на серии доклинических исследований, а также на экспериментах с кадаверными глазами (модель *ex vivo*). S. Kinoshita и соавт. вводили клетки посредством инъекции в совокупности с ингибитором ROCK-киназы в концентрации  $1 \times 10^6$  кл/мл. В то время как P. Parikumar и соавт. использовали нанокompозитный гель в виде листка с культивированными клетками на его поверхности в концентрации  $5 \times 10^5$  кл/мл. Однако в данных исследованиях не была детально изучена миграция введенных клеток, что повлекло за собой большое количество споров об эффективности и конкретном вкладе клеточной культуры в получение положительных результатов. Также стоит отметить, что ни одна из групп не сообщила о каких-либо побочных эффектах у своих пациентов. S. Kinoshita и соавт. заявили о теоретической возможности попадания клеточной культуры в трабекулярную сеть и развития глаукомы. Следует, однако, подчеркнуть, что ни у одного из пациентов не было обнаружено данного осложнения на протяжении двух лет наблюдения.

На данный момент на территории Российской Федерации использование культивированных клеточных продуктов регламентируется Федеральным законом № 180 «О биомедицинских клеточных продуктах», что ограничивает использование полученных зарубежными коллективами результатов [8]. Также стоит отметить, что в данных работах применяется 8% фетальная бычья сыворотка, используемая для культивирования эндотелиальных клеток. Наличие ксеногенных продуктов представляет собой существенное ограничение для дальнейшего массового использования клеточных технологий. Стоит отметить, что на сегодня нет данных по разработке протокола получения и культивирования ЭК без использования ксеногенных продуктов. Однако применение суспензии нативных (некультивированных) клеток эндотелия роговицы позволяет легитимно использовать данный метод, не входя в противоречие с действующим законодательством. Данный вид трансплантации может рассматриваться как один из вариантов селективной эндотелиальной кератопластики [9].

Таким образом, в аспекте вышеизложенного комплекс вопросов, связанный с трансплантацией нативных кле-

ток эндотелия роговицы в современных условиях на территории Российской Федерации, является крайне актуальным, но не изученным. Трансплантация ЭК роговицы в виде их суспензии имеет потенциал кардинально изменить подход к лечению эндотелиальных патологий роговицы с возможностью быстрого восстановления зрения и уменьшения потребности в донорском материале.

## ЦЕЛЬ

Оценить эффективность трансплантации суспензии ЭК на кадаверном глазу человека в эксперименте *ex vivo*.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

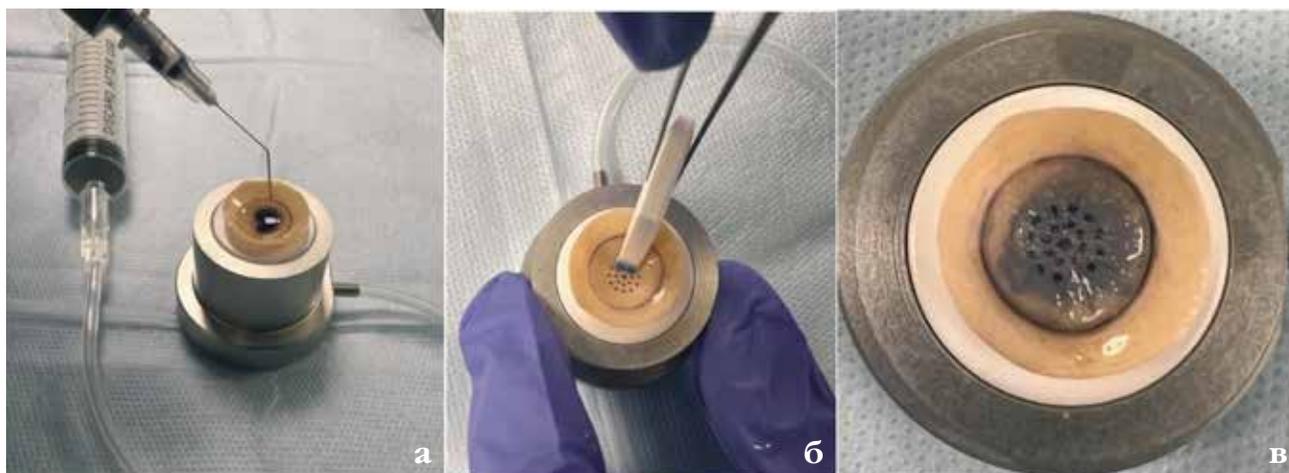
Ранее нами было опубликовано описание нескольких вариантов методики выделения ЭК и получения их суспензии [10].

Модифицированный энзимный метод выполняли путем предварительного выкраивания изолированной ДМ с эндотелием из кадаверной роговицы человека. ДМ переносили в пробирку типа Эппендорф, добавляли 0,3 мл трипсина (Invitrogen, США) и помещали в термошейкер: 300 rpm, при 37 °C в течение 5 мин. Инактивация проводилась 10-кратным разбавлением полученной суспензии консервационной средой для хранения роговицы («Раствор для хранения роговицы», ООО НЭП «Микрохирургия глаза», Москва) с последующим центрифугированием 5 мин, 900 об/мин при 37 °C.

Эксперимент по трансплантации суспензии ЭК был разделен на 3 этапа.

На первом этапе нами был проведен подсчет планируемой потери ЭК, связанной с процедурой введения суспензии клеток «реципиенту» при использовании стеклянной канюли. Для этого было подготовлено 3 пробирки Эппендорф, содержащих  $10 \times 10^4$  эндотелиальных клеток в 100 мкл среды для хранения роговицы, полученную суспензию однократно набирали в стеклянную канюлю с последующим переносом в чашку Петри для подсчета количества «трансплантированных» клеток в автоматизированном счетчике клеток Luna-II (Logos Biosystems, Южная Корея).

На втором этапе, в качестве модели реципиента для введения полученной суспензии использовали корнеосклеральный диск. Диск помещали в вакуумный трепан для донорских роговиц эндотелием вверх, предварительно до этапа удаления эндотелиальных клеток производили окрашивание роговицы раствором трипанового синего 0,15% (Membrane blue-Dual, DORC, Нидерланды) (рис. 1 а). Далее при помощи микротупфера механически и ирригационным методом – путем смыва струей сбалансированного солевого раствора (BSS) проводили деликатную зачистку эндотелия, при этом стараясь не повредить подлежащую ДМ (рис. 1 б). Диаметр зоны удаления



**Рис. 1.** Подготовка корneosклерального диска к инстиляции суспензии эндотелиальных клеток: а) окрашивание роговицы раствором трипанового синего; б) удаление эндотелиальных клеток при помощи микротупфера; в) дополнительное окрашивание после удаления эндотелиальных клеток с поверхности Десцеметовой мембраны

**Fig. 1.** Preparation of the corneoscleral disc for instillation of a suspension of endothelial cells: а) staining of the cornea with trypan blue solution; б) removal of endothelial cells using a microtupfer; в) additional staining after removal of endothelial cells from the surface of Descemet's membrane

эндотелиального монослоя составил 6 мм. Дополнительное окрашивание зоны воздействия проводили после удаления клеток с целью оценки полноты зачистки ДМ от эндотелиального монослоя (рис. 1 в).

Далее предварительно полученную суспензию в объеме 0,1 мл при помощи шприца объемом 1 мл, соединенного со стеклянной канюлей, наносили на корneosклеральный диск (рис. 2 а). При этом весь объем суспензии клеток концентрировался в носике стеклянной канюли (рис. 2 б), что позволило наиболее эффективно произвести трансплантацию клеток с минимальным объемом жидкости. Использование стеклянной канюли обосновано гладкостью ее стенок и минимальной вероятностью механического повреждения клеток в момент прохождения суспензии по просвету канюли. Имея физиологический изгиб, диск являлся резервуаром для инстиллированной суспензии, при этом максимальная концентрация клеток суспензии должна сосредотачиваться в центральной точке роговицы. Таким образом, имитируется положение пациента после проведенного хирургического вмешательства по трансплантации суспензии эндотелия «лицом вниз».

Далее корneosклеральный диск помещали в инкубатор при температуре 37 °С и 100% влажности на 4 ч, по-



**Рис. 2.** Введение суспензии эндотелиальных клеток на модель реципиента: а) инстиляция суспензии на корneosклеральный кадаверный диск человека; б) суспензия эндотелиальных клеток объемом 0,1 мл в носике

**Fig. 2.** Introduction of endothelial cell suspension into a recipient model: а) instillation of endothelial cell suspension on the human corneoscleral cadaveric disk; б) endothelial cell suspension of 0.1 ml in the spout of a glass cannula

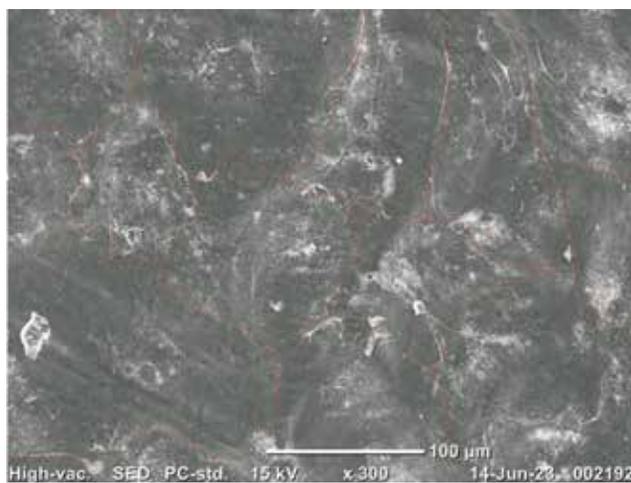
сле чего проводили оценку количества прикрепившихся эндотелиальных клеток к ДМ. Для этого суспензию забирали с задней поверхности роговицы и пересчитывали количество клеток в автоматизированном счетчике клеток Luna-II (Logos Biosystems, Южная Корея).

Третий этап эксперимента проводили на кадаверном глазном яблоке. Предварительно устанавливали донор-



**Рис. 3.** Глазное яблоко в инкубаторе, расположенное роговицей вниз, после имплантации суспензии эндотелиальных клеток

**Fig. 3.** Eyeball in the incubator positioned cornea downward after implantation of endothelial cell suspension



**Рис. 4.** Сканирующая электронная микроскопия кадаверной роговицы на 2-м этапе эксперимента. Ув. 300х, красными линиями выделены границы клеток, отмечается полное покрытие клетками ДМ

**Fig. 4.** Scanning electron microscopy of cadaveric cornea at the 2nd stage of the experiment. Eq. 300x, red lines mark cell boundaries, complete coverage of DM cells is noted

ский глаз в держатель. После деэпителизации при помощи роговичного метчика определяли центральную зону диаметром 6 мм. Далее при помощи металлического ножа шириной 2,2 мм выполняли роговичный разрез, после чего при помощи модифицированного обратного крючка Сински зачищали заднюю поверхность ДМ. Саму ДМ при этом старались не травмировать и не получить ее разрывов или отслойки. После чего в переднюю камеру глаза вводили раствор трипанового синего с це-

люю оценки эффективности удаления ЭК с поверхности мембраны. При этом получали насыщенное окрашивание центральной зоны роговицы по намеченному диаметру 6 мм. Насыщенное окрашивание ДМ свидетельствует об отсутствии эндотелиальных клеток в данной зоне. Далее при помощи инсулинового шприца и стеклянной канюли трансплантировали 0,1 мл суспензии в переднюю камеру кадаверного глаза. Хирургический доступ герметизировали наложением одного узлового шва (нейлон 10-0). Глазное яблоко в перевернутом виде помещали в инкубатор при температуре 37 °С и 100% влажности на 4 ч для прикрепления трансплантированных ЭК к ДМ (рис. 3). После чего роговичным трепаном диаметром 16 мм иссекали корнеосклеральный диск для органотипического культивирования с целью определения регенеративной способности к закрытию сформированного дефекта на ДМ, а также оценки сохранности фенотипа трансплантированных клеток. Срок культивирования составил 3-е суток, в культуральной среде, содержащей DMEM/F12, 2% – бычьей фетальной сыворотки, ингибитор Rho-киназы (ROCK), антибиотик и антимикотик. После культивирования были проведены сканирующая электронная микроскопия и иммуногистохимическое исследование.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе нами изучен процент потери ЭК в суспензии при прохождении через стеклянную канюлю. Для этого подсчитывали количество ЭК в готовой суспензии до прохождения через канюлю и после. Потеря ЭК составила  $10 \pm 2,5\%$

По результатам второго этапа эксперимента показано, что количество клеток в суспензии, забранной с поверхности корнеосклерального диска, составило около  $40 \pm 3,8\%$  от исходно введенного. Таким образом, через 4 ч после введения количество адгезированных к ДМ ЭК составляет около  $60 \pm 12\%$  от первично введенного в суспензии.

По завершении третьего этапа эксперимента методом сканирующей электронной микроскопии нами подтверждена жизнеспособность трансплантированных ЭК, а также факт их эффективной адгезии к ДМ (рис. 4). По истечении 1-й недели культивирования методом иммуногистохимического анализа в образцах роговицы были определены характерные маркеры ЭК ZO-1, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-АТФаза, Ki67, а также обнаружены единичные клетки, экспрессирующие виментин – маркер мезенхимальных клеток (рис. 5).

## ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенного нами эксперимента итоговая потеря трансплантированных в суспензии ЭК

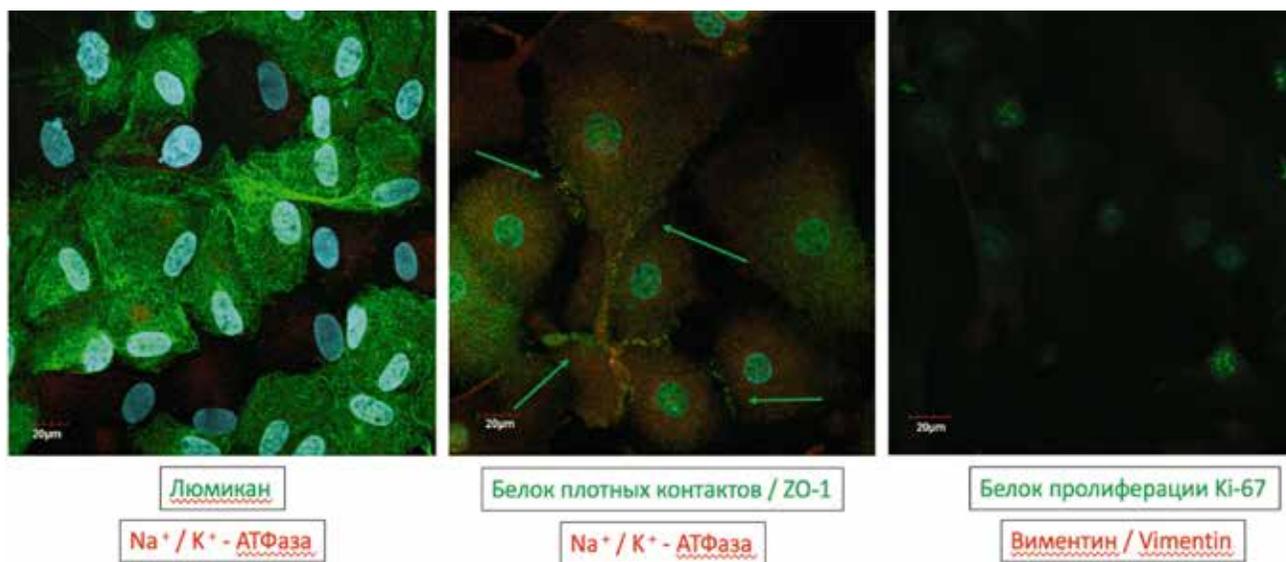


Рис. 5. Иммуногистохимическое исследование образца кадаверной роговицы во 2-м этапе эксперимента

Fig. 5. Immunohistochemical study of cadaveric cornea sample in the 2nd stage of the experiment

составила примерно  $50 \pm 9\%$ . С учетом формулы для изменения площади круга ( $S = \pi r^2$ ), можно пересчитать площадь Десметовой мембраны диаметром 6 мм с расчетом на плотность ЭК здоровой роговицы, равную  $3200 \text{ кл/мм}^2$ . Для полного покрытия указанного дефекта монослоем клеток, необходимо их количество примерно равное  $9 \times 10^4$ . В нашем эксперименте количество ЭК в полученной суспензии при подсчете на приборе cells counter составило порядка  $10 \times 10^4$  клеток. При этом после трансплантации суспензии на кадаверный корнеосклеральный диск нами было определено количество адаптированных на ДМ клеток в количестве порядка 50% от исходной величины, что составляет в абсолютных величинах  $5,4 \times 10^4$  клеток на весь диаметр. Известно, что критически низким является количество в  $500 \text{ кл/мм}^2$ , что достаточно для выполнения адекватной барьерной и насосной функции для поддержания прозрачности роговицы. Таким образом, для достижения минимальной плотности ЭК, способных поддержать прозрачность роговицы, необходимо введение не менее  $25 \times 10^4$  клеток, с учетом запланированной потери.

Следует отметить, что в нашем эксперименте клетки распределялись по ДМ неравномерно и где-то были собраны в конгломераты, между которыми были участки оголенной ДМ. Тем самым их функциональная способность, вероятно, может быть неполноценной и требует дальнейшего изучения. Очевидно, что для максимального эффекта и большей плотности адаптированных клеток на единицу площади требуется увеличение количества клеток в суспензии. При этом повышается вероятность, что они покроют ДМ в центральной зоне роговицы.

Еще одним критерием эффективности эксперимента является качественная зачистка ДМ от имеющихся ЭК реципиента. Говоря о возможных показаниях к методу трансплантации суспензии ЭК, следует упомянуть декомпенсацию эндотелиального монослоя по причине его ятрогенного повреждения (буллезная кератопатия) или первичной генетически детерминированной патологии (дистрофия роговицы Фукса). В таком случае мы исходим из того, что у пациента имеется либо критически низкая плотность клеток в центральной зоне роговицы, как это характерно для эндотелиальной дистрофии роговицы Фукса, либо практически полное их отсутствие, что присуще диагнозу «буллезная кератопатия». Имея в виду данный факт, мы не исключаем, что полноценность зачистки эндотелия с ДМ в реальной клинической практике не столь значимо. Однако для оценки результатов проводимого нами эксперимента это может иметь существенное значение. Учитывая пока еще не изученные возможные пути потери клеток (на этапе имплантации, адгезии на структурах передней камеры, миграции в задний отрезок и трабекулярную сеть и т.п.), дальнейшей задачей исследования является получение максимального количества ЭК в суспензии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, учитывая все вышеизложенное, представляется актуальным выполнение дальнейших экспериментальных исследований по достижению основной цели – полноценному заполнению дефекта центральной зоны задней поверхности роговицы изолированными

ми ЭК, при условии сохранения их морфологии и функциональной активности. Стоит отметить, что идея реализации культивации эндотелия с потенциальным применением полученного продукта в реальной клинической практике на сегодняшний день нечетко регламентирована нормативно. При этом, по нашему мнению, данный метод наиболее перспективен для целей оказания хирургической помощи максимальному количеству пациентов с дисфункцией роговичного эндотелия на фоне дефицита донорского материала.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Parikumar P, Naraguchi K, Senthilkumar R. Human corneal endothelial cell transplantation using nanocomposite gel sheet in bullous keratopathy. *Am J Stem Cells*. 2018;7(1): 18–24.
2. Kinoshita S, Koizumi N, Ueno M, Okumura N, Imai K, Tanaka H, Yamamoto Y, Nakamura T, Inatomi T, Bush J, Toda M, Hagiya M, Yokota I, Teramukai S, Sotozono C, Hamuro J. Injection of cultured cells with a ROCK inhibitor for bullous keratopathy. *N Engl J Med*. 2018; 995–1003.
3. Melles G, Ong S, Ververs B, Van der Wees J. Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK). *Cornea*. 2006;25(8): 987–990.
4. Weiss JS1, Møller HU, Aldave AJ, Seitz B, Bredrup C, Kivelä T, Munier FL, Rapuano CJ, Nischal KK, Kim EK, Sutphin J, Busin M, Labbé A, Kenyon KR, Kinoshita S, Lisch W. IC3D classification of corneal dystrophies-edition 2. *Cornea*. 2015;34(2): 117–159.
5. Gorovoy M. Descemet stripping automated endothelial keratoplasty. *Cornea*. 2006;25(8): 886–889.
6. Малюгин Б.Э., Шилова Н.Ф., Анисимова Н.С., Антонова О.П. Трансплантация эндотелия и Десцеметовой мембраны. *Вестник офтальмологии*. 2019;135(1):98–103. [Malyugin BE, Shilova NF, Anisimova NS, Antonova OP. Transplantation of endothelium and Descemet's membrane. *The Russian Annals of Ophthalmology*. 2019;135(1): 98–103. (In Russ.)]
7. Малюгин Б.Э., Гелястанов А.М., Антонова О.П. Тканесберегающая методика трансплантации Десцеметовой мембраны с монослоем эндотелиальных клеток для лечения эндотелиальной дисфункции. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2019;21(5): 157. [Malyugin BE, Gelyastanov AM, Antonova OP. Tissue-saving technique of Descemet membrane transplantation with endothelial cell monolayer for the treatment of endothelial dysfunction. *Russian Journal of Transplantology and Artificial Organs*. 2019;21(5):157. (In Russ.)]
8. Малюгин Б.Э., Шилова Н.Ф., Антонова О.П., Анисимова Н.С., Шормаз И.Н. Сравнительный анализ клинико-функциональных результатов задней послойной кератопластики с использованием фемтосекундного лазера и микрокератома. *Офтальмохирургия*. 2019;1: 20–26. [Malyugin BE, Shilova NF, Antonova OP, Anisimova NS, Shormaz I.N. Clinical and functional results following femtosecond laser-assisted DSEK versus microkeratome-assisted DSAEK surgeries. A comparative study. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2019;1: 20–26].
9. Федеральный закон от 23 июня 2016 г. № 180-ФЗ «О биомедицинских клеточных продуктах». Доступно по: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/23/stranitsa-967/federalnyy-zakon-ot-23-iyunya-2016-g-180-fz-o-biomeditsinskih-kletochnyh-produktah> [Ссылка активна на 28.09.2023] [Federal Law No. 180 of June 23, 2016 No. 180-FL «On biomedical cell products». Available from <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/23/stranitsa-967/federalnyy-zakon-ot-23-iyunya-2016-g-180-fz-o-biomeditsinskih-kletochnyh-produktah> [Accessed 28th September 2023] (In Russ.)]
10. Малюгин Б.Э., Борзенко С.А., Островский Д.С., Антонова О.П., Хубецова М.Х., Цикаришвили Н.Р. Разработка метода получения суспензии эндотелиальных клеток роговицы человека и ее последующей трансплантации в эксперименте ex vivo. *Офтальмохирургия*. 2022;4: 56–64. [Malyugin BE, Borzenok SA, Ostrovskii DS, Antonova OP, Khubetsova MKh, Tsikarishvili NR. Development of a method for obtaining a suspension of human corneal endothelial cells and its subsequent transplantation in an ex vivo experiment. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;4: 56–64. (In Russ.)]

### Информация об авторах

**Борис Эдуардович Малюгин**, д.м.н., профессор, boris.malyugin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5666-3493>

**Сергей Анатольевич Борзенко**, д.м.н., mdborzenok@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9160-6240>

**Ольга Павловна Антонова**, к.м.н., antonova.mntk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7414-0511>

**Дмитрий Сергеевич Островский**, к.б.н., dmitriy.ostrovskiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2817-7102>;

**Зухра Рашитовна Эбзеева**, врач-офтальмолог, ebzeeva.zuhra@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3074-5017>

### Information about authors

**Boris E. Malyugin**, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, boris.malyugin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5666-3493>

**Sergey A. Borzenok**, Doctor of Science in Medicine, Professor, mdborzenok@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9160-6240>

**Olga P. Antonova**, PhD in Medical Sciences, antonova.mntk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7414-0511>

**Dmitriy S. Ostrovskii**, PhD in Biological Sciences, dmitriy.ostrovskiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2817-7102>

**Zukhra R. Ebzeeva**, Ophthalmologist, ebzeeva.zuhra@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3074-5017>

### Вклад авторов в работу:

**Б.Э. Малюгин:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**С.А. Борзенко:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**О.П. Антонова:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**Д.С. Островский:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**З.Р. Эбзеева:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

### Authors' contribution:

**B.E. Malyugin:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**S.A. Borzenok:** significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**O.P. Antonova:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**D.S. Ostrovskii:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**Z.R. Ebzeeva:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**Финансирование:** Авторы получили грант в конкурсе «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (2021). Название гранта «Разработка метода получения суспензии эндотелиальных клеток роговицы человека и ее последующей трансплантации in эксперименте ex vivo». Номер: 22-25-00356.

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

**Конфликт интересов:** Отсутствует.

**Funding:** The authors received a grant in the competition «Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small individual scientific groups» (2021). The grant title is «Development of a method for obtaining a suspension of human corneal endothelial cells and its subsequent transplantation in an ex vivo experiment». Number: 22-25-00356.

**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: 22.10.2023

Переработана: 14.11.2023

Принята к печати: 30.11.2023

Originally received: 22.10.2023

Final revision: 14.11.2023

Accepted: 30.11.2023



## УЧЕБНО-СИМУЛЯЦИОННЫЙ ЦЕНТР

**КУРС WETLAB «СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ.**

**Продвинутый уровень», 36 часов**

**11–15 марта, 8–12 апреля, 7–11 октября, 4–8 ноября 2024 г.**

В Симуляционном центре Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» проводится обучение врачей, имеющих опыт хирургии переднего отрезка глаза и желающих повысить свою квалификацию.

Обучающийся получает навыки проведения современной деликатной хирургии катаракты, работы при слабости связочного аппарата хрусталика, быстрого и безопасного подшивания ИОЛ, а также сочетанной хирургии катаракты и глаукомы.

Программа курса разработана на основе многолетнего опыта работы специалистов Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза». Она включает изучение теории, самостоятельную отработку различных хирургических манипуляций на изолированных глазах животных, а также наблюдение в формате «живой хирургии» за операциями, которые проводят ведущие хирурги Центра:

- Шиловских Олег Владимирович, к. м. н., генеральный директор Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза», главный внештатный офтальмолог Свердловской области, заслуженный врач РФ;
- Иванов Дмитрий Иванович, д. м. н., заведующий II хирургическим отделением;
- Никулин Максим Евгеньевич, заведующий I хирургическим отделением.

Во время «живой хирургии» курсанты общаются с хирургами – задают вопросы, получают рекомендации. После выполняют операции в симуляционном центре под контролем специалистов.

*После прохождения полного курса обучения и успешной итоговой аттестации курсантам выдается документ о повышении квалификации установленного образца с внесением сведений об образовании в Федеральную информационную систему «Федеральный реестр сведений о документах об образовании и/или о квалификации, документах об обучении».*



Заявку направляйте через сайт Центра:

<https://www.eyeclinic.ru/specialist/obuchenie/zayavka-na-obuchenie/>

По всем вопросам пишите на e-mail: [wetlab\\_mntk@mail.ru](mailto:wetlab_mntk@mail.ru)

Лицензия на образовательную деятельность ЛО35-01277-66/00634269 от 28.12.2022  
АО «Екатеринбургский МНТК «Микрохирургия глаза»  
620149, Россия, г. Екатеринбург, ул. Академика Бардина, 4а.

## ВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ГЛАЗА OCULAR INFLAMMATION

Научная статья  
УДК 617.764.6-002  
doi:

### Комбинированная техника эндоскопической дакриоцисториностомии. Первый опыт

М.И. Шляхтов<sup>1</sup>, К.Г. Наумов<sup>1</sup>, М.Г. Катаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», Екатеринбург

<sup>2</sup>НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

#### РЕФЕРАТ

**Цель.** Разработка щадящего способа формирования дакриоцисториностомии при проведении эндоскопической дакриоцисториностомии (ДЦР) на основе использования современных малотравматичных методов, позволяющих получить лучшие результаты с наименьшим количеством осложнений. **Материал и методы.** Проведено хирургическое лечение пациентов, страдающих хроническим дакриоциститом, сопровождающимся непроходимостью носослезного протока. Формирование слезно-носового соустья производили с использованием различных современных энергетических методов на этапах эндоскопической ДЦР. Всего прооперировано 16 пациентов – 10 женщин и 6 мужчин. Средний возраст пациентов составил 67 лет. Средний срок наблюдения – 6 месяцев. **Результаты.** Анализ результатов показал, что у всех пациентов было сформировано адекватное слез-

но-носовое соустье. В ходе операции ни в одном случае не было эпизодов повреждения латеральной стенки слезного мешка (СМ), выраженного интраоперационного или послеоперационного кровотечения. Функциональный успех был отмечен в 93,75% (15/16) случаев. В 6,25% случаев (1/16) отмечалось образование послеоперационной гранулемы слизистой в области риностомы, препятствующей слезоотведению. **Выводы.** Сочетание управляемого низкотемпературного процесса абляции слизистой носа, ультразвуковой деструкции кости и лазерной дисцизии медиальной стенки СМ позволяет производить формирование адекватного слезно-носового соустья, значительно облегчает и ускоряет хирургическую процедуру, способствует лучшему заживлению мягких тканей в более короткие сроки.

**Ключевые слова:** хронический дакриоцистит, эндонозальная эндоскопическая дакриоцисториностомия, коблация, ультразвук, лазер ■

**Для цитирования:** Шляхтов М.И., Наумов К.Г., Катаев М.Г. Комбинированная техника эндоскопической дакриоцисториностомии. Первый опыт. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Михаил Иванович Шляхтов, brabus1406@yandex.ru

#### ABSTRACT

Original article

### A combined technique of endoscopic dacryocystorhinostomy. First experience

M.I. Shlyakhtov<sup>1</sup>, K.G. Naumov<sup>1</sup>, M.G. Kataev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eye Microsurgery Center, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup>S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

**Purpose.** To develop a delicate method of dacryorhinostomy formation during endoscopic dacryocystorhinostomy (DCR) based on modern less traumatic techniques allowing better results with lower complications rate. **Materials and methods.** Surgical treatment of patients suffering from chronic dacryocystitis with nasolacrimal duct obstruction was performed. Nasolacrimal anastomosis formation was performed using modern energy methods during steps of endoscopic

DCR. Totally, 16 patients were treated, ten females and six males. Mean age was 67 years. Mean follow-up period was 6 months. **Results.** In all patients an adequate nasolacrimal anastomosis was formed. During surgery there was no one case of damage to the lateral wall of the lacrimal sac (LS) or significant intra- and postoperative bleeding. Functional success was marked in 93.75% (15/16) of cases. In 6.25% (1/16) there was a postoperative granuloma in the rhinostomy

region which prevented tear passage. **Conclusion.** A combination of controlled low-temperature ablation of nasal mucous, ultrasound bone destruction and laser dissection of the medial wall of the LS allows creation of an adequate nasolacrimal anastomosis, makes surgery

significantly quicker and easier, enables better soft tissues healing in shorter terms.

**Key words:** *chronic dacryocystitis, endonasal endoscopic dacryocystorhinostomy, coblation, ultrasound, laser* ■

**For citation:** Shlyakhtov M.I., Naumov K.G., Kataev M.G. A combined technique of endoscopic dacryocystorhinostomy. First experience. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Mikhail I. Shlyakhtov, brabus1406@yandex.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Эпифора, или аномальное слезотечение, возникает вследствие обтурации слезоотводящей системы глаза, при которой нарушается нормальное поступление слезы в нос и развивается рецидивирующая инфекция. Лечение данной патологии заключается в фистулизации слезного мешка (СМ) в носовую полость. С этой целью выполняется операция дакриоцисториностомия (ДЦР) с применением различных доступов к СМ. В последнее время на первый план вышли различные виды эндоскопических вмешательств эндоназальным доступом [1–6], описанные впервые М. McDonogh и J. Meiring в 1989 г. [7]. При этом одним из сложных и ответственных этапов в формировании слезно-носового соустья является процесс удаления медиальной стенки СМ. Используемые для этого традиционные трансназальные способы с применением выкусывающих или режущих инструментов могут оказывать травматическое воздействие на латеральную стенку СМ и подлежащие ткани, сопровождаться обильным кровотечением и впоследствии приводить к выраженному рубцеванию в области сформированного соустья.

Для профилактики данного вида осложнений рядом авторов были разработаны антеградные трансканаликулярные способы с применением в ходе вмешательства различных лазеров. Модификации были описаны с использованием гольмиевого, YAG, аргонового и углекислотного лазера [8–13]. Все эти методы имеют свои преимущества и недостатки.

## ЦЕЛЬ

Разработка малотравматичной комбинированной техники эндоскопической ДЦР с использованием холодной плазмы, ультразвукового остеодеструктора и диодного лазера на разных этапах операции.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование были включены пациенты с диагнозом «хронический дакриоцистит». Все пациенты были

обследованы по стандартной методике, включая компьютерную томографию и промывание слезных путей с риноскопическим контролем. Пациенты с пресаккальной канальцевой обструкцией или сопутствующими синоназальными заболеваниями, такими как полипы, были исключены из исследования. Всего прооперировано 16 пациентов – 10 женщин и 6 мужчин. Средний возраст пациентов составил 67 лет. Во всех случаях заболевание было односторонним. В 80% случаев – левостороннее, в 20% – с правой стороны.

### Композитная техника

Операция выполнялась под общей анестезией. В начале операции проводились анемизация и анестезия слизистой носа турундами со смесью галазолина 0,1%, лидокаина 10% и эпинефрина. Под контролем прямого жесткого эндоскопа фирмы Karl Storz (Германия) (диаметр 3 мм) впереди средней носовой раковины под слизистую в месте проекции СМ вводился 2% раствор ультракаина с эпинефрином. Далее, после расширения слезных точек коническими зондами Зихеля № 1–3, под эндоскопическим контролем при помощи электрода EIC 8875-01 аппарата Coblator II (RF8000E) (США) короткими импульсами выполнялась холодноплазменная абляция участка слизистой носа размером 8х6 мм в зоне предполагаемой риностомы (рис. 1).

Для формирования костного «окна» риностомы применялся пьезоэлектрический ультразвуковой остеодеструктор SONOCA 185 фирмы Soring (Германия) со встроенной ирригационной помпой. Удаление костного массива выполнялось длинным сонотродом (100 мм) типа «Рашпиль» с ангулярностью рабочей поверхности 90° (рис. 2) с частотой колебаний 35 кГц. Поступательными движениями в передне-заднем направлении производилось разрушение костной ткани латеральной стенки носовой полости с образованием отверстия овальной формы в проекции СМ. Выполнялось удаление части лобного отростка верхней челюсти и слезной кости до обнажения медиальной стенки СМ в пределах зоны иссеченной ранее слизистой.

Далее, для завершения формирования слезно-носового соустья, в верхний слезный каналец вводился ригидный световод диодного лазера с ангулярностью 30° (рис. 3) и продвигался антеградно до внутренней стенки СМ. Формирование дакриоцисториностомы осуществлялось короткими последовательными импульсами по всему пе-



Рис. 1. Удаление коблатором лоскута слизистой носа

Fig. 1. Removal of nasal mucous flap using coblator



Рис. 2. Ультразвуковая деструкция кости

Fig. 2. Ultrasound bone destruction

риметру костного «окна» до полного удаления свободной медиальной стенки СМ (рис. 4).

Выполнялось контрольное промывание физиологическим раствором вновь сформированного слезоотводящего пути. Визуальный контроль носовой полости осуществляется при помощи эндоскопа с углом зрения 0°, введенного в полость носа.

Операция завершалась временной биканаликулярной интубацией силиконовой системой Vika фирмы FCI с клипированием стента в полости носа (рис. 5).

В послеоперационном периоде назначались эпibuльбарные инстилляциии глазных капель «Тобрадекс» (на оперированной стороне), орошение полости носа аэрозолем «Ринофлуимуцил» и солевым раствором «Аквмарис» в течение месяца. Интубационная система удалялась через 3 месяца.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов показал, что у всех пациентов было сформировано адекватное слезно-носовое соустье. В ходе операции ни в одном случае не было эпизодов повреждения латеральной стенки СМ, выраженного интраоперационного или послеоперационного кровотечения. Через 6 месяцев наблюдения функциональный успех был отмечен в 93,75% (15/16) случаев. В 6,25% (1/16) случаев отмечалось образование послеоперационной гранулемы слизистой в области риностомы, препятствующей слезоотведению. Гранулема была удалена в ранние сроки наблюдения. Рестенозов риностомы в отдаленном периоде выявлено не было. У всех пациентов отмечено полное восстановление функции слезоотведения.

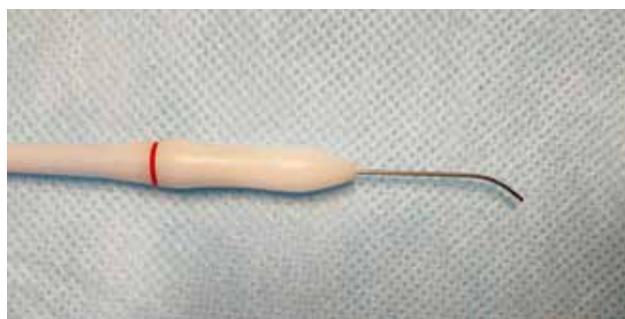


Рис. 3. Ригидный световод лазера с ангулярностью 30°

Fig. 3. Rigid laser optical fiber with 30° angulation

Анализируя предшествующий опыт проведенных нами холодноплазменных эндоскопических ДЦР, мы заметили, что повреждение латеральной стенки слезного мешка наблюдается в 7% случаев при первичном вмешательстве и в 15% – при проведении повторной операции, в связи с чем была разработана комбинированная методика, которая использует новейшие современные техники на каждом этапе оперативного вмешательства и позволяет достигать лучших результатов с наименьшим количеством осложнений.

Условно мы разделили операцию на три основных этапа. Первый этап – удаление слизистой оболочки носа в области формируемой риностомы, второй – создание костного «окна» и третий – иссечение медиальной стенки СМ. На первом этапе для удаления участка слизистой носа применялся метод холодноплазменной абляции, при котором минимально травмировались окружающие



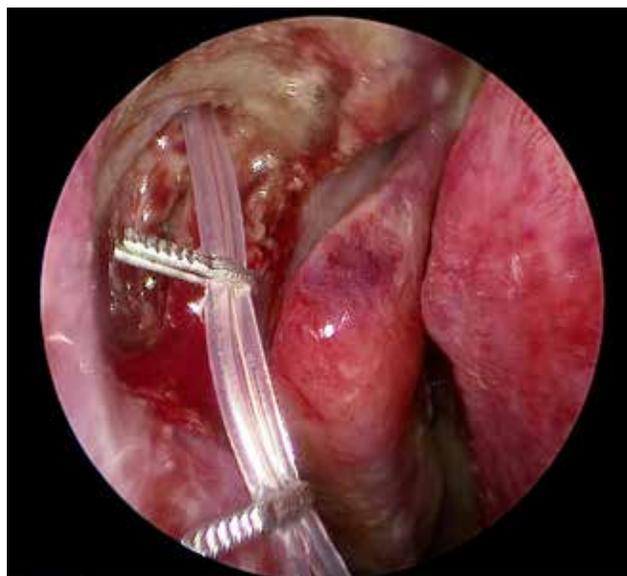
**Рис. 4.** Трансканаликулярная дисцизия медиальной стенки слезного мешка лазером

**Fig. 4.** Transcanalicular laser dissection of the lacrimal sac medial wall

ткани, обеспечивалась хорошая визуализация операционной зоны, исключалось интраоперационное кровотечение. При воздействии холодной плазмы происходило одновременное рассечение и коагуляция тканей и сосудов. Отсутствие чрезмерного теплового воздействия на нервные окончания заметно снижало болезненность в послеоперационном периоде [14].

Для формирования костного «окна» мы использовали ультразвуковой остеодеструктор, основным преимуществом которого являлось селективное воздействие на минерализованные костные структуры. При контакте рабочей части волновода с твердой костью последняя разрушалась под действием ультразвуковой кавитации. Прилежащие мягкие ткани, благодаря своим эластическим свойствам, при соприкосновении с волноводом не входили в колебательный резонанс, а смещались, сохраняя свою целостность. Низкотемпературный процесс костной деструкции позволял предотвратить преждевременное разрушение стенки СМ и распространение инфекционного содержимого в окружающие мягкие ткани, что обеспечивало заживление в более короткие сроки и снижало риск заражения риностомы [15, 16].

Известна технология лазерной антеградной ДЦР, при которой производится последовательное разрушение медиальной стенки СМ, участка прилежащей к ней кости и слизистой носа. Однако выполнение ее трансканаликулярно, с применением ригидного световода прямой направленности не позволяет получить дакриоцистиностому достаточного размера и нужной локализации (там, где мешок переходит в носослезный проток). При лазерном трансканаликулярном формировании дакрио-



**Рис. 5.** Интубация силиконового стента

**Fig. 5.** Intubation with silicone stent

риностомы происходит карбонизация костных и мягких тканей в области сформированного соустья, что препятствует быстрой эпителизации, а при определенных условиях может вызывать развитие воспаления, способствовать образованию синехий в носовой полости и блокировке слезотводящего пути в послеоперационном периоде. Одновременное воздействие высокотемпературной энергии лазера на стенку СМ, кость и слизистую носа приводит к возникновению ожогового струпа и требует выполнения последующей эндоназальной эндоскопической шейверной чистки риностомы до неповрежденных тканей, что удлиняет ход вмешательства и может сопровождаться интраоперационным кровотечением [17].

В нашем случае выполнялась щадящая трансканаликулярная антеградная лазерная дисцизия медиальной стенки СМ, под эндоскопическим контролем, не затрагивающая костные ткани, прилежащие участки слизистой носа и латеральную стенку СМ. Особое внимание следует обратить на то, что при этом полностью исключался риск травматизации латеральной стенки СМ и прилежащих тканей, что особенно актуально в случаях ранее оперированных и травматических дакриоциститов с рубцовыми деформациями стенок и атипичной локализацией СМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная нами комбинированная техника с использованием энергии холодной плазмы, ультразвука и лазерного излучения на различных этапах эндоскопиче-

ской ДЦР обеспечила успех в 93,75% случаев проведенных вмешательств. Использование контролируемой лазерной дисцизии на одном из этапов операции позволило создать соустье нужного размера и в нужном месте, и минимизировать процент осложнений.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Атькова Е.Л., Раменская Г.В., Рот А.О., Краховецкий Н.Н., Ярцев В.Д., Ярцев С.Д., Петухов А.Е., Шохин И.Е. Применение митомицина-С при эндоскопической эндоназальной дакриоцисториностомии. Вестник офтальмологии. 2017;133(5): 16–23. [Atkova EL, Ramenskaya GV, Root AO, Krakhovetsky NN, Yartsev VD, Yartsev SD, Petukhov AE, Shokhin IE. The use of mitomycin-C in endoscopic endonasal dacryocystorhinostomy. The Russian Annals of Ophthalmology. 2017;133(5): 16–23. (In Russ.)]
2. Васильева А.Ю., Красножен В.Н., Паштаев Н.П., Школьник С.Ф. Интубационные методы лечения дакриостенозов на современном этапе. Современные технологии в офтальмологии. 2015;3: 25–28. [Vasilyeva AYU, Krasnozhen VN, PashtaeV NP, Shkolnik SF. Intubation methods of dacryostenosis treatment at the present stage. Modern technologies in ophthalmology. 2015;3: 25–28. (In Russ.)]
3. Карпищенко С.А., Кузнецова Н.Ю. Современный подход к эндоскопической лазерной дакриоцисториностомии. Офтальмологические ведомости. 2008;1(1): 29–33. [Karpishchenko SA, Kuznetsova NYU. Modern approach to endoscopic laser dacryocystorhinostomy. Ophthalmology Reports. 2008;1(1): 29–33. (In Russ.)]
4. Gonnering RS, Lyon D.B., Fisher J.C. Endoscopic laser-assisted lacrimal surgery. Am J Ophthalmol. 1991;111: 152–157.
5. Javate RM, Campomanes BS, Co ND, et al. The endoscopic and the radiofrequency unit in DCR surgery. Ophthalmic Plastic Reconstr Surg. 1995;11: 54–58.
6. Школьник Г.С., Школьник С.Ф., Красножен В.Н., Паштаев Н.П. Эндоназальная эндоскопическая холодно-плазменная дакриоцисториностомия в лечении обструкции слезоотводящих путей. Современные технологии в офтальмологии. 2018;4: 267–269. [Shkolnik GS, Shkolnik SF, Krasnozhen VN, PashtaeV NP. Endonasal endoscopic cold-plasma dacryocystorhinostomy in the treatment of lacrimal tract obstruction. Modern technologies in ophthalmology. 2018;4: 267–269. (In Russ.)]
7. McDonogh M, Meiring JH. Endoscopic transnasal dacryocystorhinostomy. J Laryngol Otol. 1989;103(6): 585–587.
8. Metson R, Woog J], Puliafito CA. Endoscopic laser dacryocystorhinostomy. Laryngoscope. 1994;104(3 Pt 1): 269–274.
9. Massaro BM, Gonnering RS, Harris GJ. Endonasal laser dacryocystorhinostomy. A new approach to nasolacrimal duct obstruction. Arch Ophthalmol. 1990;108(8): 1172–1176.
10. Gonnering RS, Lyon DB, Fisher J.C. Endoscopic laser-assisted lacrimal surgery. Am J Ophthalmol. 1991;111(2): 152–157.
11. Patel BC, Phillips B, McLeish WM, Flaharty P, Anderson RL. Transcanalicular neodymium: YAG laser for revision of dacryocystorhinostomy. Ophthalmology. 1997;104(7): 1191–1197.
12. Ободов В.А., Шляхтов М.И. Возможности формирования пластического анастомоза при технологии эндоскопической дакриоцисториностомии. Офтальмология. 2014;11(4): 54–58. [Obodov VA, Shlyakhtov MI. Possibilities of plastic anastomosis formation using endoscopic dacryocystorhinostomy technology. Ophthalmology in Russia. 2014;11(4): 54–58. (In Russ.)]
13. Ободов В.А. Рецидивирующие дакриоциститы-эндоскопические технологии лечения. Практическая медицина. 2011;3(51): 22–25. [Obodov VA. Recurrent dacryocystitis-endoscopic treatment technologies. Practical medicine. 2011;3(51): 22–25. (In Russ.)]
14. Шляхтов М.И., Наумов К.Г. Способ формирования дакриостомы методом контролируемой абляции при проведении эндоназальной эндоскопической дакриоцисториностомии. Отражение. 2019;2: 50–54. [Shlyakhtov MI, Naumov KG. Method of dacryostomy formation by controlled ablation during endonasal endoscopic dacryocystorhinostomy. Otrazhenie. 2019;2: 50–54. (In Russ.)]
15. Mohammad Javed Ali 1, Manpreet Singh, Naja Chisty, Saurabh Kamal, Milind N. Naik Endoscopic ultrasonic dacryocystorhinostomy: clinical profile and outcomes. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2016;273(7): 1789–1793.

16. Шляхтов М.И., Наумов К.Г. Использование современных энергетических методов удаления костных тканей при проведении эндоскопической дакриоцисториностомии. Отражение. 2021;1: 61–66. [Shlyakhtov MI, Naumov KG. The use of modern energy methods of bone tissue removal during endoscopic dacryocystorhinostomy. Otrazhenie. 2021;1: 61–66. (In Russ.)]

17. Патент на изобретение № 2487690С1/20.07.2013. Бюл. №20. Ободов В.А., Шляхтов М.И., Борзенкова Е.С., Ободов А.В. Способ хирургического лечения хронического дакриоцистита. Доступно по: <https://patents.google.com/patent/RU2487690C1/ru> [Ссылка активна на 30.11.2023] [Patent RUS № 2487690C1/20.07.2013. Byul. 20. Obodov VA, Shlyakhtov MI, Borzenkova ES, Obodov A V. Method of surgical treatment of chronic dacryocystitis. Available from: <https://patents.google.com/patent/RU2487690C1/ru> [Accessed 30th November 2023] (In Russ.)]

### Информация об авторах

**Михаил Иванович Шляхтов**, зав. отделением хирургии слезных путей и окулопластики, brabus1406@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0936-7234>

**Константин Георгиевич Наумов**, врач-офтальмолог, хирург отделения хирургии слезных путей и окулопластики, kostn@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2665-9593>

**Михаил Германович Катаев**, д.м.н., профессор, зав. отделом реконструктивно-восстановительной и пластической хирургии, mkataev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7918>

### Information about the authors

**Mikhail I. Shlyakhtov**, Head of the Department of Lacrimal Tract Surgery and Oculoplasty, brabus1406@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0936-7234>

**Konstantin G. Naumov**, Ophthalmologist, surgeon of the Department of Lacrimal Tract Surgery and Oculoplasty, kostn@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2665-9593>

**Mikhail G. Kataev**, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Head of the Department of Reconstructive and Plastic Surgery, mkataev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7918>

### Вклад авторов в работу:

**М.И. Шляхтов:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста, редактирование.

**К.Г. Наумов:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, статистическая обработка данных.

**М.Г. Катаев:** редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

### Authors' contribution:

**M.I. Shlyakhtov:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing, editing.

**K.G. Naumov:** significant contribution to the concept and design of the work, statistical data processing.

**M.G. Kataev:** editing, final approval of the version to be published.

**Финансирование:** Авторы не получили 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: 18.10.2023  
Переработана: 14.11.2023  
Принята к печати: 30.11.2023

Originally received: 18.10.2023  
Final revision: 14.11.2023  
Accepted: 30.11.2023

## ВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ГЛАЗА OCULAR INFLAMMATION

Научная статья  
УДК 617.713-002  
doi:

### Бетагерпетические кератиты. Обоснование диагноза и тактики ведения пациентов

А.А. Тарханова, Д.Ю. Майчук, Е.Е. Зинич, М.Р. Таевере

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

#### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** В данной публикации представлен алгоритм ведения пациентов с рецидивирующим кератитом, ассоциированным с бетагерпесвирусами, а также изложены возможности лабораторной и инструментальной диагностики. **Цель.** На основе клинического опыта систематизировать алгоритм ведения пациентов с поверхностными бетагерпетическими кератитами, подтвержденными методом конфокальной микроскопии. **Материал и методы.** Под наблюдением в течение 12 месяцев находилась группа из 21 пациента (21 глаз) с рецидивирующим кератитом, ассоциированным с бетагерпесвирусами. Диагноз выставлялся на основании данных конфокальной микроскопии, клинической картины, результатов лабораторных исследований. Каждому пациенту группы было проведено усиленное двухэтапное ле-

чение аналогами нуклеозидов местно и системно, противовоспалительными и репаративными препаратами. **Результат.** Ремиссия в результате проведенного лечения была достигнута у 20 из 21 исследуемых. **Заключение.** Единственным методом достоверной диагностики кератита, ассоциированного с бетагерпесвирусами, является конфокальная микроскопия, определяющая наличие специфических для бетагерпесвирусов клеток по типу «совиного глаза». Ввиду частого рецидивирования, приводящего к увеличению зоны помутнения роговицы, терапия бетагерпетических кератитов требует двухэтапного лечения. На первом этапе обязательным является назначение усиленных дозировок аналогов нуклеозидов, второй этап лечения требует назначения местных глюкокортикоидов, длительной репаративной терапии.

**Ключевые слова:** кератит, герпесвирусы, цитомегаловирус, герпес вируса человека 6 типа, клетка «совиный глаз» ■

**Для цитирования:** Тарханова А.А., Майчук Д.Ю., Зинич Е.Е., Таевере М.Р. Бетагерпетические кератиты. Обоснование диагноза и тактики ведения пациентов. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Анастасия Андреевна Тарханова, anastasiyatarkhanova@icloud.com

#### ABSTRACT

Original article

### Betaherpetic keratitis. Substantiation of diagnosis and patient management tactics

A.A. Tarkhanova, D.Yu. Maychuk, E.E.Zinych, M.R. Taevere

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

**Relevance.** This publication presents an algorithm for the management of patients with recurrent keratitis associated with betaherpesviruses and outlines the possibilities of laboratory and instrumental diagnostics. **Purpose.** To systemize the algorithm for the management of patients with superficial keratitis associated with betaherpesviruses confirmed by confocal microscopy. **Material and methods.** A group of 21 patient (21 eye) with superficial keratitis associated with betaherpesviruses was under observation during 12 months. The diagnosis was made on the basis of confocal microscopy results, clinical picture and results of laboratory tests. Each patient received a two-stage treatment with nucleoside analogues locally and systemically; treatment with anti-inflammatory and reparative

medicine. **Results.** Remission as a result of the treatment was achieved in 20 of the 21 patients. **Conclusion.** The only reliable diagnostic method of keratitis associated with betaherpesviruses is a confocal microscopy, with identification of betaherpesvirus specific «owl's eye» cells. In view of frequent recurrence leading to increase of cornea opacity area, therapy of keratitis associated with betaherpesviruses requires a two-stage treatment. In first stage it is mandatory to prescribe increased dosages of nucleoside analogues, second stage requires prescription of local glucocorticoids and long-term reparative treatment.

**Key words:** keratitis, herpesviruses, cytomegalovirus, human herpesvirus 6, «owl's eye» cells ■

**For citation:** Tarkhanova A.A., Maychuk D.Yu., Zinych E.E., Taevere M.R. Betaherpetic keratitis. Substantiation of diagnosis and patient management tactics Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2023;4: XXXX. doi

**Corresponding author:** Anastasiya A. Tarkhanova, anastasiyatarkhanova@icloud.com

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Согласно мировой статистике, более 50% роговичной слепоты приходится на герпетический кератит. В настоящее время в России более чем у 200 тыс. человек в год диагностируются ассоциированные с герпесом поражения роговицы, что соответствует показателям, зарегистрированным в 1981 г. [1].

В соответствии с классификацией герпесвирусов выделяют подсемейства альфа, бета- и гаммагерпесвирусы. Среди них 7 типов, способных вызвать воспалительные заболевания тканей глаза человека.

Цитомегаловирусные кератиты и кератиты, вызванные вирусом герпеса человека 6-го типа (ВГЧ-6), согласно таксономии, относятся к подсемейству бетагерпесвирусов. Однако на сегодняшний день данные заболевания описаны недостаточно. Одной из причин можно назвать частое получение ложноотрицательных результатов при выполнении доступных методов лабораторной диагностики [2, 3].

Достоверным, описанным в литературе методом инструментальной диагностики цитомегаловирусного эндотелиита, является метод прижизненной конфокальной микроскопии. Однако исследования эпителия и передних слоев стромы роговицы при помощи конфокальной микроскопии у пациентов с доказанным бетагерпетическим кератитом ранее не давали эффективного результата [4].

Агрессивное течение бетагерпетического кератита, частая его хронизация и рецидивирование, приводящие к стойким увеличивающимся по площади помутнениям, подтверждают актуальность диагностики и лечения данного заболевания.

В культуре пораженных клеток возникает персистентная инфекция, клетки приобретают характерный цитомегалический вид по типу «совиного глаза». Строение ферментной системы бетагерпесвирусов обуславливает слабую чувствительность к ацикловиру, применяемому в лечении герпетических кератитов, ассоциированных с вирусом простого герпеса (ВПГ) 1-го и 2-го типов. Согласно данным А. Majewska и соавт., на сегодняшний день не существует специфических высокоэффективных и безопасных противовирусных препаратов против подсемейства бетагерпесвирусов, что ведет к необходимости использования высоких дозировок более современных препаратов и адаптации схем терапии бетагерпетических кератитов [5–7].

## ЦЕЛЬ

На основе клинического опыта систематизировать алгоритм ведения пациентов с поверхностными бетагерпетическими кератитами, подтвержденными методом конфокальной микроскопии.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под наблюдением находилась группа пациентов из 21 человека (21 глаз) в возрасте от 18 лет. Условиями включения пациентов в исследование стал кератит с вовлечением переднего эпителия и верхних слоев стромы роговицы в острой или подострой стадии, многократное рецидивирование воспалительного процесса в течение последнего года, а также обнаружение клеток по типу «совиного глаза» методом конфокальной микроскопии. Ранее в работах, проведенных в МНТК, с помощью конфокальной микроскопии нами были впервые выявлены подобные клетки в поверхностных слоях роговицы, что позволило с уверенностью отнести ряд поражений роговицы к группе бетагерпесвирусных кератитов [8].

При проведении конфокальной микроскопии были обнаружены патогномоничные для бетагерпетического кератита клетки, соответствующие ряду характеристик: округлая форма; размер, превышающий в 1,5 раза окружающие клеточные структуры, но не менее 20 мкм; наличие крупных гиперрефлективных включений, окруженных гипорефлективной зоной. Именно нахождение клеток по типу «совиного глаза» являлось основой диагностики бетагерпетических кератитов и было положено в основу необходимости более интенсивной и длительной терапии у данной группы пациентов.

Получаемая ранее пациентами терапия включала местные и системные противовирусные средства, антибактериальные препараты, в некоторых случаях противогрибковые. Также использовались противовоспалительные препараты: как стероидные, так и нестероидные, репаратанты, препараты искусственных слез. Соответственно все пациенты до включения в исследование уже получали терапию, не приводящую к выздоровлению или длительной ремиссии.

Критериями исключения стали: классические герпесвирусные поражения роговицы (поверхностный древовидный кератит, поверхностный картообразный кератит, стромальный дисковидный кератит, цитомегаловирусный эндотелиит); кератиты бактериальной и/или грибковой этиологии; возраст пациентов менее 18 лет.

Каждому пациенту группы были выполнены следующие исследования:

1) конфокальная микроскопия с использованием лазерного сканирующего томографа Heidelberg Retinal Tomographer HRT-III с насадкой Rostok Cornea Module (Heidelberg Engineering, Германия);

2) ряд лабораторных тестов (определение наличия вируснейтрализующих антител в крови методом иммуноферментного анализа (ИФА) к 6 типам герпесвирусов, исследование наличия ДНК 6 типов герпесвирусов в слезе и слюне методом полимеразной цепной реакции (ПЦР));

3) стандартное офтальмологическое обследование (исследование остроты зрения, внутриглазного давления, биомикроскопия).

Предлагаемая схема терапии включала два этапа.

Каждому пациенту группы в качестве первого этапа была проведена усиленная противовирусная терапия: системно валацикловир или фамцикловир в зависимости от тяжести процесса и ранее получаемого лечения, а также местно использовалась мазь глазная ацикловир либо при его доступности гель глазной ганцикловир. Дополнительно применялись нестероидные противовоспалительные препараты, антибактериальные/антисептические препараты с целью профилактики вторичного инфицирования (левофлоксацин, пиклоксидин, нанокластеры серебра), репаративные и слезозаместительные препараты.

Вторым этапом, после проведения активной противовирусной терапии, а также при условии полной эпителизации, пациентам назначались глюкокортикоиды (фторметолон) по убывающей схеме, обязательное длительное использование репаративных и препаратов искусственной слезы.

Для предупреждения рецидивирования патологического процесса каждые 3 месяца в течение 1 года пациентам группы назначались повторные курсы системных противовирусных препаратов.

В случае развития синдрома «сухого глаза» на фоне длительного течения заболевания назначался циклоспорин 0,05%.

Оценка эффективности назначаемой терапии проводилась по результатам биомикроскопии в динамике и субъективной оценке боли пациентом при помощи стандартизированной визуальной аналоговой шкалы (ВАШ) по 10-балльной шкале (0 баллов – боль отсутствует, 10 баллов – максимально возможная боль).

Состояние переднего эпителия роговицы оценивалось качественно (по площади и глубине) при помощи окрашивания флюоресцеином (FluoStrips, BIO GLO, Индия): 0 – окрашивания нет, 1 – следы окрашивания, 2 – слабое окрашивание, 3 – окрашивание средней степени выраженности, 4 – выраженное окрашивание, 5 – эрозия роговицы.

Оценка конъюнктивальной инъекции проводилась согласно 4-балльной оценочной шкале (0 – норма, 1 – слабая инъекция, 2 – умеренная инъекция, 3 – средняя инъекция, 4 – значительная инъекция).

Наличие и выраженность синдрома «сухого глаза» по завершении 1-го этапа лечения оценивалась пациентами субъективно при помощи опросника OSDI. Также исследовалась слезопродукция при помощи теста Ширмера-1 (полоски TearStrips, BIO GLO, Индия), проводилась динамическая оценка времени разрыва слезной пленки по Норну (FluoStrips, BIO GLO, Индия).

Средний возраст пациентов составил  $53 \pm 7$  лет. Срок наблюдения составил 12 месяцев. Оценка состояния пациентов проводилась спустя 1, 3, 6 и 12 месяцев с момента начала терапии.

### Клинический пример № 1

Пациент обратился с жалобами на чувство инородного тела, светобоязнь, слезотечение, боль в правом глазу, оцененную в 7 баллов по ВАШ.

Впервые отметил возникновение вышеуказанных жалоб около 1 месяца назад; на фоне терапии, назначенной по месту жительства, при которой наступала временная положительная динамика. В течение данного периода получил системно валацикловир в дозировке 1500 мг в сутки 7 дней, местно мазь глазную ацикловир 3 раза в день в течение 7 дней, бромфенак 0,09% 1 раз в день 14 дней, тобрамицин 0,3% 4 раза в день 14 дней, декспантенол 5% 3 раза в день в течение 1 месяца.

При проведении биомикроскопии правого глаза в день первого посещения визуализировались: конъюнктивальная инъекция (2 балла, согласно оценочной шкале), инфильтрат в оптической зоне роговицы с четкими границами с зоной деэпителизации над ним (4 балла, согласно оценочной шкале), диффузный отек, активный рост патологических сосудов (рис. 1 а, б).

В результате выполнения ИФА крови были выявлены повышенные титры IgG к цитомегаловирусу (ЦМВ), ВГЧ-6, ВПГ 1-го и 2-го типа. ПЦР-диагностика позволила выявить геном ВГЧ-6 в слюне и слезе.

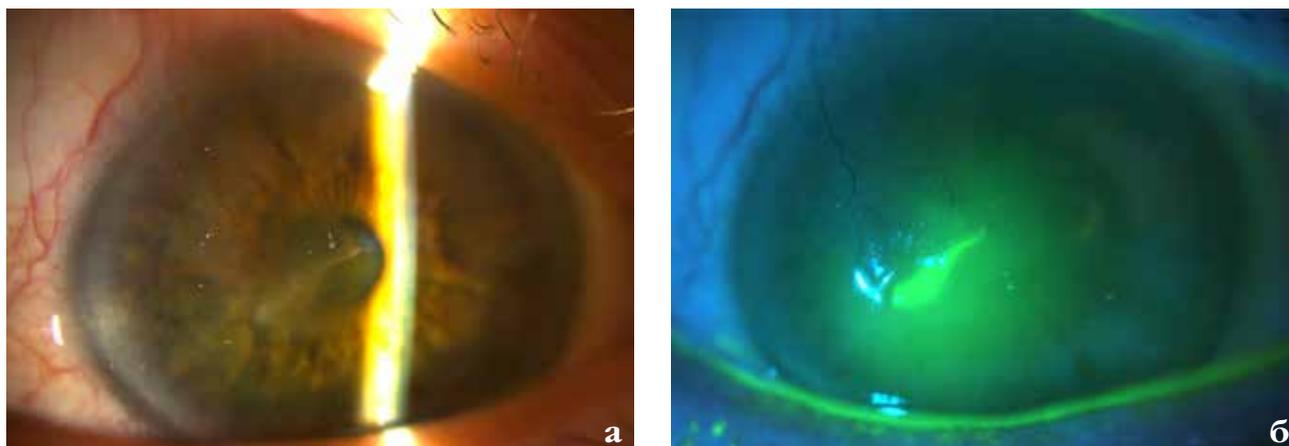
Проведение конфокальной микроскопии в проекции расположения инфильтрата выявило наличие патогномоничных цитомегалических клеток, диаметром 42 мкм на глубине ориентировочно 30 мкм, что позволило диагностировать ассоциированную с ВГЧ-6 инфекцию (рис. 2).

Причиной недостаточного терапевтического эффекта было признано следующее: недостаточный объем и длительность противогерпетической терапии аналогами нуклеозидов системно, отсутствие местных глюкокортикоидов в конце лечения, отсутствие слезозаместительной и репаративной терапии в межрецидивный период.

Нами было рекомендовано усиление противогерпетической терапии путем замены препаратов на более активные в отношении ВГЧ-6, а также увеличение количества репаративной терапии. Были назначены: per os фамцикловир 1000 мг в сутки в течение 10 дней, местно гель глазной ганцикловир 0,15% 4 раза в день 21 день, пиклоксидин 0,05% 4 раза в день до наступления полной эпителизации, бромфенак 0,09% 1 раз в день 14 дней, декспантенол 5% 4 раза в день до наступления эпителизации, аргенсепт (нанокластеры серебра) 4 раза в день на 1 месяц.

Спустя 14 дней с момента начала терапии отмечалось уменьшение болевого синдрома с 7 до 0 баллов по ВАШ. Биомикроскопически определялось уменьшение конъюнктивальной инъекции, оцениваемое в 1 балл, участков деэпителизации над инфильтратом не определялось (0 баллов, согласно оценочной шкале), уменьшение отека роговицы.

Схема терапии была скорректирована: местно фторметолон 0,1% по убывающей схеме (4 раза в день 7 дней,



**Рис. 1.** Биомикроскопия ОД в день обращения пациента: а) конъюнктивальная инъекция, инфильтрат в оптической зоне с участком дезэпителизации над ним, отек, васкуляризация; б) зона дезэпителизации над инфильтратом при закапывании флуоресцеина

**Fig. 1.** Biomicroscopy OD on a date of patient's encounter: a) conjunctival injection, optical zone infiltration with an area of deepithelization over it, oedema, vascularization; b) area of deepithelization over the infiltration after instillation of fluorescein

3 раза в день 7 дней, 2 раза в день 7 дней, 1 раз в день 7 дней), репаративный раствор офтальмологический (гиалуронат натрия, В-пантенол, натрия хондроитин сульфат) 4 раза в день для длительного постоянного применения.

В качестве противорецидивной терапии был назначен фамцикловир 1000 мг в сутки 10 дней спустя 3 и 6 месяцев от начала терапии.

Таким образом, положительная динамика в лечении была достигнута путем усиления противогерпетической терапии. Замена противовирусного препарата на фамцикловир, а также назначение фторметолон по достижении полной эпителизации позволили достигнуть стойкой ремиссии.

#### Клинический пример № 2

Пациентка обратилась с жалобами на повторяющиеся в течение года (каждые 2–3 месяца) выраженные явления роговичного синдрома слева, возникшие впервые после перенесенной коронавирусной инфекции. Другой патологии органа зрения диагностировано не было.

По месту жительства при впервые диагностированном кератите были назначены местно: ацикловир мазь глазная 2 раза в день 7 дней, левофлоксацин 0,5% 4 раза в день 7 дней, непафенак 0,1% 2 раза в день 7 дней, декспантенол 5% 2 раза в день 7 дней, системно ацикловир в таблетках в дозировке 200 мг 5 раз в день 5 дней. При последующих рецидивах в течение года назначались повторяющимися курсами различные местные антибактериальные препараты, нестероидные противовоспалительные средства, декспантенол 5%.

В первый визит в клинику биомикроскопически на роговице слева визуализировалось стромальное васкуляризованное помутнение с отложением липидов, за-

хватывающее оптическую зону роговицы, не окрашивающееся при закапывании флуоресцеина (рис. 3).

В результате проведенного ИФА крови был обнаружен высокий титр IgG к ЦМВ, также наличие IgG к ВПГ 1-го и 2-го типов, вирусом Эпштейна – Барр. Проведение ПЦР слезы и слюны выявило геном ЦМВ в слюне.

При проведении конфокальной микроскопии в зоне помутнения на глубине ориентировочно 40 мкм были обнаружены патогномичные цитомегалические клетки диаметром 38 мкм, что позволило определить наличие активной цитомегаловирусной инфекции (рис. 4).

Причиной недостаточного терапевтического эффекта было признано следующее: назначение недостаточно эффективного противогерпетического препарата в отношении бетагерпесвирусов, назначение недостаточного количества инстилляций в течение дня мази Ацикловир, назначение противовоспалительной терапии в острый период на 7 дней в недостаточном количестве, отсутствие глюкокортикоидов в конце лечения, отсутствие репаративной терапии в межрецидивный период.

Нами была предложена следующая схема терапии.

Несмотря на отсутствие рецидива на момент первичного обращения была проведена усиленная противовирусная терапия аналогами нуклеозидов в виде назначения внутрь валацикловира 2000 мг в сутки на 14 дней, затем 1500 мг в сутки еще на 14 дней, местно мазь глазная ацикловир 5 раз в день на 5 дней, бромфенак 0,09% 1 раз в день 10 дней, репаративный раствор офтальмологический (гиалуронат натрия, В-пантенол, натрия хондроитин сульфат) 4 раза в день для длительного постоянного применения.

Спустя 14 дней от начала лечения был назначен местный фторметолон 0,1% по убывающей схеме: 4 раза в

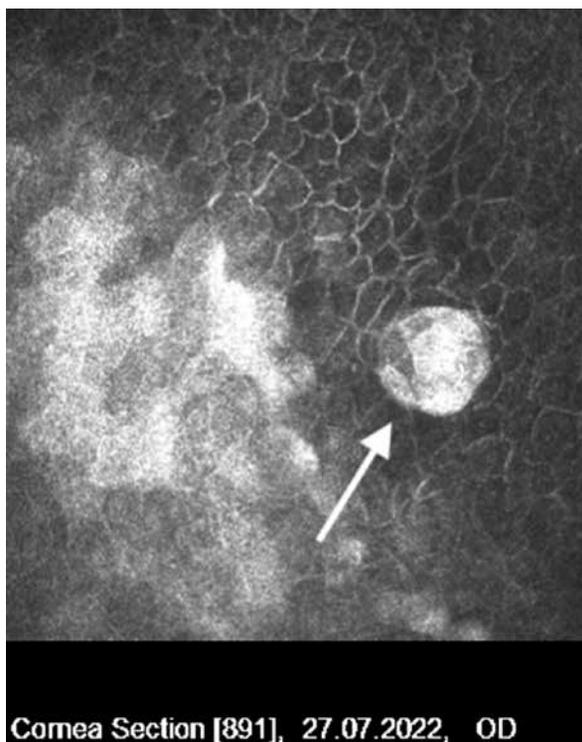


Рис. 2. Конфокальная микроскопия. Клетка по типу «совиного глаза» на глубине 30 мкм

Fig. 2. Confocal microscopy. «Owl's eye» cell at a depth of 30 μm

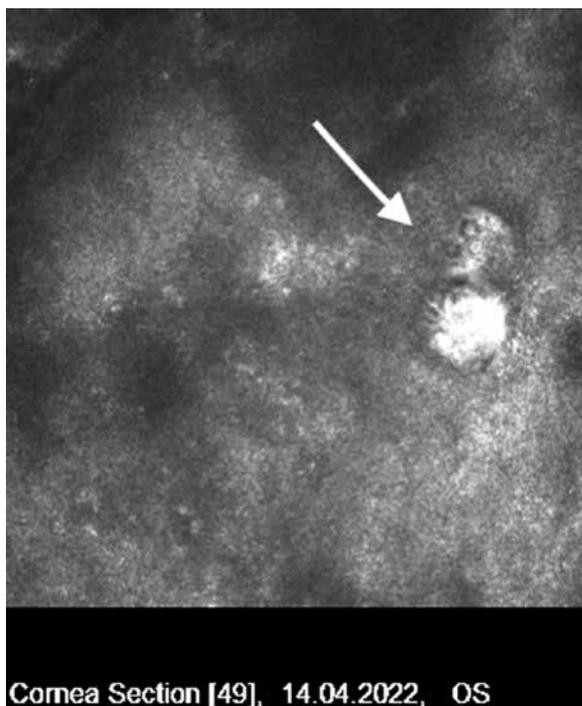


Рис. 4. Конфокальная микроскопия. Клетка по типу «совиного глаза» на глубине 40 мкм

Fig. 4. Confocal microscopy. «Owl's eye» cell at a depth of 40 μm



Рис. 3. Биомикроскопия OS в день обращения пациента. Визуализируется стромальное васкуляризованное помутнение

Fig. 3. Biomicroscopy OS on a date of patient's encounter. Imaging vascularized stromal opacity

день 7 дней, 3 раза в день 7 дней, 2 раза в день 7 дней, 1 раз в день 7 дней, искусственная слеза форте 4 раза в день.

В качестве предупреждения рецидивирования бетагерпесвирусной активной инфекции спустя 3 и 6 месяцев после окончания основного курса системного валацикловира были назначены еще два курса аналогичным препаратом в дозировке 2000 мг в сутки на 14 дней.

Таким образом, отсутствие острого воспаления на момент первичного осмотра также является показанием для назначения двухэтапного лечения. Положительная динамика, оцениваемая нами как отсутствие рецидивирования в течение срока наблюдения, была достигнута посредством назначения усиленной противовирусной терапии на первом этапе лечения, фтометолон по убывающей схеме и длительной репаративной терапии на втором этапе лечения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного в течение 12 месяцев наблюдения группы из 21 пациента, с доказанным методами лабораторной и инструментальной диагностики бетагерпетическим кератитом, ремиссия была достигнута у 20 исследуемых (95,2%). Случай рецидива, характеризующийся вновь появившимися жалобами на боль, чувство инородного тела и снижение зрения у одного пациента группы был диагностирован спустя 1,5 месяца от начала терапии.

На 14 день терапии у 100% пациентов болевой синдром по ВАШ снижался до 0 баллов, конъюнктиваль-

Таблица 1

Первый этап терапии бетагерпесвирусных кератитов

Table 1

First stage of treatment of keratitis associated with betaherpesviruses

Параметр Parameter	Противовирусные препараты Antiviral drugs	Противовоспалительные препараты Anti-inflammatory drugs	Антибактериальные препараты Antibacterial drugs	Репаративная и слезозаместительная терапия Reparative and tear replacement therapy
Название ЛС и схема его применения Medication name and scheme of use	<p>Валациклоvir 2000 мг в сутки 14 дней, затем 1500 мг в сутки 14 дней или Фамциклоvir 1000 мг в сутки 10 дней +</p> <p>Ациклоvir мазь глазная 5 раз в день 5 дней или Ганциклоvir гель глазной 4 раза в день 21 день</p> <p>Valacyclovir 2000 mg a day for 14 days, then 1500 mg a day for 14 days or Famciclovir 1000 mg a day for 10 days +</p> <p>Acyclovir eye ointment 5 times a day for 5 days or Ganciclovir ophthalmic gel 4 times a day for 21 day</p>	<p>Бромфенак 0,09 % 1 раз в день 10 дней</p> <p>Bromfenac 0,09 % 1 time a day for 10 days</p>	<p>Левифлоксацин 0,5% 4 раза в день 7 дней, затем Пиклоксидин 0,05% – 4 раза в день до момента наступления полной эпителизации</p> <p>Levofloxacin 0,5% 4 times a day for 7 days, then Picloxydine 0,05% – 4 times a day until the moment of complete epithelialization</p>	<p>Декспантенол 5% 3–4 раза в день до момента наступления полной эпителизации</p> <p>Аргентсепт – 4 раза в день 1 месяц</p> <p>Искусственная слеза форте раствор офтальмологический 4 раза в день длительно или Баларпан-Н – 4 раза в день длительно</p> <p>Dexpanthenol 5% 3–4 times a day until the moment of complete epithelialization</p> <p>Argensept – 4 times a day for 1 month</p> <p>Artificial tears ophthalmic solution 4 times a day long-term or Balarpan-N – 4 times a day long-term</p>

ная инъекция и состояние переднего эпителия роговицы, согласно оценочной шкале, составляли от 0 до 1 баллов.

На сроке 6 месяцев у 9,5% пациентов сохранялась слабая конъюнктивальная инъекция. По результатам прохождения опросника OSDI, теста Ширмера-1 и пробы по Норну у 9,5% пациентов был диагностирован синдром «сухого глаза» средней степени тяжести.

Учитывая выраженную положительную динамику в 95,2% случаев на фоне проводимой терапии, был сформирован двухэтапный алгоритм лечения пациентов с подтвержденным бетагерпетическим кератитом.

Результат терапии в виде стойкой ремиссии был достигнут благодаря назначению усиленных дозировок аналогов нуклеозидов в начале лечения с последующим назначением местных кортикостероидов (фторметолона) (табл. 1, 2).

Обязательным является назначение двух курсов системных аналогов нуклеозидов на сроке 3 и 6 месяцев терапии с целью профилактики рецидива (валациклоvir 2000 мг в сутки 10 дней).

На сроке наблюдения 3 месяца пациентами заполнялся опросник OSDI, проводилось исследование слезопродукции при помощи теста Ширмера-1, оценка времени разрыва слезной пленки по Норну. При верификации диагноза синдром «сухого глаза» средней степени и выше рекомендовано назначение циклоспорина 0,05% 2 раза в день на срок до 6 месяцев.

ОБСУЖДЕНИЕ

Контроль устойчивого рецидивирующего воспаления, ассоциированного с бетагерпесвирусами, возможен при условии назначения адекватной противовирусной терапии в начале лечения.

В мировой литературе «золотым» стандартом лечения и профилактики цитомегаловирусной инфекции любой локализации является ганциклоvir, что позволило нам определить препарат выбора для местного применения. Поскольку с 2004 г. ганциклоvir применяется только парентерально из-за своей нефро- и гематотоксичности, мы предлагаем использовать иные аналоги нуклеозидов. Нами выбраны валациклоvir и фамциклоvir, так как, являясь пролекарствами, они обладают значительно большей биодоступностью, нежели ациклоvir. Согласно статистическим данным, биодоступность ацикловира при пероральном применении достигает всего 15–30%, тогда как биодоступность валацикловира достигает 54%, фамцикловира 77% [9, 10].

Учитывая склонность воспалительного процесса к хронизации, а бетагерпесвирусов – к переходу в латентную персистирующую форму, обязательным является назначение двух дополнительных курсов системных противовирусных препаратов на 3 и 6 месяцев лечения [11].

Другим важным этапом контроля хронического воспаления является назначение местных стероидных пре-

Таблица 2

## Второй этап терапии бетагерпесвирусных кератитов

Table 2

## Second stage of treatment of keratitis associated with beta herpesviruses

Параметр Parameter	Стероидный противовоспалительный препарат Steroidal anti-inflammatory drugs	Репаративная и слезозаместительная терапия Reparative and tear replacement therapy
Название ЛС и схема его применения Medication name and scheme of use	Фторметолон 0,1% – 4 раза в день 7 дней, 3 раза в день 7 дней, 2 раза в день 7 дней, 1 раз в день 7 дней Fluorometholone 0,1% – 4 times a day for 7 days, 3 times a day for 7 days, 2 times a day for 7 days, 1 time a day for 7 days	Искусственная слеза форте раствор офтальмологический 4 раза в день длительно или Баларпан-Н – 4 раза в день длительно  Artificial tears ophthalmic solution 4 times a day long-term or Balarpan-N – 4 times a day long-term

паратов. Следует учитывать, что назначение глюкокортикоидов может привести к рецидиву герпетического процесса, поэтому обязательным является предварительное противовирусное лечение, контроль в динамике биомикроскопических данных, а именно стойкая эпителизация зоны инфильтрата.

В случае развития синдрома «сухого глаза» средней и тяжелой степеней тяжести рекомендовано назначать циклоспорин 0,05% курсом до 6 месяцев. Согласно литературным данным иммунологический ответ органа зрения на активность герпесвирусов, приводящий к рубцеванию и неоваскуляризации роговицы, успешно разрешается назначением циклоспорина, что приводит к уменьшению стромальной инфильтрации и увеличению остроты зрения. Однако в случаях назначения циклоспорина также требуется обязательная предварительная усиленная противогерпетическая терапия [12–14].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При подозрении на бетагерпетический кератит предпочтительным является проведение конфокальной микроскопии. Обнаружение патогномоничных клеток по типу «совиного глаза» в эпителии и верхних слоях стромы роговицы является единственным методом достоверной диагностики бетагерпетического кератита.

Ввиду частого рецидивирования, приводящего к увеличению зоны помутнения роговицы, терапия бетагерпетических кератитов требует двухэтапного лечения. На первом этапе обязательным является назначение усиленных дозировок аналогов нуклеозидов, второй этап лечения требует назначение местных глюкокортикоидов, длительной репаративной терапии. В случаях развития синдрома «сухого глаза» средней и тяжелой степеней тяжести возможно назначение циклоспорина 0,05%.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Клинические рекомендации. Герпетические заболевания глаз. Общероссийская общественная организация «Ассоциация врачей офтальмологов»; 2017. Доступно по: [https://www.ookob.ru/sites/default/files/kr\\_102\\_gerpeticheskie\\_zabolevaniya\\_glaz.pdf](https://www.ookob.ru/sites/default/files/kr_102_gerpeticheskie_zabolevaniya_glaz.pdf) [Ссылка активна на 27.10.2023]. [Clinical recommendations. Herpetic eye diseases. All-Russian public organization «Association of Ophthalmologists»; 2017. Available from: [https://www.ookob.ru/sites/default/files/kr\\_102\\_gerpeticheskie\\_zabolevaniya\\_glaz.pdf](https://www.ookob.ru/sites/default/files/kr_102_gerpeticheskie_zabolevaniya_glaz.pdf) [Accessed 27th October 2023] (In Russ.)]
2. Crimi S, Fiorillo L, Bianchi A, D'Amico C, Amoroso G, Gorassini F, Mastroianni R, Marino S, Scoglio C, Catalano F, Campagna P, Bocchieri S, De Stefano R, Fiorillo MT, Cicciù M. Herpes virus, oral clinical signs and QoL: Systematic review of recent data. *Viruses*. 2019;11(5): 463. doi: 10.3390/v11050463.
3. Чернакова Г.М., Майчук Д.Ю., Семенова Т.Б. Клиника, диагностика и терапия герпетического кератита на современном этапе: три грани одной проблемы. *Российский офтальмологический журнал*. 2017;10(1): 90–97. [Chernakova GM, Maichuk DYU, Semenova T.B. Clinical manifestations, diagnostics and therapy of herpetic keratitis today: three facets of one problem. *Russian Ophthalmological Journal*. 2017;10(1): 90–97. (In Russ.)] doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-1-90-97
4. Yokogawa H, Kobayashi A, Yamazaki N, Sugiyama K. In vivo imaging of coin-shaped lesions in cytomegalovirus corneal endotheliitis by anterior segment optical coherence tomography. *Cornea*. 2014;33(12): 1332–1335. doi: 10.1097/ICO.0000000000000269
5. Майчук Ю.Ф. Вирусные заболевания глаз. М.: Медицина; 1981. [Maichuk YuF. *Viral eye diseases*. Moscow: Medicina; 1981. (In Russ.)]
6. Majewska A, Mlynarczyk-Bonikowska B. 40 Years after the registration of acyclovir: do we need new anti-herpetic drugs? *Int J Mol Sci*. 2022;23(7): 3431. doi: 10.3390/ijms23073431.
7. Каспаров А.А. Офтальмогерпес. М.: Медицина; 1994: 222. [Kasparov A. *Ophthalmogerpes*. M.: Medicina; 1994: 222. (In Russ.)]
8. Патент РФ на изобретение №2789984/ 14.02.2023 Бюл. №5. Тарханова А.А., Таевере М.Р., Шпак А.А., Майчук Д.Ю., Пронкин И.А. Способ диагностики эпителиального и стромального цитомегаловирусного кератита. Доступно по: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=20e94f364a7109b95e97e677355fbd6d> [Ссылка активна на 27.10.2023]. [Patent RU №2789984/ 14.02.2023. Byul. №5. Tarkhanova AA, Taevere MR, Shpak AA, Maichuk DYU, Pronkin IA. Method of diagnosis of epithelial and stromal cytomegalovirus hepatitis. Available from: <https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=20e94f364a7109b95e97e677355fbd6d> [Accessed 27th October 2023] (In Russ.)]
9. Tavil B, Azik FM, Bozkaya I, Gokcebay DG, Tezer H, Tunc B, Uckan D. Prophylactic acyclovir and preemptive ganciclovir to prevent cytomegalovirus disease in children after hematopoietic stem cell transplant. *Exp Clin Transplant*. 2014;12(5): 462–468.

10. Kuo JY, Yeh CS, Wang SM, Chen SH, Wang JR, Chen TY, Tsai HP. Acyclovir-resistant HSV-1 isolates among immunocompromised patients in southern Taiwan: Low prevalence and novel mutations. *J Med Virol.* 2023;95(8): e28985. doi: 10.1002/jmv.28985

11. Каспарова Евг.А., Каспарова Е.А., Марченко Н.Р., Фадеева Л.Л., Баринский И.Ф., Павлюк А.С., Каспаров А.А. Диагностика, лечение и профилактика рецидивирующей герпетической эрозии роговицы. *Современные технологии в офтальмологии.* 2020;4(35): 69–70. [Kasparova EvgA, Kasparova EA, Marchenko NR, Fadeeva LL, Barinskii IF, Pavljuk AS, Kasparov AA. Diagnosis, treatment and prevention of recurrent herpetic erosion of the cornea. *Modern technologies in ophthalmology.* 2020;4(35): 69–70. (In Russ.)]

12. Asena L, Dursun Altınörs D. Application of topical 2% cyclosporine A in inflammatory ocular surface diseases. *Int Ophthalmol.* 2023;43(11): 3943–3952. doi: 10.1007/s10792-023-02796-x

13. Donnenfeld E, Pflugfelder SC. Topical ophthalmic cyclosporine: pharmacology and clinical uses. *Surv Ophthalmol.* 2009;54(3): 321–338. doi: 10.1016/j.survophthal.2009.02.002

14. Peyman A, Nayebzadeh M, Peyman M, Afshari NA, Pourazizi M. Topical cyclosporine-A versus prednisolone for herpetic stromal keratitis: a randomized controlled trial. *Acta Ophthalmol.* 2019;97(2): e194–e198. doi: 10.1111/aos.13913

#### Информация об авторах

**Анастасия Андреевна Тарханова**, врач-офтальмолог, anastasiyatarkhanova@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-1786-840X>

**Дмитрий Юрьевич Майчук**, д.м.н., maychuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1674-4656>

**Елена Евгеньевна Зиньч**, врач-ординатор, helen-zinych@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8415-4213>

**Мариам Рамазановна Таевере**, к.м.н., taeveremr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1013-6924>

#### Information about the authors

**Anastasiya A. Tarkhanova**, Ophthalmologist, anastasiyatarkhanova@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-1786-840X>

**Dmitrii Yu. Maichuk**, Doctor of Sciences in Medicine, maychuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1674-4656>

**Elena E. Zinych**, Ophthalmologist, helen-zinych@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8415-4213>

**Mariyam R. Taevere**, PhD in Medicine, taeveremr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1013-6924>

#### Вклад авторов в работу

**А.А. Тарханова:** существенный вклад в замысел и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста, редактирование.

**Д.Ю. Майчук:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Е.Е. Зиньч:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**М.Р. Таевере:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание статьи.

#### Authors' contribution:

**A.A. Tarkhanova:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing, editing.

**D.Yu. Maichuk:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, editing, final approval of the version to be published.

**E.E. Zinych:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**M.R. Taevere:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

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

**Согласие пациента на публикацию:** Получено.

**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:** Accepted.

**Conflict of interest:** There is no conflict of interest.

*Поступила: 08.11.2023*

*Переработана: 24.11.2023*

*Принята к печати: 28.11.2023*

*Originally received: 08.11.2023*

*Final revision: 24.11.2023*

*Accepted: 28.11.2023*

# ЗАБОЛЕВАНИЯ СЕТЧАТКИ МОГУТ РАЗВИВАТЬСЯ ОТ РОЖДЕНИЯ ДО СТАРОСТИ

**РН**

ретинопатия недоношенных

**ХНВ**

хориоидальная неоваскуляризация

**ОВВС**

окклюзия ветвей центральной вены сетчатки

**ОЦВС**

окклюзия центральной вены сетчатки

**ПДР**

пролиферативная диабетическая ретинопатия

**ДМО**

диабетический макулярный отек

**нВМД**

неоваскулярная возрастная макулярная дегенерация

**Ранибизумаб** — специально разработанная молекула для применения в офтальмологии с минимальным системным воздействием<sup>1,2</sup>.

⌵ Период полувыведения из глаза 9 дней<sup>1,2</sup>  
⌵ Системный период полувыведения 2 часа<sup>1,2</sup>

## Fab-фрагмент антитела

Fab — антигенсвязывающий фрагмент;  
Fc — кристаллизующийся фрагмент.

Fab — фрагмент  
Fc — фрагмент  
**Полноразмерное антитело**



Fc — рецептор (повышенная экспрессия при влажной ВМД)  
Fc — опосредованный транспорт в системный кровоток

Fab — фрагмент  
**Ранибизумаб**

Fc — связывание отсутствует

**Отсутствует активное выведение из тканей глаза, обусловленное неонатальным Fc — рецептором**

## Что важно для пациентов с угрожающими зрению заболеваниями сетчатки?

### Эффективность и безопасность:

- ⌵ Данные реальной клинической практики
- ⌵ Обширная наблюдательная программа
- ⌵ Больше 250 клинических испытаний<sup>3</sup>
- ⌵ Анти-VEGF терапия с наибольшим количеством показаний<sup>4</sup>

IVAN	VIEW	SECURE	LUMIERE
CATT	GEFAL	FUSION	SEVEN UP
LUMINOUS	ANCHOR	HORIZON	
MARINA	FOCUS	EXCITE	WAVE
SAVE	PIER	SAJLOR	LAST
PrONTO	EXTEND	BRAMD	COMPASS
HARBOR	FRBI	SUSTAIN	MONT BLANC

> 14

Лет применения<sup>1</sup>

> 71 424

Пациентов, участвовавших в исследованиях реальной клинической практики<sup>5</sup>

> 8,2 млн

Пациенто-лет продолжающихся исследований реальной клинической практики<sup>5</sup>

### Ретинопатия недоношенных

- ⌵ **Ретинопатия недоношенных** — это основная причина потери зрения у детей, которая может привести к пожизненной слепоте<sup>6</sup>
- ⌵ До **40%** недоношенных детей с тяжелой ретинопатией становятся слепыми или слабовидящими<sup>6</sup>
- ⌵ Терапевтическая **эффективность ранибизумаба** при лечении РН **выше**, чем у лазера<sup>6</sup>
- ⌵ Ранибизумаб **хорошо переносился** недоношенными детьми<sup>6</sup>
- ⌵ Ранибизумаб — это удобство применения с минимальным дискомфортом<sup>6</sup>
- ⌵ Применение ранибизумаба позволяет избежать осложнений, возможных при применении лазера (таких, как миопия, потеря периферического зрения)<sup>6</sup>

### Пациенты с ОВВС и ОЦВС

- ⌵ Окклюзии могут вызывать внезапную одностороннюю потерю зрения<sup>7</sup>
- ⌵ Для пациентов с тяжелыми формами патологии сетчатки важна эффективная терапия и минимизация нежелательных явлений
- ⌵ Стабильное улучшение остроты зрения вплоть до 5 лет терапии<sup>8</sup>
- ⌵ Ранняя терапия для быстрого и долгосрочного эффекта<sup>9-14</sup>
- ⌵ Эффективная терапия даже для пациентов с ишемическим ОВС<sup>15,16</sup>

КИ — клиническое исследование; ОВС — окклюзия вены сетчатки.

1. Инструкция по медицинскому применению лекарственного препарата Лувентис® ЛСР-004567/08, 2020. Зарегистрирован в России с 2019 г. [Электронный ресурс]. URL://grfs.rosminzdrav.ru/ (Дата обращения: 10.08.2023). 2. Hyuncheol Kim et al. FcRn receptor-mediated pharmacokinetics of therapeutic IgG in the eye. Molecular Vision. 2009; 15: 2803-2812. 3. ClinicalTrials.gov. https://clinicaltrials.gov/ct2/results?cond=&term=rانيبيزوماб+0.5&cntry=&state=&city=&dist=. Accessed 17 August 2022. 4. LUCENTIS® Summary of Product Characteristics; November 2021. 5. Novartis Data on File. Lucentis® DSUR. Novartis Pharma AG, November 2021. 6. Stahl A, et al. Ranibizumab versus laser therapy for the treatment of very low birthweight infants with retinopathy of prematurity (RAINBOW): an open-label randomised controlled trial. Lancet. 2019; 394(10208): 1551-1559. 7. Соля Мехта "Окклюзия центральной артерии сетчатки и окклюзия ветви центральной артерии сетчатки". Медицинский обзор апр 2022: [Электронный ресурс]. URL: https://www.msmanuals.com/ru/ (Дата обращения: 10.08.2023). 8. Hunter A, Williams M. Long-term outcomes for patients treated for macular oedema secondary to retinal vein occlusion: a systematic review. BMJ Open Ophthalmology. 2022 Jun; 7(1): e001010. DOI:10.1136/bmjophth-2022-001010. 9. Campochiaro P. A. et al. Ranibizumab for Macular Edema following BRVO: Six-Month Primary End Point Results of a Phase III Study. Ophthalmology. 2010; 117: 1102-1112. 10. Brown D. M. et al. Sustained Benefits from Ranibizumab for Macular Edema Following Branch Retinal Vein Occlusion: 12-Month Outcomes of a Phase III Study. Ophthalmology. 2011; 118: 1594-1602. 11. Brown D. M. et al. Ranibizumab for macular edema following CRVO. Ophthalmology. 2010; 117: 1124-1133. 12. Campochiaro P. A. et al. Sustained Benefits from Ranibizumab for Macular Edema following Central Retinal Vein Occlusion: Twelve-Month Outcomes of a Phase III Study. Ophthalmology. 2011; 118: 2041-2049. 13. Heier JS, et al. Ranibizumab for Macular Edema Due to Retinal Vein Occlusions: Long-term Follow-up in the HORIZON Trial. Ophthalmology. 2012; 119: 802-809. 14. Campochiaro P. A. et al. Long-term outcomes in patients with retinal vein occlusion treated with Ranibizumab: the RETAIN study. Ophthalmology. 2014; 121(1): 209-219. 15. Tadayoni R. et al. Sustained Benefits of Ranibizumab with or without Laser in Branch Retinal Vein Occlusion 24-Month Results of the BRIGHTER Study. Ophthalmology. 2017; 124: 1778-1787. 16. Larsen M. et al. Sustained Benefits from Ranibizumab for Central Retinal Vein Occlusion with Macular Edema: 24-Month Results of the CRYSTAL Study. Ophthalmology Retina. 2018; 2: 134-142. Только для медицинских и фармацевтических работников.

Для распространения в местах проведения медицинских выставок, семинаров, конференций и иных подобных мероприятий. Материал подготовлен при поддержке компании ООО «Новartis Фарма».

ООО «Новartis Фарма». 125315, г. Москва, пр-кт Ленинградский, д. 70. Тел.: +7 (495) 967 12 70. Факс: +7 (495) 967 12 68. www.novartis.ru

707638/LUC/AM/10.2023/0

Обзор  
УДК 617.7  
doi:

## Эссенциальная младенческая эзотропия

Д.Р. Мамулат, И.Л. Плисов, Н.Г. Анциферова, М.А. Шарохин, К.А. Белоусова, Г.В. Гладышева, В.Б. Пущина

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

### РЕФЕРАТ

**Актуальность.** Эссенциальная младенческая эзотропия (ЭМЭ) является наиболее распространенным типом детского косоглазия. Заболеваемость ЭМЭ в среднем варьирует от 0,1 до 1,0% в общей популяции детей, что является значимым для своевременной диагностики и оказания надлежащей помощи данной категории пациентов. Точная этиология младенческой эссенциальной эзотропии остается неизвестной, однако исторически был предложен ряд противоречивых теорий. **Цель.** Обобщить накопленный опыт в сфере изучения ЭМЭ для определения оптимального пути к реализации основной задачи лечения – достижения ортопозиции с последующим формированием бинокулярного зрения у данной категории пациентов. **Материал и методы.** Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2022 г. включительно. Всего было отобрано и проанализировано 32 статьи, относящихся к теме обзора. **Результаты.** Проанализировав данные литературы, можно сделать вывод, что на сегодняшний день не существует единой классификации ЭМЭ, но выделен определенный симптомокомплекс клини-

ческих проявлений, патогномичных для данного вида косоглазия. Обычно ЭМЭ манифестирует в первые 6 месяцев жизни, проявляется большой горизонтальной эзодевацией, может сопровождаться латентным нистагмом, компенсаторным поворотом головы, синдромом перекрестной фиксации. Этот тип косоглазия встречается у младенцев с нормальными показателями возрастной рефракции и нормальным неврологическим статусом. Клинический подход к тактике и методам лечения ЭМЭ широко варьирует в страбизмологическом мире. Существуют противоречивые мнения относительно следующих вопросов: оптимальные сроки для проведения операции, наиболее эффективный тип операции и что предопределяет благоприятный исход лечения эссенциальной врожденной эзотропии. **Заключение.** Многие аспекты ЭМЭ остаются спорными и нечетко определенными. Оптимально реализовать основную цель лечения ЭМЭ – достижение ортопозиции с последующим формированием бинокулярного зрения – посильная задача, которая в скором времени найдет решение.

**Ключевые слова:** эссенциальная младенческая эзотропия, латентный нистагм, синдром перекрестной фиксации, бинокулярное зрение ■

**Для цитирования:** Мамулат Д.Р., Плисов И.Л., Анциферова Н.Г., Шарохин М.А., Белоусова К.А., Гладышева Г.В., Пущина В.Б. Эссенциальная младенческая эзотропия. Офтальмохирургия. 2023;4: XXX. Doi

**Автор, ответственный за переписку:** Дарья Римовна Мамулат, oftalm2015@mail.ru

### ABSTRACT

Review

#### Essential infantile esotropia

D.R. Mamulat, I.L. Plisov, N.G. Antsiferova, M.A. Sharokhin, K.A. Belousova, G.V. Gladysheva, V.B. Pushchina

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Novosibirsk Branch, Novosibirsk, Russian Federation

**Relevance.** Essential infantile esotropia (EIE) is the most common type of childhood strabismus. The incidence of EIE varies on average from 0.1 to 1.0% in the general population of children, which is significant for timely diagnosis and provision of appropriate assistance to this category of patients. The exact etiology of infantile essential esotropia remains unknown, but historically a number of conflicting theories have been proposed. **Purpose.** To summarize the accumulated experience in the field of studying EIE to determine the optimal path to achieving the

main goal of treatment – achieving orthoposition with the subsequent formation of binocular vision in this category of patients. **Material and methods.** To complete the review, a search of literature sources was carried out in the PubMed and Scopus abstract databases for the period up to 2022 inclusive. A total of 32 articles relevant to the review topic were selected and analyzed. **Results.** Having analyzed the literature data, we can conclude that today there is no unified classification of infant essential esotropia, but a certain symptom complex of clinical

manifestations has been identified that are pathognomonic for this type of strabismus. Usually, EIE manifests in the first 6 months of life, appears a large horizontal esodeviation, may be accompanied by latent nystagmus, compensatory head rotation, and cross-fixation syndrome. This type of strabismus occurs in infants with normal age-related refraction and normal neurological status. The clinical approach to tactics and methods of treatment of infantile esotropia varies widely in the strabismus world. There are conflicting opinions regarding the following issues: the optimal

timing for the operation, the most effective type of operation, and what determines the favorable outcome of the treatment of essential congenital esotropia. **Conclusion.** Many aspects of EIE remain controversial and poorly defined. To optimally realize the main goal of EIE treatment – achieving orthoposition with the subsequent formation of binocular vision – is a feasible task, which will soon find a solution.

**Key words:** *essential infantile esotropia, latent nystagmus, cross fixation syndrome, binocular vision* ■

**For citation:** Mamulat D.R., Plisov I.L., Antsiferova N.G., Sharokhin M.A., Belousova K.A., Gladisheva G.V., Pushchina V.B. Essential infantile esotropia. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2023;4: XXX. Doi  
**Corresponding author:** Dar'ya R. Mamulat, oftalm2015@mail.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Термин врожденная, или инфантильная, эзотропия обсуждается детскими офтальмологами уже на протяжении пяти десятилетий. Эссенциальная младенческая эзотропия (ЭМЭ) является наиболее распространенным типом детского косоглазия. Обычно ЭМЭ манифестирует в первые 6 месяцев жизни, проявляется большой горизонтальной эздевиацией, может сопровождаться латентным нистагмом, компенсаторным поворотом головы, синдромом перекрестной фиксации. Этот тип косоглазия встречается у младенцев с нормальными показателями возрастной рефракции и нормальным неврологическим статусом [1].

## ЦЕЛЬ

Обобщить накопленный опыт в сфере изучения ЭМЭ для определения оптимального пути к реализации основной задачи лечения – достижения ортопозиции с последующим формированием бинокулярного зрения у данной категории пациентов.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed и Scopus за период до 2022 г. включительно. Всего было отобрано и проанализировано 32 статьи, относящихся к теме обзора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Патофизиология эссенциальной младенческой эзотропии*

ЭМЭ проявляется при отсутствии сочетанных неврологических заболеваний и поэтому не связана с

нарушениями сенсомоторной зрительной системы. Большинство случаев являются ненаследственными и не имеют определенной генетической этиологии [2].

Точная этиология ЭМЭ остается неизвестной, исторически были предложены две противоречивые теории. Первая была представлена С. Worth в 1903 г. Он предположил, что эта форма эзотропии является «врожденным дефектом фузии». Далее он описывал это как необратимый дефект способности головного мозга к слиянию, а процесс восстановления бинокулярного зрения при этом как невозможный. «Сенсорной» теории С. Worth противостояла «моторная» теория F.B. Chavasse (1939), который предполагал, что головной мозг обладает соответствующим механизмом для слияния, но эффект отклонения глаз от общей точки фиксации нарушил способность пациента к развитию слияния. Он рассудил, что основная проблема носит механический характер и потенциально излечима, если косоглазие можно устранить в младенчестве [3].

Современные представления о патогенезе ЭМЭ описаны E.C. Samros в 1999 г. и заключаются в том, что нормального моторного слияния при данной патологии не бывает, т.е. имеется прямое нарушение в центре моторного слияния, который расположен в среднем головном мозге [4].

M.C. Brodsky и соавт. (2007) высказали мнение о том, что основным фактором, предрасполагающим к развитию младенческой эзотропии, является иннервационный дисбаланс, который характеризуется нарушением между тонической конвергенцией и дивергенцией, которые, в свою очередь, являются ответственными за отклонения глаз [5].

В своей гипотезе D.L. Guyton (2006) использовал адаптацию к вергенции и адаптацию к длине мышц, чтобы объяснить, как небольшая иннервация может медленно перерастать с течением времени в большое постоянное косоглазие. По его мнению, адаптация вергенции относится к уровням тонуса, которые обычно работают для поддержания исходного выравнивания глаз и, таким образом, минимизации несоответствия изображения на сетчатке. Следовательно, адаптация к вергенции может

способствовать постепенному усилению простых глазодвигательных нарушений и созданию условий для возникновения эзодевии при патологических состояниях. При этом адаптация (изменение) длины мышц связана с изменением длины экстраокулярных мышц из-за увеличения или потери ее саркомеров. Изменение (укорочение) длины мышц частично обусловлено физиологическими эффектами адаптации конвергенции [6].

#### Эпидемиология

Заболеваемость ЭМЭ в среднем варьирует от 0,1 до 1,0% в общей популяции детей, что является значимым для своевременной диагностики и оказания надлежащей помощи данной категории пациентов и их родителям. Хотя она присутствует с рождения, чаще проявляется и остается постоянной до 6-месячного возраста ребенка [7].

Как сообщается в метаанализе Н. Hashemi и соавт. (2019), предполагаемая распространенность эзотропии составляет 0,77% [8].

В других исследованиях А.Е. Greenberg и соавт. (2007) сообщались схожие результаты: инфантильная эзотропия составляет 8,1% всех форм эзотропии [9], в то время как S.M. Archer (1989) и соавт. сообщили о заболеваемости 0,5% в исследовательской группе, которую составляли 582 ребенка из общей популяции [10].

Ранее сообщалось (Robb R.M., 1986) о более высокой частоте инфантильной эзотропии, возможно, у детей с расстройствами центральной нервной системы или отдельными формами эзотропии с ранним началом, которые, как было показано, встречаются чаще, чем инфантильная эзотропия [11].

Повышенная распространенность инфантильной эзотропии также может быть частично связана с ее очевидной повсеместностью в амбулаторных условиях; обычно ассоциированные с данным видом косоглазия расстройства амблиопии, дисфункция нижней косой мышцы, диссоциированные вертикальные отклонения, нистагм неизменно приводят к более частым и неотложным консультациям в кабинете врача, увеличивая частоту обследований по сравнению с другими формами детской эзотропии [9].

#### Классификация

На сегодняшний день не существует единой классификации ЭМЭ, но выделен определенный симптомокомплекс клинических проявлений, патогномоничных для данного вида косоглазия.

Исторически термин «врожденное косоглазие» использовался для описания постоянной эзотропии с началом в период от рождения до 6-месячного возраста ребенка. Однако этот термин охватывал множество эзотропий с разными этиопатогенетическими факторами возникновения, клиническими особенностями и прогнозами.

В 1988 г. G.K. von Noorden [12] описал это заболевание как рано приобретенное, а не врожденное, хотя

врожденные факторы могут способствовать его развитию в возрасте от 3 до 6 месяцев. Такое же состояние ранее было описано другими офтальмологами, в частности А. Ciancia (1962), J. Lang (1968), и получило название синдрома «Ciancia», или синдрома «перекрестной фиксации». Позднее Е.М. Helveston (1993) дополнительно разъяснил и расширил работу G.K. von Noorden и включил работы J. Lang и А. Ciancia в свое резюме клинических характеристик данного состояния:

- возникает от рождения до 6 месяцев жизни ребенка;
- характеризуется большим углом косоглазия (свыше 30 пр. дптр);
- характерна стабильная величина угла косоглазия;
- нет связи с аномалиями центральной нервной системы;
- гиперметропическая коррекция не устраняет или незначительно уменьшает величину косоглазия;
- часто связана с ослаблением абдукции и чрезмерной аддукцией;
- первоначальное чередование косоглазия с синдромом «перекрестной фиксации»;
- ограниченный потенциал бинокулярного зрения;
- также возможно наличие или отсутствие таких сопутствующих состояний, как дисфункция косых мышц, диссоциированная вертикальная девиация, асимметричный оптокинетикический нистагм, шейный тортиколиз [13].

Термины «врожденная эзотропия», «инфантильная эзотропия», «идиопатическая эзотропия» и «эссенциальная инфантильная эзотропия» часто используются взаимозаменяемо.

Ведущие страбизмологи и оптометристы консолидировали его определение в классификации аномалий движения глаз и косоглазия (The Classification Of Eye Movement Abnormalities and Strabismus, CEMAS) [14].

Кардинальные признаки ЭМЭ, предложенные в классификации CEMAS, быть представлены в виде *таблицы*.

#### Показания и сроки проведения хирургического лечения

Многие аспекты ЭМЭ остаются спорными и нечетко определенными. Существуют противоречивые гипотезы относительно ранней хирургии ЭМЭ. Некоторые авторы считают, что очень ранняя хирургия ЭМЭ в возрасте до 6 месяцев, когда стереогенез наиболее интенсивный, оптимальна для достижения стабильной ортотропии и хороших перспектив для развития стереопсиса у ребенка в будущем. Также считается, что достаточно сложно получить точные измерения угла косоглазия в основных диагностических позициях взгляда у младенца и высока вероятность достижения спонтанной ремиссии в раннем возрасте. Эти факторы относят к основным недостаткам очень ранней хирургии ЭМЭ [15].

Отдельного внимания заслуживает мнение E.D. Costenbader (1961), утверждавшего, что детские глазные болезни лучше лечить в раннем возрасте, даже если требуется проведение хирургического лечения. Он произ-

Таблица

## Кардинальные признаки эссенциальной младенческой эзотропии

Table

## Cardinal signs of infantile essential esotropia

<p>Критерий Criteria</p>	<p>Раннее начало (первые 6 месяцев жизни); Early onset (first 6 months of life); Постоянная эзотропия с большим углом девиации Constant esotropia with a large angle of deviation</p> <p>Отсутствие реакции на коррекцию гиперметропии очковыми линзами Lack of response to correction of hypermetropia with spectacle lenses</p> <p>Неврологически здоровый ребенок Neurologically healthy child</p>
<p>Связанные с данной патологией состояния Conditions associated with this pathology</p>	<p>Могут присутствовать диссоциированные отклонения Dissociated abnormalities may be present</p> <p>Выраженная дисфункция нижних косых мышц Severe dysfunction of the inferior oblique muscles</p> <p>Латентный нистагм или нистагм, связанный с нарушением развития слияния Latent nystagmus or nystagmus associated with impaired fusion development</p> <p>Перекрестная фиксация Cross fixation</p> <p>Синдром монофиксации Monofixation syndrome</p>
<p>Общие состояния General condition</p>	<p>Лечение синдрома монофиксации приводит к хорошим результатам Treatment of monofixation syndrome leads to good results</p> <p>Спонтанное разрешение крайне редко Spontaneous resolution is extremely rare</p>

вел революцию в этом узком направлении, отстаивая необходимость начала лечения в младенческом периоде и был сторонником хирургии врожденной эзотропии у детей в возрасте одного года в виде двусторонней рецессии медиальных прямых мышц, в отличие от проводившихся ранее резекций мышц на одном глазу.

F.D. Costenbader (1961) обобщил свои клинические наблюдения в течение двух десятилетий за детьми с косоглазием в исторической статье «Инфантильная эзотропия», опубликованной в журнале Transactions of the American Ophthalmological Society, где говорится, что у 1 из 5 детей может развиваться достаточно высокая острота стереоскопического зрения, если хирургически исправить косоглазие к году [16].

Ученики и последователи F.D. Costenbader продолжали развивать теорию развития стереоскопии, что, в свою очередь, потребовало пересмотра всей имеющейся информации и инициировало множество новых ис-

следований в сфере эффективности ранней хирургии врожденной эзотропии.

Раннее хирургическое вмешательство охватывает период с 6 месяцев до 2-го года жизни. Исторически это был стандартный подход, применяемый у детей с ограниченными двигательными и сенсорными результатами. У человека критическим периодом для развития бинокулярного зрения являются первые 3–4 месяца жизни. Это открытие принесло D.H. Hubel и T.N. Wiesel Нобелевскую премию в 1981 г.

Исследование, проведенное E. Birch и D. Strager (2004), показало, что стереопсис возникает спонтанно и проявляется в первые месяцы жизни ребенка, но патологически исчезает в течение нескольких месяцев у младенцев с эзотропией [17].

Большинство сторонников (Hubel D.H., Wiesel T.N., 1965) раннего хирургического лечения косоглазия опирается на результаты исследований – чем раньше во вре-

мя критического периода развития бинокулярного зрения выполняется операция, тем выше вероятность его нормального развития в дальнейшем [18].

При этом не опровергается недостаток ранней хирургии, который заключается в возможности частичного или полного самопроизвольного уменьшения угла косоглазия по мере роста ребенка. Например, одно из проводимых обсервационных исследований врожденной эзотропии Congenital Esotropia Observational Study (CEOS) показало, что 27% детей, включенных в это исследование, имели спонтанное разрешение эзотропии (Pediatric Eye Disease Investigator Group, 2002) [19].

Голландское исследование (The early vs. late infantile strabismus surgery study, ELISS, 2011) проводило сравнение раннего и позднего хирургического вмешательства в проспективном контролируемом нерандомизированном многоцентровом исследовании и пришло к следующим выводам: дети, прооперированные на ранних сроках, имели лучший стереопсис в возрасте 6 лет по сравнению с детьми, оперированными позже, однако частота повторных операций у детей, оперированных в раннем возрасте, была выше, и у большинства детей, прооперированных позже, угол косоглазия уменьшился самостоятельно [20].

Другие исследования (Кос F, Özal H., Firat E., 2003) также сообщают о лучших результатах при раннем хирургическом вмешательстве, например, группа исследователей детских глазных болезней (Pediatric Eye Disease Investigator Group, PEDIG) на основании наблюдательного исследования врожденной эзотропии предполагает выполнение ранней операции в возрасте до 10 месяцев в следующих случаях:

- если определяется постоянная эзотропия с большим углом косоглазия, диагностированная в первые несколько месяцев жизни;
- необходимо проводить тщательный отбор пациентов;
- рекомендуется сначала оценить эффективность коррекции угла косоглазия очками при дальнозоркости, превышающей параметры в 2,5 дптр.

Несмотря на успешное хирургическое лечение, многие сенсомоторные нарушения часто сохраняются в более старшем возрасте: отсутствие бинокулярного зрения, латентный нистагм, диссоциированные девиации, синдром монофиксации, а также наличие дисфункции косых мышц.

Хотя раннее хирургическое устранение косоглазия создает потенциальные условия для формирования бинокулярного зрения, это преимущество должно быть сопоставлено с часто упоминаемой причиной выполнения операции в более старшем возрасте, а именно с отсутствием стабильности угла девиации. Если у младенцев, прооперированных до 6-месячного возраста, имеется большая нестабильность эзотропии или сложности точного измерения угла косоглазия, то может наблюдаться остаточная эзотропия (Pediatric Eye Disease Investigator Group, 2002) [21].

Большинство исследователей сходятся во мнении, что раннее хирургическое вмешательство улучшает как двигательные, так и сенсорные результаты [22].

Помимо самого косоглазия, существуют и другие состояния, которые качественно улучшаются после хирургического устранения эзотропии. После операции ребенок быстрее догоняет сверстников в развитии мелкой моторики (сенсомоторное развитие), а также улучшается развитие навыков крупной моторики (таких, как сидение, стояние и ходьба), задержка которых присутствовала до хирургического устранения косоглазия. Быстрый темп сенсомоторного развития после операции является результатом улучшения бинокулярных функций [23].

#### *Тактика и методы хирургического лечения*

Клинический подход к тактике и методам лечения младенческой эзотропии широко варьирует в страбизмологическом мире. Основная полемика разворачивается вокруг следующих вопросов: оптимальные сроки для проведения операции, наиболее эффективный тип операции и что предопределяет благоприятный исход лечения эссенциальной врожденной эзотропии.

Согласно Cochrane review (2012), остаются разногласия относительно типа хирургического вмешательства и сроков хирургического воздействия.

Цели лечения заключаются в следующем:

- устранение амблиопии;
- косметически ровное положение глаз;
- стабильность полученных результатов;
- формирование бинокулярного зрения.

Хирургия, направленная на ослабление или усиление экстраокулярных мышц, является основным видом лечения врожденной эзотропии. Основная цель – получить наименьший стабильный остаточный угол в соответствии с аномальными сенсорными возможностями, сохраняя при этом долгосрочную стабильность с помощью наименьшего количества операций [24].

Хирургическое лечение при младенческой эзотропии может быть разделено на 3 варианта:

- одностороннее ослабление, как правило, методом рецессии медиальной прямой мышцы в сочетании с усилением наружной прямой мышцы методом резекции или срединной дубликатуры (Birch E.E., Stager D.R., Wright K.W., 1998; Пузыревский К.Г., 2007);
- двусторонняя рецессия медиальных прямых мышц;
- операция на трех и более мышцах горизонтального действия: сочетание рецессии и резекции (срединной дубликатуры) [25, 26].

J.P. Polling и соавт. (2009) в рандомизированном контролируемом исследовании сравнивали эффективность выполнения двусторонних рецессий с односторонним воздействием на мышцах горизонтального действия при младенческой эзотропии, и пришли к выводу, что между двумя вмешательствами нет статистически значимой разницы [27].

M.P. Forrest и соавт. (2003) опубликовали долгосрочные результаты лечения 49 пациентов, которым была выполнена операция по поводу младенческой эзотропии на трех мышцах горизонтального действия, и на основании этой группы пациентов пришли к выводу, что данный выбор хирургической тактики имеет высокий уровень успеха в достижении ортотропии [28].

В то время как двусторонние рецессии медиальных прямых мышц, как правило, являются методом выбора, в настоящее время многие авторы заявляют о своих различных предпочтениях в планировании способа хирургического воздействия.

#### *Использование Ботулотоксина типа А в лечении эссенциальной младенческой эзотропии*

Доктор А.В. Scott был пионером в фармакологическом лечении косоглазия 80-х гг. XX в. Он применил ботулинический токсин (БТ), который является экзотоксином бактерии *Clostridium botulinum*. БТ типа А представляет собой крупную белковую молекулу, которая при введении в мышцу остается на нервном окончании, ингибируя высвобождение ацетилхолина и вызывая паралич через 3–5 дней после инъекции. После введения А.В. Scott инъекционной терапии ботулиническим нейротоксином при лечении различных состояний косоглазия хемоденервация приобрела популярность как альтернативный вариант лечения ЭМЭ [29].

Однако некоторыми авторами были получены неоднозначные результаты, показатели успеха варьировались от 36 до 78% и зависели от величины эзодевии и возраста, в котором проводилась хемоденервация [30].

Тем не менее многие исследователи выступают за использование БТ в качестве хорошей альтернативы в лечении младенческой эзотропии, поскольку это менее инвазивная процедура, чем мышечная хирургия [31].

Успех инъекций БТ при младенческой эзотропии, по-видимому, связывают с возрастом, в котором проводится лечение. Существует критический возраст, когда медиальная прямая мышца более чувствительна к хемоденервации, вызванной БТ, позволяя антагонистической латеральной прямой мышце восстановить свою функцию. Кроме того, морфологические изменения в строении экстраокулярных мышц, по-видимому, еще недостаточны в раннем возрасте [32].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на глубокое изучение этиопатогенетических механизмов возникновения, особенностей клинических проявлений ЭМЭ, а также многочисленных поисков оптимальных сроков, методов и алгоритмов лечения данной патологии на протяжении не одного десятилетия, до сих пор не найдены однозначные ответы на поставленные вопросы. Многие аспекты ЭМЭ остаются спорными и нечетко определенными. Оптимально реа-

лизовать основную цель лечения ЭМЭ – достижение ортопозиции с последующим формированием бинокулярного зрения. Это посильная задача, которая в скором времени найдет решение.

Чтобы провести хорошее исследование в области косоглазия, нужно мыслить в четвертом измерении, а четвертое измерение – это время. Нужно знать не только краткосрочные результаты, но и то, как эти результаты сохранятся с течением времени.

#### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Guthrie ME, Wright KW. Congenital esotropia. *Ophthalmol Clin North Am.* 2001;14(3): 419–424. doi: 10.1016/s0896-1549(05)70239-x
- Maconachie GD, Gottlob I, McLean RJ. Risk factors and genetics in common comitant strabismus: a systematic review of the literature. *JAMA Ophthalmol.* 2013;1(9): 1179–86. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2013.4001
- Wright KW, Spiegel LS, Thompson PH. Handbook of pediatric strabismus and amblyopia. *Am Orthopt J.* 2006;56: 200–201. doi: 10.3368/aoj.56.1.200-a
- Campos EC. Essential infantile esotropia controversial subject. *Transactions of the 25th Meeting of the European Strabismological Association.* 1999; 4–11.
- Brodsky MC, Katherine MD, Fray CO. Does infantile esotropia arise from a dissociated deviation. *Arch Ophthalmol.* 2007;25(12): 1703–1706. doi: 10.1001/archophth.125.12.1703
- Guyton DL. Changes in strabismus over time: the roles of vergence tonus and muscle length adaptation. *Binocul Vis Strabismus Q.* 2006;21(2): 81–92.
- Costenbader FD. Infantile esotropia. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1961;59: 397–429.
- Hashemi H, Pakzad R, Heydorian S. Global and regional prevalence of strabismus: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Strabismus.* 2019;27(2): 54–65. doi: 10.1080/09273972.2019.1604773
- Greenberg AE, Mohny BG, Diehl NN, Burke JP. Incidence and types of childhood esotropia: a population-based study. *Ophthalmology.* 2007;114: 170–174. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.05.072
- Archer BW, Sondhi N, Helveston EM. Strabismus in infancy. *Ophthalmology.* 1989;96(1): 133–137. doi: 10.1016/s0161-6420(89)32932-0
- Robb RM, Rodier DW. The broad clinical spectrum of early infantile esotropia. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1986;84: 103–116. PMID: 3590466.
- Von Noorden GK. A reassessment of infantile esotropia. XLIV Edward Jackson memorial lecture. *Am J Ophthalmol.* 1988;105(1): 1–10. doi: 10.1016/0002-9394(88)90113-4
- Helveston EM. 19th annual Frank Costenbader Lecture – the origins of congenital esotropia. *J Pediatr Ophthalmol.* 1993;30(4): 215–232. doi: 10.3928/0191-3913-19930701-03
- Hertle RW. A next step in naming and classification of eye movement disorders and strabismus. *J AAPOS.* 2002;6(4): 201–202. doi: 10.1067/mpa.2002.126491
- Wright KW, Edelman PM, McVey JH. High-grade stereo acuity after early surgery for congenital esotropia. *Arch Ophthalmol.* 1994;112: 913–919.
- Costenbader FD. Infantile esotropia. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1961;59: 397–429.
- Stager DR, Birch EE. Preferential – looking acuity and stereopsis in infantile esotropia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1986;23(4): 160–165. doi: 10.3928/0191-3913-19860701-03
- Hubel DH, Wiesel TN. Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint. *J Neurophysiol.* 1965;28(6): 1041–1059. doi: 10.1152/jn.1965.28.6.1041
- Pediatric Eye Disease Investigator Group. Spontaneous resolution of early – onset esotropia: experience of the Congenital esotropia Observational Study. *Am J Ophthalmol.* 2002;133(1): 109–118. doi: 10.1016/s0002-9394(01)01316-2
- Simonsz HJ, Kolling GH. Best age for surgery for infantile esotropia. *Eur J Paediatr Neurol.* 2011;15(3): 205–208. doi: 10.1016/j.ejpn.2011.03.004
- Birch EE, Stager DR, Berry P, Everett ME. Prospective assessment of acuity and stereopsis in amblyopic infantile isotropies following early surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1990;31: 758–765.

22. Wong Agnes MF. Timing of surgery for infantile esotropia: sensory and motor outcomes. *Can J Ophthalmol.* 2008;43(6): 643–651. doi: 10.3129/i08-115
23. Drover JR, Stager DR, Morole SE. Improvement in motor development following surgery for infantile esotropia. *J AAPOS.* 2008;12(2): 136–140.
24. Speeg-Schatz C, Roth A. Surgical management in infantile esotropia. *Expert Review of Ophthalmology.* 2008;3(2): 155–164. doi: 10.1586/17469899.3.2.155
25. Birch EE, Stager DR, Wright KW, Beck R. The natural history of infantile esotropia during the first six months of life. *Pediatric eye disease investigator group.* *J AAPOS.* 1998;2(5): 255–256. doi: 10.1016/s1091-8531(98)90026-x
26. Патент РФ на изобретение № 2302843/20.07.2007. Бюл. № 20 Пузыревский К.Г. Способ устранения косоглазия. Доступно по: [http://www.yandex.ru/patents/doc/RU2302843C1\\_20070720](http://www.yandex.ru/patents/doc/RU2302843C1_20070720) [Ссылка активна на 21.11.2022]. [Patent RUS № 2302843/20.07.2007. Выул. № 20 Puzryevskiy KG. A way to eliminate strabismus. Available from: [http://www.yandex.ru/patents/doc/RU2302843C1\\_20070720](http://www.yandex.ru/patents/doc/RU2302843C1_20070720) [Accessed 21st November 2022]] (In Russ)]
27. Polling JR, Eijkemans MJ, Esser J. A randomized comparison of bilateral recession versus unilateral recession-resection as surgery for infantile esotropia. *Br J Ophthalmol.* 2009;93(7): 954–957. doi: 0.1136/bjo.2008.149658
28. Forrest MP, Finnigan S, Gole GA. Three horizontal muscle squint surgery for large angle infantile esotropia. *Clin Exp Ophthalmol.* 2003;31(6): 509–516. doi: 10.1046/j.1442-9071.2003.00713.x
29. Scott AV. Botulinum toxin injection into extraocular muscles as an alternative to strabismus surgery. *Ophthalmology.* 1980;87(10): 1044–1049. doi: 10.1016/s0161-6420(80)35127-0
30. Campomanes AA, Binenbaum G, Eguarte GC. Comparison of botulinum toxin with surgery as primary treatment for infantile esotropia. *J AAPOS.* 2010;14(2): 111–116. doi: 10.1016/j.jaapos.2009.12.162
31. Мигель Д.В., Росельо Кесада Н.М., Сидоренко Е.Е., Останина И.А., Ча В.С., Сидоренко Е.И. Влияние величины угла косоглазия, возраста пациентов, дозировки препарата на эффективность лечения содружественного косоглазия у детей методом хемоденерации ботулотоксином типа А. *Российская детская офтальмология.* 2022;3: 27–35. [Miguel DV, Roselo Kesada NM, Sidorenko EE, Ostanina IA, Cha VS, Sidorenko EI. Influence of the angle of strabismus, age of patients, dosage of the drug on the effectiveness of the treatment of concomitant strabismus in children by chemodeneration with botulinum toxin type A. *Russian ophthalmology of children.* 2022;3: 27–35. (In Russ.)] doi: 10.25276/2307-6658-2022-3-27-35
32. Campos EC, Schiavi C, Bellusci C. Critical age of botulinum toxin treatment in essential infantile esotropia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 2000;37(6): 328–332. doi: 10.3928/0191-3913-20001101-05

#### Информация об авторах

**Дарья Римовна Мамулат**, врач-офтальмолог, oftalm2015@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1449-5118>

**Игорь Леонидович Плисов**, д.м.н., plisov\_rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5120-8360>

**Наталья Геннадьевна Анциферова**, к.м.н., врач-офтальмолог, dr\_anz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3096-0024>

**Михаил Александрович Шарохин**, врач-офтальмолог, mikhaiddok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9035-1100>

**Ксения Александровна Белоусова**, врач-офтальмолог, belousova-k-a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7374-6733>

**Галина Владимировна Гладышева**, врач-офтальмолог, g.v.gladysheva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5958-9604>

**Варвара Борисовна Пущина**, врач-офтальмолог, vb\_pushchina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5596-0805>

#### Information about the authors:

**Dar'ya R. Mamulat**, Ophthalmologist, oftalm2015@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1449-5118>

**I'ya L. Plisov**, Doctor of Sciences in Medicine, plisov\_rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5120-8360>

**Natal'ya G. Antsiferova**, PhD in Medicine, Ophthalmologist, dr\_anz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3096-0024>

**Mikhail A. Sharokhin**, Ophthalmologist, mikhaiddok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9035-1100>

**Kseniya A. Belousova**, Ophthalmologist, belousova-k-a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7374-6733>

**Galina V. Gladysheva**, Ophthalmologist, g.v.gladysheva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5958-9604>

**Varvara B. Pushchina**, Ophthalmologist, vb\_pushchina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5596-0805>

#### Вклад авторов в работу:

**Д.Р. Мамулат**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

**И.Л. Плисов**: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**Н.Г. Анциферова**: редактирование.

**М.А. Шарохин**: сбор, анализ и обработка материала.

**К.А. Белоусова**: сбор, анализ и обработка материала.

**Г.В. Гладышева**: сбор, анализ и обработка материала.

**В.Б. Пущина**: сбор, анализ и обработка материала.

#### Authors' contribution:

**D.R. Mamulat**: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, writing.

**I.L. Plisov**: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

**N.G. Antsiferova**: editing.

**M.A. Sharokhin**: collection, analysis and processing of material.

**K.A. Belousova**: collection, analysis and processing of material.

**G.V. Gladysheva**: collection, analysis and processing of material.

**V.B. Pushchina**: 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: 14.03.2023

Переработана: 02.07.2023

Принята к печати: 28.09.2023

Originally received: 14.03.2023

Final revision: 02.07.2023

Accepted: 28.09.2023



## ЦИКЛЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ «АНЕСТЕЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПОМОЩЬ В ОФТАЛЬМОХИРУРГИИ»

### 36 ЧАСОВ, ОЧНО-ЗАОЧНЫЕ

Цикл повышения квалификации «Анестезиологическая помощь в офтальмохирургии» – это уникальная возможность в кратчайшие сроки познакомиться с современной анестезией в офтальмохирургии: технологией региональной анестезии и технологией установки надгортанных воздухопроводов (различные виды и поколения ларингеальных масок (ЛМ), I-GEL, Air-Q, Laryngeal Tube).

Во время обучения слушатели цикла повышения квалификации знакомятся с работой отделения анестезиологии и реанимации Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» в операционном блоке клиники при проведении офтальмохирургических операций при катаракте, глаукоме, витреоретинальной и окулопластической патологии в условиях большого потока пациентов.

Обучение проводится ведущими специалистами анестезиологами-реаниматологами Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза».

*После прохождения полного курса обучения и успешной итоговой аттестации слушателям цикла выдается документ о повышении квалификации установленного образца с внесением сведений об образовании в Федеральную информационную систему «Федеральный реестр сведений о документах об образовании и/или о квалификации» для прохождения периодической аккредитации.*



Узнать о датах проведения циклов, а также подать заявку на обучение можно на сайте Центра:

<https://www.eyeclinic.ru/specialist/obuchenie/zayavka-na-obuchenie/>

По всем вопросам пишите на e-mail: [wetlab\\_mntk@mail.ru](mailto:wetlab_mntk@mail.ru)

#### В ПРОГРАММЕ:

- Сравнительная характеристика современных видов искусственных дыхательных путей: ЛМ, I-GEL, Air-Q, Combitube, Laryngeal Tube, ЭТТ и др.
- Виды современного мониторинга: контроль глубины анестезии (AEP ALARIS), контроль глубины нейромышечного блока (TOF-GUARD), кардиомониторы с возможностью неинвазивного измерения сердечного индекса (Nihon Kohden), газовые мониторы DATEX OHMEDA ULTIMA и др.
- Особенности наркозных аппаратов экспертного класса MAQUET FLOW-I, GE AISYS.
- Показания для общей анестезии в офтальмохирургии.
- Особенности установки надгортанных воздухопроводов у детей.
- Практические занятия на манекене, обучение пользованию ЛМ (Flexible, Supreme, Fastrach), I-GEL и интубационным ретромолярным эндоскопом STORZ BONFILS.
- Виды и цели регионарной анестезии в офтальмохирургии, показания и противопоказания.
- Практические занятия на манекене с отработкой навыков субтеноновой анестезии.

## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

В журнал «Офтальмохирургия» принимаются для публикации оригинальные научные статьи, отражающие результаты клинических, а также экспериментальных исследований, обзоры литературы и описания клинических случаев, содержащие материал, прежде нигде не опубликованный полностью или частично. Рукопись должна отвечать следующим критериям: научная новизна, практическая значимость, профильность, оригинальность содержания.

При подготовке статьи редакция просит авторов придерживаться норм публикационной этики. С полными рекомендациями подготовки и оформления статей можно ознакомиться на сайте журнала, раздел «Правила для авторов»: <https://www.ophtalmosurgery.ru/jour/about/submissions#authorGuidelines>

В связи с тем, что журнал «Офтальмохирургия» включен в международную библиографическую и реферативную базу Scopus, а также с выходом нового ГОСТ Р 7.0.7-2021 обращаем ваше внимание на изменения в требованиях к статьям при подаче.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

**Титульный лист.** Наименование организации (учреждения), где работает или учится автор, указывают без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и пр. Если авторов менее четырех, то их имена и отчества приводятся в полной форме. Информация дублируется на английском языке.

**Реферат и ключевые слова.** Объем реферата не должен превышать 250–300 слов. Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 3 и больше 15 слов (словосочетаний). После ключевых слов точку не ставят.

**Благодарности** (если таковые имеются). После ключевых слов приводят слова благодарности организации, научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья.

**Основная часть статьи.** Объем статьи зависит от ее вида и указывается в знаках без пробелов. Рекомендуемый объем научных статей – 25 000 знаков, обзоров – 30 000 знаков, клинических случаев – 15 000 знаков, письмо в редакцию – 10 000 знаков. Размер шрифта 14, через 1,5 интервала, с полями 2,5 см. Автоматический перенос использовать

нельзя. Информация на рисунках и подрисуночные подписи должны приводиться на русском и английском языках.

**Список литературы** следует оформлять в соответствии с вандуверским стилем оформления источников (<https://rasep.ru/images/materials/vancouver.pdf>).

**Вклад авторов в работу.** После списка литературы приводятся полные сведения о каждом авторе (Ф.И.О. полностью, ученая степень, электронный адрес, ORCID) и информация о вкладе каждого автора в подготовку статьи (см. бланк на сайте).

**Финансирование.** Финансовая и материальная поддержка исследования или статьи, если таковая имелась, должна быть указана.

**Конфликт интересов.** Наличие или отсутствие конфликта интересов должно быть отражено после информации о финансировании и содержать обобщенную информацию о конфликтах интересов.

**Согласие пациента на публикацию.** Если в статье содержится информация, позволяющая идентифицировать пациента, требуется письменное согласие пациента на подобную публикацию.