ISSN 2410-1257 (print)
ISSN 3034-3089 (on-line)

ТОЧКА ЗРЕНИЯ • ВОСТОК–ЗАПАД
POINT OF VIEW • EAST–WEST

Том 13, №3 2026

Volume 13, No3 2026

Научно-практический журнал
Scientific Journal

ТОЧКА ЗРЕНИЯ. ВОСТОК – ЗАПАД

Научно-практический журнал
Том 13, № 3, 2026 год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА
М.М. Бикбов

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Н.Е. Шевчук

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА
Академик РАН, профессор С.Э. Аветисов (Москва)
Профессор Э.В. Бойко (Санкт-Петербург)
Профессор Е.А. Егоров (Москва)
Чл.-корр. РАН, профессор Б.Э. Малюгин (США)
Профессор А.А. Рябцева (Москва)
Профессор В.Н. Трубилин (Москва)
Профессор М.А. Фролов (Москва)
Профессор Й. Йонас (Германия)
Профессор И. Крейссиг (Германия)
Профессор О. Гелишкен (Турция)

Издатель

ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России,

Россия, Республика Башкортостан,

450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3

Адрес редакции:
Россия, Республика Башкортостан,
450008, г. Уфа, ул. Пушкина, 90

Электронная версия журнала:
www.eyepress.ru

© «ТОЧКА ЗРЕНИЯ. ВОСТОК – ЗАПАД», 2026

Выписка из реестра зарегистрированных средств массовой информации в Федеральной службе по надзору в сфере связей, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) по состоянию на 18.04.2023. Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: серия ПИ №ФС77-85126 от 17 апреля 2023 г.

POINT OF VIEW. EAST – WEST

Scientific Journal
Volume 13, No 3, 2026

Founder: FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION BASHKIR STATE MEDICAL UNIVERSITY AT THE MINISTRY OF HEALTHCARE OF THE RUSSIAN FEDERATION

EDITOR-IN-CHIEF
M.M. Bikbov

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF
N.E. Shevchuk

EDITORIAL BOARD
S.E. Avetisov (Moscow) – Academician, Professor
E.V. Boyko (St.-Petersburg) – Professor
E.A. Egorov (Moscow) – Professor
B.E. Malyugin (USA) – Professor
A.A. Ryabtseva (Moscow) – Professor
V.N. Trubilin (Moscow) – Professor
M.A. Frolov (Moscow) – Professor
J. Jonas (Germany) – Professor
I. Kreissig (Germany) – Professor
O. Gelishken (Turkey)– Professor

Publisher

Bashkir State Medical University
3 Lenin str., Ufa, 450008, Russia

Editorial Office Address:
90 Pushkin str., Ufa,
450008, Russia

The online version of the journal is available:
www.eyepress.ru

© «POINT OF VIEW. EAST – WEST», 2026

Extract from the register of registered mass media at the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor) as of 04/18/2023. Registration number and date of the decision on registration: PI series No.FS77-85126 dated April 17, 2023.

Журнал включен в Перечень ВАК и Единый государственный перечень научных изданий – Белый список

Решением Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Министерства образования и науки РФ журнал «Точка зрения. Восток – Запад» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендована публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Журнал представлен в следующих международных индексах научного цитирования: Scopus и РИНЦ .

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов.
Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: www.east-west-journal.ru

Подписной индекс по каталогу «Урал Пресс» 015579. Стоимость подписки 4 654 руб. за полгода (2 выпуска)

Уважаемые авторы!

Редколлегия журнала оставляет за собой право изменять название статьи, руководствуясь задачами, поставленными авторами в тексте

Журнал подготовлен к печати

ООО «Издательство «Офтальмология»
Россия,127486, Москва, Бескудниковский бульвар, 59а
E-mail: redakzia@mntk.ru
Номер подписан в печать 09.09.2026

16+

Отпечатано:
Типография «Роликс»
Адрес: 117105 г. Москва, Нагорный проезд, д. 7, стр. 5
Заказ № 176688
Тираж 150 экз. Дата выхода тиража в свет: 23.10.2026

DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3

Дорогие коллеги, друзья!

Перед вами очередной номер нашего журнала. Он, на мой взгляд, особенно показателен для понимания того, как современная офтальмология из узкоспециализированной дисциплины превращается в междисциплинарную науку — на стыке эпидемиологии, молекулярной биологии и цифровых технологий. Тематика статей охватывает практически весь спектр актуальных вызовов: от массовых факторов риска до редких инфекций, от фундаментальных аспектов офтальмопатологии до вопросов реконструктивной хирургии. Объединяет их одно — стремление к персонализированному подходу, основанному на доказательных данных и инновационных методах.

Номер открывает популяционное исследование о влиянии депрессии на развитие офтальмологической и общесоматической патологии. Такие работы — это фундамент профилактической медицины. Их закономерное продолжение — статьи о патогенезе и лечении социально значимых заболеваний: миопии и кератоконуса.

Хирургический раздел поднимает важный вопрос безопасности фемтолазерной факоэмульсификации после антиглаукомных операций — это критично в эру повсеместного внедрения технологии. Диагностическое направление представлено новаторским исследованием биомаркеров глаукомной нейропатии в слезной жидкости. Изучение микробиоты глаза при хроническом дакриоцистите предлагает современный взгляд на роль микробиома в воспалении и способно изменить подходы к антибиотикопрофилактике.

В этом номере мы постарались собрать работы, показывающие офтальмологию как единое целое — от больших популяционных данных до микрохирургических нюансов. Благодарю всех авторов за труд, рецензентов — за принципиальность, а вам, дорогие читатели, желаю найти на этих страницах идеи для новых научных изысканий и клинических решений. Ведь именно такой комплексный взгляд — наша главная точка зрения.

Бикбов М.М.,
профессор, главный редактор журнала
«Точка зрения. Восток–Запад»

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Э.М. Якупова, Й.Б. Йонас, С. Панда-Йонас
Депрессия как фактор риска глазных и общесоматических заболеваний по данным клинико-популяционного исследования Ural Eye and Medical Study 6

А.Ф. Юсупов, М.Х. Каримова, Ш.А. Джамалова, С.И. Абдуллаева, М.У. Саматов, Е.С. Цой
Анализ изменений органа зрения у пациентов с системным токсоплазмозом 14

А.А. Яровой, Н.П. Соболев, И.И. Асайдуллина, А.Д. Москаленко
Обоснованность оптико-реконструктивной хирургии с применением диафрагмирующих имплантатов при колобоме радужки после удаления меланомы иридоцилиарной зоны: сравнительный анализ 21

Е.В. Кечин, А.В. Дога
Разработка модели машинного обучения для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы 30

Л.Ц. Астоян, С.Б. Измайлова, Д.Ю. Майчук
Этапный подход к лечению инфекционных поражений роговицы грибкового и акантамебного генеза на основе балльной оценки тяжести и дифференцированного выбора хирургической тактики 39

Е.Н. Матюхина, Ш.Р. Кузбеков, Л.Р. Рахимова, Г.Р. Газизуллина
Микробиота глаза при хроническом дакриоцистите 49

Х.С. Гасанова, Е.Н. Пантелеев, И.К. Кузьмина, М.К. Васильев, С.Ю. Копаев
Оценка влияния фемтосекундного лазерного сопровождения хирургии катаракты на зону антиглаукомной операции 55

И.М. Корниловский
Ключевые факторы, влияющие на генетический код рефрактогенеза, и их роль в патогенезе миопии 65

Д.К. Махкамова, Ш.А. Ахмедова
Никотинамид и аргинин в слезной жидкости как локальные нейрометаболомные биомаркеры глаукомной оптической нейропатии 74

А.А. Голяков, Р.Р. Файзрахманов, М.М. Шишкин, К.И. Бежецкая
Динамика аберраций при лечении кератоконуса Пироговским протоколом ультрафиолетового кросслинкинга роговицы 80

В.А. Сучкова, С.Б. Измайлова, Д.С. Островский, М.Х. Хубецова, А.В. Шацких
Сквозная кератопластика с использованием интрастромального кольца при кератоконусе в эксперименте *ex vivo* 89

ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ

В.О. Седаков, Е.Л. Сорокин, Д.Ю. Игнатенко
Анестезия в офтальмохирургии катаракты и глаукомы: современные подходы (обзор литературы) 97

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ

Ю.В. Гнатюк, Д.А. Лаптев, Е.Е. Филиппова
Проникающее ранение глазного яблока с крупным внутриглазным инородным телом: особенности витреоретинального лечения на примере клинического случая 103

Т.И. Полтанова, Н.Ю. Белоусова
Клинический случай атипичного кератита затяжного течения, вызванного вирусом простого герпеса 109

CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

E.M. Iakupova, J.B. Jonas, S. Panda-Jonas
Depression as a risk factor for ocular and general somatic diseases according to the clinical and population study Ural Eye and Medical Study 6

A.F. Yusupov, M.Kh. Karimova, Sh.A. Djamalova, S.I. Abdullaeva, M.U. Samatov, E.S. Tsoy
Analysis of changes in the visual organ in patients with systemic toxoplasmosis 14

A.A. Yarovoy, N.P. Sobolev, I.I. Asaidullina, A.D. Moskalenko
The validity of optical reconstructive surgery using diaphragmatic implants for iris coloboma after removal of iridociliary melanoma: a comparative analysis 21

E.V. Kechin, A.V. Doga
Development of a machine learning model for calculating the parameters of keratorefractive lenticule extraction surgery 30

L.Ts. Astoyan, S.B. Izmailova, D.Yu. Maychuk
Stage-Based Management of Fungal and Acanthamoeba Corneal Lesions Based on Severity Scoring and Differential Surgical Decision-Making 39

E.N. Matyukhina, S.R. Kuzbekov, L.R. Rakhimova, G.R. Gazizullina
Ocular microbiota in chronic dacryocystitis 49

Kh.S. Gasanova, E.N. Panteleev, I.K. Kuzmina, M.K. Vasilyeva, S.Yu. Kopaev
Evaluation of the impact of femtosecond laser assisted cataract surgery on the area of antiglaucoma surgery 55

I.M. Kornilovskiy
Key Factors Affecting the Genetic Code of Refractogenesis and Their Role in the Pathogenesis of Myopia 65

D.K. Makhkamova, Sh.A. Akhmedova
Nicotinamide and Arginine in Tear Fluid as Local Neurometabolomic Biomarkers of Glaucomatous Optic Neuropathy 74

A.A. Golyakov, R.R. Faizrakhmanov, M.M. Shishkin, T.S. Kuznetsova, K.I. Bezhetskaya
Study of corneal wavefront aberrations in the remote period after ultraviolet crosslinking using the modified Pirogov protocol 80

V.A. Suchkova, S.B. Izmaylova, D.S. Ostrovsky, M.Kh. Khubetsova, A.V. Shatskikh
Penetrating keratoplasty with intrastromal ring implantation in keratoconus: an *ex vivo* experimental study 89

LITERATURE REVIEWS

V.O. Sedakov, E.L. Sorokin, D.Yu. Ignatenko
Anesthesia in ophthalmic surgery for cataracts and glaucoma: modern approaches (literature review) 97

CASE REPORT

Yu.V. Gnatyuk, D.A. Laptev, E.E. Filippova
Penetrating Ocular Injury with a Large Intraocular Foreign Body: Features ofVitreoretinal Surgical Management — A Clinical Case Report 103

T.I. Poltanova, N.Yu. Belousova
Clinical case of atypical keratitis of prolonged course caused by Herpes simplex virus 109

Original article
УДК: 616.8-008.64, 617.751.6
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-6-13

Depression as a risk factor associated with ocular and general somatic diseases according to the clinical and population study Ural Eye and Medical Study

E.M. Iakupova[1], J.B. Jonas[2–5], S. Panda-Jonas[6, 7]

[1]*Ufa Eye Research Institute, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia*
[2]*Rothschild Foundation Hospital, Paris, France*
[3]*Singapore Eye Research Institute, Singapore National Eye Center, Singapore*
[4]*Beijing Visual Science and Translational Eye Research Institute (BERI), Beijing Tsinghua Changgung Hospital, Tsinghua Medicine, Tsinghua University, Beijing, China*
[5]*LV Prasad Eye Institute, Hyderabad, India*
[6]*Department of Ophthalmology, Medical Faculty Heidelberg, Heidelberg University, Heidelberg, Germany*
[7]*Privatpraxis Prof Jonas und Dr. Panda-Jonas, Heidelberg, Germany*

ABSTRACT

At least 20% of ophthalmological patients have clinical manifestations of depression, as a rule, such patients differ in the presence of several eye diseases.

Purpose. Based on the clinical and population study Ural Eye and Medical Study, to determine the factors that are directly related to the presence of depression among the population of the Republic of Bashkortostan aged 40 years and older.

Material and methods. The Ural Eye and Medical Study (UEMS) is a cross-sectional clinical and population-based study conducted at the Ufa Research Institute of Eye Diseases, Bashkir State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, from 2015 to 2017.

Results. The prevalence of depression was 2443/5893 (41.5%; 95% CI: 40.2–42.7). According to the results of multivariate regression analysis, high levels of depression were associated with low visual acuity (p=0.02), the presence of dry eye syndrome (p=0.001), as well as with female gender (p<0.001), low education level (p=0.04), less alcohol consumption (p=0.000), less alcohol consumption (p<0,001), rare fruit consumption (p<0.001) and less salt consumption (p=0.04), and a history of frequent headaches (p=0.001), sore throat (p=0.008), pain in the thoracic spine (p<0.001), cerebrovascular diseases (p=0.03), skin diseases (p=0.006) and thyroid gland diseases (p=0.02), frequent falls (p=0.003), fainting (p<0.001), weak dynamometry (p<0.001), less physical activity (p<0.001), and hearing loss (p<0.001).

Conclusion. High correlation of depression with low visual acuity (p=0.02) and presence of dry eye syndrome (p=0.001) represents the connection between the eyes, general somatic and psychological condition of patients and a decrease in their quality of life. The obtained data emphasize that when carrying out diagnostic measures, as well as treating patients with eye diseases and general somatic diseases, it is necessary to pay attention not only to changes in ophthalmological, systemic, and laboratory parameters, but also to the psychological state of patients.

Keywords: *depression, vision loss, eye diseases, dry eye syndrome, patient psychological well-being*

For citation: Iakupova E.M., Jonas J.B., Panda-Jonas S. Depression as a risk factor for ocular and general somatic diseases according to the clinical and population study Ural Eye and Medical Study. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 6–13. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-6-13

Corresponding author: Ellina M. Iakupova, rakhimova_ellina@mail.ru

© Iakupova E.M., Jonas J.B., Panda-Jonas S., 2026

Оригинальная статья

Депрессия как фактор риска глазных и общесоматических заболеваний по данным клинико-популяционного исследования Ural Eye and Medical Study

Э.М. Якупова[1], Й.Б. Йонас[2–5], С. Панда-Йонас[6, 7]

[1]*Уфимский НИИ глазных болезней ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, Уфа, Россия*
[2]*Госпиталь Фонда Ротшильда, Париж, Франция*
[3]*Сингапурский институт глазных исследований, Сингапурский национальный офтальмологический центр, Сингапур*
[4]*Пекинский научно-исследовательский институт визуальной и трансляционной офтальмологии (BERI), Пекинский госпиталь Цинхуа Чангунг, медицинский центр Цинхуа, Университет Цинхуа, Пекин, Китай*
[5]*Глазной институт Л.В. Прасада, Хайдарабад, Индия*
[6]*Кафедра офтальмологии, медицинский факультет Мангейма, Гейдельбергский университет, Мангейм, Германия*
[7]*Частная клиника профессора Йонаса и Доктора Панда-Йонас, Гейдельберг, Германия*

РЕФЕРАТ

Не менее 20% больных офтальмологического профиля имеют клинические проявления депрессии. Как правило, такие пациенты отличаются наличием нескольких глазных заболеваний. При этом как болезни глаз могут приводить к развитию депрессии, так и сама депрессия может увеличивать риск развития офтальмопатологии.

Цель. На основании клинико-популяционного исследования Ural Eye and Medical Study определить демографические, общесоматические и глазные факторы, имеющие взаимосвязь с наличием депрессии среди населения Республики Башкортостан в возрасте 40 лет и старше.

Материал и методы. Ural Eye and Medical Study (UEMS) — кросс-секционное клинико-популяционное исследование, которое проводилось в Уфимском НИИ глазных болезней ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России в период с 2015 по 2017 г.

Результаты. Распространенность депрессии составила 2443/5893 (41,5%; 95% ДИ 40,2–42,7). По результатам многофакторного регрессионного анализа высокий уровень депрессии был связан с низкой остротой зрения (p=0,02), наличием синдрома «сухого глаза» (p=0,001), а также с женским полом (p<0,001), низким уровнем образования (p=0,04), меньшим употреблением алкоголя (p=0,000), редким употреблением в пищу фруктов (p<0,001) и меньшим употреблением соли (p=0,04), наличием в анамнезе частых головных болей (p=0,001), ангины (p=0,008), болей в грудном отделе позвоночника (p<0,001), цереброваскулярных заболеваний (p=0,03), болезней кожи (p=0,006) и щитовидной железы (p=0,02), частых падений (p=0,003), обмороков (p<0,001), слабым показателем динамометрии (p<0,001), меньшей физической активностью (p<0,001), снижением слуха (p< 0,001).

Выводы. Выявленная корреляция депрессии с низкой остротой зрения (p=0,02) и синдромом «сухого глаза» (p=0,001) предполагает связь между заболеваниями глаз, общесоматическим и психологическим состоянием пациентов, а также снижением качества их жизни. Полученные данные подчеркивают, что при проведении диагностических мероприятий, а также при лечении пациентов с заболеваниями глаз и общими соматическими заболеваниями необходимо обращать внимание не только на изменения офтальмологических, системных и лабораторных показателей, но и на психологическое состояние пациентов.

Ключевые слова: *депрессия, снижение зрения, болезни глаз, синдром «сухого глаза», психологическое состояние пациента*

Для цитирования: Якупова Э.М., Йонас Й.Б., Панда-Йонас С. Депрессия как фактор риска глазных и общесоматических заболеваний по данным клинико-популяционного исследования Ural Eye and Medical Study. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 6–13. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-6-13

Автор, ответственный за переписку: Якупова Эллина Маратовна, rakhimova_ellina@mail.ru

RELEVANCE

According to the Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study, conducted in 2019, depression is one of the 25 most common cause of human diseases worldwide [1]. The lifetime prevalence of depression ranges from 2% to 15%, it is one of the main risk factors for disability in the world, affecting about 280 million people [2–4]. About one third part of patients with depression do not respond to standard treatment with antidepressants, despite their effectiveness, which exacerbates this problem [5].

In recent years, increasing attention has been paid to depression as a systemic disease associated with a wide range of somatic disorders. Of particular interest is its association with sensory dysfunctions. It was noted that at least 20% of patients with ophthalmological diseases have clinical manifestations of depression, as a rule, such patients are distinguished by the presence of several eye diseases [6]. At the same time, eye diseases can lead to the development of depression, and depression itself can increase the risk of developing ophthalmopathology. Current data indicate the role of common pathogenetic mechanisms, such as chronic inflammation, oxidative stress, and vascular disorders, in the development of both depression and diseases of the eye [5].

Researchers indicate that patients with diabetes mellitus and arterial hypertension and depression have an increased risk of developing complications such as diabetic and hypertensive retinopathy [7]. The presence of such comorbid conditions significantly worsens the course of depression,

worsens the prognosis, and increases the burden on the health care system.

A promising area of further research is the development of interdisciplinary approaches to patient management, taking into account the mental and somatic status.

PURPOSE

To determine demographic, general somatic and ocular factors that have a relationship with the presence of depression among the population of the Southern Urals aged 40 years and older on the basis of clinical and population study — Ural Eye and Medical Study.

MATERIAL AND METHODS

The presence study was conducted on the basis of the Ural Eye and Medical Study (UEMS), a cross-sectional clinical and population-based study that was conducted at the Ufa Eye Research Institute of Bashkir State Medical University in the period from 2015 to 2017 years. UEMS participants are residents of the Republic of Bashkortostan aged 40 years and older. Ural Eye and Medical Study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki and was approved by the Local Ethics Committee of the Ufa Eye Research Institute. Voluntary information consent was signed by all participants of the study. A survey of participants was conducted including questions about their social status, demographic characteristics, working and living conditions, lifestyle features, medical history, general somatic and ophthalmological examination was conducted too.

Some degree of vision loss was determined in accordance with the criteria adopted by the World Health Organization — mild, moderate, severe vision impairment and blindness [8]. During the analysis of the results, visual acuity in the better seeing eye or the only functional eye was taken into account. For the convenience of data processing, moderate and severe visual impairment were combined into one group. Depression assessment was performed using the international standardized questionnaire of the Center for Epidemiological Studies Depression Scale (CES-D) Scoresheet. Depression was determined if the questionnaire score on the scale exceeded the threshold value of 6 points [9, 10].

Statistical processing of the study results was carried out on the basis of the IBM SPSS 27.0 program. The relationship of depression with other parameters was determined by the method of linear regression. At the first stage, a univariate regression analysis was performed. At the second stage, a multivariate regression analysis was performed, which included factors (independent variables) that showed a significant correlation with the level of depression (dependent variable), and also excluded factors with high collinearity. Standardized and non-standardized regression coefficients β and B, 95% confidence interval of coefficient B, and variance inflation factor (VIF) were calculated. Values with $p<0.05$ were taken as statistically significant.

RESULTS

The current study included 5,893 participants, mean age 59.0±10.7 (range 40–94 years), including 3,315 (56.3%) women and 2,578 (43.7%) men.

According to the survey results, the average value on the depression scale among the study participants was 5.2±3.7 (median 5, range 0–19). The prevalence of depression was 2443/5893 (41.5%; 95% CI: 40.2–42.7).

According to the results of visometry, 377 people (6.4 %) showed visual impairment, of which 184 people had mild (3.1%; 95% CI: 2.7–3.6), 182 people had moderate and severe (3.1%; 95% CI: 2.7–3.5) and 11 people were blind (0.19%, 95% CI: 0.008–0.030).

Multivariate regression analysis revealed that the risk factors for depression are female gender ($p<0.001$), low level of education ($p=0.04$), less alcohol consumption ($p<0,001$), rare fruit consumption ($p<0.001$) and less salt consumption ($p=0.04$), and a history of frequent headaches ($p=0.001$), sore throat ($p=0.008$), pain in the thoracic spine ($p<0.001$), cerebrovascular diseases ($p=0.03$), skin diseases ($p=0.006$) and thyroid gland diseases ($p=0.02$), frequent falls ($p=0.003$), fainting ($p<0.001$), weak dynamometry ($p<0.001$), less physical activity ($p<0.001$), and hearing loss ($p<0.001$).

In addition, depression was associated with such ophthalmological parameters as dry eye syndrome ($p=0.001$) and low visual acuity ($p=0.02$) (*Table 1*).

On the other side, depression is also a risk factor for a number of ophthalmic and general somatic diseases and pathological conditions, such as dry eye syndrome (OR: 1.04; 95% CI: 1.01–1.07; $p=0.009$), hearing loss (OR: 1.06; 95% CI: 1.04–1.08; $p<0.001$), unintentional injuries and falls (OR: 1.05; 95% CI: 1.03–1.07; $p<0.001$), conditions associated with airway obstruction (OR: 1.08; 95% CI: 1.03–1.12; $p<0.001$) and asthma (OR: 1.08; 95% CI: 1.03–1.12; $p<0.001$) (*Table 2*).

DISCUSSION

In our study we have find the data that shows the present of a positive correlation between depression and DED. Our results are comparable to the results of the study Galor et al., they found a high positive correlation between these two conditions [11]. The association of depression with vision loss and DED is due not only to biological, but also behavioral factors. In patients with depression, there is a decrease in the frequency of blinking, an increase in the time spent using digital devices, and the influence of psychotropic drugs (especially antidepressants with an anticholinergic effect) is also possible, which contributes to the development or aggravation of DED [12, 13].

The relationship between depression and hearing impairment identified in this study is supported by data obtained in other epidemiological studies. Lawrence et al. observed that older people with hearing impairments are more likely to have depression than those with normal hearing [14]. Similar data were obtained by Wei et al., who noted that hearing loss increases the risk of developing depression [15]. Thus, the association of depression with hearing disorders is bidirectional. On the one hand, sensory deprivation and social isolation in hearing loss increase the risk of depression, and on the other hand, depression through vascular, inflammatory and neurodegenerative mechanisms can contribute to hearing loss. In an experimental study Rao et al. it was found that early sensorineural hearing loss disrupts the work of the auditory cortex and changes the serotonergic regulation of neurons, reducing the effectiveness of se-

Table 1

Factors associated with depression according to the Ural Eye and Medical Study (results of multivariate regression analysis)

Таблица 1

Факторы, ассоциированные с депрессией, по данным Ural Eye and Medical Study (результаты многофакторного регрессионного анализа)

Parameter Параметр	Regression coefficient β Коэффициент регрессии β	Regression coefficient B, 95% CI Коэффициент регрессии B, 95% ДИ	Significance level, p Уровень значимости, p
Gender (Male / Female) Пол (Мужчины / Женщины)	0.12	0.84 (0.50–1.18)	<0.001
Level of education Уровень образования	0.03	0.31 (0.02–0.57)	0.04
Alcohol consumption (yes/no) Употребление алкоголя (да/нет)	0.10	0.79 (0.54–1.04)	<0.001
Amount of fruits consumed per day (pieces) Количество фруктов, употребляемых в день (штук)	−0.06	−0.12 (−0.17– −0.06)	<0.001
Amount of salt consumed per day (grams) Количество соли, употребляемой в день (грамм)	−0.03	−0.05 (−0.10– −0.002)	0.04
History of frequent sore throat (no/yes) Частая ангина в анамнезе (нет/да)	0.04	0.54 (0.14–0.94)	0.008
Headaches (no/yes) Головные боли (нет/да)	0.06	0.41 (0.18–0.64)	0.001
Pain in the thoracic spine (no/yes) Боли в грудном отделе позвоночника (нет/да)	0.10	0.91 (0.64–1.19)	<0.001
Cerebrovascular disease, incl. stroke (no/yes) Цереброваскулярные заболевания, инсульт (нет/да)	0.03	0.29 (0.02–0.57)	0.03
Skin diseases (no/yes) Кожные заболевания (нет/да)	0.04	0.72 (0.21–1.23)	0.06
Thyroid disease (no/yes) Болезни щитовидной железы (нет/да)	0.04	0.49 (0.08–090)	0.02
Frequent falls (no/yes) Частые падения (нет/да)	0.05	0.47 (0.16–0.77)	0.003
Fainting (no/yes) Обмороки (нет/да)	0.08	1.08 (0.64–1.53)	<0.001
Dynamometry (decanewton) Динамометрия (деканьютон)	-0.11	-0.04 (-0.05– -0.02)	<0.001
Physical activity Физическая активность	-0.06	-0.43 (-0.65– -0.20)	<0.001
Dry eye syndrome (yes/no) ССГ (нет/да)	0.05	0.86 (0.03– 1.39)	0.001
Hearing Loss Scale Шкала снижения слуха	0.07	0.02 (0.01– 0.03)	<0.001
Visual acuity (Log MAR) Острота зрения (Log MAR)	0.04	0.82 (0.16– 1.48)	0.02

rotonin influence. Since serotonin plays a key role in mood regulation, such changes may contribute to an increased risk of developing depression [16, 17]. Also in the literature, there is evidence that hyperactivation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis (HPA-axis), characteristic of depression, is accompanied by a chronic increase in cortisol levels. This has a neurotoxic effect, contributes to the development of vascular disorders, and can aggravate both visual and auditory dysfunction [18].

As part of our study, it was found that depressive state is invariably associated with unintentional falls in older people. Similar results were presented in a study Lai et al., where

Table 2

Risk factors for ophthalmological and general somatic diseases and pathological conditions according to the Ural Eye and Medical Study

Таблица 2

Факторы риска офтальмологических и общесоматических заболеваний и патологических состояний по данным Ural Eye and Medical Study

Parameter Параметр	OR (95% CI) ОШ (95% ДИ)	Level p Уровень p
Risk factors for dry eye syndrome Факторы риска синдрома «сухого глаза»		
Old age Пожилой возраст	0.98 (0.97–1.00)	0.005
Male gender Мужской пол	2.04 (1.61–2.58)	<0.01
Accommodation in the city Проживание в городе	1.24 (1.01–1.54)	0.045
Depression Депрессия	1.04 (1.01–1.07)	0.006
Thyroid disease (yes/no) Болезни щитовидной железы (да/нет)	1.49 (1.12–1.99)	0.006
Risk factors for hearing loss Факторы риска снижения слуха		
Old age Пожилой возраст	1.06 (1.06–1.07)	<0.001
Male gender Мужской пол	1.26 (1.09–1.47)	<0.001
Depression Депрессия	1.06 (1.04–1.08)	<0.001
Headaches Головные боли	1.27 (1.10–1.47)	0.001
Cardiovascular diseases Сердечно-сосудистые заболевания	1.32 (1.13–1.55)	0.001
Osteoarthritis Остеоартрит	1.40 (1.18–1.67)	<0.001
Alcohol consumption Употребление алкоголя	1.51 (1.28–1.78)	<0.001
Physical activity Физическая активность	1.40 (1.21–1.62)	<0.001
Risk factors for unintentional falls and injuries Факторы риска неумышленных падений и травм		
Old age Пожилой возраст	1.01 (1.005–1.02)	<0.001
Accommodation in the city Проживание в городе	1.59 (1.37–1.85)	0.001
Smoking (packs per day) Курение (пачек в день)	1.01 (1.004–1.01)	0.001
Waist-to-hip ratio Индекс соотношения талии к бедрам	1.01 (1.002–1.01)	0.008
Arthritis Артрит	1.38 (1.18–1.62)	<0.001
Back pain Боли в спине	1.73 (1.49–2.02)	<0.001
Depression Депрессия	1.05 (1.03–1.07)	<0.001

Table 2. The End

Таблица 2. Окончание

Conditions associated with airway obstruction Состояния. сопровождающиеся обструкцией дыхательных путей		
Female Женский пол	1.42 (1.04–1.93)	0.03
Accommodation in the city Проживание в городе	1.43 (1.12–1.79)	0.003
Smoking (packs per day) Курение (пачек в день)	1.03 (1.02–1.08)	<0.001
Depression Депрессия	1.05 (1.02–1.08)	0.002
Cardiovascular Disease Сердечно-сосудистые заболевания	1.86 (1.45–2.39)	<0.001
Low Physical Activity Низкая физическая активность	0.71 (0.54–0.93)	0.01
Risk factors for asthma Факторы риска астмы		
Accommodation in the city Проживание в городе	1.43 (1.12–1.79)	0.003
Alcohol consumption Употребления алкоголя	0.53 (0.33–0.87)	0.01
Depression Депрессия	1.08 (1.03–1.12)	<0.001

it was found that falls in middle-aged and elderly adults increase the risk of depressive symptoms, especially in men, with pain acting as a partial mediator of this association. The development of depression was associated with the interaction of physiological (pain), psychological (fear, helplessness) and social factors (isolation, decreased activity), as well as side effects of drug therapy, including sedation and orthostatic hypotension [19, 20]. Injuries from falls can lead to functional limitations and loss of self-care, reducing the sense of control over life. Chronic pain causes neurobiological changes in the brain structures that regulate emotions, disrupting the balance of neuromediators such as serotonin and norepinephrine [21–23].

Inflammatory processes contribute to tissue damage, impaired neuronal transmission and the formation of concomitant symptoms, both from the respiratory system and the sensory organs. So, in the study of Jiang et al. it was determined that people with depression are 3.17 times more likely to have concomitant asthma than people without depression, and patients with asthma are 1.52 times more likely to have concomitant depression than those who do not suffer from it [24]. Depression and bronchial asthma have a relationship due to a violation of the balance of cytokines and the activation of inflammatory processes in the body. Elevated levels of pro-inflammatory cytokines such as IL-1, IL-6, and TNF-α can affect the nervous system and worsen depressive states, which in turn reduces asthma control. Another universal mechanism is oxidative stress, which is characterized by excessive formation of reactive oxygen species and a decrease in antioxidant protection. This process leads to damage to the cells of the retina, auditory system and airway epithelium, contributing to the progression of both sensory disorders and bronchial obstruction. Oxidative stress contributes to a shift in the immune response towards Th2-like activity, which can lead to allergic reactions and worsen asthma symptoms. So, the interaction between depression and asthma creates a vicious cycle, where each condition can make the other worse. In addition to general inflammatory mechanisms, neurovegetative disorders and behavioral factors such as smoking and low treatment adherence play an important role [25–28].

Thus, depression can be considered as a systemic multi-organ disorder, which is based on the interaction of immune, neuroendocrine and neurovegetative mechanisms. This determines the need for a comprehensive approach to the diagnosis and treatment of patients, taking into account somatic comorbidity, including the presence of eye diseases.

CONCLUSION

Along with some demographic and social parameters that determine the general state, health of the body and lifestyle characteristics, the presence of depression was independently associated with such general somatic diseases and conditions as hearing loss, unintentional injuries and falls, conditions accompanied by airway obstruction and asthma. The revealed correlation of depression with low visual acuity and dry eye syndrome suggests an association between eye diseases and the psychological state of patients and a decrease in their quality of life.

The obtained data emphasize that when carrying out diagnostic measures, as well as treating patients with eye diseases and general somatic diseases, it is necessary to pay attention not only to changes in ophthalmological, systemic, and laboratory parameters, but also to the psychological state of patients.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet. 2020;396(10258): 1204–22. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9
2. Craske MG, Stein MB. Anxiety. Focus (Am Psychiatr Publ). 2017;15(2): 199–210. https://doi.org/10.1176/appi.focus.15203
3. Медоева М.А., Абиева И.М. Связь нарушений зрения с депрессивными расстройствами. *Вестник науки.* 2023;2(1): 293–6.
   Medoeva MA, Abieva IM. Svyaz` narushenij zreniya s depressivny`mi rasstrojstvami. *Vestnik nauki,* 2023;2(1): 293–6. (In Russ.).
4. Friedrich MJ. Depression Is the Leading Cause of Disability Around the World. *JAMA.* 2017;317(15): 1517. https://doi.org/10.1001/jama.2017.3826
5. Miller AH, Raison CL. The role of inflammation in depression: from evolutionary imperative to modern treatment target. *Nat Rev Immunol.* 2016;16(1): 22–34. https://doi.org/10.1038/nri.2015.5
6. World Health Organization. The World Health Organization data from: depressive disorder (depression), 2023.
7. Беккер Р.А., Быков Ю.В. Депрессия в офтальмологии – причина и следствие глазных болезней (обзор литературы). *Психические расстройства в общей медицине.* 2016;3: 36–42.
   Bekker RA, Bykov YuV. Major depression in ophthalmology: a cause or a consequence of an ocular disease (a systematic review of foreign literature). *Mental Disorders in General Medicine.* 2016;3: 36–42. (In Russ.).
8. Bikbov MM, Kazakbaeva GM, Rakhimova EM, Rusakova IA, Fakhretdinova AA, Tuliakova AM, Panda-Jonas S, Gilmanshin TR, Zainullin RM, Bolshakova NI, Safiullina KR, Gizzatov AV, Ponomarev IP, Yakupova DF, Baymukhametov NE, Nikitin NA, Jonas JB. Prevalence Factors Associated With Vision Impairment and Blindness Among Individuals 85 Years and Older in Russia. *JAMA Netw Open.* 2021;4(8): e2121138. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.21138
9. Thomas JL, Jones GN, Scarinci IC, Mehan DJ, Brantley PJ. The utility of the CES-D as a depression screening measure among low-income women attending primary care clinics. The Center for Epidemiologic Studies-Depression. *Int J Psychiatry Med.* 2001;31(1): 25–40. https://doi.org/10.2190/FUFR-PK9F-6U10-JXRK
10. Lewinsohn PM, Seeley JR, Roberts RE, Allen NB. Center for Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D) as a screening instrument for depression among community-residing older adults. *Psychol Aging.* 1997;12(2): 277–87. https://doi.org/10.1037//0882-7974.12.2.277
11. Galor A, Feuer W, Lee DJ, et al, Depression, post-traumatic stress disorder, and dry eye syndrome: a study utilizing the national United States Veterans Affairs administrative database. *Am J Ophthalmol.* 2012;154(2): 340–6.e2. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2012.02.009
12. van der Vaart R, Weaver MA, Lefebvre C, Davis RM. The association between dry eye disease and depression and anxiety in a large population-based study. *Am J Ophthalmol.* 2015;159(3): 470–4. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2014.11.028
13. Liyue H, Chiang PP, Sung SC, Tong L. Dry Eye-Related Visual Blurring and Irritative Symptoms and Their Association with Depression and Anxiety in Eye Clinic Patients. *Curr Eye Res.* 2016;41(5): 590–9. https://doi.org/10.3109/02713683.2015.1056804
14. Lawrence BJ, Jayakody DMP, Bennett RJ, et al. Hearing Loss and Depression in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Gerontologist.* 2020;60(3): e137–e154. https://doi.org/10.1093/geront/gnz009
15. Wei J, Li Y, Gui X. Association of hearing loss and risk of depression: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol.* 2024;15: 1446262. https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1446262
16. Dedeoglu S, Toprak SF, Sırma E, Dönmezdil S. When Sound Fades: Depression and Anxiety in Adults with Hearing Loss-A Cross-Sectional Study. *Healthcare (Basel).* 2025;13(24): 3320. https://doi.org/10.3390/healthcare13243320
17. Rao D, Basura GJ, Roche J, Daniels S, Mancilla JG, Manis PB. Hearing loss alters serotonergic modulation of intrinsic excitability in auditory cortex. *J Neurophysiol.* 2010;104(5): 2693–703. https://doi.org/10.1152/jn.01092.2009
18. Keller J, Gomez R, Williams G, et al. HPA axis in major depression: cortisol, clinical symptomatology and genetic variation predict cognition. *Mol Psychiatry.* 2017;22(4): 527–36. https://doi.org/10.1038/mp.2016.120
19. Lai X, Huang J, Xu T, et al. The Impact of Falls on Depressive Symptoms in Middle-Aged and Older Chinese Adults: Mediating Effects of Pain. *Psychol Res Behav Manag.* 2026;19: 569966. https://doi.org/10.2147/PRBM.S569966
20. Kvelde T, McVeigh C, Toson B, et al.. Depressive symptomatology as a risk factor for falls in older people: systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc.* 2013;61(5): 694–706. https://doi.org/10.1111/jgs.12209
21. Chen T, Wang J, Wang YQ, Chu YX. Current Understanding of the Neural Circuitry in the Comorbidity of Chronic Pain and Anxiety. *Neural Plast.* 2022;2022: 4217593. https://doi.org/10.1155/2022/4217593
22. Song Q, Zhang Z, Liang Y. Neuroplasticity in the transition from acute to chronic pain. *Neurotherapeutics.* 2024;21(6): e00464. https://doi.org/10.1016/j.neurot.2024.e00464
23. Walker EF, Diforio D. Schizophrenia: a neural diathesis-stress model. *Psychol Rev.* 1997;104(4): 667–85. https://doi.org/10.1037/0033-295x.104.4.667
24. Jiang M, Qin P, Yang X. Comorbidity between depression and asthma via immune-inflammatory pathways: a meta-analysis. *J Affect Disord.* 2014;166: 22–9. https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.04.027
25. Surve TAN, Sharma DD, Khan KG, et al. A comprehensive review of the intersection between asthma and depression. *J Asthma.* 2024;61(9): 895–904. https://doi.org/10.1080/02770903.2024.2324862
26. Gao YH, Zhao HS, Zhang FR, et al. The Relationship between Depression and Asthma: A Meta-Analysis of Prospective Studies. *PLoS One.* 2015;10(7): e0132424. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132424
27. Wang X, He J, Cabrera-Mendoza B, Qiu D, et al. Assessing the comorbidity between asthma and depression through polygenic risk scoring and time-to-event models. *BMC Med.* 2026;24(1): 101. https://doi.org/10.1186/s12916-026-04646-w
28. Ji T, Lv Y, Yang J, Diao X, Gu J. Association between depression and asthma: insight from observational and genetic evidence. *BMC Psychiatry.* 2025;25(1): 786. https://doi.org/10.1186/s12888-025-07245-w.

Information about authors
Ellina M. Iakupova – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Integrative Ophthalmology, Ufa Eye Research Institute of Bashkir State Medical University, rakhimova_ellina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9616-6261
Jost B. Jonas – Professor, Rothschild Foundation Hospital, French Institute of Myopia, Paris, France, jost.jonas@medma.uniheidelberg.de, https://orcid.org/0000-0003-2972-5227
Panda-Jonas Songromitra – Doctor of the Private Clinic of Professor Jonas and Dr. Panda-Jonas, Heidelberg, Germany, drsjonas@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-0709-863X

Информация об авторах
Якупова Эллина Маратовна – к.м.н., зав. отделом интегративной офтальмологии, Уфимский НИИ ГБ ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, rakhimova_ellina@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9616-6261

Йост Бруно Йонас – профессор, Госпиталь Фонда Ротшильда, Французский институт близорукости, Париж, Франция, jost.jonas@medma.uniheidelberg.de, https://orcid.org/0000-0003-2972-5227
Панда-Йонас Сонгромитра – доктор Частной клиники профессора Йонаса и Доктора Панда-Йонас, Гейдельберг, Германия, drsjonas@gmail.com, https://orcid.org/000-00300709-863X

Author's contribution:
Iakupova E.M. – data curation, writing original draft, review and editing.
Jonas J.B. – conceptualization, methodology of investigation, data curation and analysis, review and editing.
Panda-Jonas S. – methodology of investigation, review and editing.

Вклад авторов:
Якупова Э.М. – сбор и обработка материала, написание текста, рецензирование и редактирование.
Йонас Й.Б. – концепция и дизайн исследования, методология исследования, анализ и обработка данных, рецензирование и редактирование.
Панда-Йонас С. – методология исследования, рецензирование и редактирование.

Financial transparency: Authors have no financial interest in the submitted materials or methods.
Финансирование: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Conflict of interest: None.
Конфликт интересов: Отсутствует.

Received: *05.06.2026*
Revision: *18.07.2026*
Accepted: *01.08.2026*
Поступила: *05.06.2026*
Переработана: *18.07.2026*
Принята к печати: *01.08.2026*

Оригинальная статья
УДК:617.7-616.9-022.7
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-14-20

Анализ изменений органа зрения у пациентов с системным токсоплазмозом

А.Ф. Юсупов, М.Х. Каримова, Ш.А. Джамалова, С.И. Абдуллаева, М.У. Саматов, Е.С. Цой

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр микрохирургии глаза, Ташкент, Узбекистан

РЕФЕРАТ

Проведение комплексного обследования органа зрения у пациентов с системным токсоплазмозом (СТ) позволяет выявить ранние его изменения, что необходимо для своевременного назначения лечения.

Цель. Оценить состояние органа зрения по данным комплексного обследования пациентов с СТ.

Материал и методы. Проведено комплексное обследование органа зрения 87 пациентов (174 глаз) в возрасте 31,8±4,3 года с СТ (токсоплазмозным лимфаденитом, поражением центральной нервной системы, высыпаниями на коже и т.д.) и незначительными жалобами на зрительные функции. Всем пациентам проведены общеофтальмологические, специальные (оптическая когерентная томография (ОКТ) и ОКТ-ангиография (ОКТА), компьютерная периметрия (КП), электроретинография (ЭРГ)) и лабораторные (иммуноферментный анализ крови) методы исследования. СТ в хронической стадии заболевания был диагностирован у 52 (59,8%) пациентов, в острой стадии — у 35 (40,2%).

Результаты. У пациентов основной группы в острой стадии СТ при значении титров IgM более 1,3 ЕД/мл был диагностирован узелковый эписклерит в 8,0% (14 глаз) случаев, передний склерит — в 6,3% (11 глаз) случаев, нейроофтальмологические заболевания (папиллит, ретробульбарный неврит, нейроретинит, передняя ишемическая нейропатия и застойный диск зрительного нерва) — в 7,4% (13 глаз) случаев, промежуточный увеит (парспланит + витреит) — в 12% (21 глаз) случаев. В хронической стадии СТ у пациентов со значениями титров IgG более 1,3 ЕД/мл наблюдали аллергический конъюнктивит в 9,2% случаев (16 глаз), деструкцию стекловидного тела — в 17,8% случаев (31 глаз). По данным ОКТ патологические изменения сетчатки встречались достоверно чаще в основной группе, по сравнению с контрольной (71,3% против 4%, $p<0,01$). Анализ данных ОКТА показал наиболее частые патологические изменения сетчатки также в основной группе (46% против 2,0%). Снижение плотности капиллярного кровотока в макулярной области наблюдалось чаще у пациентов с СТ (16,1% против 2,0%, $p<0,05$). По данным КП обнаружено 3-кратное увеличение средних значений светочувствительности, снижение в 4 раза локальной и диффузной светочувствительности, ЭРГ выявила снижение в 1,5 раза амплитуды α- и β-волны, сравнительно с контролем ($p<0,05$).

Заключение. Комплексный подход к диагностике патологии органа зрения при СТ с применением ОКИ и ОКТА, КП и ЭРГ позволяет идентифицировать ранние патологические изменения хориоидеи, сетчатки и микроциркуляторного русла, функциональные изменения зрительного нерва. Проведение мультимодальной диагностики с обязательным привлечением врача-инфекциониста имеет решающее значение для раннего выявления офтальмологических осложнений и своевременного назначения специфической медикаментозной терапии.

Ключевые слова: *системный токсоплазмоз, мультимодальная диагностика, оптическая когерентная томография, оптическая когерентная томография с ангио режимом, компьютерная периметрия, электоретинография*

Для цитирования: Юсупов А.Ф., Каримова М.Х., Джамалова Ш.А., Абдуллаева С.И., Саматов М.У., Цой Е.С. Анализ изменений органа зрения у пациентов с системным токсоплазмозом. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 14–20. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-14-20

Автор, ответственный за переписку: Саматов Мадаминжон Улугбекович, madamin.samatov94@mail.ru

Original article

Analysis of changes in the visual organ in patients with systemic toxoplasmosis

A.F. Yusupov, M.Kh. Karimova, Sh.A. Djamalova, S.I. Abdullaeva, M.U. Samatov, E.S. Tsoy

Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

A comprehensive visual examination of patients with systemic toxoplasmosis (ST) allows for the detection of early visual changes, which is necessary for timely treatment.

Objective. To assess visual function based on a comprehensive visual examination of patients with systemic toxoplasmosis.

Material and methods. A comprehensive visual examination was performed in 87 patients (174 eyes) aged 31.8±4.3 years with ST (toxoplasmic lymphadenitis, central nervous system damage, skin rashes, etc.) and minor visual complaints.

© Юсупов А.Ф., Каримова М.Х., Джамалова Ш.А., Абдуллаева С.И., Саматов М.У., Цой Е.С., 2026

All patients underwent general ophthalmological, specialized (optical coherence tomography (OCT) and OCT-angio (OCTA), computed perimetry (CP), electroretinography (ERG)) and laboratory (blood ELISA) examinations. Chronic TS was diagnosed in 52 patients (59.8%), while acute TS was diagnosed in 35 patients (40.2%).

Results. In the study group of patients with acute TS and IgM titers greater than 1.3 U/ml, nodular episcleritis was diagnosed in 8.0% (14 eyes), anterior scleritis in 6.3% (11 eyes), neuro-ophthalmological diseases (papillitis, retrobulbar neuritis, neuroretinitis, anterior ischemic neuropathy, and papilledema) in 7.4% (13 eyes), and intermediate uveitis (pars planitis + vitreitis) in 12% (21 eyes). In the chronic stage of TS, patients with IgG titers greater than 1.3 U/ml had allergic conjunctivitis in 9.2% of cases (16 eyes) and vitreous destruction in 17.8% of cases (31 eyes). According to OCT, pathological changes in the retina were more common in the study group than in the control group (71.3% versus 4%) ($p<0.01$). Analysis of OCTA data showed that pathological changes in the retina were also most common in the study group (46% versus 2.0%). Decreased capillary blood flow density in the macular region was more common in patients with TS (16.1% versus 2.0%) ($p<0.05$). According to the computer-aided vision (CIS) data, a three-fold increase in average photosensitivity values and a four-fold decrease in local and diffuse photosensitivity were detected. ERG revealed a 1.5-fold decrease in the amplitude of the α- and β-waves, compared to the control group ($p<0.05$).

Conclusion. A comprehensive approach to diagnosing ocular pathology in systemic toxoplasmosis using optical coherence tomography and OCT angio, computed perimetry, and electroretinography enables the identification of early pathological changes in the choroid, retina, and microvasculature, as well as functional changes in the optic nerve. Multimodal diagnostics, with mandatory involvement of an infectious disease specialist, is crucial for the early detection of ophthalmologic complications and the timely administration of specific drug therapy.

Keywords: *systemic toxoplasmosis, multimodal diagnostics, optical coherence tomography, optical coherence tomography with angio mode, computer perimetry, electoretinography*

For citation: Yusupov A.F., Karimova M.Kh., Djamalova Sh.A., Abdullaeva S.I., Samatov M.U., Tsoy E.S. Analysis of changes in the visual organ in patients with systemic toxoplasmosis. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 14–20.
https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-14-20
Corresponding author: Madaminjon U. Samatov, madamin.samatov94@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Токсоплазмоз вызывается повсеместно распространенным апикомплексным паразитом *Toxoplasma gondii* теплокровных животных и является одним из наиболее распространенных паразитарных зоонозов во всем мире [1–3]. По данным ВОЗ, токсоплазмозом инфицировано от 10 до 35% населения в мире в зависимости от географического расположения [4, 5].

Офтальмотоксоплазмоз является ведущей причиной инфекционного заднего увеита [6] и характеризуется преимущественно латентным или хроническим течением [7], которое при несвоевременном или неадекватном лечении приводит к стойкой утрате зрительных функций. Необходимым направлением современных исследований является изучение патологических изменений органа зрения у пациентов с системным токсоплазмозом. Установлено, что у пациентов с генерализованным токсоплазмозом даже при отсутствии субъективной симптоматики и офтальмологических изменений при использовании высокочувствительных методов визуализации могут выявляться ранние патологические изменения сетчатки и хориоидеи [8, 9]. Глазной токсоплазмоз — это не только локальное поражение инфекционной этиологии, но и системный иммуновоспалительный процесс, сопровождающийся нарушением гематоретинального барьера и развитием микроциркуляторных нарушений в сосудистом русле сетчатки [10, 11]. Несмотря на отсутствие явной офтальмологической симптоматики у части пациентов, мультимодальный подход при диагностике позволяет выявлять патологические изменения органа зрения.

ЦЕЛЬ

Оценить состояние органа зрения по данным комплексного обследования пациентов с системным токсоплазмозом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На базе Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза (РСНПМЦМГ) и Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра эпидемиологии, микробиологии, инфекционных и паразитарных заболеваний (РСНПМЦЭМИПЗ) было обследовано 87 пациентов (174 глаз) в возрасте 31,8±4,3 года с генерализованным токсоплазмозом (токсоплазмозным лимфаденитом, токсоплазмозным поражением центральной нервной системы, токсоплазмозными высыпаниями на коже и т.д.) и незначительными жалобами на зрительные функции, которые составили основную исследуемую группу. Токсоплазмоз в хронической стадии заболевания был диагностирован у 52 (59,8%) пациентов, в острой стадии — у 35 (40,2%).

Критериями включения больных в основную группу явилось наличие острой или хронической формы токсоплазмоза, подтвержденного врачом-инфекционистом. Критериями исключения больных из основной группы стало наличие других инфекций (цитомегаловируса, бруцеллеза, туберкулеза и т.д.).

Контрольную группу составили 50 (100 глаз) практически здоровых пациентов без наличия генерализованной формы токсоплазмоза. Пациенты контрольной и основной групп не имели воспалительного локуса на сетчатке. Всем пациентам проведены общеофтальмологические, а также специальные и лабораторные методы исследования. Общеофтальмологические методы исследования включали визометрию, пневмотонометрию, биомикроскопию, офтальмоскопию и А-, В-сканирование глаз (Sonomed Vupad, США). Также пациентам проводилась оптическая когерентная томография (ОКТ) с ангиорежимом (ОКТА) (DRI OCT Triton, Япония), компьютерная периметрия (КП) (Tomey AP-3000, Япония), электроретинография (ЭРГ) («Нейрософт-Нейро», Россия).

Лабораторные методы исследования включали определение титров иммуноглобулинов M (IgM) и G (IgG) в сыворотке крови к *T. gondii* при помощи иммуноферментного анализа (ИФА). Средний уровень титра IgM у пациентов основной группы составил 5,3±0,4 ЕД/мл, IgG — 6,8±0,6 ЕД/мл (референсные значения для IgM и IgG — 0,1–1,0 ЕД/мл).

Статистический анализ выполнялся с использованием компьютерной программы Statistica 10,0 (Statsoft, Inc., США). Количественные данные описаны при помощи средней арифметической и стандартного отклонения (в таблицах представлены в виде M±σ), а также использовался критерий достоверности Стьюдента (t-критерий). Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ результатов проведенного клинического обследования и лабораторного исследования показал, что у пациентов основной группы в острой стадии генерализованного токсоплазмоза при значении титров IgM более 1,3 ЕД/мл узелковый эписклерит был диагностирован в 8,0% (14 глаз) случаев, передний склерит — в 6,3% (11 глаз) случаев, нейроофтальмологические заболевания (папиллит, ретробульбарный неврит, нейроретинит, передняя ишемическая нейропатия и застойный диск зрительного нерва) — в 7,4% (13 глаз) случаев, промежуточный увеит (парспланит + витреит) — в 12% (21 глаз) случаев.

У пациентов основной группы с хронической стадией генерализованного токсоплазмоза, при показателях титров IgG более 1,3 ЕД/мл, в 9,2% случаев (16 глаз) наблюдали аллергический конъюнктивит, в 17,8% случаев (31 глаз) — деструкцию стекловидного тела различной степени выраженности.

Развитие аллергического конъюнктивита, эписклерита и склерита было связано с развитием иммуновоспалительных реакций как ответ организма на персистенцию *T. gondii*. Следует отметить, что вышеперечисленные заболевания как при острой, так и при хронической форме токсоплазмоза нередко сочетались в одном глазу.

В результате офтальмологического обследования пациентов установлено, что в 74,0% случаев максимальная корригированная острота зрения (МКОЗ) была в пределах 0,3–0,8 и выше. Пациенты контрольной группы имели МКОЗ в 100% случаев выше 0,8 *(табл. 1)*.

При проведении обследования сетчатки пациентов с помощью ОКТ было установлено, что в основной группе превалирующим патологическим ОКТ-признаком было увеличение толщины макулярной зоны, которое наблюдалось в 17,2% случаев, тогда как в контрольной группе — в 1,0% случаев *(табл. 2)*. Вторым по значимости распространенным патологическим признаком на ОКТ были гиперрефлективные включения в слоях сетчатки — 15,5% (27 глаз), в контрольной группе — 3,0%. В целом патологические изменения сетчатки у пациентов основной группы встречались достоверно чаще, чем у здоровых лиц, — соответственно в 71,3 и 4% случаев ($p<0,01$).

Причиной образования гиперрефлективных включений в слоях сетчатки является ее инфильтрация воспалительными клетками в результате генерализованного процесса, вследствие накопления фагоцитарных клеток и микронекроза. Установлено, что вышеперечисленные патологические ОКТ-признаки нередко сочетались в одном глазу.

Современные методы визуализации, включая ОКТА, позволяют обнаруживать не только манифестные, но и клинически значимые поражения органа зрения при системных инфекциях, в том числе и при токсоплазмозе. У пациентов с генерализованным токсоплазмозом и повышенным титром IgM и IgG в сыворотке крови могут наблюдаться разнообразные патологические изменения в сосудистом русле сетчатки и хориоидеи. После детального обследования всех пациентов методом ОКТА были выявлены изменения сетчатки в основной группе в 46% случаев (80 глаз), в контрольной — в 2,0% *(табл. 3)*. При этом наиболее часто встречаемым патологическим признаком у пациентов с токсоплазмозом было снижение плотности капиллярного кровотока в макулярной области, которое наблюдалось в 16,1% случаев (28 глаз) против 2,0% в контроле ($p<0,05$).

Вторым по распространенности патологическим ОКТА-признаком у пациентов основной группы было локальное расширение и прерывание капилляров в макулярной области, которое не было выявлено ни у одного пациента в контроле *(рис.)*. Деформацию контура фо-

Таблица 1

Максимальная корригированная острота зрения пациентов основной и контрольной групп

Table 1

Best corrected visual acuity of the patients of main and control groups

МКОЗ BCVA	Количество глаз в (%) / Number of eyes in (%)	
	Основная группа (n=174 глаза) Main group (n=174 eyes)	Контрольная группа (n=100 глаз) Control group (n=100 eyes)
0,05–0,1	17 (9,8%)	–
0,1–0,3	28 (16,1%)	–
0,3–0,5	57 (32,7%)	–
0,5–0,8	35 (20,1%)	–
Выше 0,8 / Above 0,8	37 (21,2%)	100 (100%)

Таблица 2

Патологические изменения на ОКТ у пациентов с системным токсоплазмозом

Table 2

Pathological changes on OCT in patients with systemic toxoplasmosis

Патологические ОКТ-изменения Pathological OCT changes	Количество глаз в (%) / Number of eyes in (%)	
	Основная группа (n=174 глаза) Main group (n=174 eyes)	Контрольная группа (n=100 глаз) Control group (n=100 eyes)
Гиперрефлективные включения в слоях сетчатки Hyperreflective inclusions in the retinal layers	27 (15,5%)	3 (3,0%)
Деструкция эллипсоидной зоны фоторецепторов Destruction of the ellipsoid zone of photoreceptors	21 (12,1%)	–
Утолщение макулярной зоны Thickening of the macular area	30 (17,2%)	1 (1,0%)
Истончение хориоидеи со сниженной визуализацией хориокапилляров Thinning of the choroid with reduced visualization of the choriocapillaries	23 (13,2%)	–
Локальная атрофия пигментного эпителия сетчатки с эффектом обратного затенения Local atrophy of the RPE with reverse shadowing effect	14 (8,0%)	–
Наличие идиопатической эпиретинальнрй мембраны Presence of idiopathic ERM	9 (5,2%)	–
Всего с патологией сетчатки Total with retinal pathology	124 (71,3%)	4 (4,0%)

Таблица 3

Изменения сетчатки пациентов, выявленные при обследовании методом ОКТА

Table 3

Changes in the retina of patients revealed during the examination by the method

Патологические ОКТА-изменения Pathological OCTA changes	Количество глаз в (%) / Number of eyes in (%)	
	Основная группа (n=174 глаза) Main group (n=174 eyes)	Контрольная группа (n=100 глаз) Control group (n=100 eyes)
Очаги гипоперфузии Foci of hypoperfusion	17 (9,8%)	–
Локальное расширение и прерывание капилляров Local dilation and interruption of capillaries	24 (13,8%)	–
Снижение плотности капиллярного кровотока в макулярной зоне Decreased capillary blood flow density in the macular area	28 (16,1%)	2 (2,0%)
Деформация контуров фовеально- аваскулярной зоны (FAZ) Deformation of the contours of the foveal avascular zone (FAZ)	11 (6,5%)	–
Всего с патологией сетчатки Total with retinal pathology	80 (46,0%)	2 (2,0%)

веально-аваскулярной зоны (FAZ) отмечали в 6,5% случаев при системном токсоплазмозе, тогда как в контроле данного вида патологии не было обнаружено.

Результаты КП показали 3-кратное увеличение среднего значения светочувствительности (MD) у пациентов основной группы сравнительно с показателем в контрольной группе *(табл. 4)*. Локальное и диффузное снижение светочувствительности (PSD) у пациентов основной группы было в 4 раза выше данных в контроле.

Полученные в результате исследования данные указы-

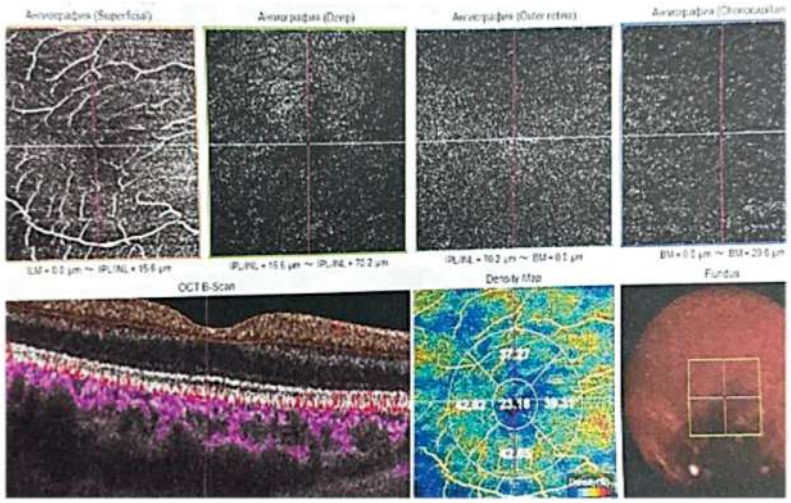


Рис. Пациент К. с острой формой системного токсоплазмоза. ОКТА-снимок. Снижение плотности капиллярного кровотока в макулярной области, а также деформация контура фовеально-аваскулярной зоны.

Fig. Patient K. with acute systemic toxoplasmosis. OCTA image. Decreased capillary blood flow density in the macular region, as well as deformation of the foveal avascular zone (FAZ) contour

Таблица 4

Патологические изменения на компьютерной периметрии у обследуемых пациентов

Table 4

Pathological changes in computer perimetry in the studied patients

Исследуемые показатели Indicators	Количество глаз в (%) / Number of eyes in (%)	
	Основная группа (n=174) Main group (n=174)	Контрольная группа (n=100) Control group (n=100)
Светочувствительность MD в децибелах (дБ) MD in Decibel (dB)	−7,56±1,12*	−2,34±0,33
Снижение PSD в дБ PSD reduction in dB	−6,23±0,89*	−1,77±0,21
Уменьшение VFI в % VFI reduction in %	88,2±4,5*	96,3±1,8

Примечание: * — статистически достоверно с данными контрольной группы (p<0,05).

Note: * — statistically significant with the data of the control group (p<0.05).

вают на то, что системный токсоплазмоз может вызывать функционально значимые поражения зрительного анализатора. Основным механизмом таких нарушений является микроангиопатия, вызванная иммуновоспалительным ответом на паразитарную инфекцию, а также прямое воздействие *T. gondii* на структуры зрительного нерва [12].

Проведение ЭРГ позволило установить, что амплитуда α- и β-волны пациентов основной группы была в 1,5 раза ниже аналогичных данных контрольной группы (p<0,05) *(табл. 5)*. Это свидетельствует о наличии ранних патологических изменений зрительного нерва у пациентов с системным токсоплазмозом.

В результате проведенного исследования было выявлено, что при острой форме генерализованного токсоплазмоза у пациентов наблюдались явления эписклерита, переднего склерита, нейроофтальмологических заболеваний, а также промежуточного увеита, при хронической форме — явления аллергического конъюнктивита, а также деструкции стекловидного тела. Это указывает на системный характер инфекционного процесса и его негативное влияние на орган зрения. Установлено, что превалирующими патологическими ОКТ-признаками у пациентов основной группы явилось утолщение макулярной зоны и гиперрефлективные включения в слоях сетчатки. Снижение плотности капиллярного кровотока в макулярной области по данным ОКТА является часто встречаемым клиническим признаком у пациентов с генерализованным токсоплазмозом. В целом отрицательное влияние *T. gondii* на структуры зрительного анализатора является малоизученным вопросом, что требует даль-

Таблица 5

Патологические изменения на ЭРГ у исследуемых пациентов

Table 5

Pathological changes in ERG in the studied patients

Показатели Indicators	Количество глаз в (%) / Number of eyes in (%)	
	Основная группа (n=174) Main group (n=174)	Контрольная группа (n=100) Control group (n=100)
Амплитуда α-волны, мкВ The amplitude of the α-wave, mcV	52,3±3,4*	78,5±2,2
Амплитуда β-волны, мкВ The amplitude of the β-wave, mcV	223,2±7,8*	335,1±7,4

Примечание: *– статистически достоверно с данными контрольной группы (p<0,05).

Note: * – statistically significant with the data of the control group (p<0.05).

нейших наблюдений с вовлечением смежных специалистов. Значимость морфофункциональных изменений у пациентов с системным токсоплазмозом по данным ОКТ, ОКТА, компьютерной периметрии, ЭРГ велика и подчеркивает необходимость своевременно выполнять данные процедуры для профилактики различных офтальмологических осложнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При системном токсоплазмозе различных органов и систем человека могут наблюдаться ранние клинически значимые изменения органа зрения. Выявлено, что использование комплексного подхода с применением ОКТА, КП, ЭРГ, а также лабораторных методов исследования позволяет идентифицировать патологические изменения хориоидеи, сетчатки и микроциркуляторного русла, ранние функциональные изменения со стороны зрительного нерва. Проведение мультимодальной диагностики с обязательным привлечением врача-инфекциониста имеет решающее значение для раннего выявления офтальмологических осложнений и своевременного назначения специфической медикаментозной терапии.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Zheng J, Hong X, Peng J, Li S. Acquired Ocular Toxoplasmosis: a Case Report and Review of the Literature. *Clin Lab.* 2023;69(7). https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2022.221122
2. Yogeswaran K, Furtado JM, Bodaghi B, Matthews JM. International Ocular Toxoplasmosis Study Group; Smith JR. Current practice in the management of ocular toxoplasmosis. *Br J Ophthalmol.* 2023;107(7): 973–9. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2022-321091
3. Miyagaki M, Zong Y, Yang M, et al. Ocular Toxoplasmosis: Advances in Toxoplasma gondii Biology, Clinical Manifestations, *Diagnostics, and Therapy. Pathogens.* 2024;13(10): 898. https://doi.org/10.3390/pathogens13100898
4. Goh EJH, Putera I, La Distia Nora R, et al. Ocular Toxoplasmosis. *Ocul Immunol Inflamm.* 2023;31(7): 1342–61. https://doi.org/10.1080/09273948.2022.2117705
5. Patel NS, Vavvas DG. Ocular Toxoplasmosis: A Review of Current Literature. *Int Ophthalmol Clin.* 2022;62(2): 231–50. https://doi.org/10.1097/IIO.0000000000000419
6. de-la-Torre A, Mejía-Salgado G, Eraghi AT, Pleyer U. Age and ocular toxoplasmosis: a narrative review. *FEMS Microbes.* 2025;6: xtaf002. https://doi.org/10.1093/femsmc/xtaf002
7. Karami M, Gorgani-Firouzjaee T, Rostami-Mansour S, et al. Prevalence of Ocular Toxoplasmosis in the General Population and Uveitis Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ocular Immunology and Inflammation.* 2024;32(6): 1003–16. https://doi.org/10.1080/09273948.2023.2190801
8. Khairullah A, Kurniawan S, Widodo A, et al. A Comprehensive Review of Toxoplasmosis: Serious Threat to Human Health. *Open Public Health Journal.* 2024;17: e18749445281387. https://doi.org/10.2174/0118749445281387240202094637
9. Sauer A, Schaeffer M, Serrar Y, Kodjikian L. Toxoplasmose oculaire [Ocular toxoplasmosis]. *J Fr Ophtalmol.* 2024;47(10): 104334. (In French). https://doi.org/10.1016/j.jfo.2024.104334
10. Chen Z, Cheng S, Chen X, Zhang Z, Du Y. New advances in immune mechanism and treatment during ocular toxoplasmosis. *Front Immunol.* 2024;15: 1403025. https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1403025
11. Cho SM, Montoya JG, Contopoulos-Ioannidis DG. Toxoplasmosis in the Era of Targeted Immunotherapy: A Systematic Review of Emerging Cases Linked to Biologics and Small Molecules in Autoimmune Diseases, Oncology and Transplantation. *Pathogens.* 2025;14(10): 1001. https://doi.org/10.3390/pathogens14101001
12. Eckert GU, Melamed J, Menegaz B. Optic nerve changes in ocular toxoplasmosis. *Eye (Lond).* 2007;21(6): 746–51. https://doi.org/10.1038/sj.eye.6702319.

Информация об авторах

Юсупов Азамат Фархадович — д.м.н., профессор, директор Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, yafoft@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-4462-5091

Каримова Муяссар Хамитовна — д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, mkarimova2004@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0268-7881

Джамалова Ширин Абдумуратовна — д.м.н., доцент, лазерный хирург Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, shirinkon@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8765-8176

Абдуллаева Саида Ибрагимовна — PhD, ученый секретарь Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, saidochka90@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1040-2866

Саматов Мадаминжон Улугбекович — базовый докторант Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, madamin.samatov94@mail.ru, https://orcid.org/0009-0008-1702-8735

Цой Екатерина Сергеевна — лазерный хирург Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, kate1984tsoy@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-3589-1128

Information about the authors

Azamat F. Yusupov — Professor, Director of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, yafoft@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-4462-5091

Muyassar Kh. Karimova — Professor, Deputy director for Research of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, mkarimova2004@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0268-7881
Shirin A. Djamalova — Associate Professor, laser surgeon of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, shirinkon@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8765-8176
Saida I. Abdullaeva — PhD, Scientific Secretary of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, saidochka90@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1040-2866s
Madaminjon U. Samatov — PhD student of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, madamin.samatov94@mail.ru, https://orcid.org/0009-0008-1702-8735
Ekaterina S. Tsoy — laser surgeon of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, kate1984tsoy@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-3589-1128

Вклад авторов:
Юсупов А.Ф. — методология исследования, редактирование данных.
Каримова М.Х. — концепция и дизайн исследования, анализ и обработка данных, редактирование.
Джамалова Ш.А. — методология исследования, анализ и обработка данных, редактирование.
Абдуллаева С.И. — анализ и обработка данных, редактирование.
Саматов М.У. — написание оригинального текста, сбор первичного материала, анализ и обработка данных.
Цой Е.С. — сбор первичного материала, анализ и обработка данных.

Author's contribution:
Yusupov A.F. — research methodology, data editing.
Karimova M.Kh. — study concept and design, data analysis and processing, editing.
Djamalova Sh.A. — research methodology, data analysis and processing, editing.
Abdullaeva S.I. — data analysis and processing, editing.
Samatov M.U. — original text writing, primary data collection, data analysis and processing.
Tsoy E.S. — primary data collection, data analysis and processing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах
Financial transparency: Authors have no financial interest in the submitted materials or methods.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *25.02.2026*
Переработана: *11.03.2026*
Принята к печати: *25.05.2026*
Received: *25.02.2026*
Revision: *11.03.2026*
Accepted: *25.05.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.7-089
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-21-29

Обоснованность оптико-реконструктивной хирургии с применением диафрагмирующих имплантатов при колобоме радужки после удаления меланомы иридоцилиарной зоны: сравнительный анализ

А.А. Яровой, Н.П. Соболев, И.И. Асайдуллина, А.Д. Москаленко
ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

Актуальность. Основным методом в лечении меланомы иридоцилиарной зоны (ИЦЗ) является хирургическое удаление — блокэксцизия. Ожидаемое последствие — колобома радужки. Для восстановления диафрагмы глаза применяется оптико-реконструктивная хирургия — имплантация искусственной радужки или иридохрусталиковой диафрагмы.
Цель. Провести сравнительный анализ данных пациентов, перенесших оптико-реконструктивные операции (ОРО) с применением оптико-диафрагмирующих имплантатов после удаления меланомы ИЗЦ и пациентов, которым ОРО не выполняли.
Материал и методы. Блокэксцизия с формированием колобомы более 30% площади радужки выполнена 52 пациентам, из которых ОРО выполнена 29 (56%) пациентам (основная группа), остальным 23 (44%) пациентам ОРО не выполняли (контрольная группа).
Результаты. Максимальная корригированная острота зрения пациентов основной группы была достоверно выше, медиана составила 0,5, в контрольной группе — 0,1. Сила роговичного астигматизма была достоверно ниже у пациентов основной группы. Внутриглазное давление пациентов основной и контрольной групп было нормальным — соответственно 16±4 и 14±5 мм рт.ст. Осложнения отмечены у 15 (52%) пациентов основной группы и у 6 (26%) — контрольной. Статистически значимых различий локального контроля опухоли, сохранности глаз и выживаемости среди исследуемых групп выявлено не было. Косметическая удовлетворенность и социальная адаптация пациентов основной группы достоверно значимо лучше.
Заключение. Выполнение ОРО пациентам с колобомой радужки после перенесенного удаления меланомы ИЦЗ безопасно, целесообразно и оправдано.
Ключевые слова: *блокэксцизия опухоли ИЦЗ, искусственная радужка, ирудохрусталиковая диафрагма*

Для цитирования: Яровой А.А., Соболев Н.П., Асайдуллина И.И., Москаленко А.Д. Обоснованность оптико-реконструктивной хирургии с применением диафрагмирующих имплантатов при колобоме радужки после удаления меланомы иридоцилиарной зоны: сравнительный анализ. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 21–29. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-21-29
Автор, ответственный за переписку: Москаленко Ангелина Дмитриевна, matyaeva.lina@yandex.ru

Original article

The validity of optical reconstructive surgery using diaphragmatic implants for iris coloboma after removal of iridociliary melanoma: a comparative analysis

A.A. Yarovoy, N.P. Sobolev, I.I. Asaidullina, A.D. Moskalenko
S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russia

ABSTRACT

Relevance. The main method in the treatment of melanoma of the iridociliary zone is surgical removal — blockexcision. The expected consequence is an iris coloboma. To restore the diaphragm of the eye, optical reconstructive surgery is used — implantation of an artificial iris or iridocrustal diaphragm.
Purpose. To conduct a comparative analysis of the data of patients who underwent opto-reconstructive surgery using opto-diaphragmatic implants after removal of melanoma of the iridociliary zone and patients who did not undergo opto-reconstructive surgery.
Material and methods. Blockexcision with coloboma formation of more than 30% of the iris area was performed in 52 patients, of which 29 (56%) patients underwent optical reconstructive surgery in the main group, and the remaining 23 (44%) patients did not undergo optical reconstructive surgery in the control group.

© Яровой А.А., Соболев Н.П., Асайдуллина И.И., Москаленко А.Д., 2026

Results. BCVA of patients in the main group was significantly higher, the median was 0.5, in the control group — 0.1. The severity of corneal astigmatism was significantly lower in patients in the main group. The IOP of patients in the main and control groups was normal, in the main group — 16±4 mmHg, in the control group — 14±5 mmHg. Complications were noted in 15 (52%) patients in the main group and in 6 (26%) patients in the control group. There were no statistically significant differences in local tumor control, eye safety, and survival among the study groups. Cosmetic satisfaction and social adaptation of patients in the main group were significantly better.

Conclusion. Performing optical reconstructive surgery in patients with iris coloboma after undergoing removal of iridociliary melanoma is safe, expedient, and justified.

Keywords: *blockexcision of the tumor of the iridociliary zone, artificial iris*

For citation: Yarovoy A.A., Sobolev N.P., Asaidullina I.I., Moskalenko A.D. The validity of optical reconstructive surgery using diaphragmatic implants for iris coloboma after removal of iridociliary melanoma: a comparative analysis. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 21–29. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-21-29

Corresponding author: Angelina D. Moskalenko, matyaeva.lina@yandex.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Увеальная меланома — наиболее распространенная первичная внутриглазная злокачественная опухоль [1]. Меланома иридоцилиарной зоны (ИЦЗ) встречается реже меланомы хориоидеи: опухоли хориоидеи составляют 80–90%, радужки и цилиарного тела — 10–20% [2].

Пациенты с меланомой ИЦЗ, как правило, на момент установления диагноза — лица более молодого возраста (обычно от 45 до 65 лет) по сравнению с меланомой хориоидеи [3].

Увеальная меланома ИЦЗ имеет более низкий риск метастазирования [3–5], нежели меланома хориоидеи, что связано с возможностью более раннего выявления опухоли из-за ее «переднего» расположения без необходимости применения специализированных методов исследования [1, 2, 6, 7], а также преимущественно веретеноклеточной структуры опухоли [4, 5, 8, 9]. Согласно статистике C.L. Shields и соавт., метастазирование происходит у 3% пациентов через 5 лет после постановки диагноза, у 5% — через 10 лет и у 10% — через 20 лет [3].

Основным методом лечения меланомы ИЦЗ является хирургическое удаление единым блоком опухолевого очага с прилежащим ободком здоровых тканей — блокэксцизия (БЭ) [10, 11]. В зависимости от локализации опухоли и вовлечении структур глаза, выполняют соответствующий объем БЭ: иридэктомия (ИЭ), иридоциклэктомия (ИЦЭ), иридоциклосклерэктомия (ИЦСЭ) или иридоциклохориоидсклерэктомия (ИЦХСЭ) [10, 12–15].

Ожидаемое последствие БЭ — колобома радужки различной протяженности. При сквозной колобоме радужки теряется диафрагмирующая функция радужки, возникают оптические искажения, светорассеяние, светобоязнь, снижается острота зрения [16]. Кроме того, известно, что удаление опухоли ИЦЗ либо приводит к формированию катаракты, либо усиливает имеющееся помутнение хрусталика [17]. В тех случаях, когда дефект радужки небольшого размера, рекомендовано выполнять одномоментную иридопластику [18]. Если выполнение иридопластики невозможно по ряду причин: протяженная колобома, ригидность тканей радужки, то применяется современный метод оптико-реконструктивной хирургии — имплантация диафрагмирующих имплантатов: искусственной радужки (ИР) или иридохрусталиковой диафрагмы (ИХД) [18–20].

На сегодняшний день существует небольшое число исследований, посвященных оптико-реконструктивным операциям (ОРО) с применением оптико-диафрагмирующих имплантатов у пациентов с хирургической колобомой радужки после БЭ увеальной меланомы *(табл. 1)* [20–25].

Нерешенными задачами остаются анализ функциональных исходов ОРО после удаления меланомы ИЦЗ, определение локального контроля опухоли, сохранности глаз, выживаемости пациентов, оценка косметических последствий и удовлетворенности пациентов, а также сопоставление функциональных результатов пациентов после ОРО и пациентов без ОРО.

ЦЕЛЬ

Провести сравнительный анализ данных пациентов, перенесших ОРО с применением оптико-диафрагмирующих имплантатов после удаления меланомы ИЦЗ, и пациентов, которым ОРО не выполняли.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (Москва) за период с 1994 по 2026 г. БЭ меланомы ИЦЗ выполнена 154 пациентам, среди данных пациентов у 52 человек (вошедших в исследование) колобома радужки превышала 30% ее площади, соответственно, иридопластика была невозможна. Среди них ОРО с применением оптико-диафрагмирующих имплантатов выполнена 29 (56%) пациентам (основная группа — ОГ), остальным 23 (44%) пациентам (контрольная группа — КГ) ОРО не выполняли по ряду причин: отказ пациентов, некупированные осложнения после БЭ, кроме того в эту группу вошли пациенты, которым планируется выполнение ОРО.

Группы были стандартизированы по возрасту пациентов на момент удаления новообразования ИЦЗ, полу, локализации, высоте и максимальной протяженности новообразования; функциональным показателям до лечения (максимальная корригированная острота зрения (МКОЗ), внутриглазное давление (ВГД), плотность эндотелиальных клеток (ПЭК)), размеру колобомы радужки после удаления новообразования ИЦЗ, сроку наблюдения *(табл. 2)*.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Google Sheets

Таблица 1

Сводные данные публикаций, посвященных ОРО с применением оптико-диафрагмирующих имплантатов после БЭ увеальной меланомы ИЦЗ

Table 1

Summary of publications on optical reconstructive surgery using optical diaphragm implants after blockexcision of uveal melanoma of the iridociliary zone

Автор Author	Год публикации Year of publication	Количество пациентов Number of patients	Число новообразований Number of Neoplasm
Nissen K.	2024	45	Меланома / Melanoma – 45
Snyder M.E.	2017	16	Меланома / Melanoma – 15 Аденома / Adenoma – 1
Crawford A.Z.	2022	14	Меланома / Melanoma – 11 Невус / Nevus – 3
Саакян С.В.	2009	5	Меланома / Melanoma – 1 Лейомиома / Leiomyoma – 4
Burk S.E.	2001	2	Меланома / Melanoma – 2
Mavrikakis I.	2005	1	Меланома / Melanoma – 1

(Google LLC), MedCalc 19.5.3 (MedCalc Software Ltd, Бельгия). В рамках описательной статистики рассчитывали минимальное (min) и максимальное (max) значения, медиану — Me, первый и третий квартили — Q_1, Q_3, среднее значение (Ср.), стандартное отклонение — σ. Данные полученных результатов представлены в виде Ср.±σ при нормальном распределении и Me (Q_1, Q_3) при его отсутствии. Для проверки достоверности различий выборок по количественным критериям независимых групп использовали непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Статистически достоверными считали различия, при которых уровень значимости (p) <0,05. Для сравнения качественных признаков между группами использовали критерий согласия Пирсона (χ^2) и точный критерий Фишера. Для определения уровня общей и безрецидивной выживаемости пациентов, оценки сохранности глаз использовали метод Каплана–Мейера.

Пациентам ОГ ОРО выполняли в среднем через 15 месяцев (Q_1–Q_3; 8–39 месяцев) после БЭ меланомы. Большинству (n=27; 93%) выполнена ОРО в объеме факоэмульсификации с последующей имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) Acrysof IQ Natural (Alcon, США) и ИР модели F0 (ООО «Репер-НН», г. Нижний Новгород) (n=22; 76%) или ИР НЭП РСП-3 (ООО «НЭП МГ» г. Москва) (n=5; 17%) в капсульный мешок; в 1 (3,5%) случае капсульный мешок оказался частично поврежденным, и в него удалось имплантировать только ИОЛ; Acrysof IQ Natural, ИР модели H0 (ООО «Репер-НН», г. Нижний Новгород) расположили в цилиарной борозде; еще в 1 (3,5%) случае при сильно поврежденном капсульном мешке и частично лизированном хрусталике имплантировали моноблок — ИХД модели H1 (ООО «Репер-НН», г. Нижний Новгород) и фиксировали его путем подшивания к склере.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительный анализ ОГ и КГ пациентов был основан на оценке функциональных показателей (МКОЗ; роговичный астигматизм; ВГД; ПЭК), осложнений, локального контроля опухоли, сохранности глаз, выживаемости пациентов, а также косметических последствий и удовлетворенности пациентов.

МКОЗ пациентов ОГ оказалась достоверно выше (p=0,0121, рассчитана по критерию Манна–Уитни). Медиана МКОЗ в ОГ составила 0,5 (Q_1–Q_3; 0,2–0,7), в КГ — 0,1 (Q_1–Q_3; 0,05–0,5). В КГ преобладали пациенты с низкими значениями МКОЗ — менее 0,1 (n=13; 56%), в отличие от пациентов ОГ, которые преимущественно имели МКОЗ ⩾0,7 (n=9; 31%) *(рис. 1)*.

Сила роговичного астигматизма была достоверно ниже (p=0,006, рассчитана по критерию Манна–Уитни) у пациентов ОГ, что стало одним из факторов улучшения остроты и качества зрения. Медиана силы роговичного астигматизма в ОГ составила 2,0 дптр (Q_1–Q_3; 0,9–3,4 дптр), в контроле — 4,0 дптр (Q_1–Q_3; 2,3–5,1). В ОГ преобладали пациенты с низкой степенью астигматизма ⩽2,75 дптр — 67% (n=22), в контроле — со средней степенью 3,0–5,75 дптр — 45% (n=13) *(рис. 2)*.

ВГД пациентов ОГ и КГ не выходило за пределы нормальных значений, составляя соответственно в среднем 16±4 и 14±5 мм рт.ст., достоверных различий не отмечено (p=0,06, рассчитан по критерию Манна–Уитни).

При оценке ПЭК среднее количество эндотелиальных клеток составило в основной группе 1394±666 кл/мм², медиана потери эндотелиальных клеток — 1191 (Q_1–Q_3; 629–1804), в контроле среднее количество ПЭК — 2065±424 кл/мм²; медиана потери — 175 (123–871) кл/мм². Статистически значимо более низкое значение (p=0,0167, рассчитан по критерию Манна–Уитни) у пациентов основной группы связано с потерей эндотелиальных клеток ввиду двукратного продолжительного хирургического вмешательства в передней камере глаза, что обусловило большую потерю эндотелиальных клеток (p=0,0146, рассчитан по критерию Манна–Уитни).

Осложнения отмечены у 15 (52%) пациентов ОГ и у 6 (26%) — КГ, причем достоверного различия между группами не было (p=0,29, рассчитан по точному критерию Фишера). Наиболее частым осложнением в обеих группах

Таблица 2

Клинико-функциональная характеристика пациентов в стандартизированных группах сравнения

Table 2

Clinical and functional characteristics of patients in standardized comparison groups

Критерий Criteria	Основная группа (n=29) The main group (n=29)	Контрольная группа (n=23) The control group (n=23)	p
Возраст на момент удаления новообразования, мес. (лет) (Ср.±σ) Age at the time of removal of the neoplasm, months (years) (average±σ)	54±19 (4,5±1,6)	54±18 (4,5±1,5)	0,92*
Пол (м/ж) Gender (m/w)	6/23	7/16	0,42**
Локализация опухоли (радужка / радужка + цилиарное тело / радужка+ цилиарное тело + хориоидея) Tumor localization (iris / iris+ ciliary body / iris+ ciliary body + choroid)	9/18/2	6/15/2	0,91**
Толщина опухоли, мм Me; Q_1, Q_3 (от – до) Tumor thickness, mm Me; Q_1, Q_3 (from – to)	2,5 (1,8–3,8)	2,0 (1,5–3,4)	0,37*
Протяженность опухоли, мм Me; Q_1, Q_3 (от – до) The extent of the tumor, mm Me; Q_1, Q_3 (from – to)	5,1 (3,6–6,6)	4,9 (3,4–6,6)	0,73*
МКОЗ Me; Q_1, Q_3 (от – до) BCVA Me; Q_1, Q_3 (from – to)	0,9 (0,4–1,0)	0,9 (0,4–1,0)	0,76*
ВГД, мм рт.ст. Me; Q1, Q3 (от – до) IOP, mmHg Me; Q_1, Q_3 (from – to)	17 (13–19)	16 (14–18)	0,44*
ПЭК, кл/мм^2 Me; Q_1, Q_3 (от – до) ECs, cell/mm^2 Me; Q_1, Q_3 (from – to)	2450 (2252–2698)	2434 (2320–2575)	0,80*
Размер колобомы, % Me; Q_1, Q_3 (от – до) Colobоma size, % Me; Q_1, Q_3 (from – to)	45 (35–56)	40 (35–47)	0,47*
Срок наблюдения, мес. Me; Q_1, Q_3 (от – до) Observation period, months Me; Q_1, Q_3 (from – to)	50 (33–86)	31 (8–99)	0,34*

Примечание: * – p, рассчитанный по критерию Манна–Уитни; ** – p, рассчитанный по критерию χ^2.

Note: * – p calculated according to the Mann–Whitney criterion; ** – p calculated according to criterion χ^2.

пациентов был макулярный отек (соответственно в 11 случаях, 42%, и 4 случаях, 17%). Остальные осложнения были единичными: эндотелиально-эпителиальная дистрофия (ЭЭД) роговицы — соответственно в 2 случаях (9%) и 1 случае (3%), вторичная глаукома — 1 (3%) и 1 (3%). В ОГ также наблюдали иридоциклит в 1 случае (3%) и эндофтальмит — в 1 случае (3%); в контрольной группе: отслойку сосудистой оболочки и сетчатки — в 2 случаях (7%), гемофтальм — в 1 случае (3%) и дефект капсулы хрусталика с выпадением хрусталиковых масс — в 1 случае (3%). Для лечения каждого из осложнений применяли соответствующий вид терапии или хирургического вмешательства.

В ОГ рецидив возник у 2 (7%) пациентов, одному из них выполнили брахитерапию с Ru-106 для его купирования, второму — энуклеацию. В КГ рецидив возник у 1 (4%) пациента, ему проведена энуклеация глаза. В основ-

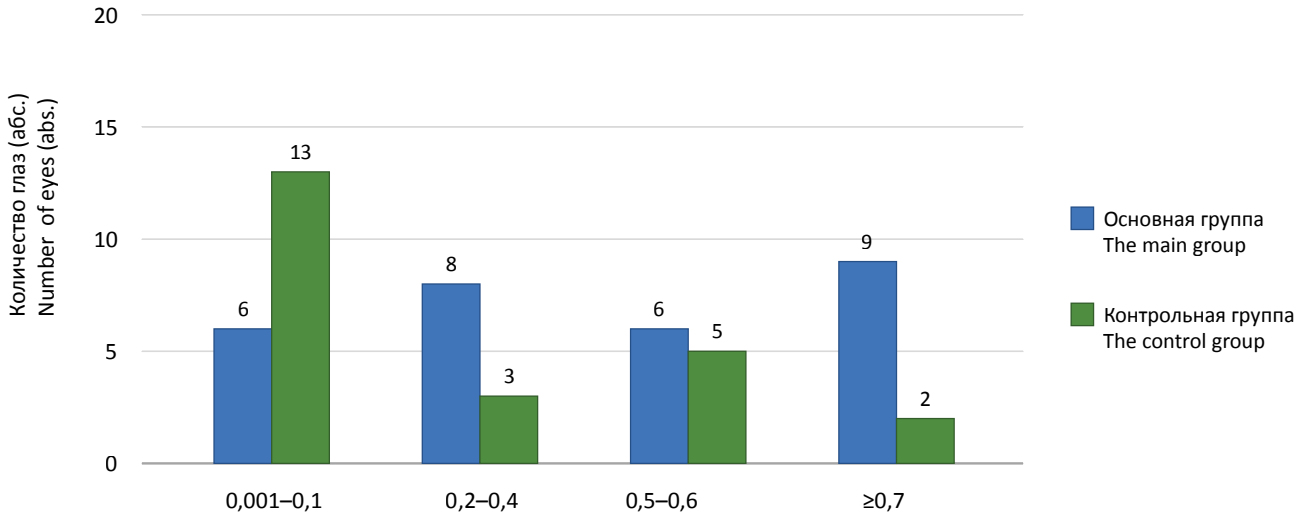


Рис. 1. Распределение пациентов основной и контрольной групп по диапазонам МКОЗ

Fig. 1. Distribution of patients in the main and control groups by ranges of BCVA

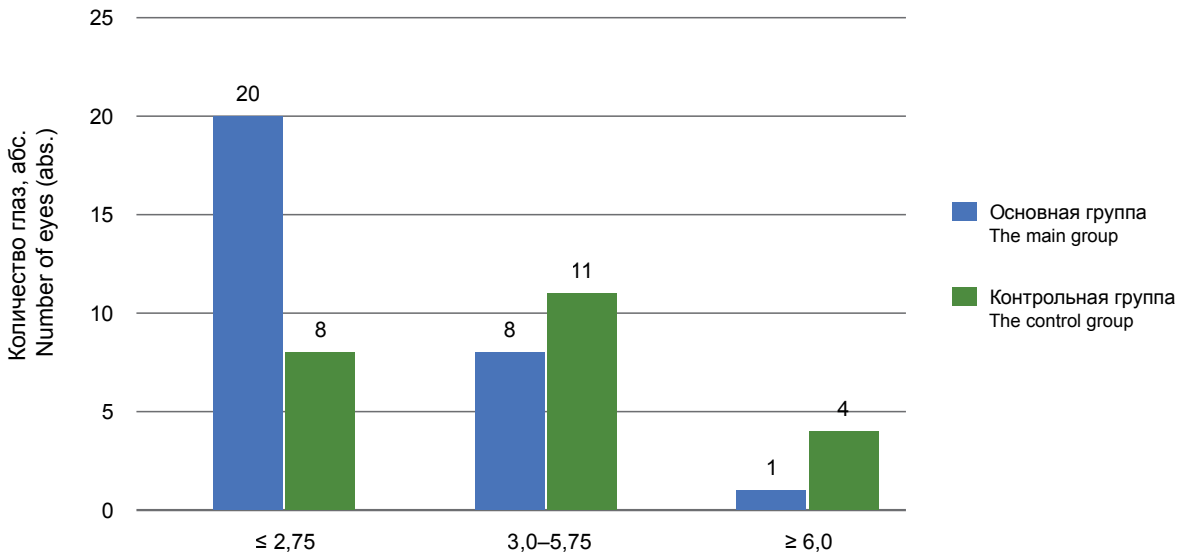


Рис. 2. Распределение пациентов основной и контрольной групп по уровню роговичного астигматизма (дптр)

Fig. 2. Distribution of patients in the main and control groups according to the level of corneal astigmatism (D)

ной группе локальный контроль опухоли (отсутствие рецидива или продолженного роста) был достигнут в 93% случаев (у 27 пациентов), в контрольной — в 96% (у 22 пациентов). Статистически значимых различий локального контроля опухоли среди исследуемых групп выявлено не было (p=0,95, рассчитанный по критерию χ^2).

Рассчитанная методом Каплана–Мейера 3- и 5-летняя сохранность глаз в ОГ и КГ составила соответственно 97% (28 глаз) и 96% (22 глаза) *(рис. 3 А)*. Статистически значимых различий сохранности глаз среди исследуемых групп выявлено не было (p=0,98, рассчитанный по критерию χ^2).

Метастазирование произошло лишь у одного пациента КГ через 36 месяцев после удаления меланомы, пациент умер. 3- и 5-летняя выживаемость, рассчитанная методом Каплана–Мейера, в ОГ составила 100% (n=29), в КГ — 96% (n=22) *(рис. 3 Б)*. Статистически значимых различий выживаемости между исследуемыми группами выявлено не было (p=0,91, рассчитанный по критерию χ^2).

Для оценки качества жизни пациентов использовали русскоязычную версию опросника NEI VFQ-25 [26]. Результаты оценивали по балльной системе, p рассчитан по критерию Манна–Уитни. Анкетирование прошли 19 (66%) пациентов ОГ и 16 (69%) — КГ. Показатели общего состояния здоровья статистически значимо не отличались (p=0,86). Общая оценка зрения (p=0,0001), зрительные функции на близком (p <0,0001) и дальнем (p<0,0001) расстоянии, цветоощущение (p=0,0128) были лучше у пациентов ОГ. Кроме того, у них также на более высоком уровне отмечены социальная адаптация (p=0,0084), эмоциональное состояние пациен-

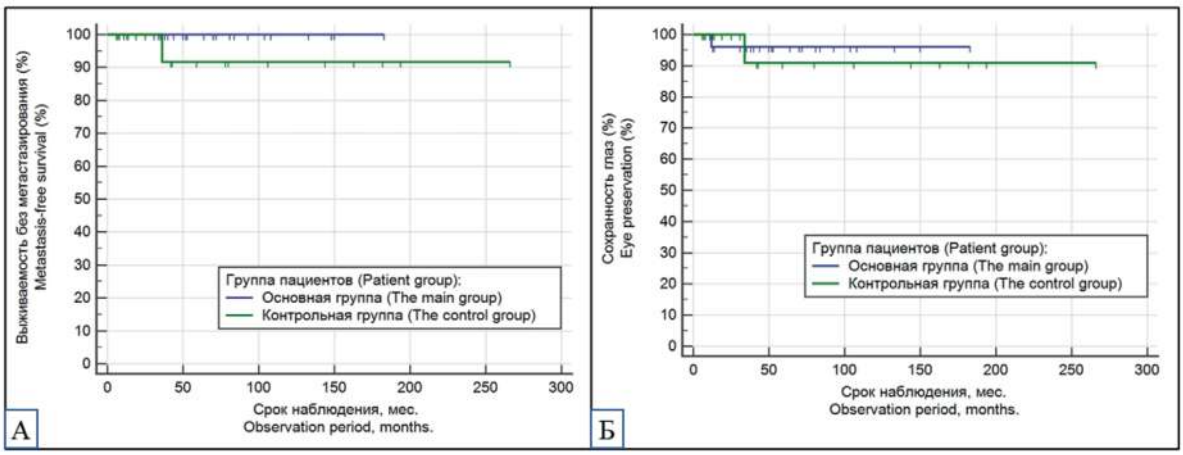


Рис. 3. А — кривая сохранности глаз пациентов. Б — кривая выживаемости пациентов основной и контрольной групп

Fig. 3. A — Curve of patients' eye preservation. Б — Survival curve of patients in the main and control groups

Рис. 4. Фотографии внешнего вида глаз пациентов до ОРО (А, Б, В, Г) и после ОРО (А1, Б1, В1, Г1)

Fig. 4. Photographs of patients' eye appearance before optical reconstructive surgery (А, Б, В, Г) and after optical reconstructive surgery (А1, Б1, В1, Г1)

тов (p=0,003) и отсутствие функциональных ограничений (p<0,0001). По показателям болевых ощущений статистически значимых различий выявлено не было (p=0,46). На *рисунке 4* представлен внешний вид глаз пациентов перед и после ОРО.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оптико-диафрагмирующие имплантаты широко применяются для восстановления диафрагмы глаза при врожденной аниридии или посттравматической колобоме радужки [27, 28]. С целью устранения последствий БЭ новообразований ИЦЗ, в частности меланомы, диафрагмирующие имплантаты используются довольно редко, хотя проблема снижения зрения, светобоязни и косметического дефекта значительно ухудшает качество жизни пациентов [20–25]. Мы выполняем ОРО с применением диафрагмирующих имплантатов при колобоме более 30% площади радужки, что было отмечено и в более ранней нашей публикации [29]. Меньшую колобому можно устранить иридопластикой, так как ткани радужки довольно эластичны. Выполнение ОРО позволяет решить сразу несколько проблем: закрытие колобомы радужки,

восстановление прозрачности оптических сред (факоэмульсификация катаракты), уменьшение степени астигматизма, устранение световых феноменов, светобоязни, восстановление эстетики внешнего вида глаза.

Согласно проведенному исследованию, имплантация ИР или ИХД на сроках от 1 месяца до 9 лет после удаления опухоли безопасна и не повышает риск развития рецидива. Согласно нашим данным, локальный контроль опухоли в обеих группах сопоставим (93% — в ОГ, 96% — в КГ) и не имеет достоверных различий (p=0,95). В известных публикациях, посвященных ОРО после удаления меланомы ИЦЗ, не описаны углубленный анализ рецидива опухоли после проведенной ОРО и безрецидивная выживаемость пациентов. Для оценки края колобомы на предмет рецидива опухоли мы применяли биомикроскопию, офтальмоскопию и ультразвуковую биомикроскопию. Диафрагмирующий имплантат ухудшает офтальмоскопию крайней периферии глазного дна, но не влияет на гониоскопическую картину, так как, находясь в капсульном мешке (модель F или РСП-3), не закрывает угол передней камеры. Если же имплантирована ИХД модели Н, то визуализация также не вызывает проблем, через «окно» в гаптической части возможно просмотреть даже зону колобомы в проекции цилиарного тела. С.В. Саакян и соавт. отмечают, что специально создавали «базальные колобомы небольших размеров у корня ИХД в зоне, где ранее локализовалась опухоль», для лучшей визуализации края резекции и улучшения контроля опухоли [20].

В нашем исследовании острота и качество зрения пациентов, которым выполнена ОРО, были значимо выше, чем у пациентов, которым ОРО не выполняли, что подтверждает целесообразность выполнения оптико-реконструктивной хирургии. Медиана МКОЗ пациентов, перенесших ОРО, — 0,5 (Q_1–Q_3; 0,2–0,7), пациентов, которым ОРО не выполняли, — 0,1 (Q_1–Q_3; 0,05–0,5). С.В. Саакян и соавт. при исследовании 5 пациентов до и после ОРО отмечают увеличение средней МКОЗ с 0,03 до 0,4 [19]. M.E. Snyder и соавт. отмечают достоверно значимое улучшение МКОЗ на 0,79 logMAR после ОРО [22].

Послеоперационный астигматизм в ОГ был ниже, так как на этапе ОРО доступы старались располагать в проекции сильных роговичных меридианов, формируя тем самым послабляющие разрезы роговицы. Однако, по данным С.В. Саакян и K. Nissen, сила роговичного астигматизма после ОРО увеличивалась [20, 21].

ВГД не имело различий в исследуемых группах, в связи с чем можно сделать вывод о том, что имплантация диафрагмирующего имплантата не провоцирует повышение давления и развитие вторичной глаукомы. K. Nissen и соавт. отмечают в 8 случаях в раннем послеоперационном периоде реактивное повышение ВГД, в 1 случае — гипотонию, данные последствия были купированы в течение 1–3 дней [21].

Наиболее частым осложнением в нашем исследовании был макулярный отек в обеих группах, что связано с длительной хирургией в условиях «открытого неба», а в ОГ еще и с дополнительным хирургическим вмешательством. Эндотелий роговицы пациентов основной группы повреждается в большей степени из-за двукратного продолжительного вмешательства в передней камере, в связи с чем возникает риск развития ЭЭД роговицы. Среди осложнений в обеих группах также наблюдали вторичную глаукому, что соотносится с данными других авторов. K. Nissen и соавт. (в исследование которых вошли 45 пациентов) среди осложнений отметили ЭЭД роговицы у 6 пациентов, кистозный макулярный отек — у 2, вторичную глаукому — у 2 [21]. M.E. Snyder и соавт. (в исследование которых вошли 16 пациентов) отмечают следующие послеоперационные осложнения: кистозный макулярный отек (n=3), повышение ВГД (n=3), ЭЭД роговицы (n=2) [22]. С.В. Саакян и соавт. (в исследование которых вошли 5 пациентов) наблюдали в 1 случае ЭЭД роговицы [20].

Удовлетворенность пациентов результатами ОРО достигла высоких значений. Пациенты ОГ отмечают лучшее зрение на всех дистанциях, чем пациенты КГ, у них также достоверно выше социальная адаптация (p=0,0084) и эмоциональный фон (p=0,003). M.E. Snyder и соавт. сообщают о большей удовлетворенности косметическим исходом у тех пациентов, которым ИХД была подобрана индивидуально [22]. С.В. Саакян и соавт. отмечают полную удовлетворенность косметическим результатом у всех пациентов [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хирургическое удаление меланомы ИЦЗ приводит к послеоперационным колобомам радужки, что негативно сказывается на остроте и качестве зрения пациентов, вызывает оптические иллюзии и жалобы пациентов на дискомфорт и косметический дефект. Данную проблему позволяют решить ОРО с применением оптико-диафрагмирующих имплантатов. Сравнительный анализ функциональных результатов показал достоверно лучшие показатели у пациентов, которым выполнена ОРО и восстановлена целостность световой диафрагмы глаза. Локальный контроль опухоли, сохранность глаз и выживаемость пациентов не имели значимых различий в исследуемых группах. Косметическая удовлетворенность и социальная адаптация пациентов ОГ значимо лучше. Таким образом, выполнение ОРО пациентам с колобомой радужки после перенесенного удаления меланомы ИЦЗ безопасно, целесообразно и оправдано.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Shields JA, Shields CL. Intraocular tumors: an atlas and textbook. Lippincott Williams & Wilkins, 2008; 85–139.
2. Shields CL, Furuta M, Thangappan A, et al, Metastasis of uveal melanoma millimeter-by-millimeter in 8033 consecutive eyes. *Archives of Ophthalmology.* 2009;127(8): 989–98. https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2009.208
3. Shields CL, Shields JA, Materin M, et al. Iris melanoma: risk factors for metastasis in 169 consecutive patients. *Ophthalmology.* 2001;108(1):172–8.
4. Саакян С.В., Свирина И.В., Цыганков А.Ю., Жаров А.А., Измайлова Н.С. Клинико-морфологические особенности и оценка выживаемости больных с меланомой радужки. *Российский офтальмологический журнал.* 2024;17(1): 47–54.
Saakyan SV, Svirina IV, Tsygankov AYu, Zharov AA, Izmailova NS. Clinical and morphological features and the assessment of survival in patients with iris melanoma. *Russian Ophthalmological Journal.* 2024;17(1): 47–54. (In Russ.).

https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-47-54
5. Rennie IG. Don't it make my blue eyes brown: heterochromia and other abnormalities of the iris. *Eye.* 2012;26(1): 29–50. https://doi.org/10.1038/eye.2011.228
6. Shields CL, Kancherla S, Patel J, et al. Clinical survey of 3680 iris tumors based on patient age at presentation. *Ophthalmology.* 2012;119(2): 407–14. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.07.059
7. Conway RM, Chua WC, Qureshi C, Billson FA. Primary iris melanoma: diagnostic features and outcome of conservative surgical treatment. *British Journal of Ophthalmology.* 2001;85(7): 848–54. https://doi.org/10.1136/bjo.85.7.848
8. Kersten RC, David TT, Anderson R. Iris melanoma. Nevus or malignancy? *Survey of ophthalmology.* 1985;29(6): 423–33. https://doi.org/10.1016/0039-6257(85)90207-3
9. Pe'er J, Frenkel S. Sector iridectomy of iris melanoma: a novel technique for excising the melanoma extraocularly. *British Journal of Ophthalmology.* 2011;95(10): 1474–6. https://doi.org/10.1136/bjo.2011.204958
10. Линник ЛФ. Хирургическая тактика удаления опухолей сосудистого тракта. *Офтальмохирургия.* 2006(4): 17–23.
Linnik L.F. Xirurgicheskaya taktika udaleniya opuxolej sosudistogo trakta. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2006(4): 17–23. (In Russ.).
11. Mirzayev I, Gündüz AK, Okcu Heper A. Partial lamellar sclerouvectomy surgery for anteriorly located uveal tumour resection: a 20-year experience. *Eye.* 2022;36(5): 969–77. https://doi.org/10.1038/s41433-021-01545-7
12. Peyman GA, Raichand M. Full-thickness eye wall resection of choroidal neoplasms. *Ophthalmology.* 1979;86(6): 1024–36.
13. Damato B, Jones AG. Uveal melanoma: resection techniques. *Ophthalmology clinics of North America.* 2005;18(1): 119–28.
14. Линник Л.Ф. Удаление опухолей иридоцилиарной зоны с склеропластическим закрытием дефектов. Опухоли и опухолеподобные заболевания органа зрения: Тез. докл. 1998;105–6.
Linnik LF. Udalenie opukholei iridotsiliarnoi zony s skleroplasticheskim zakrytiem defektov. Opukholi i opukholepodobnye zabolevaniya organa zreniya: Tez. Dokl. 1998;105–6. (In Russ.).
15. Бровкина А.Ф., Гундорова Р.А. Результаты органосохранного лечения при опухолях иридоцилиарной области и показания к их применению. *Офтальмологический журнал.* 1978;6: 426–31.
Brovkina AF, Gundorova RA. Brovkina AF, Gundorova RA. Rezul'taty organosokhrannogo lecheniya pri opukholyakh iridotsiliarnoi oblasti i pokazaniya k ikh primeneniyu. *Oftal'mologicheskii zhurnal.* 1978;6: 426–31. (In Russ.).
16. Саакян С.В. Функциональные нарушения после хирургического лечения опухолей иридоцилиарной зоны и меры их предупреждения. *Клиническая офтальмология.* 2001;1: 18–20.
Saakyan S.V. Funktsional'nye narusheniya posle khirurgicheskogo lecheniya opukholei iridotsiliarnoi zony i mery ikh preduprezhdeniya. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2001;1: 18–20. (In Russ.).
17. Линник Л.Ф. Хирургическая тактика удаления опухолей сосудистого тракта. Офтальмохирургия. 2006(4): 17–23.
Linnik LF. Khirurgicheskaya taktika udaleniya opukholei sosudistogo trakta. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2006(4): 17–23. (In Russ.).
18. Саакян С.В., Ченцова Е.В., Андреева Т.А. Функциональные исходы у больных с опухолями иридоцилиарной зоны после блокэксцизий с одномоментной и отсроченной экстракцией катаракты. *Российский офтальмологический журнал.* 2010;3(1): 23–8.
Saakyan SV, Chentsova EV, Andreeva TA. Funktsional'nye iskhody u bol'nykh s opukholyami iridotsiliarnoi zony posle blokehkstsizii s odnomomentnoi i otsrochennoi ehkstraktsiei katarakty. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal.* 2010;3(1): 23–8. (In Russ.).
19. Линник Л.Ф. Оперативное удаление иридо-цилиарных опухолей: современные возможности восстановительных операций при помутнении хрусталика. VIII Съезд офтальмологов России: тез. тезисы докладов VIII Съезда офтальмологов России. М.; 2005: 506–7.
Linnik LF. Operativnoe udalenie irido-tsiliarnykh opukholei: sovremennye vozmozhnosti vosstanovitel'nykh operatsii pri pomutnenii khrustalika. VIII S»ezd oftal'mologov Rossii: tez. tezisy dokladov VIII S»ezda oftal'mologov Rossii. M.; 2005: 506–7. (In Russ.).
20. Саакян С.В., Ченцова Е.В., Андреева Т.А. Имплантация искусственной иридохрусталиковой диафрагмы после блокэксцизии опухоли иридоцилиарной зоны. *Офтальмохирургия.* 2009;(5): 52–4.
Saakyan SV, Chentsova EV, Andreeva TA. Implantatsiya iskusstvennoi iridokhrustalikovoi diafragmy posle blokehkstsizii opukholi iridotsiliarnoi zony. *Oftal'mokhirurgiya.* 2009;(5): 52–4. (In Russ.).
21. Nissen K, Skibsted SP, Bagger MM, et al. Outcome of combined cataract surgery and iris prosthesis implantation in iris melanoma patients previously treated with iridocyclectomy: A national retrospective non-comparative case series. *Acta Ophthalmologica.* 2024;102(5): 581–9. https://doi.org/10.1111/aos.16610
22. Snyder ME, Osher RH, Wladecki TM, et al. Results in combined cataract surgery with prosthetic iris implantation in patients with previous iridocyclectomy for iris melanoma. *American journal of ophthalmology.* 2017;175: 45–51. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2016.11.013
23. Crawford AZ, Freundlich SE, Lim J, McGhee CN. Endocapsular artificial iris implantation for iris defects: reducing symptoms, restoring visual function and improving cosmesis. *Clinical & experimental ophthalmology.* 2022;50(5): 490–9. https://doi.org/10.1111/ceo.14083
24. Burk SE, Da Mata AP, Snyder ME, et al. Prosthetic iris implantation for congenital, traumatic, or functional iris deficiencies. *Journal of Cataract & Refractive Surgery.* 2001;27(11): 1732–40. https://doi.org/10.1016/s0886-3350(01)01124-5
25. Mavrikakis I, Mavrikakis E, Syam PP, et al. Surgical management of iris defects with prosthetic iris devices. *Eye.* 2005;19(2): 205–9. https://doi.org/10.1038/sj.eye.6701448
26. Mangione CM, Lee PP, Gutierrez PR, et al. National Eye Institute Visual Function Questionnaire Field Test Investigators. Development of the 25-list-item national eye institute visual function questionnaire. *Archives of ophthalmology.* 2001;119(7): 1050–8. https://doi.org/10.1001/archopht.119.7.1050
27. Соболев Н.П. Система реабилитации пациентов с травматической аниридией на основе комплексной оптико-реконструктивной хирургии. Дис. ... докт. мед. наук. М. 2023.
Sobolev NP. Sistema reabilitatsii patsientov s travmaticheskoi aniridiei na osnove kompleksnoi optiko-rekonstruktivnoi khirurgii. [Dissertation]. M.; 2023. (In Russ.).
28. Поздеева Н.А. Система медицинской реабилитации пациентов с аниридией. Дис. ... докт. мед. наук. М. 2014.
Pozdeeva NA. Sistema meditsinskoĭ reabilitatsii patsientov s aniridieĭ. [Dissertation]. M. 2014. (In Russ.).
29. Ходжаев Н.С., Соболев Н.П., Яровой А.А., и др. Современные возможности оптико-реконструктивной хирургии у пациентов после удаления опухоли иридоцилиарной зоны. *Современные технологии в офтальмологии.* 2020;(1): 424–6.
Khodzhaev NS, Sobolev NP, Yarovoi AA, et al. Sovremennye vozmozhnosti optiko-rekonstruktivnoi khirurgii u patsientov posle udaleniya opukholi iridotsiliarnoi zony. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii.* 2020;(1): 424–6. (In Russ.).

Информация об авторах
Яровой Андрей Александрович — д.м.н., зав. отделом офтальмоонкологии и радиологии ФГАУ «НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, yarovoyaa@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2219-7054
Соболев Николай Петрович — д.м.н., главный врач ФГАУ «НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, viko67@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3413-1458
Асайдуллина Ильвина Ильдаровна — врач-ординатор ФГАУ «НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, ilvina.asajdullina.2001@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-8133-1427
Москаленко Ангелина Дмитриевна — врач-офтальмолог, аспирант ФГАУ «НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, matyaeva.lina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7543-619X
Information about the authors

Andrey A. Yarovoy — PhD, Professor at the ophthalmo-oncology and radiology department, S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation, yarovoyaa@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2219-7054
Nicolay P. Sobolev — PhD, Chief medical officer, S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation, viko67@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3413-1458
Il'vina I. Asaidullina — resident physician, S.N Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation, ilvina.asajdullina.2001@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-8133-1427
Angelina D. Moskalenko — PhD Student, S.N Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation, matyaeva.lina@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7543-619X

Вклад авторов:
Яровой А.А. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.
Соболев Н.П. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.
Асайдуллина И.И. — сбор материала, обзор публикаций по теме статьи, оформление списка литературы.
Москаленко А.Д. — сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, оформление списка литературы.

Author's contribution:
Yarovoy A.A. — editing, final approval of the version to be published, significant contribution to the concept and design of the work.
Sobolev N.P. — editing, final approval of the version to be published, significant contribution to the concept and design of the work.
Asaidullina I.I. — review of publications on the topic of the article, writing of the bibliography.
Moskalenko A.D. — collection, analysis and processing of the material, statistical data processing, writing of the text, review of publications on the topic of the article, writing of the bibliography.

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

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *25.05.2026*
Переработана: *16.06.2026*
Принята к печати: *24.06.2026*
Received: *25.05.2026*
Revision: *16.06.2026*
Accepted: *24.06.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.753.2
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-30-38

Разработка модели машинного обучения для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы

Е.В. Кечин[1, 2], А.В. Дога[1]

[1]*ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия*
[2]*ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия*

РЕФЕРАТ

Цель. Разработать модель машинного обучения для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы (KLEX).

Материал и методы. Сформирован набор данных о 116 глазах, которым для коррекции миопии провели операцию KLEX и достигли эмметропии. В качестве целевых переменных были данные сферического (SPH) и цилиндрического (CYL) компонентов рефракции, указанные в протоколе операции KLEX. Разрабатывали по 4 модели для каждой целевой переменной: XGBRegressor, LinearRegression, AdaBoostRegressor, RandomForestRegressor. Рассчитывали следующие метрики качества моделей: MAE (средняя абсолютная ошибка, дптр), RMSE (корень из среднеквадратичной ошибки, дптр) и R^2 (коэффициент детерминации). Для разработки и тестирования моделей машинного обучения общий набор данных был разделен на обучающую и тестовую выборку в соотношении 70:30. Интерпретацию результатов расчетов лучшей модели осуществляли с использованием библиотеки SHAP. Для разработки веб-сервиса использовали библиотеку Streamlit. Для разработки программного обеспечения и моделей машинного обучения использовали язык программирования Python 3.

Результаты. Разработаны 8 моделей машинного обучения для расчетов параметров операции KLEX (по 4 для расчета SPH и CYL), среди которых наилучшее качество показала модель XGBRegressor для обеих целевых переменных. Метрики качества на тестовом наборе данных составили для SPH: MAE=0,12 дптр, RMSE=0,16 дптр, R^2=0,98; для CYL: MAE=0,05 дптр, RMSE=0,11, R^2=0,94. Наибольшее влияние на прогнозируемое значение SPH оказывает значение сферы по данным клинической рефракции до операции, а для расчета CYL — значение цилиндра до операции. На основании данных моделей разработан веб-сервис с графическим интерфейсом — калькулятор для расчета параметров операции кераторефракционной экстракции лентикулы.

Вывод. Разработанные модели машинного обучения для расчета параметров операции кераторефракционной экстракции лентикулы показали приемлемые результаты и возможность стандартизации опыта ведущих офтальмохирургов, а дальнейшие исследования будут способствовать повышению клинико-функциональных результатов лечения.

Ключевые слова: *кераторефракционная экстракция лентикулы, KLEX, CLEAR, веб-сервис, расчет параметров операции, машинное обучение*

Для цитирования: Кечин Е.В., Дога А.В. Разработка модели машинного обучения для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 30–38. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-30-38

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

Original article

Development of a machine learning model for calculating the parameters of keratorefractive lenticule extraction surgery

E.V. Kechin[1, 2], A.V. Doga[1]

[1]*S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russia*
[2]*FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Purpose. To develop a machine learning model for calculating parameters for keratorefractive lenticule extraction (KLEX) surgery.

© Кечин Е.В., Дога А.В., 2026

Material and methods. The dataset was compiled from 116 eyes that underwent KLEX surgery for myopia correction and achieved emmetropia. The target variables were the spherical (SPH) and cylindrical (CYL) refractive components specified in the KLEX protocol. Four models were developed for each target variable: XGBRegressor, LinearRegression, AdaBoostRegressor, and RandomForestRegressor. The following model performance metrics were calculated: MAE (mean absolute error, D), RMSE (root mean square error, D), and R^2 (the coefficient of determination). To develop and test the machine learning models, the overall dataset was split into training and testing sets at a 70:30 ratio. The SHAP library was used to interpret the calculation results of the best model. The Streamlit library was used to develop the web service. Python 3 was used to develop the software and machine learning models.

Results. Eight machine learning models were developed to calculate the KLEX surgery parameters (four each for SPH and CYL), of which the XGBRegressor model demonstrated the best performance for both target variables. Quality metrics on the test data set were: MAE=0.12 D, RMSE=0.16 D, R^2=0.98 for SPH; MAE=0.05 D, RMSE=0.11, R^2=0.94 for CYL. The sphere value based on preoperative clinical refraction has the greatest impact on the predicted SPH value, while the cylinder value for CYL is the most significant factor. Based on these models, a web service with a graphical interface was developed — a calculator for calculating the parameters of keratorefractive lenticule extraction surgery.

Conclusion. The developed machine learning models for calculating the parameters of keratorefractive lenticule extraction surgery demonstrated acceptable results and the potential to standardize the experience of leading ophthalmic surgeons. Further research will contribute to improving the clinical and functional outcomes of treatment.

Keywords: *keratorefractive lenticule extraction, KLEX, CLEAR, web service, calculation of surgical parameters, machine learning*

For citation: Kechin E.V., Doga A.V. Development of a machine learning model for calculating the parameters of keratorefractive lenticule extraction surgery. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 30–38.
https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-30-38

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

АКТУАЛЬНОСТЬ

Согласно информации Всемирной организации здравоохранения (2019), аномалии рефракции представляют собой наиболее часто диагностируемую патологию органа зрения во всем мире [1]. Среди данной группы заболеваний первое место по распространенности принадлежит миопии, которая в среднем выявляется у 25% населения, а в странах Юго-Восточной Азии этот показатель достигает 80% [2]. По имеющимся прогнозам, к 2050 г. миопией будет страдать каждый второй житель планеты [3]. В Российской Федерации близорукость также лидирует в структуре общей офтальмологической заболеваемости [4], уровень заболеваемости среди взрослого населения РФ составляет 1108,1 на 100 тыс. человек (2022 г.) [5].

На современном этапе развития офтальмологии существуют три основных метода коррекции аномалий рефракции, и, в частности, миопии, а именно — очки, контактные линзы и лазерная кераторефракционная хирургия [2]. Среди последних самым современными методом хирургической коррекции является операция — кераторефракционная экстракция лентикулы (Keratorefractive Lenticule Extraction, KLEX), которая у различных производителей имеет свое торговое название, например, CLEAR, SMILE, SmartSight [6].

Одним из основных этапов в подготовке к проведению операции KLEX является расчет параметров операции, который зачастую основан на опыте хирурга и не имеет стандартизации. Вместе с тем внедрение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения в медицину позволяет избавить врачей от рутинной практики и разработать модели расчетов различных параметров, что особенно актуально в рефракционной хирургии для расчета параметров операции с учетом различных данных пациентов, что, несомненно, облегчит работу как начинающим, так и опытным офтальмологам и приведет к повышению предсказуемости операции [7]. Однако в зарубежной литературе встречаются лишь единичные работы на данную тему, а в Российской Федерации они отсутствуют, что и определило цель настоящего исследования.

ЦЕЛЬ

Разработать модель машинного обучения для расчета параметров операции — кераторефракционной экстракции лентикулы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор пациентов

Исследование проводили согласно принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации в редакции от 2013 г. Все диагностическое и лечебное оборудование, используемое в настоящем исследовании, зарегистрировано на территории Российской Федерации и имеет все необходимые документы для применения. При отборе пациентов на проведение операции кераторефракционной экстракции лентикулы руководствовались показаниями и противопоказаниями к данной технологии. Все пациенты подписали информированное добровольное согласие на медицинское вмешательство. Все методы обследования, проведенные в настоящем исследовании, включены в стандартное обследование пациентов с аномалиями рефракции, утвержденное в ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России.

Исследование проведено у пациентов с миопией, подвергшихся коррекции аномалий рефракции по методу кераторефракционной экстракции лентикулы CLEAR. Пациентов отбирали сплошным методом, по мере поступления в клинику. Критерии включения пациентов в исследование: операция CLEAR, стационарная миопия от –0,50 до –9,00 дптр включительно без или с астигматизмом до –2,00 дптр включительно, возраст от 18 до 60 лет, данные сферического и цилиндрического компонентов рефракции в послеоперационном периоде 0 дптр. Критерии исключения пациентов из исследования: некор-

ригированная острота зрения (НКОЗ) в послеоперационном периоде менее 1,0.

Обследование пациентов

Перед проведением рефракционной лазерной операции всем пациентам выполняли полное офтальмологическое обследование. В послеоперационном периоде на сроке 1-е сутки и через 3 месяца после вмешательства проводили определение НКОЗ и максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ), авторефрактометрию.

Кераторефракционная экстракция лентикулы

Все операции проведены в ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. После проведения местной анестезии (оксибупрокаин 0,4%) с помощью фемтолазерной установки Femto LDV Z8 (Ziemer Ophthalmic Systems AG, Швейцария) проводили операцию — кераторефракционную экстракцию лентикулы CLEAR. Во всех случаях целевой рефракцией была эмметропия. В послеоперационном периоде всем пациентам назначали в каплях антисептик (бензилдиметил-миристоиламино-пропиламмоний 0,01%) 3 раза в день в течение 1 недели, антибиотик (тобрамицин 0,3%) 3 раза в день в течение 1 недели, глюкокортикостероид (дексаметазон 0,1%) по схеме: 1-я неделя — 3 раза в день, 2-я неделя — 2 раза в день, 3-я неделя — 1 раз в день, слезозаместитель (натрия гиалуронат 0,1%) — до 8 раз в день в течение 6 месяцев.

Формирование набора данных

Первичные данные были выгружены из медицинской информационной системы ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России в формате .xlsx. Протоколы операции кераторефракционной экстракции лентикулы с параметрами операции были выгружены из базы данных фемтолазерной установки Femto LDV Z8 в формате .pdf (по принципу: один глаз — один протокол операции — один файл). Для извлечения данных из протоколов операции CLEAR в автоматизированном виде и формирования таблицы в формате .xlsx использовали программу собственной разработки «Модуль для извлечения данных из протоколов операций кераторефракционной экстракции лентикулы CLEAR» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025683015 от 29.08.2025, автор и разработчик Кечин Е.В.) [8].

Статистический анализ

Обработку данных проводили с использованием языка программирования Python 3 и прикладных библиотек Pandas и SciPy. Характер распределения данных оценивали с использованием критерия Шапиро–Уилка. Результаты представлены в виде Me (Q_1; Q_3), где Me — медиана, Q_1 и Q_3 — нижний и верхний квартили соответственно, а также в виде абсолютных значений и процентов, рассчитывали минимальное (min) и максимальное (max) значения.

Разработка моделей машинного обучения

Разработку регрессионных моделей машинного обучения для расчета сферического и цилиндрического компонентов рефракции проводили с использованием библиотек scikit-learn, XGBoost и LightGBM. Разрабатывали по 4 модели для каждой целевой переменной: XGBRegressor, LinearRegression, AdaBoostRegressor, RandomForestRegressor. Целевыми переменными являлись значения сферического и цилиндрического компонентов рефракции, заданные в параметры операции CLEAR фемтосекундной лазерной установки (LaserCorrection_SPH и LaserCorrection_CYL соответственно). Значение пола пациента кодировали значением 0 для женщин и 1 для мужчин. Для модели LinearRegression проводили нормализацию данных в диапазоне 0–1, другие разрабатываемые модели не требуют нормализации и показывают идентичные результаты как с нормализацией, так и без нормализации данных. Весь набор данных был разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70:30 соответственно (81 глаз — в обучающей и 35 глаз — в тестовой выборках). Подбор гиперпараметров проводили с использованием метода GridSearchCV с 10-кратной кросс-валидацией, оптимизировали метрику 'neg_mean_absolute_error'.

Качество модели оценивали по следующим метрикам:

MAE — среднее абсолютное отклонение прогноза — показывает, насколько в среднем модель ошибается (отклонение прогнозируемого значения от фактического) в аналогичных единицах измерения: чем меньше данная метрика, тем лучше, кроме того, данная метрика менее чувствительна к выбросам по сравнению с RMSE;

RMSE — корень из среднеквадратичной ошибки прогноза — показывает то же, что и MAE, однако метрика более чувствительна к выбросам (значительным отклонениям от большинства данных);

R^2 — коэффициент детерминации — показывает долю дисперсии целевой переменной, объясняемой моделью регрессии (зависимыми переменными, предикторами), и может принимать значения от 0 до 1: чем ближе к 1, тем лучше, при значении 1 модель описывает 100% данных, при 0 — 0%. В качестве главной метрики приняли MAE. Оценку важности признаков моделей машинного обучения и интерпретацию результатов проводили с использованием библиотеки SHAP.

Разработка веб-сервиса

Разработку веб-сервиса калькулятора для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы проводили с использованием библиотеки Streamlit для языка программирования Python 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая характеристика набора данных, на котором разрабатывали модели машинного обучения, представлена в *таблице 1*.

В качестве независимых переменных, на основании которых разрабатывали модели машинного обучения, были выбраны следующие показатели, на которые ориентируются хирурги при расчете параметров операции: возраст, пол, диаметр оптической зоны, минимальная толщина роговицы, толщина «Cap», SPH до, CYL до, Ax до, K1 до, K2 до.

Лучшее качество моделей для расчета как сферического, так и цилиндрического компонентов рефрак-

Таблица 1

Общая характеристика набора данных для разработки моделей машинного обучения для расчета сферического и цилиндрического компонентов рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы

Table 1

General characteristics of the dataset for developing machine learning models for calculating the spherical and cylindrical components of refraction for keratorefractive lenticule extraction surgery

Параметр / Parameter	Me	Q_1	Q_3	Min	Max
Всего глаз, абс. (%) / Total eyes, abs. (%)	116 (100,0)				
Всего человек, абс. (%) / Total number of people, abs. (%)	116 (100,0)				
из них мужчин, абс. (%) of which men, abs. (%)	37 (31,9)				
женщин, абс. (%) women, abs. (%)	79 (68,1)				
Возраст, лет / Age, years	31,50	25,00	34,00	18,00	41,00
Параметры операции Surgery parameters					
Коррекция SPH, дптр / SPH correction, D	−4,50	−5,50	−3,75	−7,75	−2,25
Коррекция CYL, дптр / CYL correction, D	0,00	−0,75	0,00	−2,00	0,00
Коррекция Ax, градус / Ax correction, degrees	180,00	175,00	180,00	5,00	180,00
Коррекция SE, дптр / SE correction, D	−4,75	−5,88	−3,75	−8,25	−2,25
Диаметр оптической зоны, мм / Optical zone diameter, mm	6,70	6,50	6,70	6,30	6,80
Минимальная толщина роговицы, мкм Minimum corneal thickness, μm	549,50	528,75	567,00	500,00	629,00
Толщина «Cap», мкм / Thickness «Cap», μm	110,00	110,00	110,00	110,00	120,00
Cap_Rim, мм / Cap_Rim, mm	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Клинико-морфофункциональные результаты до и после операции Clinical and morphofunctional results before and after surgery					
НКОЗ до, ед. / UDVA pre op, decimal	0,04	0,04	0,05	0,02	0,30
SPH до, дптр / SPH pre op, D	−3,75	−4,75	−2,75	−6,75	−1,50
CYL до, дптр / CYL pre op, D	−0,50	−0,50	0,00	−2,00	0,00
Ax до, градус / Ax pre op, degrees	37,50	0,00	153,75	0,00	180,00
SE до, дптр / SE pre op, D	−3,75	−5,03	−3,00	−7,25	−1,50
МКОЗ до, ед. / CDVA pre op, decimal	1,00	1,00	1,00	0,90	1,20
K1 до, дптр / K1 pre op, D	43,25	42,50	44,00	41,00	46,25
Ax 1 до, градус / Ax 1 pre op, degrees	15,00	5,00	170,00	0,00	180,00
K2 до, дптр / K2 pre op, D	44,25	43,44	45,00	41,50	47,25
Ax 2 до, градус / Ax 2 pre op, degrees	90,00	85,00	100,00	15,00	145,00
НКОЗ 3 мес, ед. / UDVA 3 moths, decimal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20
SPH 3 мес, дптр / SPH 3 moths, D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CYL 3 мес, дптр / CYL 3 moths, D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ax 3 мес, градус / Ax 3 moths, degrees	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SE 3 мес, дптр / SE 3 moths, D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
МКОЗ 3 мес, дптр / CDVA 3 moths, decimal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20

ции на тестовой выборке по целевой метрике качества (MAE) показала модель XGBRegressor: средняя абсолютная ошибка для SPH составила 0,12 дптр, для CYL — 0,05 дптр *(табл. 2)*. Данные значения можно интерпретировать как приемлемые.

Наибольшее влияние на прогнозируемое значение сферического компонента оказывает значение сферы по данным клинической рефракции до операции *(рис. 1)*, а для расчета цилиндрического компонента — значение цилиндра до операции *(рис. 2)*. При этом для обеих моделей видна прямая зависимость влияния дооперационных значений сферы и цилиндра на расчетное значение соответствующего параметра в модели *(рис. 3, 4)*.

Для практического использования разработанных моделей был разработан веб-сервис «Калькулятор для расчета параметров операции кераторефракционной экстракции лентикулы» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025688287 от 17.10.2025, автор и разработчик Кечин Е.В.) *(рис. 5)* [9]. Калькулятор

Таблица 2

Метрики качества моделей машинного обучения для расчета сферического (SPH) и цилиндрического (CYL) компонентов рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы

Table 2

Quality metrics of machine learning models for calculating spherical (SPH) and cylindrical (CYL) refractive components for keratorefractive lenticule extraction surgery

Модель Model	Тестовая выборка Test dataset			Обучающая выборка Train dataset		
	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2
Целевая переменная сферический компонент рефракции (SPH) Target variable spherical component of refraction (SPH)						
XGBRegressor	0,12	0,16	0,98	0,04	0,05	1,00
LinearRegression	0,16	0,20	0,96	0,13	0,17	0,98
AdaBoostRegressor	0,17	0,20	0,96	0,12	0,14	0,99
RandomForestRegressor	0,17	0,21	0,96	0,09	0,13	0,99
Целевая переменная цилиндрический компонент рефракции (CYL) Target variable cylindrical component of refraction (CYL)						
XGBRegressor	0,05	0,11	0,94	0,00	0,00	1,00
AdaBoostRegressor	0,06	0,14	0,91	0,06	0,12	0,94
RandomForestRegressor	0,08	0,13	0,92	0,04	0,07	0,98
LinearRegression	0,19	0,22	0,77	0,19	0,25	0,75

Примечание: MAE — Mean Absolute Error (средняя абсолютная ошибка прогноза, дптр), RMSE — Root Mean Square Error (корень из среднеквадратичной ошибки прогноза, дптр), R^2 — коэффициент детерминации.

Note: MAE — Mean Absolute Error (mean absolute error of the forecast, diopters), RMSE — Root Mean Square Error (root mean square error of the forecast, diopters), R^2 — coefficient of determination.

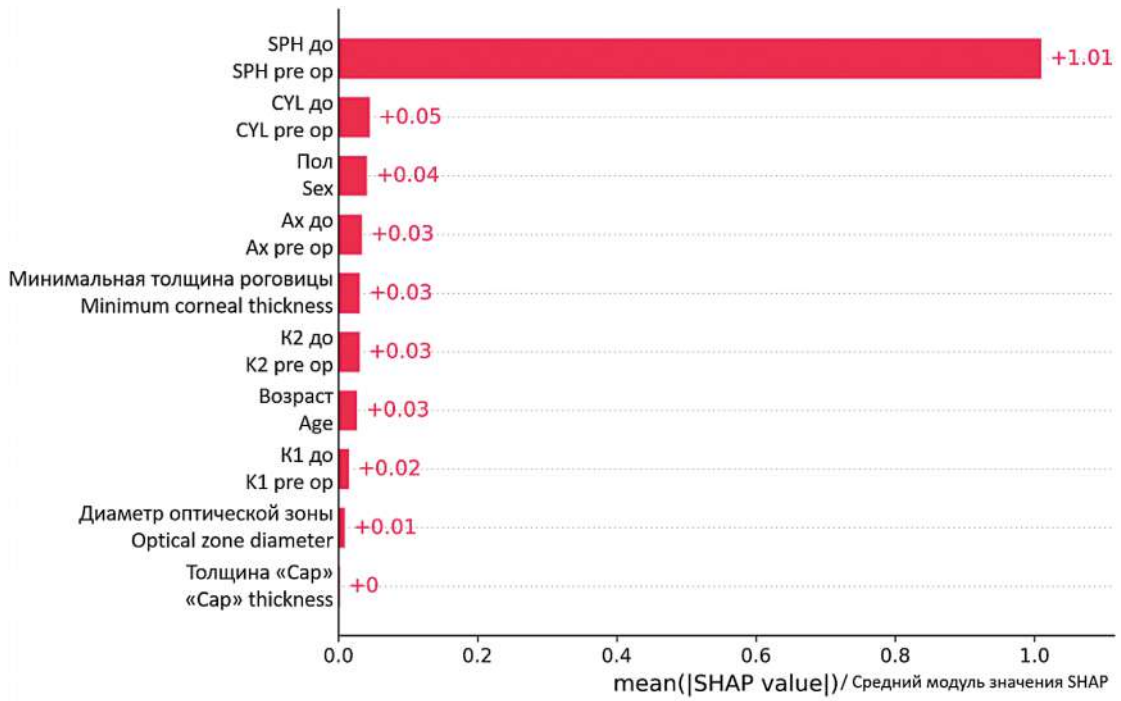


Рис. 1. Средний модуль SHAP-значения влияния параметров пациента на результаты расчета сферического компонента рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы в модели XGBRegressor

Fig. 1. The average modulus of the SHAP value of the influence of patient parameters on the results of calculating the spherical component of refraction for keratorefractive lenticule extraction surgery in the XGBRegressor model

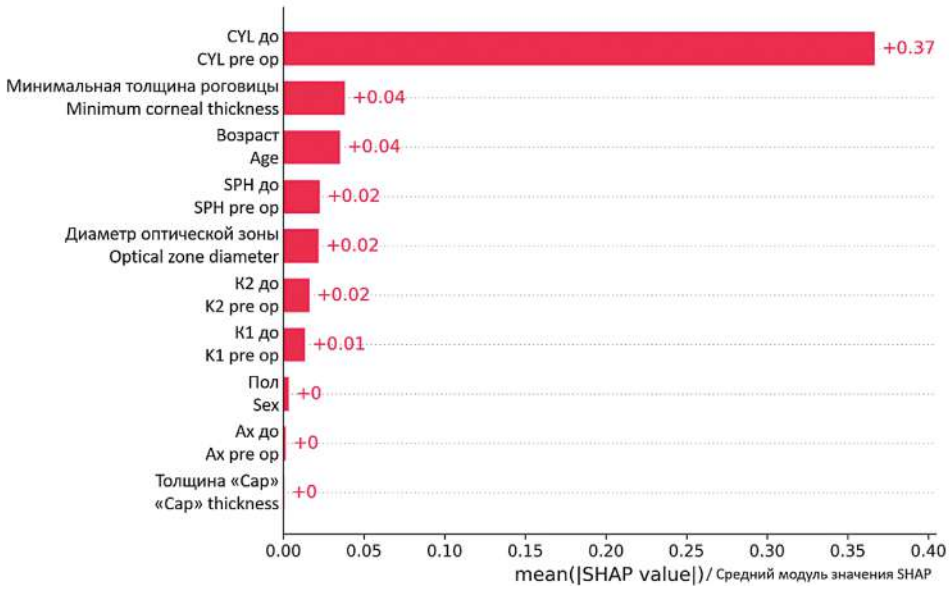


Рис. 2. Средний модуль значения SHAP влияния параметров пациента на результаты расчета цилиндрического компонента рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы в модели XGBRegressor

Fig. 2. The average modulus of the SHAP value of the influence of patient parameters on the results of calculating the cylindrical component of refraction for keratorefractive lenticule extraction surgery in the XGBRegressor model

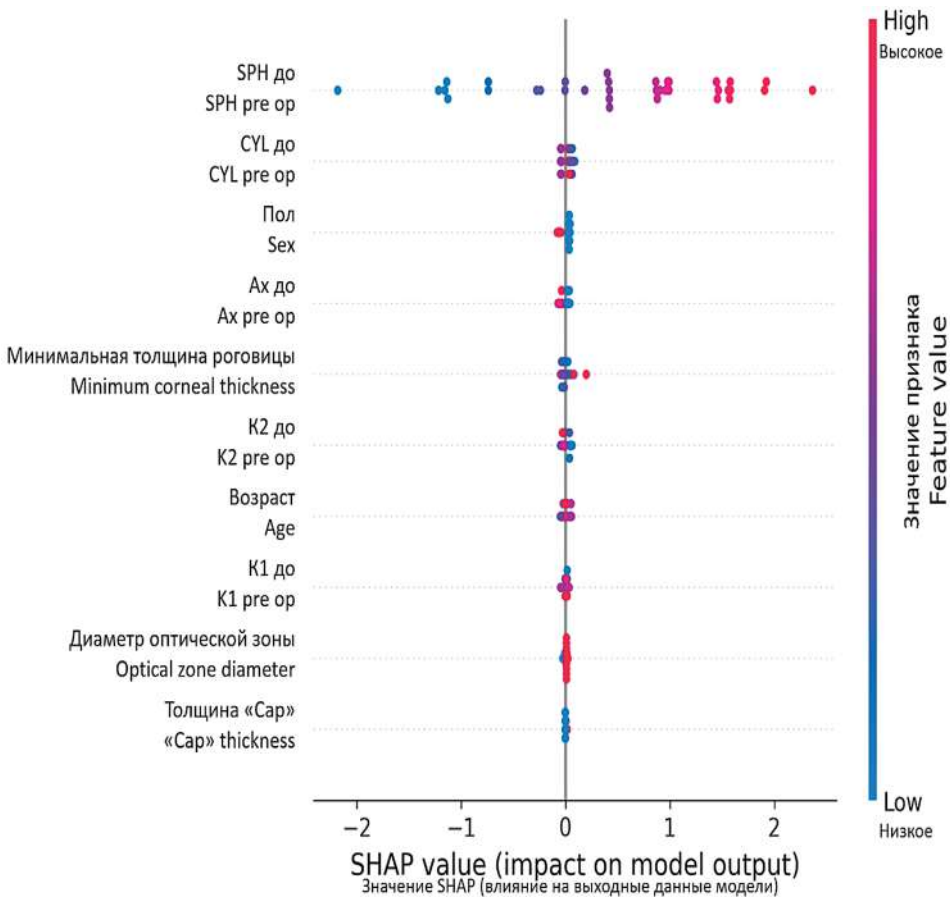


Рис. 3. Влияние параметров пациента на результат расчета сферического компонента рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы в модели XGBRegressor

Fig. 3. The influence of patient parameters on the result of calculating the spherical component of refraction for keratorefractive lenticule extraction surgery in the XGBRegressor model

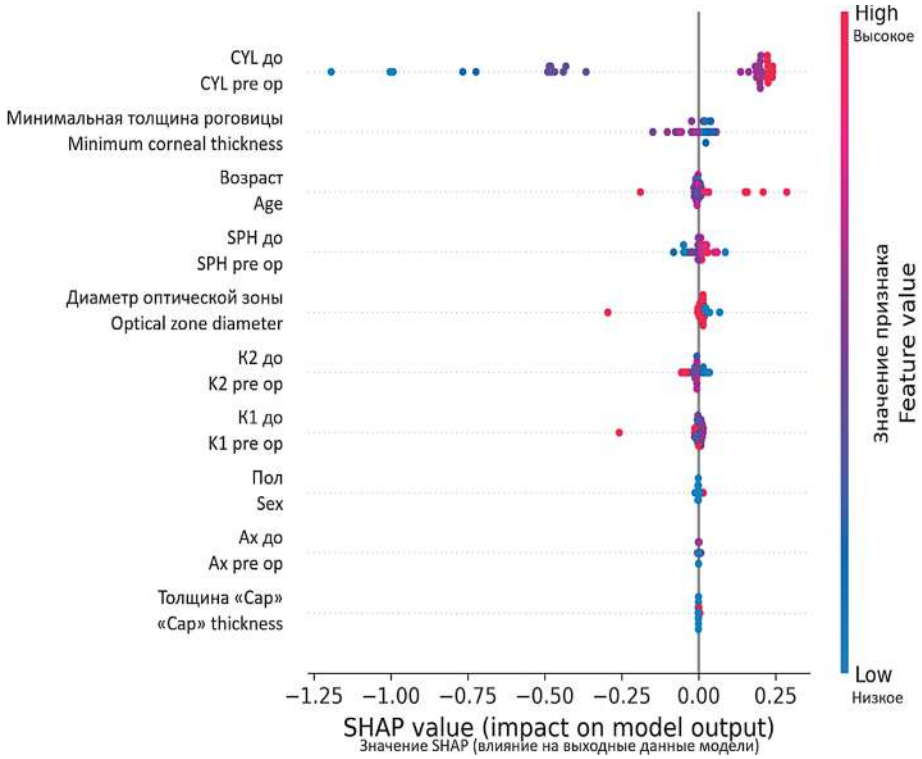


Рис. 4. Влияние параметров пациента на результат расчета цилиндрического компонента рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы

Fig. 4. The influence of patient parameters on the result of calculating the cylindrical component of refraction for keratorefractive lenticule extraction surgery

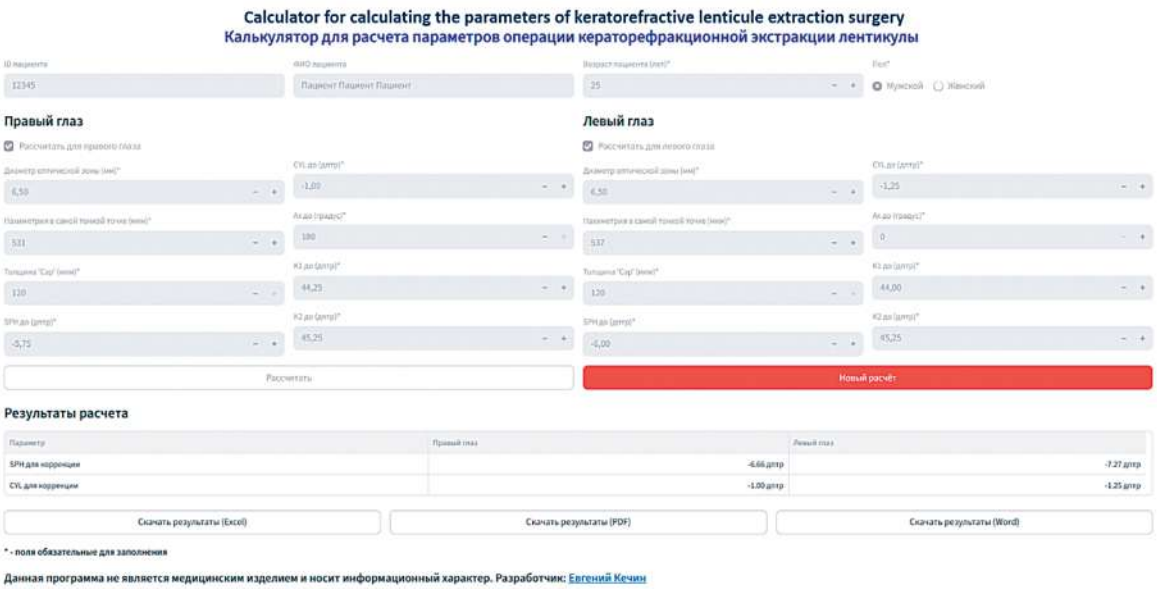


Рис. 5. Калькулятор для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы (пример расчета)

Fig. 5. Calculator for calculating the parameters of the keratorefractive lenticule extraction operation (calculation example)

осуществляет расчет сферического (SPH) и цилиндрического (CYL) компонентов рефракции для кераторефракционной экстракции лентикулы в браузере, а также экспорт (скачивание) результатов в форматах .xlsx, .pdf, .docx.

ОБСУЖДЕНИЕ

Лазерные рефракционные операции являются одними из самых распространенных офтальмологических опера-

ций. Такие операции являются эффективным, безопасным и предсказуемым методом коррекции аномалий рефракции. Среди данных операций кераторефракционная экстракция лентикулы является самым современным хирургическим методом коррекции миопии. Однако, пока не достигнуты стопроцентная эффективность, безопасность и предсказуемость операции, актуальным является совершенствование технологий коррекции аномалий рефракции [2].

По данным T. Cui и соавт. (2020) [7], применение методов машинного обучения для расчета параметров операции KLEX показало большие индексы эффективности по сравнению с группой, в которой проводили расчет по номограмме хирурга (1,48±1,08 против 1,3±0,27, p<0,05), также авторы показали, что предсказуемость операции в пределах ±0,5 дптр была выше в группе с применением методов машинного обучения (93% против 83%).

Исследование E. Yeu и соавт. (2013) [10] показало, что в США во время прохождения резидентуры по офтальмологии 88,7% молодых врачей выполняли более 100 операций по удалению катаракты в качестве основных хирургов, в то время как более 75% молодых врачей не провели ни одной лазерной рефракционной операции, а те, кто их проводил, делали это в единичных случаях. Авторы исследования заключили, что имеются существенные недостатки в моделях обучения рефракционной хирургии роговицы. Вместе с тем работа P. Liu и соавт. (2025) [11] показала, что номограмма, рассчитанная с применением модели машинного обучения XGBoost, для параметров кераторефракционной экстракции лентикулы SMILE была статистически значимо более предсказуемой в пределах 0,05–0,25 дптр, чем номограмма резидентов (молодых врачей-офтальмологов) (p<0,05). Авторы заключили, что методы машинного обучения могут помочь рефракционным хирургам, а также сократят время обучения молодых резидентов (врачей-ординаторов) при корректировке номограммы.

Авторам настоящего исследования не удалось найти работы, в которых разрабатывали модель машинного обучения для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы CLEAR, что может свидетельствовать о том, что данное исследование является первым. Вместе с тем настоящее исследование также показало, что модель XGBoost показывает лучшие метрики качества (MAE), что сопоставимо с другими исследованиями, в которых использовали различные модели для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы SMILE [11]. Кроме того, в настоящем исследовании значение метрики качества RMSE в модели XGBoost для сферы и цилиндра составили 0,16 и 0,11 дптр соответственно, что сопоставимо с зарубежными исследованиями, которые получили значения для аналогичных параметров при операции SMILE как 0,14 и 0,12 дптр, используя модель AdaBoost [12]. К тому же в настоящем исследовании разработан интуитивно понятный веб-сервис для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы, который может быть использован практическими врачами.

К ограничениям настоящего исследования можно отнести отсутствие внешней валидации модели, что будет проведено в ходе дальнейших исследований, в т.ч. с увеличением объема выборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные модели машинного обучения для расчета параметров кераторефракционной экстракции лентикулы показали приемлемые результаты и возможность стандартизации опыта ведущих офтальмохирургов, а дальнейшие исследования будут способствовать повышению клинико-функциональных результатов лечения.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. World Health Organization. World report on vision. Geneva; 2019. 180 p.
2. Дога А.В., Мушкова И.А., Семенов А.Д. и др. Этапы развития и современные аспекты кераторефракционной хирургии. Практическая медицина. 2016;6(98): 36–41.
   Doga AV, Mushkova IA, Semenov AD, et al. Stages of development and modern aspects of keratorefractive surgery. *Practical medicine.* 2016;6(98): 36–41. (In Russ.).
3. Sankaridurg P, Tahhan N, Kandel H, et al. IMI Impact of Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2021;62(5): 2. https://doi.org/10.1167/iovs.62.5.2
4. Нероев В.В. Организация офтальмологической помощи населению Российской Федерации. *Вестник офтальмологии.* 2014;130(6): 8–12.
   Neroyev VV. Eye care management in Russian Federation. *Russian Annals of Ophthalmology.* 2014;130(6): 8–12. (In Russ.).
5. Дога А.В., Кечин Е.В., Мушкова И.А., и др. Динамика заболеваемости миопией у взрослого населения в Российской Федерации, Центральном федеральном округе и г. Москве за 2009–2022 гг. и прогноз до 2025 гг. *Социальные аспекты здоровья населения.* 2024;70(5): 3. Доступно по: http://vestnik.mednet.ru/content/view/1647/30/lang,ru/ [Ссылка активна на 31.03.2026].
   Doga AV, Kechin EV, Mushkova IA, et al. Dynamics of myopia incidence in the adult population of the Russian Federation, the Central Federal District, and Moscow for 2009–2022 and forecast until 2025. *Social'nye aspekty zdorov'a naselenia.* 2024;70(5): 3. Available from: http://vestnik.mednet.ru/content/view/1647/30/lang,ru/ [Accessed 31st March 2026] (In Russ). https://doi.org/10.21045/2071-5021-2024-70-5-3
6. Dupps WJ Jr, Randleman JB, Kohnen T, et al. Scientific nomenclature for keratorefractive lenticule extraction (KLEx) procedures: a joint editorial statement. *J Cataract Refract Surg.* 2023;49(11): 1085. https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000001328
7. Cui T, Wang Y, Ji S, et al. Applying Machine Learning Techniques in Nomogram Prediction and Analysis for SMILE Treatment. *Am J Ophthalmol.* 2020;210: 71–7. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.10.015
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025683015/ 29.08.2025. Бюл. № 9. Кечин Е.В. Модуль для извлечения данных из протоколов операций кераторефракционной экстракции лентикулы CLEAR. Доступно по: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2025683015&TypeFile=html [Ссылка активна на 31.03.2026].
   Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM №2025683015/ 29.08.2025. Byul. № 9. Kechin E.V. Modul' dlya izvlecheniya dannykh iz protokolov operatsii keratorefraktsionnoi ekstraktsii lentikuly CLEAR. Available from: https://new.fips.ru/registers-doc view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2025683015&TypeFile=html [Accessed 31st March 2026] (In Russ).
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025688287/ 17.10.2025. Бюл. № 10. Кечин Е.В. Веб-интерфейс калькулятора для расчета параметров операции кераторефракционной экстракции лентикулы. Доступно по: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2025688287&TypeFile=html. [Ссылка активна на 31.03.2026].
   Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM №2025688287/ 17.10.2025. Byul. № 10. Kechin E.V. Veb-

interfeis kal'kulyatora dlya rascheta parametrov operatsii keratorefraktsionnoi ekstraktsii lentikuly. Available from: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2025688287&TypeFile=html [Accessed 31st March 2026] (In Russ).
10. Yeu E, Reeves SW, Wang L, Randleman JB. ASCRS Young Physicians and Residents Clinical Committee. Resident surgical experience with lens and corneal refractive surgery: survey of the ASCRS Young Physicians and Residents Membership. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(2): 279–84. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.09.029
11. Liu P, Gu X, Jiao Y, et al. Adopting machine learning to predict nomogram for small incision lenticule extraction (SMILE). *Int Ophthalmol.* 2025;45(1): 175. https://doi.org/10.1007/s10792-025-03520-7
12. Park S, Kim H, Kim L, et al. Artificial intelligence-based nomogram for small-incision lenticule extraction. *Biomed Eng Online.* 2021;20(1): 38. https://doi.org/10.1186/s12938-021-00867-7.

Информация об авторах
Кечин Евгений Владимирович — к.м.н., магистр прикладных математики и физики, начальник отдела реализации инновационных программ, трансфера и коммерциализации технологий ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, доцент кафедры общей врачебной практики и поликлинической терапии ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, evgeny.kechin@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6732-1226
Дога Александр Викторович — д.м.н., профессор, alexander_doga@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2519-8941

Information about the authors
Evgeny V. Kechin — Candidate of Medical Sciences, Master of Applied Mathematics and Physics, Head of the Department for Implementation of Innovation Programs, Transfer and Commercialization of Technologies, S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Associate Professor of the Department of General Medical Practice and Polyclinic Therapy, FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, evgeny.kechin@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6732-1226
Alexander V. Doga — Doctor of Medical Sciences, Professor, alexander_doga@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2519-8941

Вклад авторов:
Кечин Е.В. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.
Дога А.В. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

Authors' contribution:
Kechin E.V. — significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, text writing.
Doga A.V. — 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.
Financial transparency: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *03.04.2026*
Переработана: *26.04.2026*
Принята к печати: *05.05.2026*
Received: *03.04.2026*
Revision: *26.04.2026*
Accepted: *05.05.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.713-002
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-39-48

Этапный подход к лечению инфекционных поражений роговицы грибкового и акантамебного генеза на основе балльной оценки тяжести течения и дифференцированного выбора хирургической тактики

Л.Ц. Астоян, С.Б. Измайлова, Д.Ю. Майчук

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

РЕФЕРАТ

Цель. Разработать и клинически обосновать этапный подход к лечению грибковых и акантамебных поражений роговицы на основе балльной оценки тяжести процесса, применения модифицированного ультрафиолетового (УФ) кросслинкинга и определения показаний к различным видам кератопластики.

Материал и методы. В исследование вошли пациенты с инфекционными поражениями роговицы грибковой и акантамебной этиологии, обследованные и пролеченные в МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова», при минимальном сроке последующего динамического наблюдения 1 год. Среди них 36 пациентов составили группу грибкового кератита, 27 — группу акантамебного кератита. Всем пациентам выполняли стандартное и специальное офтальмологическое обследование. Ключевыми диагностическими критериями исследования являются оптическая когерентная томография переднего отрезка и *in vivo* конфокальная микроскопия. При поступлении, непосредственно перед выполнением УФ-кросслинкинга, через 7, 14 дней и 1, 3 месяца после него проводили балльную оценку тяжести заболевания по разработанным шкалам Fungal Ulcer Severity Score (FUSS) и Acanthamoeba Ulcer Severity Score (AUSS). Выбор тактики лечения, включая проведение модифицированного УФ-кросслинкинга, метод подготовки роговицы к нему и показания к терапевтической сквозной кератопластике, определяли на основании суммарного балла и наличия критических признаков.

Результаты. Предложенный алгоритм позволил стандартизировать выбор между продолжительностью консервативной терапии, проведением модифицированного УФ-кросслинкинга с предварительной глубокой скарификацией или фемтосекундным удалением поверхностного инфицированного слоя роговицы и переходом к терапевтической сквозной кератопластике. В статье представлены данные описательной статистики: динамика средних баллов по шкалам, частота выполнения различных этапов лечения, сроки клинической стабилизации, элиминации микроорганизмов, отсутствие дальнейшего истончения роговицы и совпадение рекомендаций шкалы с выбором хирурга.

Выводы. Грибковые и акантамебные поражения роговицы требуют не линейной, а этапной лечебной стратегии, основанной на объективной оценке тяжести воспаления. Использование шкал для оценки степени тяжести язвенного процесса позволяет увязать совокупность клинических, томографических и конфокальных признаков с конкретным лечебным этапом и повысить воспроизводимость принятия хирургического решения.

Ключевые слова: *грибковый кератит, акантамебный кератит, язва роговицы, УФ-кросслинкинг, конфокальная микроскопия, ОКТ переднего отрезка, наночастицы серебра, фемтосекундный лазер, терапевтическая сквозная кератопластика*

Для цитирования: Астоян Л.Ц., Измайлова С.Б., Майчук Д.Ю. Этапный подход к лечению инфекционных поражений роговицы грибкового и акантамебного генеза на основе балльной оценки тяжести течения и дифференцированного выбора хирургической тактики (оригинальная статья). *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 39–48. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-39-48

Автор, ответственный за переписку: Астоян Люси Цолаковна, lucyastg@gmail.com

© *Астоян Л.Ц., Измайлова С.Б., Майчук Д.Ю., 2026*

Original article

Stage-Based Management of Fungal and Acanthamoeba Corneal Lesions Based on Severity Scoring and Differential Surgical Decision-Making

L.Ts. Astoyan, S.B. Izmailova, D.Yu. Maychuk

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose. To develop and clinically substantiate a stage-based strategy for severe fungal and Acanthamoeba corneal lesions using severity scoring, modified UV cross-linking, and defined indications for therapeutic penetrating keratoplasty.

Material and methods. Patients with severe fungal and Acanthamoeba corneal infections treated at S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution with a minimum 1-year follow-up. The cohort included 36 patients with fungal keratitis and 27 patients with Acanthamoeba keratitis. All patients underwent standard ophthalmic examination, anterior segment OCT, in vivo confocal microscopy, and laboratory verification when indicated. Severity was assessed using the FUSS and AUSS scoring systems at admission, immediately before modified UV cross-linking, and 7,14 days and 1,3 months after the procedure. Treatment strategy, including modified UV cross-linking, the method of corneal preparation, and the need for therapeutic penetrating keratoplasty, was determined according to the total score and critical signs.

Results. The stage-based algorithm standardized the choice between intensified medical therapy, modified UV cross-linking after deep scarification or femtosecond-assisted removal of the superficial infected corneal layer, and therapeutic penetrating keratoplasty. The manuscript provides text templates for descriptive statistics including score dynamics, frequency of each treatment step, time to clinical stabilization and microorganism elimination, absence of further corneal thinning, and concordance between the scale recommendation and the surgeon's final decision.

Conclusion. Severe fungal and Acanthamoeba corneal lesions require a stage-based rather than linear treatment strategy grounded in objective severity assessment. The FUSS and AUSS scales link clinical, tomographic, and confocal findings to a concrete treatment step and may improve reproducibility of surgical decision-making.

Keywords: *fungal keratitis, Acanthamoeba keratitis, corneal ulcer, UV cross-linking, PACK-CXL, confocal microscopy, anterior segment OCT, femtosecond laser, silver nanoparticles, therapeutic penetrating keratoplasty*

For citation: Astoyan L.Ts., Izmailova S.B., Maychuk D.Yu. Stage-Based Management of Fungal and Acanthamoeba Corneal Lesions Based on Severity Scoring and Differential Surgical Decision-Making (original article). *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 39–48. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-39-48

Corresponding author: Lyusi Ts. Astoyan, lucyastg@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Инфекционные поражения роговицы представляют собой одну из ведущих причин роговичной слепоты, а в запущенных случаях могут создавать угрозу анатомической сохранности глаза. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 4,2 млн случаев нарушения зрения связаны с помутнениями роговицы, при этом инфекционный кератит ежегодно приводит к 1,5–2,0 млн новых случаев [1, 2]. В структуре инфекционного кератита особую проблему представляют грибковые и акантамебные поражения роговицы. Минимальная оценка глобальной ежегодной заболеваемости грибковым кератитом составляет 1 051 787 случаев, а при учете части культурально-негативных наблюдений может достигать 1 480 916 случаев в год [3]. Грибковый кератит наиболее распространен в тропических и субтропических регионах и чаще поражает лиц молодого возраста, чья деятельность связана с ведением сельского хозяйства [3]. Глобальная ежегодная нагрузка акантамебного кератита оценивается примерно в 23 561 случай, что составляет около 2,9 случая на 1 млн населения, т.е. около 2% всех корнеальных инфекций [4].

Эпидемиология обеих форм заболевания выраженно неоднородна и определяется различными факторами риска. Для грибкового кератита ведущими предрасполагающими факторами являются травма роговицы, хроническая патология глазной поверхности, ранее перенесенная хирургия роговицы и системная иммуносупрессия [2, 5]. В британском ретроспективном многоцентровом исследовании грибкового кератита за 2011–2020 гг. патологии глазной поверхности выявлялась у 51,3% пациентов, предшествующая хирургия роговицы — у 37,6%, системная иммуносупрессия — у 35,9% [6]. Для акантамебного кератита определяющим остается фактор контактной коррекции: до 95% случаев связаны с ношением контактных линз [4, 5]. Использование многоразовых мягких линз повышает риск заболевания в 3,84 раза, жестких линз — в 4,56 раза, сон в линзах — в 3,93 раза, душ в линзах — в 3,29 раза, повторное использование однодневных линз — в 5,41 раза [7].

Клиническая тяжесть грибкового и акантамебного кератита определяется не только самим возбудителем, но и выраженностью иммуновоспалительного каскада. При грибковом кератите компоненты клеточной стенки гриба, включая β-глюкан, хитин и маннан, распознаются рецепторами врожденного иммунитета, что запускает каскад провоспалительных цитокинов и хемокинов с рекрутированием нейтрофилов и макрофагов; эти клетки ограничивают инфекцию, но одновременно усиливают деструкцию стромы, расплавление ткани и риск перфорации [2, 8]. При акантамебном кератите адгезия трофозоитов к эпителию опосредуется mannose-binding protein, затем включаются протеазные механизмы, цитолиз эпителиоцитов и инвазия в строму, а TLR4/MyD88-зависимый воспалительный ответ поддерживает дальнейшее тканевое повреждение [5]. Таким образом, в обе-

их нозологиях глубина поражения, скорость прогрессирования и риск грубой структурной деструкции определяются не только числом патогенов, но и масштабом воспалительной реакции пораженных тканей.

Существенную проблему представляют диагностико-терапевтические задержки. Эмпирическая антибактериальная терапия при подозрении на микробный кератит клинически оправдана, однако при грибковой и акантамебной этиологии она не устраняет причинный агент и нередко откладывает начало адекватного лечения [2]. Для грибкового кератита ситуацию дополнительно осложняет антимикотическая устойчивость: в перечне приоритетных грибковых патогенов ВОЗ *Aspergillus fumigatus* и *Candida albicans* отнесены к группе критического приоритета, а *Fusarium* spp. — к группе высокого приоритета [9].

Для Российской Федерации проблема имеет дополнительную специфику. Полноценных национальных популяционных регистров по грибковому и акантамебному кератиту в открытых источниках недостаточно, однако отечественные обзоры и госпитальные серии указывают на позднюю диагностику, клиническую запущенность и ограниченность фармакологических возможностей [10, 11]. В ретроспективном обзоре у 64 пациентов, госпитализированных в офтальмологические стационары Санкт-Петербурга, травма роговицы являлась ведущим фактором риска в 24,2% случаев, неправильное использование контактных линз — в 13,6%, более половины пациентов поступали спустя месяц и более от начала заболевания, язва роговицы выявлялась у 54,5%, гипопион — у 37,9% [11].

Не менее важно, что ни изолированная медикаментозная терапия, ни изолированная терапевтическая кератопластика не решают проблему полностью. При грибковом кератите у части пациентов заболевание прогрессирует до необходимости экстренной терапевтической кератопластики, а рецидив грибковой инфекции после первичной кератопластики остается клинически значимым [12, 13]. При акантамебном кератите долгосрочные функциональные исходы также ограничены: обзор данных по хирургическому лечению показал, что частота рецидива составляет 16,8% после терапевтической кератопластики и 9,5% — после оптической кератопластики [14]. Следовательно, упрощенная модель «консервативная терапия до неэффективности, затем пересадка» не учитывает неоднородность тяжести процесса, глубину стромальной инвазии, выраженность воспалительного каскада и разницу между пограничными и критическими состояниями.

Идея использования ультрафиолетового (УФ) кросслинкинга при инфекционном кератите сформировалась в 2008 г. после работ H.P. Iseli и S.A.R. Martins. H.P. Iseli и соавт. показали возможность применения данного способа при инфекционном кератите, сопровождающемся корнеальным расплавлением, а S.A.R. Martins и соавт. продемонстрировали *in vitro* антимикробную активность комбинации рибофлавина и УФ-излучения типа А в отношении бактериальных и грибковых изолятов, что стало одним из экспериментальных оснований для дальнейшего развития метода. В последующие годы УФ-кросслинкинг начали рассматривать как адъювантный метод, сочетающий фотохимическое повреждение микробных структур с повышением устойчивости стромы к ферментативному расплавлению [20, 21].

Вместе с тем стандартный УФ-кросслинкинг нельзя считать универсально достаточным решением, особенно при тяжелых грибковых и акантамебных поражениях. Современные обзоры подчеркивают, что эффективность УФ-кросслинкинга существенно зависит от глубины инфильтрации, выраженности отека, прозрачности стромы, доступности фотосенсибилизатора для пораженных слоев и биологических особенностей возбудителя. Для грибкового кератита метод рассматривается как потенциально полезный адъювант, однако его эффект при глубоком стромальном процессе остается ограниченным. Для акантамебного кератита проблема еще более выражена: метод сам по себе не продемонстрировал убедительной способности надежно эрадицировать простейших, что делает особенно важным поиск путей усиления его противомикробного действия.

Именно эти ограничения послужили основанием для разработки и внедрения нами протокола модифицированного УФ-кросслинкинга, в котором воздействие УФ-излучения и фотосенсибилизатора рассматривается не изолированно, а как часть более сложного органосохраняющего этапа. Сущность модификации заключается в предварительном удалении пораженных тканей с целью уменьшения микробной нагрузки и улучшения доступа фотосенсибилизатора к оставшейся инфицированной строме. В зависимости от морфологии и глубины поражения этот этап выполняют либо путем глубокой скарификации под интраоперационным контролем оптической когерентной томографии (ОКТ), с целью уменьшения риска перфорации, либо путем формирования и удаления лоскута пораженных поверхностных слоев роговицы с использованием фемтосекундного лазера. Такая схема позволяет не только удалять инфицированную ткань, но и сделать последующее фотохимическое воздействие более адресным и биологически обоснованным. Накопленные клинические сообщения о фемтосекундной ламеллярной кератэктомии при инфекционном кератите также подтверждают, что точное удаление инфицированных тканей может улучшать проникновение местной терапии и способствовать более контролируемому ведению тяжелых случаев [15].

Дополнительным компонентом модифицированного протокола стало попеременное инстиллирование средства с наночастицами серебра совместно с рибофлавином. Такой подход имеет патогенетическое обоснование, поскольку наночастицы серебра (nano-Ag) рассматриваются как перспективный антимикробный компонент при инфекционной патологии роговицы. Современные обзоры показывают, что наночастицы серебра способны повреждать клеточную стенку и мембрану грибов, нарушать клеточное дыхание, усиливать образование реактивных форм кислорода и вмешиваться в синтез нуклеиновых кислот, тем самым повышая противогрибковую активность локального воздействия. Экспериментальные данные также указывают на потенциал серебряных наночастиц в отношении акантамеб. Следовательно, включение nano-Ag в протокол модифицированного кросслинкинга направлено не только на меха-

ническое усиление санации очага, но и на потенцирование локального противомикробного эффекта без риска развития резистентности [18]. В рамках данного исследования был использован нанокомпозитный материал серебра в дистиллированной воде, содержащий 0,5–25 мг/л нанокластеров серебра с размером частиц 5–50 нм и 0,1–10 г/л натриевой соли Карбоксиметилцеллюлозы, полученный электроимпульсным методом дугового разряда. Данный метод получения нанокластеров обеспечивает отсутствие токсичных конгломератов в виде солей серебра, отсутствие проникновения ионов серебра в системный кровоток, что сводит к минимуму риск развития токсико-аллергических реакций [22, 23].

Одним из этапов формирования системного подхода к стратификации степени тяжести язвы роговицы стало появление запатентованных методов ее комплексной балльной оценки на основании совокупности клинических признаков [24]. В настоящей работе представлена модификация данного подхода, адаптированная для грибковых и акантамебных язв роговицы и предусматривающая возможность выбора лечебной тактики в зависимости от степени тяжести процесса.

Таким образом, лечение тяжелых грибковых и акантамебных поражений роговицы требует учета сразу нескольких взаимосвязанных параметров: этиологии, глубины инфильтрации, степени воспалительно-деструктивного каскада, остаточной толщины роговицы, выраженности роговичного синдрома, данных ОКТ, конфокальной микроскопии и вероятного ответа на органосохраняющий этап. Именно такая многокомпонентность клинической ситуации делает недостаточным линейный подход и диктует необходимость этапной стратегии лечения, в которой выбор между медикаментозной терапией, модифицированным УФ-кросслинкингом, и переходом к кератопластике должен быть заранее структурирован и объективизирован.

ЦЕЛЬ

Разработать и клинически обосновать этапный подход к лечению грибковых и акантамебных поражений роговицы на основе балльной оценки тяжести процесса, применения модифицированного УФ-кросслинкинга и определения показаний к терапевтической сквозной кератопластике.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование включены пациенты с инфекционными поражениями роговицы грибкового и акантамебного генеза. Работа выполнена как одноцентровое клиническое наблюдательное исследование с описательным анализом результатов применения этапного подхода к лечению. Пациенты были распределены на две клинические подгруппы в зависимости от этиологии процесса: с грибковым кератитом и с акантамебным кератитом. Во всех случаях диагноз был подтвержден данными конфокальной микроскопии.

У каждого пациента при первичном поступлении выполнялись стандартные (визометрия, тонометрия, биомикроскопия), специальные методы диагностики — ОКТ (OCT Casia TOMEY GmbH, Германия), конфокальная микроскопия (HRT3-RCM Heidelberg Engineering, Германия), бактериологическое исследование отделяемого конъюнктивы с определением чувствительности к противомикробным препаратам, иммуноферментный анализ крови, балльная оценка тяжести заболевания с использованием разработанных шкал: FUSS (Fungal Ulcer Severity Score) — для грибковой язвы роговицы и AUSS (Acanthamoeba Ulcer Severity Score) — для акантамебной язвы роговицы. При расчете шкалы учитывали совокупность клинических, томографических и конфокальных параметров, отражающих выраженность воспалительного процесса, глубину и протяженность поражения, наличие признаков активной инфекционной инвазии и степень угрозы структурной деструкции роговицы.

В группу пациентов с грибковым кератитом вошли 34 пациента, из них 18 мужчин (52,9%) и 16 женщин (47,1%). Возраст пациентов составил 42,3±12,8 года. Среднее значение пахиметрии в зоне поражения составила 621,5±101,7 мкм.

В группу пациентов с акантамебным кератитом вошли 27 пациентов. Возраст пациентов составил 31,8±12,3 года, из них 12 мужчин (44,4%) и 15 женщин (55,5%). Среднее значение пахиметрии в зоне поражения — 474,7±91,2 мкм.

После первичной стратификации тяжести всем пациентам назначалась стандартная этиотропная и патогенетическая терапия в соответствии с подтвержденной этиологией заболевания. Далее на основании суммарного балла по шкале и наличия критических признаков определяли дальнейшую тактику *(табл. 1, 2)*.

Алгоритм выбора тактики лечения по суммарному баллу

1. Для грибковой язвы (FUSS) определяют степень тяжести и тактику лечения:

– 0–16 баллов — легкая степень: медикаментозная терапия по этиотропной схеме с динамическим контролем;

– 17–26 балла — средняя степень: модифицированный УФ-кросслинкинг с предварительным удалением пораженных тканей (глубокая скарификация или формирование и удаление роговичного лоскута с использованием фемтосекундного лазера) по критериям раздела;

– 27–36 балла — тяжелая степень: модифицированный УФ-кросслинкинг с предварительным удалением пораженных тканей по критериям раздела 3; обязательный ранний контроль через 48–72 ч; при отсутствии стабилизации процесса и/или прогрессировании истончения — переход к экстренной терапевтической кератопластике с органосохранной целью;

– ⩾37 баллов или критический признак* — крайне тяжелая степень: экстренная терапевтическая кератопластика. После стойкой стабилизации и элиминации возбудителя рассматривают выполнение отсроченной оптической кератопластики;

2. Для акантамебной язвы (AUSS) определяют степень тяжести и тактику лечения:

– 0–18 баллов — легкая степень: медикаментозная терапия (антисептики/антипротозойные средства по схеме) с динамическим контролем;

Таблица 1

Шкала оценки степени тяжести грибковой язвы роговицы

Table 1

Fungal ulcer severity score

Критерий Criterion	Градации Grades	Баллы Scores
Болевой синдром Pain syndrome	Нет / умеренный / выраженный None / moderate / severe	0 / 2 / 4
Перикорнеальная инъекция Pericorneal injection	Нет / легкая / средняя / выраженная None / mild / moderate / severe	0 / 1 / 2 / 3
Отделяемое Discharge	Нет / есть None / present	0 / 2
Сателлитные инфильтраты или «перистые» края Satellite infiltrates or «feathery» margins	Нет / есть None / present	0 / 2
Размер язвенного дефекта (наибольший диаметр) Ulcer defect size (largest diameter)	≤2 мм / 2–4 мм / 4–6 мм / >6 мм ≤2 mm / 2–4 mm / 4–6 mm / >6 mm	0 / 1 / 2 / 3
Клиническая форма (биомикроскопия) Clinical form (biomicroscopy)	Нет специфических признаков / творожистый инфильтрат / мицелий-подобное помутнение No specific signs / cheesy infiltrate / mycelium-like opacity	0 / 1 / 2
Локализация Location	Периферия / парацентрально / центральная зона Periphery / paracentral / central zone	0 / 1 / 2
Глубина язвенного дефекта Ulcer defect depth	До поверхностных слоев стромы / до средних слоев / до глубоких слоев / десцеметоцеле или перфорация* Up to superficial stromal layers / up to middle stromal layers / up to deep stromal layers / descemetocele or perforation*	0 / 2 / 4 / 6
Признаки десцеметита Signs of descemetitis	Нет / есть None / present	0 / 2
Гипопион (уровень) Hypopyon (level)	Нет / <1 мм / 1–2 мм / >2 мм None / <1 mm / 1–2 mm / >2 mm	0 / 1 / 2 / 3
Биомикроскопия: диффузное плотное помутнение роговицы (тотальное бельмо), затрудняющее оценку глубины Biomicroscopy: diffuse dense corneal opacity (total leukoma) hampering depth assessment	Нет / есть None / present	0 / 2
Состояние передней камеры (клетки/прозрачность) Anterior chamber status (cells/transparency)	Нет клеток / 1–20 клеток / >20 клеток / передняя камера не просматривается No cells / 1–20 cells / >20 cells / anterior chamber not visualized	0 / 1 / 2 / 4
ОКТ/биомикроскопия: выраженность отека роговицы OCT/biomicroscopy: severity of corneal edema	Нет / умеренный / выраженный None / moderate / severe	0 / 1 / 2
ОКТ: неравномерный пахиметрический профиль (локальные зоны истончения) OCT: irregular pachymetric profile (local thinning zones)	Нет / есть None / present	0 / 2
Внутриглазное давление Intraocular pressure	Норма / повышено / понижено Normal / elevated / decreased	0 / 1 / 1
ОКТ: минимальная толщина в зоне дефекта OCT: minimal thickness in the defect zone	≥400 мкм / 300–399 мкм / 200–299 мкм / <200 мкм* ≥400 μm / 300–399 μm / 200–299 μm / <200 μm*	0 / 2 / 4 / 6
ОКТ: средняя толщина роговицы (пахиметрия) OCT: mean corneal thickness (pachymetry)	≥600 мкм / 520–599 мкм / 450–519 мкм / <450 мкм ≥600 μm / 520–599 μm / 450–519 μm / <450 μm	0 / 1 / 2 / 3
Вовлечение лимба Limbal involvement	Нет / есть None / present	0 / 2
Конфокальная микроскопия: грибковые гифы и/или споры Confocal microscopy: fungal hyphae and/or spores	Не выявлены / единичные / множественные / массивные Not detected / single / multiple / massive	0 / 3 / 6 / 9
Конфокальная микроскопия: глубина залегания гиф и/или спор Confocal microscopy: depth of hyphae and/or spores	Эпителий-поверхностная строма / средняя строма / глубокая строма Epithelium-superficial stroma / mid stroma / deep stroma	0 / 2 / 4
Скорость клинического прогрессирования Rate of clinical progression	Медленная / быстрая / молниеносная Slow / rapid / fulminant	0 / 2 / 4
Прогнозируемая интенсивность помутнения (по клинике) Predicted opacity severity (clinical assessment)	Незначительное / умеренное / грубое со снижением остроты зрения Mild / moderate / severe with decreased visual acuity	0 / 1 / 2

Примечание. *Критические признаки (десцеметоцеле/перфорация или толщина <200 мкм по ОКТ) являются показанием к экстренной терапевтической кератопластике независимо от суммарного балла.

Note. *Critical signs (descemetocele/perforation or OCT-measured corneal thickness <200 μm) are indications for emergency therapeutic penetrating keratoplasty regardless of the total score.

Таблица 2

Шкала оценки степени тяжести акантамебной язвы роговицы

Table 2

Acanthamoeba ulcer severity score

Критерий Criterion	Градации Grades	Баллы Scores
Болевой синдром Pain syndrome	Нет / умеренный / выраженный (диспропорциональный) None / moderate / severe (disproportionate)	0 / 2 / 4
Перикорнеальная инъекция Pericorneal injection	Нет / легкая / средняя / выраженная None / mild / moderate / severe	0 / 1 / 2 / 3
Отделяемое Discharge	Нет / есть None / present	0 / 2
Сателлитные инфильтраты или «перистые» края Satellite infiltrates or «feathery» margins	Нет / есть None / present	0 / 2
Клиническая форма акантамебного кератита Clinical form of Acanthamoeba keratitis	Поверхностный эпителиальный / поверхностный точечный / стромальный кольцевидный / язва роговицы / кератит и склерит Superficial epithelial / superficial punctate / stromal ring-shaped / corneal ulcer / keratitis and scleritis	0 / 1 / 2 / 3 / 4
Эпителиальный дефект / псевдодендрит Epithelial defect / pseudodendrite	Нет / есть None / present	0 / 1
Кольцевидный инфильтрат Ring infiltrate	Нет / формируется / сформирован None / forming / formed	0 / 3 / 6
Признаки радиального кератоневрита (клиника) Signs of radial keratoneuritis (clinical)	Нет / есть None / present	0 / 2
Размер язвенного дефекта (наибольший диаметр) Ulcer defect size (largest diameter)	≤2 мм / 2–4 мм / 4–6 мм / >6 мм ≤2 mm / 2–4 mm / 4–6 mm / >6 mm	0 / 1 / 2 / 3
Локализация Location	Периферия / парацентрально / центральная зона Periphery / paracentral / central zone	0 / 1 / 2
Признаки десцеметита Signs of descemetitis	Нет / есть None / present	0 / 2
Глубина язвенного дефекта Ulcer defect depth	До поверхностных слоев / до средних / до глубоких / десцеметоцеле или перфорация* Up to superficial layers / up to middle layers / up to deep layers / descemetocele or perforation*	0 / 2 / 4 / 6
Гипопион (уровень) Hypopyon (level)	Нет / <1 мм / 1–2 мм / >2 мм None / <1 mm / 1–2 mm / >2 mm	0 / 1 / 2 / 3
Биомикроскопия: диффузное плотное помутнение роговицы (тотальное бельмо), затрудняющее оценку глубины Biomicroscopy: diffuse dense corneal opacity (total leukoma) hampering depth assessment	Нет / есть None / present	0 / 2
Состояние передней камеры (клетки) Anterior chamber status (cells)	Нет клеток / 1–20 клеток / >20 клеток No cells / 1–20 cells / >20 cells	0 / 1 / 2
ОКТ/биомикроскопия: выраженность отека роговицы OCT/biomicroscopy: severity of corneal edema	Нет / умеренный / выраженный None / moderate / severe	0 / 1 / 2
ОКТ: неравномерный пахиметрический профиль (локальные зоны истончения) OCT: irregular pachymetric profile (local thinning zones)	Нет / есть None / present	0 / 2
Внутриглазное давление Intraocular pressure	Норма / повышено / понижено Normal / elevated / decreased	0 / 1 / 1
ОКТ: минимальная толщина в зоне дефекта OCT: minimal thickness in the defect zone	≥400 мкм / 300–399 мкм / 200–299 мкм / <200 мкм* ≥400 μm / 300–399 μm / 200–299 μm / <200 μm*	0 / 2 / 4 / 6
ОКТ: средняя толщина роговицы (пахиметрия) OCT: mean corneal thickness (pachymetry)	≥600 мкм / 520–599 мкм / 450–519 мкм / <450 мкм ≥600 μm / 520–599 μm / 450–519 μm / <450 μm	0 / 1 / 2 / 3

Таблица 2. **Окончание**
Table 2. **The End**

Критерий Criterion	Градации Grades	Баллы Scores
Вовлечение лимба Limbal involvement	Нет / есть None / present	0 / 2
Конфокальная микроскопия: акантамебные цисты Confocal microscopy: Acanthamoeba cysts	Не выявлены / единичные / множественные / массивные Not detected / single / multiple / massive	0 / 4 / 8 / 12
Конфокальная микроскопия: трофозоиты Confocal microscopy: trophozoites	Нет / есть None / present	0 / 2
Конфокальная микроскопия: признаки кератоневрита Confocal microscopy: signs of keratoneuritis	Нет / есть None / present	0 / 4
Длительность заболевания до начала специфической терапии Disease duration before initiation of specific therapy	≤7 дней / 8–21 день / >21 дня ≤7 days / 8–21 days / >21 days	0 / 2 / 4
Скорость клинического прогрессирования Rate of clinical progression	Медленная / быстрая / молниеносная Slow / rapid / fulminant	0 / 2 / 4
Прогнозируемая интенсивность помутнения Predicted opacity severity	Незначительное / умеренное / грубое Mild / moderate / severe	0 / 1 / 2

Примечание. *Критические признаки (десцеметоцеле/перфорация или толщина <200 мкм по ОКТ) являются показанием к экстренной терапевтической кератопластике независимо от суммарного балла.

Note. *Critical signs (descemetocele/perforation or OCT-measured corneal thickness <200 μm) are indications for emergency therapeutic penetrating keratoplasty regardless of the total score.

– 19–30 баллов — средняя степень: модифицированный УФ-кросслинкинг с предварительным удалением пораженных тканей (глубокая скарификация или формирование и удаление роговичного лоскута с использованием фемтосекундного лазера) по критериям раздела;

– 31–42 баллов — тяжелая степень: модифицированный УФ-кросслинкинг с предварительным удалением пораженных тканей по критериям раздела 3; обязательный ранний контроль через 48–72 ч; при отсутствии стабилизации процесса и/или прогрессировании истончения — переход к экстренной терапевтической кератопластике;

– ⩾43 балл или критический признак* — крайне тяжелая степень: экстренная терапевтическая кератопластика с органосохранной целью. После стойкой стабилизации и отсутствия прогрессирующего истончения возможна отсроченная оптическая кератопластика.

3. Критерии выбора варианта удаления пораженных тканей перед кросслинкингом

Глубокую скарификацию язвенного инфильтрата выполняют (независимо от степени тяжести по суммарному баллу) при выраженной неравномерности пахиметрического профиля и/или наличии локальных зон истончения, а также при выраженной неровности поверхности роговицы. Скарификацию выполняют под контролем интраоперационной ОКТ с удалением некротических и инфицированных тканей в пределах безопасной глубины.

Формирование и удаление роговичного лоскута с использованием фемтосекундного лазера выполняют в качестве этапа удаления пораженных тканей перед модифицированным УФ-кросслинкингом при достаточном «запасе» ткани: средней толщине роговицы (по пахиметрии) не менее 600 мкм и минимальной толщине в зоне дефекта не менее 400 мкм, при отсутствии выраженной неравномерности пахиметрического профиля. Метод предпочтителен при тотальном бельме и/или при центральной или парацентральной локализации язвы. Глубину формирования лоскута выбирают индивидуально (как правило, 200–300 мкм) в зависимости от предполагаемой глубины поражения.

Таким образом, лечебный алгоритм у каждого пациента включает последовательные этапы: первичную клинико-инструментальную диагностику, расчет балла по шкале FUSS или AUSS, выбор метода лечения в соответствии с суммарной оценкой, проведение модифицированного УФ-кросслинкинга, последующее динамическое наблюдение с повторной балльной оценкой и определение необходимости кератопластики.

Модифицированный УФ-кросслинкинг также включает попеременное закапывание фотосенсибилизатора на основе рибофлавина и барьерно-защитного средства, содержащего 0,5–25 мг/л нанокластеров серебра с размером частиц 5–50 нм и 1–10 г/л натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, полученный электроимпульсным методом дугового разряда.

Дополнительно оценивали совпадение рекомендованной шкалой лечебной тактики с фактически выбранной хирургической тактикой. Анализ числа наблюдений, в которых решение, предложенное на основании шкалы, полностью совпадает с выбором хирурга, а также доли случаев, в которых окончательное решение было изменено с учетом индивидуальных клинических особенностей.

Статистическая обработка результатов выполнялась с использованием методов вариационной статистики. Количественные данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения — M±SD, а также медианы и интерквартильного размаха — Me [Q_1; Q_3], если это требовалось по характеру распределения. Категориальные данные представлены в абсолютных значениях и процентах. Достоверность различий оценивали по критерию Вилкоксона. Различия считали статистически значимыми при уровне $p<0,01$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний суммарный балл по шкале FUSS у пациентов с грибковым кератитом при поступлении составил 25,2±3,1, перед кросслинкингом — 23,4±2,2, через месяц после кросслинкинга — 10,8±4,4 балла. При анализе динамики балла по шкале FUSS до и после лечения выявлено статистически значимое снижение выраженности процесса (критерий Вилкоксона, $p<0,001$).

Этапное лечение проводили в соответствии с разработанным алгоритмом. Фемтосекундный этап подготовки роговицы был выполнен в 14 (41,2%) случаях, глубокая скарификация — в 20 (58,8%) случаях. Срок элиминации микроорганизмов составил 14 [14; 28] дней, срок стабилизации воспалительного процесса — 14 [14; 28] дней. Элиминация микроорганизмов через 14 дней была достигнута у 26 (76,5%) пациентов, у остальных 8 (23,5%) — через 30 дней. Отсутствие роговичного синдрома через 7 дней после лечения отмечено у 23 (67,6%) пациентов. Двум пациентам (5,9%) потребовалась терапевтическая сквозная кератопластика. В отдаленном периоде 2 (5,9%) пациентам была выполнена оптическая сквозная кератопластика, 1 (2,9%) пациенту — передняя глубокая послойная кератопластика, еще 1 (2,9%) пациенту — оптическая кератопластика в сочетании с факоэмульсификацией и имплантацией интраокулярной линзы.

Средний суммарный балл по шкале AUSS у пациентов с акантамебным кератитом при поступлении составил 26,1±3,7 балла, перед кросслинкингом — 25,2±3,4, через месяц после кросслинкинга — 11,1±4,2 балла. При анализе динамики балла по шкале AUSS до и после лечения также выявлено статистически значимое снижение выраженности процесса (критерий Вилкоксона, $p<0,001$).

Фемтосекундный этап применяли в 4 (14,8%) наблюдениях, глубокую скарификацию — в 19 (70,4%). Срок элиминации микроорганизмов составил 21 [14; 28] день, срок стабилизации воспалительного процесса — 14 [14; 24,5] дней. Элиминация микроорганизмов была достигнута у 25 (92,6%) пациентов: у 10 (37,0%) пациентов — в сроки до 14 дней, у 11 (40,7%) — в интервале 15–30 дней, у 2 (7,4%) — позднее 30 дней. В 2 (7,4%) случаях элиминация микроорганизмов не была достигнута, что сопровождалось необходимостью терапевтической сквозной кератопластики. Отсутствие роговичного синдрома через 7 дней зарегистрировано у 12 (44,4%) пациентов, тогда как у 15 (55,6%) пациентов роговичный синдром сохранялся до 14 дней. Терапевтическая сквозная кератопластика потребовалась 5 (18,5%) пациентам, оптическая сквозная кератопластика была выполнена 3 (11,1%) пациентам. Остальные пациенты обеих групп находятся под динамическим наблюдением.

Более высокая частота глубокой скарификации в акантамебной группе, по сравнению с грибковой, а также большая потребность в терапевтической сквозной кератопластике (18,5% против 5,9%) могут косвенно отражать более затяжной и структурно агрессивный характер акантамебного поражения, при котором органосохраняющий этап нередко требует более активного механического дебридмента и не всегда позволяет избежать перехода к хирургии «спасения глаза». Одновременно статистически значимое снижение баллов FUSS и AUSS после лечения показывает, что предложенные шкалы чувствительны к клинической динамике и могут использоваться не только для первичной стратификации тяжести, но и для мониторинга эффективности проводимой терапии. Полученные данные свидетельствуют о том, что в обеих группах после этапного лечения происходило статистически значимое уменьшение суммарного балла тяжести, что отражает снижение активности инфекционно-воспалительного процесса, уменьшение выраженности роговичного синдрома и стабилизацию состояния роговицы. Ненормальность распределения большинства исходных показателей указывает на выраженную клиническую неоднородность как грибкового, так и акантамебного поражения, что дополнительно обосновывает необходимость применения шкал FUSS и AUSS, как инструмента стратификации тяжести и выбора этапа лечения.

Совпадение рекомендаций шкалы с фактическим выбором хирурга отмечено в 54 случаях, что составило 88,6% от общего числа наблюдений. В 7 случаях хирургическая тактика была изменена по сравнению с формальной рекомендацией шкалы в связи с анатомическими особенностями/скоростью прогрессирования/техническими ограничениями/сопутствующим состоянием глаза. Полученные данные свидетельствуют о высокой практической применимости шкалы оценки степени тяжести язвенного воспалительного процесса на роговице грибковой и акантамебной этиологии, как инструмента поддержки клинического решения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают, что тяжелые грибковые и акантамебные поражения роговицы целесообразно рассматривать не в линейной парадигме «медикаментозная терапия до неэффективности, затем пересадка», а как процесс, требующий поэтапного принятия решений на основании объективной оценки степени тяжести. Ключевое преимущество разработанного подхода заключается в том, что он связывает клиническую картину, данные ОКТ и конфокальной микроскопии с конкретным лечебным действием, а не только с общей характеристикой заболевания.

Особую роль в предлагаемом алгоритме играет инструментальная стратификация степени тяжести. ОКТ переднего отрезка позволяет определить глубину инфильтрации, минимальную толщину роговицы, протяженность язвенного дефекта и динамику истончения,

тем самым объективизируя риск дальнейшего прогрессирования. Конфокальная микроскопия, в свою очередь, дает возможность прижизненной визуализации гиф, спор, цист, трофозоитов и кератоневрита, что особенно важно при грибковом и акантамебном процессе.

Терапевтическое значение подготовительного удаления инфицированных тканей определяется не только уменьшением микробной нагрузки, но и улучшением доступа локальной терапии и фотосенсибилизатора к более глубоким слоям стромы. Глубокая скарификация под интраоперационным ОКТ-контролем в этой схеме позволяет уменьшить объем инфицированной ткани, не переходя границу безопасной остаточной толщины. В случаях выраженного отека, тотального помутнения и преимущественно поверхностно-срединного расположения патологического очага дополнительное преимущество может иметь фемтосекундный этап: по данным клинических сообщений, фемтосекундная кератэктомия позволяет точно удалить инфицированную ткань и улучшить проникновение местных препаратов. Отдельно следует подчеркнуть практическую ценность повторной балльной оценки после проведения модифицированного УФ-кросслинкинга. Снижение среднего суммарного балла после вмешательства отражает уменьшение активности инфекционно-воспалительного процесса, стабилизацию состояния роговицы и может служить простым воспроизводимым критерием эффективности этапного лечения. Высокая частота совпадения рекомендаций шкалы с выбором хирурга свидетельствует о том, что разработанные шкалы FUSS и AUSS могут использоваться не только как исследовательский инструмент, но и как средство клинической поддержки принятия решений.

Терапевтическая сквозная кератопластика, несмотря на ее жизненно важную роль, остается вмешательством спасения глаза, а не идеальным завершающим этапом. Именно поэтому необходимость перехода к ней должна определяться не только фактом отсутствия быстрого ответа на терапию, но и объективными признаками критического истончения, десцеметоцеле, перфорации роговицы, сохраняющейся активной инфекции и отсутствия стабилизации по шкале после органосохраняющего этапа. Такой подход позволяет более обоснованно выбирать момент хирургической эскалации и создавать условия для будущих оптико-реконструктивных вмешательств, направленных на улучшение зрительных результатов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные шкалы балльной оценки степени тяжести грибковой и акантамебной язвы роговицы позволяют стандартизировать клиническое решение за счет учета биомикроскопических, томографических и конфокальных критериев.

Применение ОКТ переднего отрезка и конфокальной микроскопии повышает точность диагностики и позволяет перевести оценку тяжести инфекционного процесса в объективный и воспроизводимый формат, необходимый для этапного выбора лечения.

Модификации УФ-кросслинкинга повышают эффективность и значимость данного метода в качестве способа стабилизации воспалительного процесса и элиминации микроорганизмов

Использование средства на основе наночастиц серебра в составе протокола модифицированного УФ-кросслинкинга расширяет возможности локального воздействия за счет потенциального усиления противомикробного и регенераторного эффекта.

Использование этапного алгоритма повышает воспроизводимость выбора хирургической тактики и создает основу для более стандартизированного ведения пациентов с тяжелыми грибковыми и акантамебными поражениями роговицы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. World Health Organization. World report on vision. Geneva: 2019.
2. Ting DSJ, Ho CS, Deshmukh R, Said DG, Dua HS. Infectious keratitis: an update on epidemiology, causative microorganisms, risk factors, and antimicrobial resistance. *Eye (Lond).* 2021;35(4): 1084–101. https://doi.org/10.1038/s41433-020-01339-3
3. Brown L, Leck AK, Gichangi M, Burton MJ, Denning DW. The global incidence and diagnosis of fungal keratitis. *Lancet Infect Dis.* 2021;21(3): e49–e57. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30448-5
4. Garg D, Daigavane S. A comprehensive review on Acanthamoeba keratitis: an overview of epidemiology, risk factors, and therapeutic strategies. *Cureus.* 2024;16(8): e67803. https://doi.org/10.7759/cureus.67803
5. Bouten M, Elsheikha HM. Diagnosis and management of Acanthamoeba keratitis: a continental approach. *Parasitologia.* 2022;2:167–197. https://doi.org/10.3390/parasitologia2030016
6. Ting DSJ, Galal M, Kulkarni B, et al. Clinical characteristics and outcomes of fungal keratitis in the United Kingdom 2011–2020: a multicenter study. *Am J Ophthalmol.* 2022;237: 206–18. https://doi.org/10.3390/jof7110966
7. Carnt N, Hoffman JJ, Verma S, et al. Acanthamoeba keratitis: confirmation of the UK outbreak and a prospective case-control study identifying contributing risk factors. *Br J Ophthalmol.* 2018;102(12): 1621–8. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-312544
8. Raj N, Vanathi M, Ahmed NH, et al. Recent perspectives in the management of fungal keratitis. *J Fungi (Basel).* 2021;7(11): 907. https://doi.org/10.3390/jof7110907
9. World Health Organization. WHO fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action. Geneva: 2022.
10. Шиловских О.В., Пономарев В.О., Тимофеев В.Л. Грибковый кератит. Часть 2. Диагностика и лечение. *Офтальмология.* 2023;20(4): 593–600.
Shilovskikh OV, Ponomarev VO, Timofeev VL. Fungal keratitis. Part 2. Diagnosis and treatment. *Ophthalmology in Russia.* 2023;20(4): 593–600. (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-4-593-600
11. Бойко Э.В., Щемеров Н.В., Васильева Н.В., и др. 8-летний ретроспективный обзор грибкового кератита в офтальмологических стационарах города Санкт-Петербурга. *Клиническая офтальмология.* 2025;(3): 160–8.
Boyko EV, Shchemerov NV, Vasilyeva NV, et al. An 8-year retrospective review of fungal keratitis in ophthalmology hospitals of Saint Petersburg. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2025;(3): 160–8. (In Russ.). https://doi.org/10.32364/2311-7729-2025-25-3-1
12. Cabrera-Aguas M, Watson SL. Updates in diagnostic imaging for infectious keratitis: a review. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(21): 3358. https://doi.org/10.3390/diagnostics13213358
13. Gheorghe AG, Arghirescu AM, Marinescu MC, Onofrei AG, Pop DM, Voinea LM, Ciuluvică RC. In vivo confocal microscopy and anterior segment optical coherence tomography in optimizing diagnosis and therapeutic management in fungal keratitis: case reports and literature review. *J Clin Med.* 2025;14(22): 8066. https://doi.org/10.3390/jcm14228066

14. Kowalska ME, Pot SA, Hartnack S. Photoactivated chromophore for keratitis-corneal cross-linking (PACK-CXL)-a scoping review based on preclinical studies. *Transl Vis Sci Technol.* 2024;13(7): 14. https://doi.org/10.1167/tvst.13.7.14
15. Shah P, Shieh C, Kuo AN. Therapeutic femtosecond laser-assisted lamellar keratectomy for multidrug-resistant Nocardia keratitis. *Cornea.* 2017;36(11): 1430–3. https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000001318
16. Mundhra J, Dhakal R, Mohamed A, et al. Outcomes of therapeutic penetrating keratoplasty in 198 eyes with fungal keratitis. *Indian J Ophthalmol.* 2019;67(10): 1599–605. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1952_18
17. Hendiger EB, Padzik M, Sifaoui I, et al. Silver nanoparticles as a novel potential preventive agent against Acanthamoeba keratitis. *Pathogens.* 2020;9(5): 350. https://doi.org/10.3390/pathogens9050350
18. Xiao Y, Yang Y, Sun B, et al. Nanomedicine in fungal keratitis: current applications and future prospects. *Front Microbiol.* 2025;16: 1618046. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1618046
19. Gong Y, Xin M. Incidence of recurrent fungal keratitis after primary keratoplasty and visual outcome and prognosis after intervention for the recurrence. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(24): e15910. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000015910
20. Iseli HP, Thiel MA, Hafezi F, Kampmeier J, Seiler T. Ultraviolet A/riboflavin corneal cross-linking for infectious keratitis associated with corneal melts. *Cornea.* 2008;27(5): 590–4. https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e318169d698
21. Martins SAR, Combs JC, Noguera G, et al. Antimicrobial efficacy of riboflavin/UVA combination (365 nm) in vitro for bacterial and fungal isolates: a potential new treatment for infectious keratitis. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49(8): 3402–8. https://doi.org/10.1167/iovs.07-1592
22. Патент РФ на изобретение № 2844407/29.07.2025 Бюл. № 22 Арсютов Д.Г., Измайлова С.Б., Астоян Л.Ц., и др. Способ лечения инфекционных поражений роговицы на основе модифицированного УФ-кросслинкинга с применением антисептического средства с наночастицами серебра с репаративно-регенераторными свойствами. Доступно по: https://new.fips.ru/registers-doc view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2844407&TypeFile=html [ссылка активна на 12.03.2026].
Patent Rus № 2844407/29.07.2025 Byul. № 22 Arsyutov DG, Izmailova SB, Astoyan LTs, Lapochkin VI, et al. Sposob lecheniya invekcionnykh porajeniy rogovicy na osnove modificirovannogo UF-krosslinkinga s primeneniev antisepticheskogo sredstva s nanochasticami serebra s reparativno-regeneratornimi svoistvami. Available from: https://new.fips.ru/registers-doc view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2844407&TypeFile=html [Accessed 12 th March 2026] (In Russ.).
23. Астоян Л.Ц, Измайлова С.Б., Майчук Д.Ю, Таевере М.Р. Современные подходы к лечению тяжелой воспалительной патологии роговицы. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова.* 2023;18(4): 50–2.
Astoyan LTs, Izmaylova SB, Maychuk DYu, Taevere MR. Modern methods of corneal inflammatory diseases. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N. I. Pirogov.* 2023;18(4): 50–2. (In Russ.).
https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_4_S1_50
24. Патент РФ на изобретение № 2718565 / 08.04.2020. Бюл. № 10. Яни Е.В., Вахова Е.С., Позднякова В.В. и др. Способ определения степени тяжести язвы роговицы. Доступно по: https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=f6b7be78c8aaf388133cc54af3fb542e [ссылка активна на 12.03.2026]
Patent Rus № 2718565 / 08.04.2020. Byul. № 10. Yani EV, Vakhova ES, Pozdnyakova VV, et al Sposob opredeleniya stepeni tyazhesti yazvy rogovitsy. Available from: https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=f6b7be78c8aaf388133cc54af3fb542e Accessed 12.03.2026 (In Russ).

Информация об авторах
Астоян Люси Цолаковна — аспирант отдела трансплантационной и оптико-реконструктивной хирургии переднего отрезка глазного яблока МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; lucyastg@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-5336-0850
Измайлова Светлана Борисовна — д.м.н., зав. отделом трансплантационной и оптико-реконструктивной хирургии переднего отрезка глазного яблока МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, lana-dok@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3516-1774
Майчук Дмитрий Юрьевич — д.м.н., зав. отделом терапевтической офтальмологии МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, maychuk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1674-4656

Information about the authors
Lyusi Ts. Astoyan — postgraduate student, Department of Transplantation and Optical-Reconstructive Surgery of the Anterior Segment of the Eyeball, S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, lucyastg@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-5336-0850
Svetlana B. Izmailova — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Transplantation and Optical-Reconstructive Surgery of the Anterior Segment of the Eyeball, S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, lana-dok@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3516-1774
Dmitry Yu. Maychuk — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Therapeutic Ophthalmology, S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, maychuk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1674-4656

Вклад авторов:
Астоян Л.Ц. — концепция исследования, анализ литературы, разработка структуры статьи, формирование клинических разделов, подготовка первоначального текста рукописи, разработка и внедрение шкал для балльной оценки степени тяжести язвы роговицы.
Измайлова С.Б. — научное редактирование, методологическое руководство, ведение клинической части исследования, формирование хирургической концепции этапного лечения, проведение всех видов хирургических вмешательств, критический пересмотр рукописи.
Майчук Д.Ю. — участие в формировании клинической концепции исследования, консультативно-терапевтическое сопровождение ведения пациентов с инфекционными поражениями роговицы, участие в интерпретации клинических данных, критический пересмотр рукописи.

Author's contribution:
Astoyan L.Ts. — study concept, literature analysis, development of the article structure, preparation of the clinical sections, drafting of the initial manuscript, development and implementation of the scoring scales for corneal ulcer severity assessment.
Izmailova S.B. — scientific editing, methodological supervision, management of the clinical part of the study, development of the surgical concept of stage-based treatment, performance of all surgical interventions, critical revision of the manuscript.
Maychuk D.Yu. — participation in the development of the clinical concept of the study, consultative and therapeutic support of patients with infectious corneal lesions, participation in the interpretation of clinical data, critical revision of the manuscript.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Конфликт интересов отсутствует.
Conflict of interest: Nonet.

Поступила: *16.03.2026*
Переработана: *01.04.2026*
Принята к печати: *26.04.2026*
Received: *16.03.2026*
Revision: *01.04.2026*
Accepted: *26.04.2026*

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
ORIGINAL ARTICLES

Оригинальная статья
УДК 617.764.6-002
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-49-54

Микробиота глаза при хроническом дакриоцистите

Е.Н. Матюхина, Ш.Р. Кузбеков, Л.Р. Рахимова, Г.Р. Газизуллина

Уфимский научно-исследовательский институт глазных болезней ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, Уфа, Россия

РЕФЕРАТ

Введение. Микрофлора глазной поверхности выполняет ключевую защитную функцию, препятствуя колонизации патогенов и существенно влияя на иммунологические процессы. В норме микробиота конъюнктивы представлена преимущественно коагулазонегативными стафилококками (*Staphylococcus epidermidis, S. warneri*), *Corynebacterium* spp., *Propionibacterium acnes* в низких концентрациях. При нарушении динамического равновесия между хозяином и микроорганизмами возникают офтальмологические заболевания, включая хронический дакриоцистит. Данные классических бактериологических исследований показывают, что при дакриоцистите наиболее часто выделяются *S. aureus* (25–40%), *S. epidermidis* (15–30%), *Streptococcus pneumoniae* (10–15%), *Pseudomonas aeruginosa* (5–10%). Однако современные методы идентификации микробиоты позволяют выявить более широкий спектр микроорганизмов.

Цель. Оценить состав микробиоты конъюнктивы и слезоотводящих путей у пациентов с хроническим дакриоциститом и изучить ее возможные ассоциации с клиническим течением заболевания.

Материал и методы. В исследование включены 50 пациентов (8 мужчин, 42 женщины) в возрасте 34–78 лет (средний возраст 56±4,2 года). Все пациенты разделены на 2 группы: контрольную (n=25) — без заболевания слезоотводящих путей, и основную (n=25) — с хроническим дакриоциститом. Основная группа подразделена на подгруппу А (n=18) — пациенты, ранее оперированные по поводу дакриоцистита, и подгруппу Б (n=7) — пациенты, которым оперативное вмешательство выполняется впервые. Всем пациентам основной группы выполнена трансканаликулярная лазерная эндоскопическая дакриоцисториностомия (ТЛЭД). Забор материала производили стерильными тампонами из нижнего конъюнктивального свода до оперативного лечения. Выполнено бактериологическое исследование с посевом на различные питательные среды с последующей идентификацией методом MALDI-TOF масс-спектрометрии.

Результаты. В контрольной группе рост микрофлоры не обнаружен в 56% случаев. *S. epidermidis* выявлен в 11,9% случаев, *S. aureus* — в 7,1%. У пациентов с дакриоциститом рост микроорганизмов отсутствовал только в 36% случаев. Выявлено доминирование коагулазонегативных стафилококков: *S. epidermidis* — в 22% случаев, *S. warneri* — в 17%, *S. haemolyticus* — в 6%. Также выявлены редкие виды: *Cohnella hongkongensis*, *Micrococcus luteus*. У пациентов с рецидивом после ТЛЭД микробное сообщество представлено более широко по сравнению с группой без рецидива.

Выводы. Отсутствие бактериального роста является характерным для здоровых лиц (56,0% случаев), тогда как при хроническом дакриоцистите стерильность посевов регистрируется значительно реже — лишь в 36,0% случаев, что подтверждает развитие выраженного локального дисбиоза. При хроническом дакриоцистите происходит значительное изменение нормальной микробиоты глазной поверхности с преобладанием коагулазонегативных стафилококков (*S. epidermidis* — 22,0%, *S. warneri* — 17,0%, *S. haemolyticus* — 6,0%), что свидетельствует об их возможной роли в развитии и/или поддержании хронического воспалительного процесса. Обнаружение в основной группе пациентов микст-инфекций (20,0%) и редких микроорганизмов (*C. hongkongensis*, *M. luteus*) указывает на сложный характер микробных ассоциаций при хроническом дакриоцистите. У пациентов с рецидивом дакриоцистита выявлен более сложный и разнообразный спектр микроорганизмов по сравнению с группой первично оперированных пациентов без рецидива. Определение микробиоты конъюнктивы может быть использовано на стадии поликлинического этапа лечения как потенциальный инструмент для прогнозирования исхода оперативного вмешательства у пациентов с хроническим дакриоциститом. Однако требуется дальнейшее изучение данной проблемы.

Ключевые слова: *микробиота конъюнктивы, хронический дакриоцистит, коагулазонегативные стафилококки, MALDI-TOF*

Для цитирования: Матюхина Е.Н., Кузбеков Ш.Р., Рахимова Л.Р., Газизуллина Г.Р. Микробиота глаза при хроническом дакриоцистите. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 49–54.
https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-49-54

Автор, ответственный за переписку: Матюхина Екатерина Николаевна, ok5882@yandex.ru

© Матюхина Е.Н., Кузбеков Ш.Р., Рахимова Л.Р., Газизуллина Г.Р., 2026

Original article

Ocular microbiota in chronic dacryocystitis

E.N. Matyukhina, S.R. Kuzbekov, L.R. Rakhimova, G.R. Gazizullina

Ufa Eye Research Institute, Ufa, Russia

ABSTRACT

Introduction. The microflora of the ocular surface performs a key protective function, preventing pathogen colonization and significantly affecting immunological processes. Normally, the conjunctival microbiota is represented mainly by coagulase-negative staphylococci (*Staphylococcus epidermidis*, *S. warneri*), *Corynebacterium* spp., Propionibacterium acnes in low concentrations. When the dynamic balance between the host and microorganisms is disrupted, ophthalmic diseases occur, including chronic dacryocystitis. Data from classical bacteriological studies show that in dacryocystitis, *S. aureus* (25–40%), *S. epidermidis* (15–30%), *Streptococcus pneumoniae* (10–15%), *Pseudomonas aeruginosa* (5–10%) are most frequently isolated. However, modern microbiota identification methods allow detection of a wider spectrum of microorganisms.

Purpose. To evaluate the composition of conjunctival and lacrimal tract microbiota in patients with chronic dacryocystitis and study its possible associations with the clinical course of the disease.

Material and methods. The study included 50 patients (8 men, 42 women) aged 34–78 years (mean age 56±4.2 years). All patients were divided into 2 groups: control (n=25) without lacrimal tract diseases and main group (n=25) with chronic dacryocystitis. The main group was subdivided into subgroup A (n=18) — patients previously operated for dacryocystitis, and subgroup B (n=7) — patients undergoing surgery for the first time. All patients in the main group underwent transcanalicular laser endoscopic dacryocystorhinostomy (TLED). Material sampling was performed with sterile swabs from the lower conjunctival fornix before surgical treatment. Bacteriological examination with seeding on various nutrient media was performed followed by identification using MALDI-TOF mass spectrometry.

Results. In the control group, microbial growth was not detected in 56% of cases. *S. epidermidis* was detected in 11,9% of cases, *S. aureus* — in 7,1%. In patients with dacryocystitis, microbial growth was absent in only 36% of cases. Dominance of coagulase-negative staphylococci was revealed: *S. epidermidis* — 24%, *S. warneri* — 20%, *S. haemolyticus* — 8%. Rare species were also identified: *Cohnella hongkongensis*, *Micrococcus luteus*. In patients with relapse after TLED, the microbial community was represented more widely compared to the group without relapse.

Conclusion. The absence of bacterial growth is characteristic of healthy individuals (56.0% of cases), whereas in chronic dacryocystitis, the sterility of cultures is recorded significantly less frequently — only in 36.0% of cases, which confirms the development of pronounced local dysbiosis. In chronic dacryocystitis, there is a significant change in the normal microbiota of the ocular surface with a predominance of coagulase-negative staphylococci (*S. epidermidis* — 22,0%, *S. warneri* — 17.0%, *S. haemolyticus* — 6.0%), which indicates their possible role in maintaining the chronic inflammatory process. Detection of mixed infections (20.0%) and rare microorganisms (*C. hongkongensis*, *M. luteus*) in the main group indicates the complex nature of microbial associations in chronic dacryocystitis. In patients with relapse of dacryocystitis, a more complex and diverse spectrum of microorganisms is revealed compared to the group of primarily operated patients without relapse. Determination of conjunctival microbiota can be used at the outpatient stage as a potential tool for predicting the outcome of surgical intervention in patients with chronic dacryocystitis. However, further study of this problem is required.

Keywords: *conjunctival microbiota, chronic dacryocystitis, coagulase-negative staphylococci, MALDI-TOF*

For citation: Matyukhina E.N., Kuzbekov S.R., Rakhimova L.R., Gazizullina G.R. Ocular microbiota in chronic dacryocystitis. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 49–54. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-49-54

Corresponding author: Ekaterina N. Matyukhina, ok5882@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Микрофлора глазной поверхности выполняет ключевую защитную функцию, препятствуя колонизации патогенов и существенно влияя на иммунологические процессы и формирование внешнего барьера. В настоящий момент человеческий организм рассматривается в рамках симбиотических отношений с населяющими его сообществами микроорганизмов, называемыми микробиотой [1, 2]. Между хозяином и обитающими в нем микроорганизмами существуют устойчивые физиологические взаимосвязи, в результате которых микробиота находится в состоянии динамического равновесия, которое, в свою очередь, реагирует как на изменение состояния макроорганизма, так и на внешние воздействия окружающей среды [3–7].

В норме микробиота конъюнктивы здорового глаза представлена преимущественно коагулазонегативными стафилококками (*Staphylococcus epidermidis*, *S. warneri*), *Corynebacterium* spp., *Propionibacterium acnes* в низких концентрациях. Флора у здоровых лиц скудна и лишена значительного разнообразия, что обеспечивает стабильность биоценоза и предотвращает развитие патологий [8–13].

При нарушении динамического равновесия и изменении иммунологического статуса возникают офтальмологические заболевания, тогда как здоровый биоценоз с относительно стабильным составом микроорганизмов предотвращает развитие патологий [12, 13]. Данные классических бактериологических исследований показывают, что при хроническом дакриоцистите наиболее часто выделяют *S. aureus* (25–40%), *S. epidermidis* (15–30%), *Streptococcus pneumoniae* (10–15%), *Pseudomonas aeruginosa* (5–10%) [10, 12]. Однако традиционные методы посева имеют ограничения в выявлении анаэробных и труднокультивируемых микроорганизмов.

Микробиота стала предметом интенсивного изучения в области протеомики и метаболомики, связанных с расшифровкой нарушений синтеза и структуры белков,

липидов, активности ферментов [4, 5]. Систематический обзор нормального состава микробиоты поверхности глаза может глубже осветить механизмы развития воспалительных заболеваний глаз, в том числе хронического дакриоцистита, а также способствовать разработке новых методов диагностики и лечения с учетом индивидуального состава микробиоты каждого пациента [8–10].

ЦЕЛЬ

Оценить состав микробиоты поверхности глаза у пациентов с хроническим дакриоциститом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование вошли 50 пациентов (8 мужчин, 42 женщины) в возрасте 34–78 лет. Средний возраст пациентов составил 56 лет. Все пациенты были разделены на 2 группы: в 1-ю группу (контрольную) вошли 25 человек без заболевания слезоотводящих путей; во 2-ю группу (основную) — 25 пациентов с хроническим дакриоциститом (хроническим гнойным и катаральным дакриоциститом). В свою очередь, основная группа была разделена на две подгруппы: в подгруппу А вошли пациенты, ранее (однократно или многократно) оперированные по поводу дакриоцистита — 18 человек, в подгруппу Б — 7 пациентов, которым оперативное вмешательство выполнялось впервые.

Все пациенты прошли стандартное офтальмологическое обследование, пациентам основной группы была выполнена трансканаликулярная лазерная эндоскопическая дакриоцисториностомия (ТЛЭД).

Пациентам основной группы до оперативного лечения и пациентам контрольной группы был произведен забор материала (отделяемого конъюнктивы и содержимого слезного мешка) в процедурном кабинете в стерильных условиях, для минимизации риска загрязнения тестовых образцов посторонними бактериями, присутствующими в окружающей среде. Взятие материала осуществляли стерильными тампонами из нижнего конъюнктивального свода, после чего тампоны помещались в тиогликолевую среду для сохранения анаэробов и доставлялись в лабораторию в течение 2 ч после взятия. Далее выполняли бактериологическое исследование с посевом на различные питательные среды: кровяной агар, желточно-солевой агар, шоколадный агар и среду Сабуро. Это позволило охватить максимально широкий спектр возможных микроорганизмов. Дополнительную идентификацию проводили методом MALDI-TOF (Matrix Assisted Laser Desorption Ionization Time of Flight) масс-спектрометрии (Autof MS, Китай). Это особенно важно при работе с коагулазонегативными стафилококками, которые морфологически почти неотличимы, но обладают патогенностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Получены следующие результаты. В контрольной группе рост микрофлоры не обнаружен в 56% случаев (14 пациентов). Из бактерий чаще всего встречались *S. epidermidis* — в 11,9% случаев, *S. aureus* — в 7,1%. У здоровых пациентов обнаружены условно-патогенные микроорганизмы, такие как *Stenotrophomonas maltophilia*, *Ochrobactrum anthropi*, *Pseudomonas putida*, но в минимальных концентрациях. Флора в контрольной группе была скудна и лишена разнообразия *(рис. 1)*.

Подобная скудность и низкая видовая вариабельность микробного пейзажа у лиц без офтальмологической патологии соответствуют современным представлениям о физиологическом гомеостазе конъюнктивальной поверхности, где локальные защитные факторы слезной жидкости (лизоцим, лактоферрин, иммуноглобулин А) эффективно контролируют пролиферацию транзиторных микроорганизмов. Отсутствие значимого бактериального роста более, чем в половине образцов подтверждает, что в норме конъюнктивальный биоценоз находится в состоянии сбалансированного комменсализма, не провоцирующего активацию врожденного и адаптивного иммунного ответа. Выявление единичных представителей грамотрицательной флоры в минимальных титрах отражает транзиторный характер колонизации и не сопровождается нарушением барьерной функции эпителия.

В то же время у пациентов с дакриоциститом роста

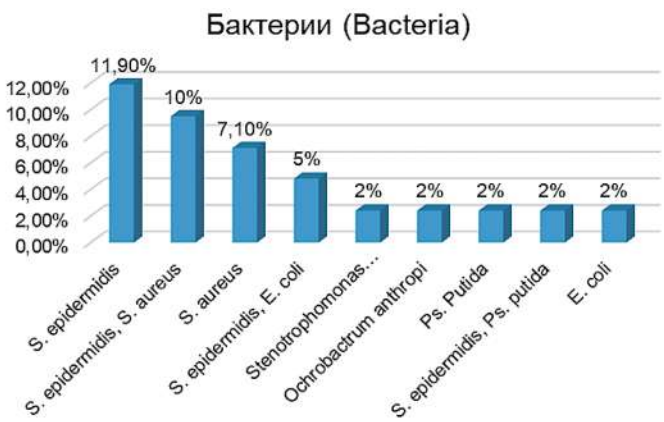


Рис. 1. Микробиота глазной поверхности у пациентов без заболеваний слезоотводящих путей (контрольная группа)

Fig. 1. Ocular surface microbiota in patients without lacrimal tract diseases (control group)

микроорганизмов не было зафиксировано только в 36% случаев (9 пациентов). В остальных случаях было выявлено четкое доминирование коагулазонегативных стафилококков, таких как: *S. epidermidis* — в 22% случаев, *S. warneri* — в 17%, *S. haemolyticus* — в 6% случаев *(рис. 2)*. Частота выявления *S. epidermidis* у пациентов с дакриоциститом оказалась почти в 2 раза выше, чем в контрольной группе (22% против 12%), что свидетельствует о выраженном локальном дисбиозе у пациентов с заболеваниями слезоотводящих путей.

Анализ роста микрофлоры у пациентов после дакриоцисториностомии, выполненной впервые, показал, что микробное сообщество глазной поверхности у них представлено менее разнообразно по сравнению с группой, где наблюдались рецидивы *(рис. 3)*. Однако она оставалась более разнообразной и потенциально патогенной по сравнению с таковой в контрольной группе.

ОБСУЖДЕНИЕ

Качественный и количественный сдвиг в структуре микробиоты свидетельствует о развитии выраженного локального дисбиоза. Преобладание коагулазонегативных стафилококков, традиционно относимых к условно-патогенной флоре, указывает на их переход из комменсального состояния в оппортунистическое. При хроническом воспалении слезного мешка создаются благоприятные условия для их адгезии к эпителию и формирования многослойных микробных сообществ. Особое внимание привлекает способность представителей коагулазонегативных стафилококков (в частности, *S. epidermidis* и *S. haemolyticus*) к продукции внеклеточного полимерного матрикса, который не только обеспечивает механическую защиту от факторов иммунной системы, но и существенно ограничивает проникновение местных и системных антимикробных препаратов. Это объясняет затяжное, торпидное течение дакриоцистита и низкую эффективность консервативной терапии у части пациентов.

Также были обнаружены и редкие виды, такие как *Cohnella hongkongensis*, *Micrococcus luteus,* у 3 пациентов. Данные микроорганизмы являются оппортунистическими патогенами, обладающими высокой адаптивностью и способностью формировать биопленки, что делает их резистентными к стандартной эмпирической антибиотикотерапии и способствует хронизации воспаления. Все это говорит о том, что при дакриоцистите микробиота не просто меняется — она становится более насыщенной, разнообразной и патогенной.

Выявление полимикробных ассоциаций и атипичных таксонов подчеркивает сложность экологических взаимодействий в условиях хронического воспаления. Синергизм между грамположительными кокками и редко встречающимися представителями микробиома может усиливать вирулентность за счет перекрестного обмена генами устойчивости и согласованного взаимодействия бактерий, при котором они совместно повышают свою болезнетворную активность. Использование современных методов идентификации, в частности масс-спектрометрии MALDI-TOF, позволило преодолеть ограничения классических культуральных методик и достоверно дифференцировать морфологически сходные, но различающиеся по биохимическому и молекулярному профилю штаммы, что критически важно для выбора целевой антимикробной тактики.

Более широкий видовой состав и повышенное разнообразие микробного сообщества у пациентов с рецидивом заболевания связано с предшествующими оперативными вмешательствами. По сравнению с пациентами, которым дакриоцисториностомия выполнялась впервые, у них выявляется более насыщенная бактериальная флора. При этом в обеих группах микробный состав остается более разнообразным и потенциально патогенным, чем в контрольной группе. Эти данные указывают на то, что рецидивирующий хронический дакриоцистит сопровождается стойким изменением микробиоты глазной поверхности, которое сохраняется на фоне длительного воспалительного процесса и может влиять на течение заболевания после операции.

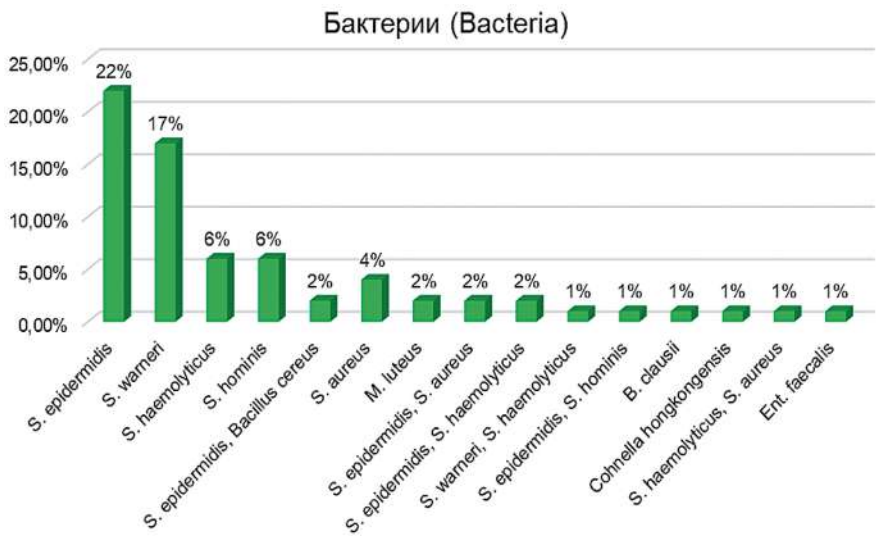


Рис. 2. Микробиота глазной поверхности у пациентов с хроническим дакриоциститом (основная группа)

Fig. 2. Ocular surface microbiota in patients with chronic dacryocystitis (main group)

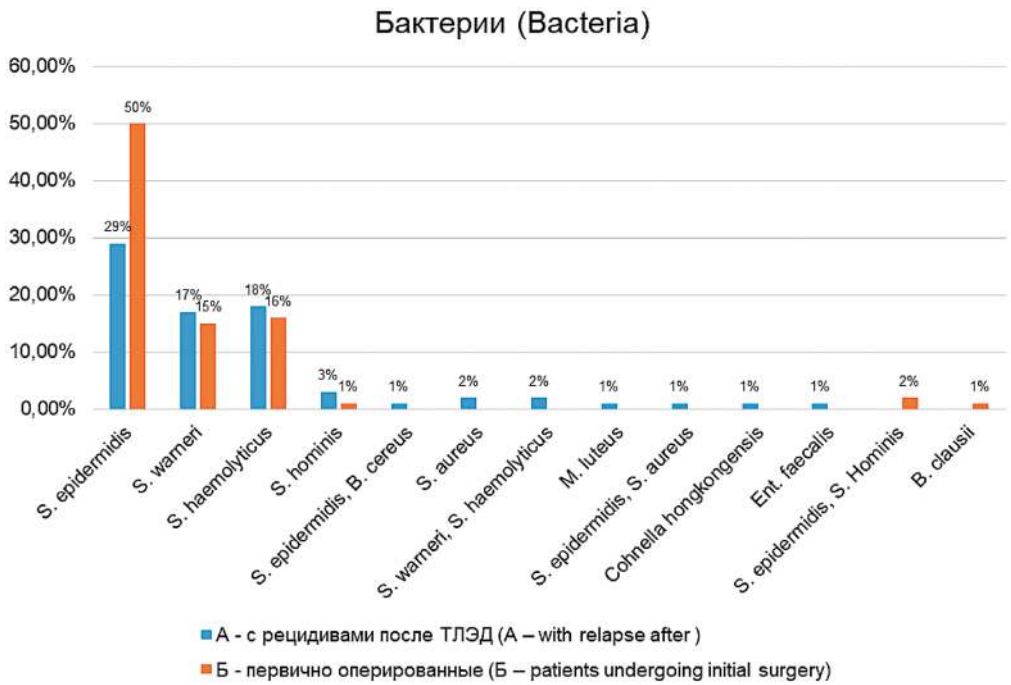


Рис. 3. Микробиота глазной поверхности у пациентов: А — с рецидивом после ТЛЭД; Б — первично оперированные пациенты

Fig. 3. Ocular surface microbiota in patients: A — with relapse after TLED; Б — primarily operated patients

На основании полученных данных можно констатировать, что хронический дакриоцистит сопровождается существенным нарушением микробиоты глазной поверхности с преобладанием коагулазонегативных стафилококков. Это указывает на их потенциальную роль в развитии и/или поддержании хронического воспалительного процесса. Выявленные микст-инфекции и наличие редких микроорганизмов свидетельствуют о сложной и разнообразной микробной ассоциации, особенно у пациентов с рецидивами заболевания, что может влиять на эффективность хирургического лечения.

Представленные выше данные позволяют думать, что оценка микробиоты конъюнктивы на этапе амбулаторного обследования может стать важным инструментом для прогнозирования исхода оперативного вмешательства.

Следует указать, что из всех образцов, взятых на посев для изучения микрофлоры, была также выделена ДНК для последующего полногеномного секвенирования с целью наиболее полного определения микробиоты.

ВЫВОДЫ

Отсутствие бактериального роста является характерным для здоровых лиц (56,0% случаев), тогда как при хроническом дакриоцистите стерильность посевов регистрируется значительно реже — лишь в 36,0% случаев, что подтверждает развитие выраженного локального дисбиоза.

В структуре выявленной микрофлоры при дакриоцистите доминируют коагулазонегативные стафилококки (*S. epidermidis* — 22,0%, *S. warneri* — 17,0%, *S. haemolyticus* — 6,0%), способные к формированию биопленок и поддержанию хронического воспаления.

Рецидивы заболевания ассоциированы с более сложным микробным ландшафтом: по сравнению с первично оперированными пациентами, у них чаще выявляются микст-инфекции и редкие оппортунистические патогены (*C. hongkongensis*, *M. luteus*).

Оценка микробиоты конъюнктивы, включая выявление редких микроорганизмов, может служить дополнительным инструментом прогнозирования исхода хирургического лечения на поликлиническом этапе.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Резбаева Г.Н., Оренбуркина О.И., Гимранова И.А., Бабушки А.Э. О микробиоме глазной поверхности. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2023;3: 38–44.
Rezbaeva GN, Orenburkina OI, Gimranova IA, Babushki AE. On the microbiome of the ocular surface. *Point of view. East–West.* 2023;3: 38–44. (In Russ.). https://doi.org/10.25276/2410-1257-2023-3-38-44
2. Фархутдинова А.А., Кузбеков Ш.Р., Никитина А.Ф. Трансканаликулярная лазерная эндоскопическая дакриоцисториностомия с интубацией слезных путей силиконовым стентом и пластикой слезного мешка (случай из практики). *Точка зрения. Восток–Запад.* 2016;2: 196–8.
Farkhutdinova AA, Kuzbekov ShR, Nikitina AF. Transcanalicular laser endoscopic dacryocystorinostomy with intubation of the lacrimal tract with a silicone stent and plasticization of the lacrimal sac (a case from practice). *Point of view. East–West.* 2016;2: 196–8. (In Russ.).
3. Amaral FA, Sachs D, Costa VV, et al. Commensal microbiota is fundamental for the development of inflammatory pain. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2008;105(6): 2193–7. https://doi.org/10.1073/pnas.0711891105.
4. Frank DN, et al. The human nasal microbiota and Staphylococcus aureus carriage. PloS one. 2010;5(5): e10598. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010598
5. Бикбов М.М., Оренбуркина О.И., Бабушкин А.Э. Микробиота глазной поверхности: методы исследования и современные представления о взаимосвязи дисбиоза кишеч-

ника и офтальмопатологии. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2024;11(3): 50–4.
Bikbov MM, Orenburkina OI, Babushkin AE. Microbiota of the ocular surface: research methods and modern concepts of the relationship between intestinal dysbiosis and ophthalmopathology. *Point of view. East–West.* 2024;11(3): 50–4. (In Russ.). https://doi.org/10.25276/2410-1257-2024-3-50-54
6. Язгарова Р.Р. Роль микробиоты поверхности глаза как возможного предиктора воспалительных заболеваний конъюнктивы. *Медицинский Вестник Башкортостана.* 2024;19(6): 105–10.
Yazgarova RR. The role of the microbiota of the eye surface as a possible predictor of inflammatory conjunctival diseases. *Medical Bulletin of Bashkortostan.* 2024;19(6): 105–10. (In Russ.).
7. Бикбов М.М., Бабушкин А.Э., Зайнутдинова Г.Х., Матюхина Е.Н. Анализ динамики некоторых воспалительных заболеваний переднего отрезка глаза в Республике Башкортостан. *РМЖ. Клиническая офтальмология.* 2016;16(1): 34–9.
Bikbov MM, Babushkin AE, Zainutdinova GKh, Matyukhina EN. Analysis of the dynamics of some inflammatory diseases of anterior segment of an eye in the Republic of Bashkortostan. *RMJ. Clinical ophthalmology.* 2016;16(1): 34–9. (In Russ.).
8. Ren Z, Li W, Liu Q, Dong Y, Huang Y. Profiling of the Conjunctival Bacterial Microbiota Reveals the Feasibility of Utilizing a Microbiome-Based Machine Learning Model to Differentially Diagnose Microbial Keratitis and the Core Components of the Conjunctival Bacterial Interaction Network. *Front Cell Infect Microbiol.* 2022;12: 860370. https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.860370
9. Резбаева Г.Н., Оренбуркина О.И., Гимранова И.А., Бабушкин А.Э., Газизуллина Г.Р. Микробиота глазной поверхности в норме и связь изменений ее состава с офтальмопатологией. *Российский офтальмологический журнал.* 2024;17(1): 144–8.
Rezbaeva GN, Orenburkina OI, Gimranova IA, Babushkin AE, Gazizullina GR. Normal microbiota of the ocular surface and the relationship of changes in its composition with ophthalmopathology. *Russian Ophthalmological Journal.* 2024; 17(1): 144–8. (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-144-148
10. Бикбов М.М., Оренбуркина О.И., Бабушкин А.Э. Микробиота глазной поверхности при инфекционно-воспалительных заболеваниях глаз. *Российский офтальмологический журнал.* 2024;17(4): 107–10.
Bikbov M.M., Orenburkina O.I., Babushkin A.E. Microbiota of the ocular surface in infectious/inflammatory eye diseases. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (4):107–10 (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-4-107-110
11. Магомедов М.М., Гуров А.В., Рождественская О.Н. и др. Сравнительная характеристика микробного пейзажа верхнечелюстной пазухи и слезного мешка у пациентов с хроническим дакриоциститом и хроническим синуситом. *Российская ринология.* 2025;33(2): 117–25.
Magomedov MM, Gurov AV, Rozhdestvenskaya ON, et al. Comparative characteristics of the microbial landscape of the maxillary sinus in patients with chronic dacryocystitis and chronic sinusitis. *Russian Rhinology.* 2025;33(2): 117–25. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/rosrino202533021117
12. Luo B, Li M, Xiang N, et al. The microbiologic spectrum of dacryocystitis. *BMC Ophthalmol.* 2021;21(1): 29. https://doi.org/10.1186/s12886-020-01792-4
13. Бикбов М.М., Кузбеков Ш.Р., Абдуллин В.Р., Чернова Н.С. Результаты комбинированного оперативного лечения хронического гнойного дакриоцистита. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2025;1: 16–21.
Bikbov MM, Kuzbekov ShR, Abdullin VR, Chernova NS. Results of combined surgical treatment of chronic purulent dacryocystitis. *Point of view. East–West.* 2025;1: 16–21. (In Russ.). https://doi.org/10.25276/2410-1257-2025-1-16-21

Информация об авторах
Матюхина Екатерина Николаевна — врач-офтальмолог офтальмологического консультативно-диагностического отделения №2 Уфимского НИИ глазных болезней ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, ok5882@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9950-2179
Кузбеков Шамиль Ришатович — к.м.н., главный врач Уфимского НИИ глазных болезней ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, shamail500@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-2439-6893
Рахимова Лилия Робертовна — врач-офтальмолог отделения дневного стационара Уфимского НИИ глазных болезней ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, lili4ka777@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0850-6682
Газизуллина Гульнара Раилевна — заведующая лабораторией микробиома человека ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, https://orcid.org/0009-0005-2508-7901

Information about the authors
Ekaterina N. Matyukhina — Ophthalmologist, Ophthalmologic Consultative and Diagnostic Department No. 2, Ufa Eye Research Institute, Bashkir Medical University of the Ministry of Health of Russia, ok5882@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9950-2179
Shamil R. Kuzbekov — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician, Ufa Eye Research Institute, Bashkir Medical University of the Ministry of Health of Russia, shamail500@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-2439-6893
Liliya R. Rakhimova — Ophthalmologist, Day Hospital Department, Ufa Eye Research Institute, Ufa Eye Research Institute, Bashkir Medical University of the Ministry of Health of Russia, lili4ka777@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0850-6682
Gulnara R. Gazizullina — Head, Human Microbiome Laboratory, Ufa Eye Research Institute, Bashkir Medical University of the Ministry of Health of Russia, https://orcid.org/0009-0005-2508-7901

Вклад авторов:
Матюхина Е.Н. — сбор и обработка материала, написание текста, редактирование.
Кузбеков Ш.Р. — написание текста, редактирование.
Рахимова Л.Р. — сбор и обработка материала, написание текста.
Газизуллина Г.Р. — обработка материала, написание текста.

Author's contribution:
Matyukhina E.N. — collection and processing of the material, text writing, editing.
Kuzbekov Sh.R. — text writing, editing.
Rakhimova L.R. — collection and processing of the material, text writing.
Gazizullina G.R. — processing of the material, text writing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *24.04.2026*
Переработана: *16.05.2026*
Принята к печати: *10.06.2026*
Received: *24.04.2026*
Revision: *16.05.2026*
Accepted: *10.06.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.72
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-55-64

Оценка влияния фемтосекундного лазерного сопровождения хирургии катаракты на зону антиглаукомной операции

Х.С. Гасанова, Е.Н. Пантелеев, И.К. Кузьмина, М.К. Васильева, С.Ю. Копаев
ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

Цель. Оценить возможность безопасного использования фемтосекундного этапа в хирургии катаракты у пациентов после непроникающей глубокой склерэктомии (НГСЭ) по морфофункциональным показателям, в том числе с использованием данных оптической когерентной томографии (ОКТ), а также провести сравнительную оценку по ряду критериев в динамике общим сроком наблюдения 12 месяцев.

Материал и методы. 30 случаев (30 пациентов) фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты (ФЛАЭК) после НГСЭ. До операции и в сроки 1–3 дня, 1, 3, 6 и 12 месяцев после ФЛАЭК оценивали функциональные показатели, а также зону антиглаукомной операции (АГО) с помощью метода ОКТ.

Результаты. Некорригированная острота зрения до операции составила 0,1±0,07, через 1 месяц после — 0,5±0,32; максимальная корригированная острота зрения до операции — 0,3±0,18, через 1 месяц после — 0,7±0,29; внутриглазное давление до операции составляло 17±6,08 мм рт.ст., через 1 месяц после — 15,8±6,66 мм рт.ст. В течение всего срока наблюдения отмечено статистически значимое уменьшение протяженности интрасклеральной полости (ИСП) ($p<0,05$). По остальным параметрам (высота фильтрационной подушки, толщина трабекулодесцеметовой мембраны, высота ИСП, длина, толщина и ширина склерального лоскута) по данным ОКТ не выявлено клинически значимого влияния фемтосекундного лазера на зону АГО. Следует учитывать малую выборку пациентов при проведении анализа.

Заключение. При анализе данных ОКТ зоны НГСЭ на 1–3-й день после ФЛАЭК не было выявлено нарушения дооперационной анатомии и статистически значимых изменений измеряемых параметров. В позднем послеоперационном периоде отмечались статистически значимые различия по некоторым морфометрическим параметрам зоны АГО. Однако абсолютные значения данных изменений минимальны и не достигают уровня клинической значимости, что подтверждается стабильными показателями внутриглазного давления, находящимися в пределах референсных значений.

Ключевые слова: *осложненная катаракта, глаукома, фильтрационная подушка, фемтосекундное сопровождение, факоэмульсификация*

Для цитирования: Гасанова Х.С., Пантелеев Е.Н., Кузьмина И.К., Васильева М.К., Копаев С.Ю. Оценка влияния фемтосекундного лазерного сопровождения хирургии катаракты на зону антиглаукомной операции. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 55–64. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-55-64

Автор, ответственный за переписку: Хаяла Салех кызы Гасанова, gasanova.hayala@yandex.ru

Original article

Evaluation of the impact of femtosecond laser assisted cataract surgery on the area of antiglaucoma surgery

Kh.S. Gasanova, E.N. Panteleev, I.K. Kuzmina, M.K. Vasilyeva, S.Yu. Kopaev
S.N. Fedorov National Medical Research Center «MNTK «Eye Microsurgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose. To evaluate the feasibility of using a femtosecond laser-assisted cataract procedure in patients with previously undergone glaucoma surgery.

Material and methods. The study included 30 patients. All patients underwent femtosecond laser assisted cataract surgery (FLACS) following prior non- penetrating deep sclerectomy. Functional parameters, as well as the AGO zone, were assessed using optical coherence tomography before surgery and at 1–3 days, 1, 3, 6, and 12 months after FLACS.

Results. The uncorrected visual acuity (UCVA) before surgery was 0.1±0.07, 1 month after — 0.5±0.32; the corrected visual acuity (BCVA) before surgery was 0.3±0.18, 1 month after — 0.7±0.29; the intraocular pressure (IOP) before surgery was 17±6.08 mmHg, 1 month after — 15.8±6.66 mmHg. A statistically significant decrease in the length of the intraocular lens

© *Гасанова Х.С., Пантелеев Е.Н., Кузьмина И.К., Васильева М.К., Копаев С.Ю., 2026*

(IOP) was observed (p<0.05). For other parameters: the height of the FP, the thickness of the TDM, the height of the intraocular lens, the length, thickness and width of the SL, the study demonstrated the absence of a clinically significant effect of the femtosecond laser on the area of antiglaucoma surgery according to OCT data. The small sample of patients should be taken into account when conducting the analysis.

Conclusion. Analysis of OCT data from the NGSE zone 1–3 days after femtosecond-assisted laser cataract extraction revealed no changes in preoperative anatomy or statistically significant changes in measured parameters. In the late postoperative period, statistically significant differences were observed in some morphometric parameters of the AGO zone. However, the absolute values of these changes are minimal and do not reach the level of clinical significance, as confirmed by stable intraocular pressure readings within reference ranges.

Keywords: *complicated cataract, glaucoma, filtration bleb, femtosecond accompaniment, phacoemulsification*

For citation: Gasanova Kh. S., Panteleev E.N., Kuzmina I.K., M.K. Vasilyeva, Kopaev S. Yu. Evaluation of the impact of femtosecond laser assisted cataract surgery on the area of antiglaucoma surgery. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 55–64. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-55-64

Corresponding author: Khaiala S. Gasanova, gasanova.hayala@yandex.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Глаукома представляет собой оптическую нейропатию, при которой вследствие гидродинамических нарушений внутри глаза происходит повышение офтальмотонуса, что, в свою очередь, ведет к повреждению ганглиозных клеток сетчатки и изменениям в диске зрительного нерва. Единственный способ контроля над заболеванием — поддержание внутриглазного давления (ВГД) на всех стадиях глаукомы в пределах целевых значений. Медикаментозная терапия и лазерное лечение способно длительно компенсировать ВГД, однако неуспех этих методов требует хирургического вмешательства. Непроникающая глубокая склерэктомия (НГСЭ) — операция, которая с момента разработки ее С.Н. Фёдоровым, В.И. Козловым — является одной из самых эффективных, безопасных и распространенных антиглаукомных операций (АГО). В результате хирургии формируется зона АГО, по морфологическим характеристикам которой можно оценить состояние путей оттока внутриглазной жидкости. Наиболее современным и объективным методом для оценки зоны АГО служит оптическая когерентная томография (ОКТ), имеющая высокую разрешающую способность (до 10 мкм) [1].

На сегодняшний день ультразвуковая факоэмульсификация катаракты является стандартом при выборе хирургического метода удаления хрусталика. С появлением лазерных технологий в 2001 г. было внедрено фемтосопровождение хирургии катаракты, которое позволило выполнять некоторые этапы (капсулорексис, парацентезы, тоннельный доступ, фрагментация ядра) посредством фемтосекундного лазера. При осложненной катаракте с сопутствующей патологией (псевдоэксфолиативный синдром, подвывих хрусталика) это существенно облегчает работу хирурга, так как при выполнении вышеперечисленных этапов отсутствует давление на связочный аппарат хрусталика, в отличие от мануальной техники [2]. Технология основана на инфракрасном излучении с длиной волны 1053 нм и ультракороткой длительностью импульса, благодаря чему на окружающие ткани приходится минимальное воздействие [3].

ЦЕЛЬ

Оценить возможность безопасного использования лазерного фемтосекундного этапа в хирургии катаракты у пациентов после НГСЭ по морфофункциональным показателям, в том числе с использованием данных ОКТ, а также провести сравнительную оценку по ряду критериев в динамике общим сроком наблюдения 12 месяцев.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в ФГАУ «НМИЦ «МНТК Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (Москва). В течение года под наблюдением находилось 30 пациентов (15 мужчин, 15 женщин) после фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты (ФЛАЭК), выполненной после НГСЭ в среднем через 4 месяца. Возраст пациентов — от 53,2 до 85,8 года, средний возраст составил 74,7±6,97 года. Длина глаза колебалась от 21,9 до 27,9 мм, среднее значение — 23,8±1,41 мм. У 9 пациентов длина глаза не превышала 23 мм, у 12 составляла от 23 до 24 мм, у 5 пациентов — от 24 до 25 мм, 2 пациента имели длину в пределах от 25 до 26 мм, и 2 — от 27 до 28 мм. У всех пациентов в анамнезе глаукома 1–3-й стадии с компенсированным ВГД: 1-я стадия — 4 глаза, 2-я стадия — 12 глаз, 3-я стадия — 14 глаз. Медианное значение возраста пациентов срока после АГО и ВГД на момент ФЛАЭК приведены в *таблице 1*.

На максимальном гипотензивном капельном режиме с использованием трех действующих веществ (бримонидин, бринзоламид, тимолол) перед операцией ФЛАЭК находилось 3-е пациентов, на минимальном с использованием препаратов с 1 действующим веществом — 1 пациент. Оставшимся 26 пациентам гипотензивная терапия не требовалась. В различные сроки после НГСЭ у 8 пациентов была выполнена лазерная иридэктомия (ЛИЭ) с целью приоткрытия угла передней камеры в случаях узкоугольной глаукомы, в 3 случаях — десцеметогониопунктура (ДГП). Плотность катаракты по Буррато: 1-я степени была у 1 пациента, 2-я степень — 26 пациентов, 3-я степень — 3 пациентов. Из сопутствующих патологий: псевдоэксфолиативный синдром наблюдался на 23 глазах, подвывих хрусталика — на 3 глазах. Подвывих хрусталика I степени во всех случаях выявлялся на фоне псевдоэксфолиативный синдром, в одном случае это был единственный функциональный глаз. У 4 пациентов ФЛАЭК проводилась на единственном видящем глазу. ВГД перед операцией в среднем составляло 17,0±6,08 мм рт.ст.

Всем пациентам была проведена факоэмульсификация катаракты с лазерным фемтосекундным сопровожде-

Таблица 1

Медианное значение возраста пациентов, срока после АГО и ВГД на момент ФЛАЭК

Table 1

Median age of patients, time after AGO and IOP at the time of FLACS

Показатель / Indicator	Me*	Q_1**	Q_3***
Возраст, лет / Age, years	74,96	73,33	77,92
Срок после АГО, мес. / Period after AHO, months	4,02	3,53	5,24
ВГД по Маклакову, мм. рт ст. / IOP according to Maklakov mmHg	18,50	16,00	21,75

Примечание: * — медиана; ** — нижний квартиль; *** — верхний квартиль.

Note: * — median; ** — lower quartile; *** — upper quartile.

нием и имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) в сроки от 3 месяцев до 6,7 года после АГО. В качестве АГО ранее была выполнена НГСЭ. Лазерное фемтосекундное ассистирование выполнялось на приборах CATALYS Precision laser System (Johnson & Johnson Vision, США) и FEMTO LDV Z8 (Ziemer Ophthalmic Systems, Швейцария). До и сразу после лазерного фемтосекундного этапа проводилось измерение офтальмотонуса с помощью aiCare IC 100.

Факоэмульсификация выполнялась с помощью системы Centurion Vision System (Alcon, США). В процессе операции по мере необходимости у части пациентов имплантировалось кольцо Малюгина и внутрикапсульное кольцо *(табл. 2)*.

В группу исследования не входили пациенты с первичной закрытоугольной глаукомой (ПЗУГ), с терминальной глаукомой, с некомпенсированной глаукомой, пациенты после АГО фистулизирующего типа, пациенты с кистозной и перилимбальной разлитой фильтрационной подушкой (ФП), которая занимала сектор более 60°, в связи с чем нельзя было достигнуть достаточной фиксации глаза за счет вакуумного кольца. Также критерием исключения являлось наличие сопутствующих заболеваний и патологии роговицы, которые не позволяют использовать технологию лазерного фемтосекундного сопровождения.

Техника ФЛАЭК. Предоперационная подготовка включала инсталляцию антибиотика, нестероидных противовоспалительных капель и мидриатика. Обработка операционного поля осуществлялась 5% раствором Повидон-йода. Устанавливался векорасширитель, местная анестезия обеспечивалась двухкратным закапыванием местного анестетика. Далее следовал этап лазерного фемтосекундного сопровождения по заданным параметрам: капсулорексис — 4,8 мм, фрагментация — 8 фрагментов (паттерн по типу пиццы) мощность от 300 до 800 Вт, длина волны 1020–1060 нм (FemtoLDVZ8) с погрешностью 5 нм (Catalys). Длина импульса 1020–1060 нм (FemtoLDVZ8), от 200 до 500 фемтосенкунд (Catalys); частота 1МГц (FemtoLDVZ8), 120 кГц с 5% погрешности (Catalys). Интраоперационно выполнялся контроль с использованием ОКТ: проверяли центрацию интерфейса и набор вакуума. Оценивали положение, размер и выполнение круговой капсулотомии и фрагментации хрусталика. При диаметре зрачка менее 4,8 мм, его исходной деформации, этап выполнения лазерной капсулотомии пропускали и проводили только фрагментацию хрусталика по заданным параметрам.

Основной доступ и парацентезы выполнялись мануально в связи с анатомическими особенностями глаз после АГО. Основной доступ выполнялся с отступом в 1 мм от ФП стандартной ширины 2,2 мм. Парацентезы шириной 1мм друг напротив друга. В переднюю камеру вводился 0,1 мл 1% раствор Мезатона для поддержания мидриаза, затем адгезивный вискоэластик для защиты эндотелия и поддержания объема передней камеры. При отсутствии достаточного мидриаза устанавливалось кольцо Малюгина. Цанговым пинцетом производилось удаление лоскута передней капсулы. При наличии подвывиха сначала имплантировали внутрикапсульное кольцо, после чего проводили гидродиссекцию, гидроделинеацию и приступали к удалению хрусталика. Если интраоперационно при выполнении этапа факоэмульсификации катаракты возникала угроза возникновения синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков, приступали к его купированию по авторской технике методом повторного введения адгезивного вискоэластика в угол передней камере протяженностью 360° [4].

Имплантировались различные модели ИОЛ с внутрикапсульной (AcrySof SA60AT, AcrySof Natural SN60AT Alcon, США; Hoya 250 iSert, Hoya, Япония) и цилиокапсулярной фиксацией (AcrySof MA60AC, Alcon, США). Вымывание вискоэластика проводилось аспирационно- ирригационной системой. Герметизация достигалась путем гидратации парацентезов.

Послеоперационное лечение проводилось всем пациентам в равной степени и включало местную противовоспалительную капельную терапию (глюкокортикостероиды, нестероидные противовоспалительные препараты и антибактериальные). Гипотензивная терапия оставалась без изменений. У 4 (13,3%) пациентов было выявлено транзиторное повышение офтальмотонуса, которое купировалось медикаментозно в сроки от 3 до 5 дней после операции.

Всем пациентам до и после операции ФЛАЭК выполнялись следующие обследования: визометрия, тонометрия, ОКТ переднего отрезка глаза (Tomey Casia 2, Япония). Для оценки зоны АГО с помощью ОКТ исследовали следующие параметры: высота фильтрационной подушки (мм), протяженность и высота интрасклеральной полости (ИСП) (мм), толщина трабекулодесцеметовой

Таблица 2

Характеристика клинического материала до операции (n=30)

Table 2

Characteristics of clinical material before surgery (n=30)

Показатель / Indicator		Абсолютное значение Absolute value	%
Операции / Operations		30	100,0
Пациенты / Patients		30	100,0
Пол / gender	Мужчины / male	15	50,0
	Женщины / female	15	50,0
Сопутствующая патология Concomitant pathology	ПЭС*	23	76,7
	Подвывих хрусталика I степени Subluxation of the lens stage I	3	10
	Состояние после РК** / Condition after RK	1	3,3
	Единственный функциональный глаз Single functional eye	4	13,3
Стадия глаукомы Stages of glaucoma	I	4	13,3
	II	12	40,0
	III	14	46,7
Лазерная иридэктомия / Laser iridectomy		8	26,7
Десцеметогониопунктура / Descemetogoniopuncture		5	16,7
Классификация катаракты по Буратто Buratto's classification of cataracts	I	1	3,3
	II	26	86,7
	III	3	10,0
Фемтолазер Femtolaser	Catalys	15	50,0
	FemtoLDVZ8	15	50,0
Модель ИОЛ / IOL model	SA60AT	16	53,3
	HOYA 250 iSert	7	23,3
	MA60AC	5	16,7
	SN60AT	2	6,7

Примечание: * — псевдоэксфолиативный синдром; ** — радиальная кератотомия.

Note: * — pseudoexfoliation syndrome; ** — radial keratotomy.

мембраны (ТДМ) (мм), длина, толщина и ширина склерального лоскута (СЛ) (мм). Биомикроскопически оценивалось также наличие воспалительной реакции и отека роговицы после операции. Послеоперационные сроки наблюдения составили 1–3 дня, 1, 3, 6 и 12 месяцев.

Для проведения статистического анализа данные вносили в электронную таблицу Microsoft Excel 2010 (Microsoft, США). Статистическую обработку данных проводили с использованием языка программирования Python 3, библиотек Pandas, SciPy и редактора кода Visual Studio Code (Microsoft). Характер распределения данных оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Сравнение количественных данных до и после лечения проводили с использованием критерия Вилкоксона. Построение графиков осуществляли с использованием библиотек Seaborn, Matplotlib и Statannotations. Данные представлены в формате Me (Q_1; Q_3), где Me — медиана, Q_1, Q_3 — нижний и верхний квартили, а также в виде абсолютных значений и процентов, рассчитывали минимальное и максимальное значения (min и max соответственно). Статистически значимыми признавали различия, при которых уровень статистической значимости p менее 0,05 ($p<0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика изменения некорригированной (НКОЗ) и максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ) представлена в *таблице 3*.

Выявлено, что НКОЗ и МКОЗ на всех сроках наблюдения после лечения была статистически значимо больше, чем до лечения ($p<0,001$, критерий Вилкоксона).

Динамика ВГД представлена в *таблице 4*, на *рисунке 1*.

Таблица 3

Динамика НКОЗ и МКОЗ, медианные значения

Table 3

Dynamics of UCVA and BCVA

Срок / Term	НКОЗ / UCVA		МКОЗ / BCVA	
	Me (Q_1; Q_3)	p_w*	Me (Q_1; Q_3)	p_w*
До операции / Before surgery	0,05 (0,03; 0,10)	–	0,30 (0,20; 0,50)	–
1–3-й день / 1–3 day	0,35 (0,20; 0,50)	<0,001	0,55 (0,40; 0,70)	<0,001
1 мес. / 1 month	0,50 (0,12; 0,70)	<0,001	0,72 (0,46; 0,90)	<0,001
3 мес. / 3 month	0,60 (0,11; 0,70)	<0,001	0,70 (0,60; 1,00)	<0,001
6 мес. / 6 month	0,60 (0,16; 0,70)	<0,001	0,70 (0,60; 0,89)	<0,001
12 мес. / 12 month	0,62 (0,12; 0,78)	<0,001	0,8 (0,61; 1,0)	<0,001

Примечание: * – сравнение с данными до лечения (критерий Вилкоксона, p-value).

Note: * – comparison with data before treatment (Wilcoxon test, p-value).

Таблица 4

Динамика ВГД, медианные значения

Table 4

IOP dynamics

Срок / Term	НКОЗ / UCVA	
	Me (Q_1; Q_3)	p_w*
До операции / Before surgery	16,50 (13,00; 20,50)	–
1–3-й день / 1–3 day	20,00 (16,00; 22,75)	0,026
1 мес. / 1 month	14,50 (11,00; 19,75)	0,255
3 мес. / 3 month	13,50 (11,00; 17,00)	0,044
6 мес. / 6 month	15,00 (13,00; 17,75)	0,147
12 мес. / 12 month	15,50 (12,00; 18,00)	0,126

Примечание: * – сравнение с данными до лечения (критерий Вилкоксона, p-value)

Note: * – comparison n with data before treatment (Wilcoxon test, p-value).

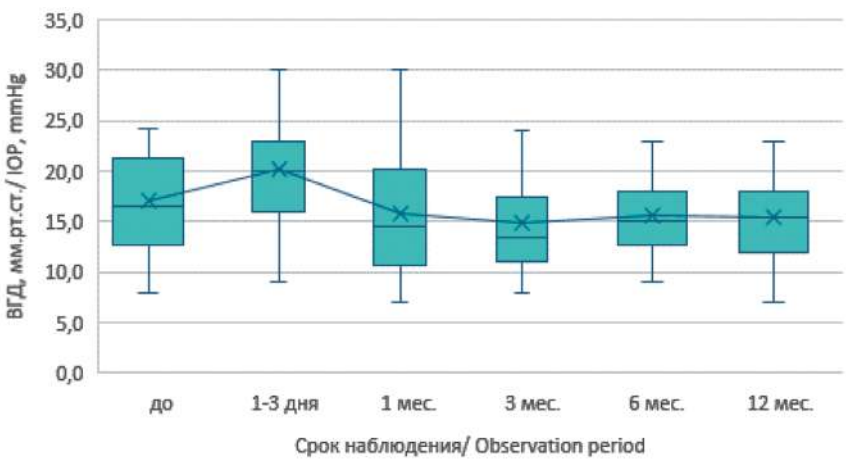


Рис. 1. Диаграмма изменения ВГД

Fig. 1. Change in the IOP diagram

Таблица 5

Динамика ВГД до и после фемто-этапа, медианные значения

Table 5

IOP dynamics before and after the femto-stage

Срок / Term	НКОЗ / UCVA	
	Me (Q_1; Q_3)	p_w*
До этапа фемто / Before the femto stage	19,50 (16,00; 22,00)	–
После этапа фемто / After the femto stage	21,00 (20,00; 23,75)	<0,001

Примечание: * — сравнение с данными до фемто-этапа критерий Вилкоксона, p-value).

Note: * — comparison with data before the femto stage (Wilcoxon test, p-value).

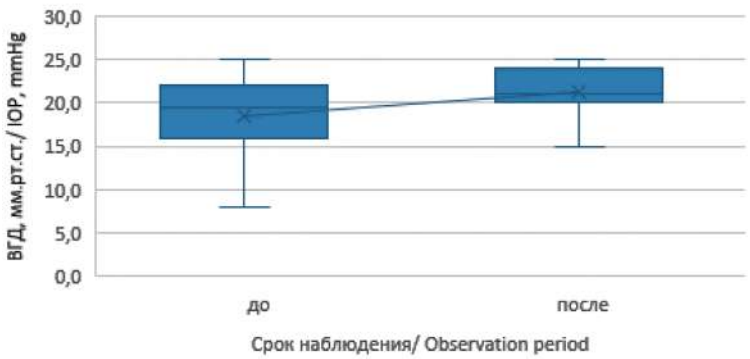


Рис. 2. ВГД до и сразу после фемто-этапа

Fig. 2. IOP before and immediately after the femto stage

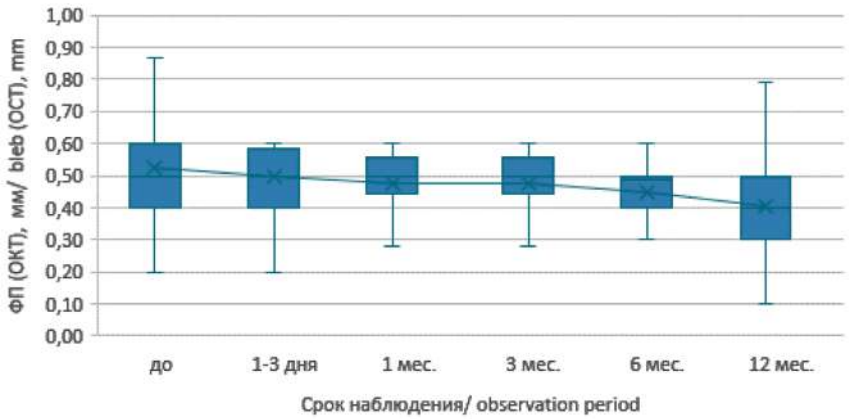


Рис. 3. Динамика высоты фильтрационной подушки

Fig. 3. Dynamics of bleb

Данные ВГД на сроках до, 1–3-й день, 1, 3, 6 и 12 месяцев статистически значимо не различались (p>0,05, критерий Манна–Уитни). При этом на 1–3-й день после операции ВГД было статистически значимо больше (p<0,05, критерий Вилкоксона), чем до лечения, а на всех последующих сроках наблюдения (до 12 месяцев включительно) данные статистически значимо не отличались (p>0,05, критерий Вилкоксона), за исключением данных через 3 месяца после операции, которые были статистически значимо меньше, чем данные до ФЛАЭК (p<0,05, критерий Вилкоксона).

Измеренное ВГД до и после лазерного фемтосекундного этапа представлено в *таблице 5*, на *рисунке 2*.

Средний уровень ВГД до лечения составил 18,5±9,98 мм рт.ст., после — 21,2±4,08 мм рт.ст. Выявлено, что ВГД после лазерного фемтосекундного этапа было статистически значимо больше, чем данные до лазерного фемтосекундного этапа (p<0,05, критерий Вилкоксона).

Динамика измеряемых методом ОКТ параметров фильтрационной подушки представлена на *рисунках 3–9*.

В исследуемой группе на всех сроках наблюдения после операции высота фильтрационной подуш-

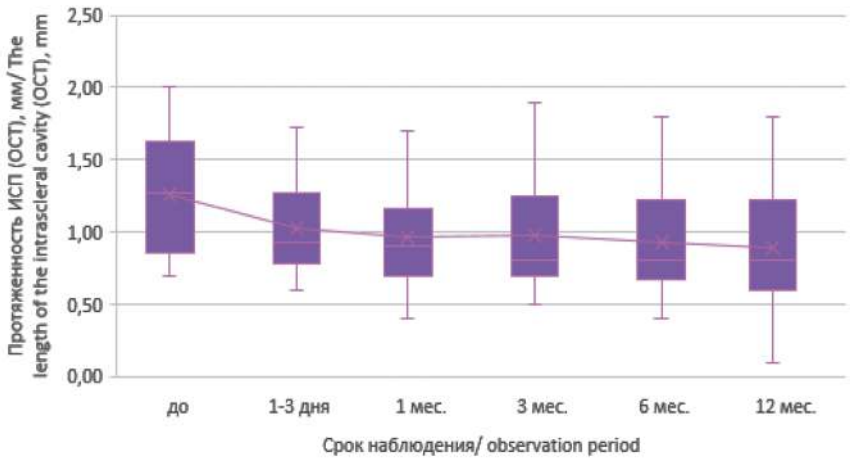


Рис. 4. Динамика протяженности ИСП (ОКТ)

Fig. 4. Dynamics of the intrascleral cavity extent (OCT)

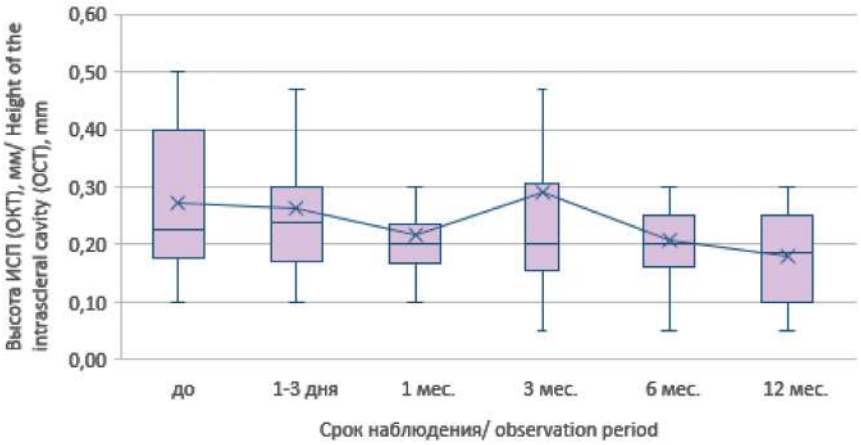


Рис. 5. Динамика высоты интрасклеральной полости

Fig. 5. Dynamics of the intrascleral cavity heigh

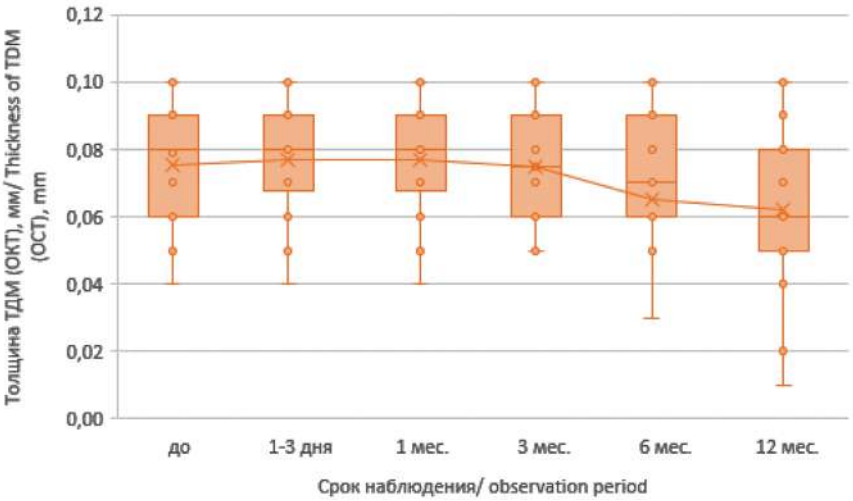


Рис. 6. Динамика толщины трабекулодесцеметовой мембраны (ОКТ)

Fig. 6. Dynamics of the trabeculodescemet membrane thickness (OCT)

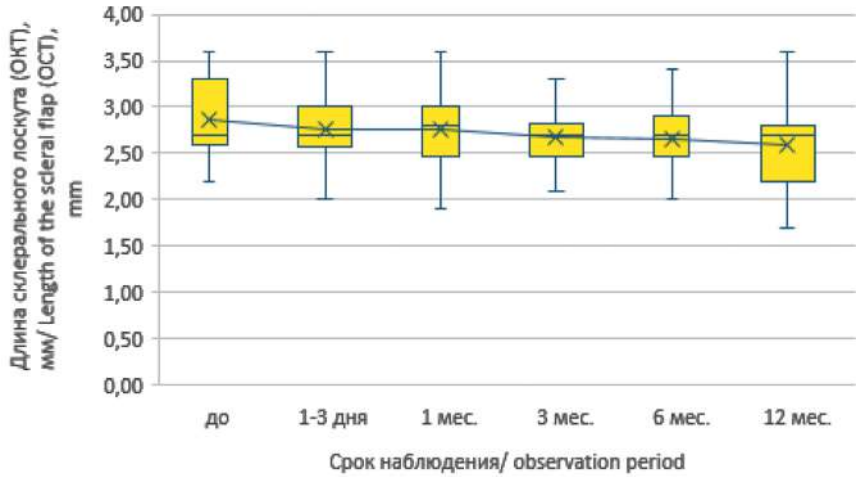


Рис. 7. Динамика длины склерального лоскута

Fig. 7. Dynamics of the scleral flap length

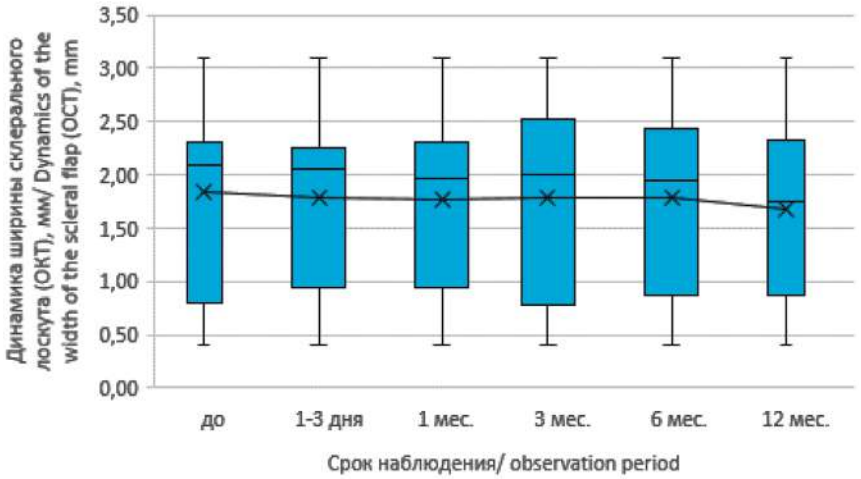


Рис. 8. Динамика ширины склерального лоскута

Fig. 8. Dynamics of the width of the scleral flap

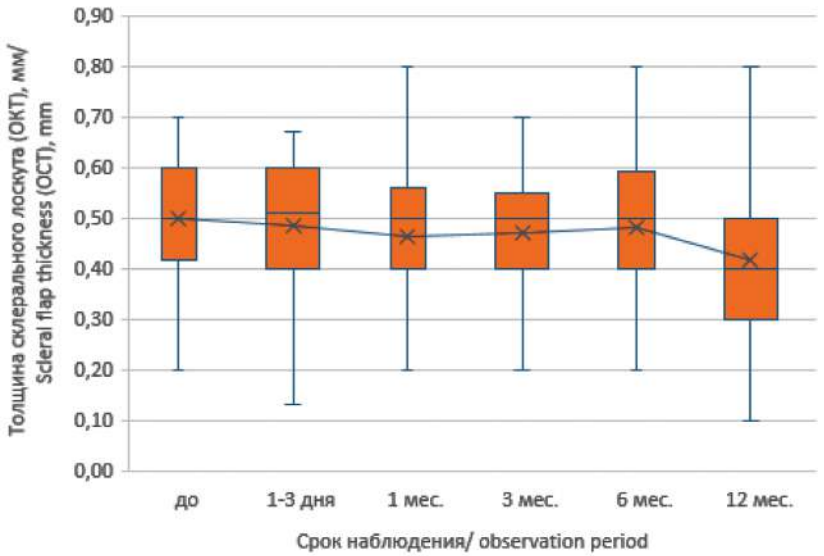


Рис. 9. Динамика толщины склерального лоскута

Fig. 9. Dynamics of scleral flap thickness

ки была статистически значимо меньше, чем до лечения ($p<0,05$, критерий Вилкоксона), однако на сроках наблюдения до 6 месяцев различие данных с дооперационными значениями не было клинически значимым (на всех сроках значение медианы 0,50), а уровень статистической значимости находился в районе пограничного значения (0,05).

Выявлено, что протяженность ИСП на всех сроках наблюдения после операции была статистически значимо меньше, чем данные до лечения ($p<0,05$, критерий Вилкоксона).

На 1–3-й день и через 3 месяца данные высоты ИСП статистически значимо не отличались от данных до лечения ($p>0,05$, критерий Вилкоксона), а на сроках 1, 6 и 12 месяцев данные были статистически значимо меньше данных до хирургии ($p<0,05$, критерий Вилкоксона).

Выявлено, что на сроках 1–3-й день, 1 и 3 месяца данные толщины ТДМ статистически значимо не отличались от данных до операции ($p>0,05$, критерий Вилкоксона), а на сроках 6 и 12 месяцев были статистически значимо меньше ($p<0,05$, критерий Вилкоксона).

По данным ширины склерального лоскута на всех сроках наблюдения после операции данные статистически значимо не отличались от данных до операции ($p>0,05$, критерий Вилкоксона), кроме данных через 12 месяцев, где они были статистически значимо меньше, чем данные до лечения ($p<0,05$, критерий Вилкоксона).

Данные толщины склерального лоскута на сроках 1–3-й день, 3 и 6 месяцев статистически значимо не отличались от данных до лечения ($p>0,05$, критерий Вилкоксона), а на сроке 1 месяц были статистически значимо меньше ($p<0,05$, критерий Вилкоксона), однако клинически значимого различия не выявлено (значение медианы показателя на всех сроках 0,50), на сроке 12 месяцев данные были статистически значимо меньше, чем до операции ($p<0,05$, критерий Вилкоксона).

ОБСУЖДЕНИЕ

Операция ФЛАЭК с имплантацией ИОЛ позволила полностью восстановить прозрачность оптических сред, что привело к ожидаемому достоверному повышению НКОЗ и МКОЗ. Было важным достоверно убедиться в безопасности использования лазерного фемтосекундного этапа, который включает в себя фиксацию глаза за счет вакуумного кольца примерно в области АГО. Измеренное ВГД непосредственно в операционной до и сразу после лазерного фемтосекундного этапа в исследуемых случаях — НГСЭ в анамнезе, не отличается от приводимого авторами для стандартной ФЛАЭК в сравнении со стандартной факоэмульсификацией [5–7]. По данным, представленным в результатах, ВГД до и после ФЛАЭК колебалось в пределах значений, не представляющих статистически значимую разницу, но при этом офтальмотонус до лазерного фемтосекундного этапа был статистически значимо ниже, чем сразу после лазерного фемтосекундного этапа. Это связано с процессами докинга, набора вакуума и увеличения давления на глаз интерфейсом лазера при проведении фемтосекундного лазерного сопровождения и, как следствие, преходящим повышением офтальмотонуса, что соотносится с данными других авторов [5, 8, 9]. Изменения офтальмотонуса в данном случае незначительны и не имеют клинического значения, о чем свидетельствует отсутствие статистически значимой разницы ВГД до операции и на 1–3-й день после нее. В послеоперационном периоде у 4 пациентов было выявлено кратковременное повышение ВГД, которое было компенсировано в сроки 3–5 дней. В 2 случаях в плановом порядке была выполнена ДГП. Возможность влияния фемтосекундного сопровождения на зону антиглаукомной операции оценивали по данным ОСТ. Важно учитывать ближайшие сроки после операции, т.к. в последующем достоверность оценки сомнительна в силу давности проведения ФЛАЭК. Целостность ТДМ во всех случаях сохранялась. Такие параметры как ширина и длина СЛ, толщина ТДМ, высота ИСП до ФЛАЭК и на сроках 1–3-й день после операции статистически значимо не отличались. По данным, приведенным в результатах, можно отметить, что на разных сроках параметры ФП (1–3-й день, 1, 3 и 6 мес.), длины (3, 6 и 12 мес.) и толщины СЛ (1 мес.) дают статистически значимые различия, однако клинически значимыми эти различия не являются. Статистически значимые различия на всех сроках по данным ОКТ были выявлены при оценки протяженности ИСП. В будущем планируется анализ тех же функциональных показателей и параметров зоны АГО после факоэмульсификации без лазерного фемтосекундного сопровождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе данных оптической когерентной томографии зоны непроникающей глубокой склерэктомии на 1–3-й день после ФЛАЭК не было выявлено нарушения дооперационной анатомии и статистически значимых изменений измеряемых параметров. В позднем послеоперационном периоде отмечались статистически значимые различия по некоторым морфометрическим параметрам зоны АГО. Однако абсолютные значения данных изменений минимальны и не достигают уровня клинической значимости, что подтверждается стабильным и показателями ВГД, находящимися в пределах референсных значений.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Чеглаков П.Ю. Оптическая когерентная томография в оценке исходов дренажной хирургии. *Глаукома.* 2009;4: 34–7.
Cheglakov PYu. Clinical use of anterior segment optical tomography Visante in eyes after shunt surgery. *Glaucoma.* 2009;4: 34–7. (In Russ.).
2. Бикбов М.М., Бурханов Ю.К., Усубов Э.Л. Фемтолазер-ассистированная хирургия катаракты. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2014;9(6): 116–9.
Bikbov MM, Burkhanov YuK, Usubov EL. Femtolaser-assisted cataractsurgery. *Bashkortostan Medical Journal.* 2014;9(6): 116–9. (In Russ.).
3. Тепловодская В.В., Хусанбаев Х.Ш., Морина Н.А., Судакова Е.П. Технологическое оснащение хирургии катаракты фемтолазерным сопровождением. *Вестник офтальмологии.* 2019;135(3): 128–36.
Teplovodskaya VV, HusanbaevHSh, Morina NA, Sudakova EP. Femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Russian Annals*

of Ophthalmology. 2019;135(3): 128–36. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/oftalma2019135031128
4. Патент РФ на изобретение №2833826/ 29.01.2025 Бюл. № 4, Пантелеев Е.Н., Гасанова Х.С., Абдугаффаров С.О., Арутюнян Л.Л., Мацухова Д.Ф., Наврузалиева Д.Я. Способ факоэмульсификации катаракты, обеспечивающий профилактику и купирование синдромов интраоперационной девиации ирригационного потока и/или атоничной радужки (IFIS). Доступно по: https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml? facesredirect=true&id=8f6d96123c688cfd16d4c1be82af3c00 [Ссылка активна на 20.03.2026.
Patent RUS №2833826/29.01.2025 Byul. №4, Panteleev EN, Gasanova KhS, Abdugaffarov SO, Arutiunian LL, Matsukhova DF, Navruzalieva DY. Cataract phacoemulsification technique that prevents and alleviates intraoperative deviation of irrigation flow and/or atonic iris syndromes (IFIS), Available from: https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml? facesredirect=true&id=8f6d96123c688cfd16d4c1be82af3c00 [Accessed 20th March 2026] (In Russ.).
5. Mathalone N, Ben-Shaul O, Podkovyrin O, et al. The Impact of Femtosecond Laser on Intraocular Pressure With Cataract Surgery in Healthy Eyes. *J Glaucoma.* 2025;34(1): 19–24. https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002491
6. Devience EX, Awidi A, Kalarn S, et al. Predictors of intraocular pressure reduction after femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification surgery: a prospective trial. *Int Ophthalmol.* 2023;43(1): 285–92. https://doi.org/10.1007/s10792-022-02427-x
7. Dzhaber D, Mustafa OM, Alsaleh F, Daoud YJ. Visual and refractive outcomes and complications in femtosecond laser-assisted versus conventional phacoemulsification cataract surgery: findings from a randomised, controlled clinical trial. *Br J Ophthalmol.* 2020;104(11): 1596–600. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314548
8. Mariacher S, Laubichler P, Mariacher M, et al. Impact of baseline IOP, vacuum, and different docking mechanisms, and their interaction on IOP rise in femtosecond laser-assisted refractive and cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2019;45(12): 1818–25. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2019.07.020
9. De Giacinto C, D'Aloisio R, Bova A, Candian T, Perrotta AA, Tognetto D. Intraocular Pressure Changes during Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery: A Comparison between Two Different Patient Interfaces. *J Ophthalmol.* 2019;2019: 5986895. https://doi.org/10.1155/2019/5986895

Информация об авторах
Гасанова Хаяла Салех кызы — врач-аспирант ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, gasanova.hayala@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0002-9126-5700
Пантелеев Евгений Николаевич — к.м.н., зав. отделением хирургии хрусталика и интраокулярной коррекции ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, epa351@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0329-3913
Кузьмина Ирина Константиновна — врач-ординатор ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, kuzmina.irina8927@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-3030-3960
Васильева Мария Кирилловна — врач-ординатор ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, marijavass@mail.ru, https://orcid.org/0009-0007-3902-042X
Копаев Сергей Юрьевич — д.м.н., старший научный сотрудник отдела хирургии хрусталика и интраокулярной коррекции ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, kopayevsu@yahoo.com, https://orcid.org/0000- 0001- 5085-6788

Infirmation about the authors
Khaiala S. Gasanova — ophthalmologist, NMIC «MNTK «Eye Microsurgery» named after A.I. acad. S.N. Fedorov» of the Ministry of Health of Russia, gasanova.hayala@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0002-9126-5700
Evgeniy N. Panteleev — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of lens surgery and intraocular correction, NMIC «MNTK «Eye Microsurgery» named after A.I. acad. S.N. Fedorov» of the Ministry of Health of Russia, epa351@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003- 0329-3913
Irina K. Kuzmina — resident ophthalmologist, NMIC «MNTK «Eye Microsurgery» named after A.I. acad. S.N. Fedorov» of the Ministry of Health of Russia, kuzmina.irina8927@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0006-3030-3960
Maria K. Vasilyeva — resident ophthalmologist, NMIC «MNTK «Eye Microsurgery» named after A.I. acad. S.N. Fedorov» of the Ministry of Health of Russia, marijavass@mail.ru, https://orcid.org/0009-0007-3902-042X
Sergey Yu. Kopaev — Senior Researcher in the Department of Lens Surgery and Intraocular Correction, NMIC «MNTK «Eye Microsurgery» named after A.I. acad. S.N. Fedorov» of the Ministry of Health of Russia, kopayevsu@yahoo.com, https://orcid.org/0000-0001- 5085-6788

Вклад авторов:
Гасанова Х.С. — концепция и дизайн исследования; сбор материала, написание статьи.
Пантелеев Е.Н. — концепция и дизайн исследования, научное редактирование.
Кузьмина И.К. — сбор материала, написание статьи.
Васильева М.К. — сбор материала, написание статьи.
Копаев С.Ю. — научное редактирование.

Author's contribution
Gasanova Kh.S. — study design and concept; material set, article writing.
Panteleev E.N. — study design and concept; scientific editing.
Kuzmina I.K. — material set, article writing.
Vasilyeva M.K. — material set, article writing.
Kopaev S.Yu. — scientific editing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого- либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: Authors has no financial interest in the submitted materials or methods.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *11.03.2026*
Переработана: *08.04.2026*
Принята к печати: *20.04.2026*
Received: *11.03.2026*
Revision: *08.04.2026*
Accepted: *20.04.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.753.2-026:575.113
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-65-73

Ключевые факторы, влияющие на генетический код рефрактогенеза, и их роль в патогенезе миопии

И.М. Корниловский
ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

Цель. Рассмотреть ключевые факторы, влияющие на генетический код рефрактогенеза, и их роль в патогенетических звеньях развития миопии.

Материал и методы. В основу работы положен анализ экспериментальных исследований различных авторов по моделированию осевой миопии, в которых был исключен наследственный фактор. Собственные эксперименты *in vivo* по моделированию односторонней осевой миопии были проведены у 14 кроликов породы Шиншилла (14 глаз) и у 10 половозрелых обезьян Павиан-гамадрил (10 глаз). В клинических разноплановых исследованиях, охватывающих 50-летний период, акцент был сделан на дифференциальную диагностику и патогенез различных клинических форм близорукости, среди которых преобладала приобретенная «школьная миопия».

Результаты. Экспериментальные и клинические исследования показали, что в постнатальном периоде важным фактором, влияющим на постнатальный рефрактогенез, являются световые фотоны, их фокусировка и распределение по рецепторному полю сетчатки. Световые фотоны были рассмотрены в качестве регулятора митогенетического излучения и формирования электромагнитного поля в сетчатке, возникающего при репликации ДНК хромосом в ядрах клеток. Митогенетический эффект данного электромагнитного поля сетчатки на сосудистую и склеральные оболочки впервые был обоснован с позиций биофотонной сигнализации в механизме клеточной коммуникации без участия химических процессов. Это позволило рассмотреть сетчатку, как центр электромагнитных сигналов, предопределяющий в рефрактогенезе преимущественный рост заднего отдела глаза. Индуцированные квантами света энергетические процессы в клетках сетчатки указывали на то, что глаз является сложной фотооптической системой с активной регуляцией светового потока и биологической обратной связью на уровне клеточного метаболизма. Эта связь нарушалась при зрительных нагрузках и ослаблении работы иридоциклохрусталикового комплекса, осуществляющего фокусировку световых фотонов, стимуляцию гидродинамики, гемодинамики и трансретинальный диализ внутриглазной жидкости в глазу. По завершению процессов митоза клеток в тканях глаза величина осевого удлинения глаза предопределяла прогрессирование и развитие осложнений близорукости.

Заключение. Ключевыми факторами, влияющими на генетический код рефрактогенеза и развитие миопии, являются световые фотоны и нарушение функционирования иридоциклохрусталикового комплекса при аккомодационно-конвергентных зрительных нагрузках, что предопределяет фокусировку световых лучей, митогенетический потенциал сетчатки и осевое удлинение глаза в постнатальном периоде.

Ключевые слова: *рефрактогенез, генетический код, митогенетическое излучение, аккомодация, конвергенция, иридоциклохрусталиковый комплекс, сетчатка, миопия*

Для цитирования: Корниловский И.М. Ключевые факторы, влияющие на генетический код рефрактогенеза, и их роль в патогенезе миопии. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 65–73. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-65-73

Автор, ответственный за переписку: Корниловский Игорь Михайлович, kornilovsky51@yandex.ru

Original article

Key Factors Affecting the Genetic Code of Refractogenesis and Their Role in the Pathogenesis of Myopia

I.M. Kornilovskiy
N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose. To examine the key factors influencing the genetic code of refractogenesis and their role in the pathogenesis of myopia development.

© Корниловский И.М., 2026

Material and methods. This study is based on an analysis of experimental studies by various authors on modeling axial myopia, in which hereditary factors were excluded. Our own *in vivo* experiments modeling unilateral axial myopia were conducted in 14 Chinchilla rabbits (14 eyes) and 10 sexually mature hamadryas baboon monkeys (10 eyes). In clinical multidisciplinary studies covering a 50-year period, emphasis was placed on the differential diagnosis and pathogenesis of various clinical forms of myopia, among which acquired "school myopia" predominated.

Results. Experimental and clinical studies have shown that light photons, their focusing, and distribution across the retinal receptor field are important factors influencing postnatal refractogenesis in the postnatal period. Light photons were considered as a regulator of mitogenetic radiation and the formation of an electromagnetic field in the retina, arising during chromosomal DNA replication in cell nuclei. The mitogenetic effect of this retinal electromagnetic field on the choroid and sclera was first substantiated from the perspective of biophotonic signaling in the mechanism of cellular communication without the involvement of chemical processes. This allowed us to consider the retina as a center of electromagnetic signals, determining the preferential growth of the posterior segment of the eye during refractogenesis. Light-induced energy processes in retinal cells indicated, that the eye is a complex photooptical system with active regulation of light flux and biofeedback at the level of cellular metabolism. This connection was disrupted by visual stress and weakened function of the iridocyclocrystalline complex, which focuses light photons, stimulates hydrodynamics, hemodynamics, and transretinal dialysis of intraocular fluid. Upon completion of the processes of cell mitosis in the eye tissues, the magnitude of the axial elongation of the eye predetermined the progression and development of complications of myopia.

Conclusion. The key factors influencing the genetic code of refractogenesis and the development of myopia are light photons and disruption of the functioning of the iridocyclocrystalline complex during accommodative-convergent visual loads, which predetermines the focusing of light rays, the mitogenetic potential of the retina and the axial elongation of the eye in the postnatal period.

Keywords: *refractogenesis, genetic code, mitogenetic radiation, accommodation, convergence, iridocyclocrystalline complex, retina, myopia*

For citation: Kornilovskiy I.M. Key Factors Affecting the Genetic Code of Refractogenesis and Their Role in the Pathogenesis of Myopia. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 65–73. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-65-73

Corresponding author: Igor M. Kornilovskiy, kornilovsky51@yandex.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Миопия занимает пальму первенства среди всей видов аметропий и приобрела характер пандемии во всем мире. Большинство исследователей пришли к заключению, что генетический код играет важную роль в формировании рефракции глаза, но не обладает достаточной точностью, чтобы в полной мере предопределить вид и степень аметропии в постнатальном рефрактогенезе.

В многочисленных экспериментальных исследованиях зарубежных офтальмологов по моделированию осевой миопии был исключен генетический фактор и доказано, что световая депривация, воздействие светом различного спектрального состава, гиперметропическая или миопическая фокусировка световых лучей влияют на рост глаза [1–3]. При таких световых воздействиях осевую миопию или гиперметропию удавалось смоделировать только у новорожденных и молодых неполовозрелых особей.

Однако оставался не ясным сам механизм, посредством которого поглощаемые сетчаткой световые фотоны влияли на осевое удлинение глаза. Более того, требовал объяснение и тот факт, почему аналогичные световые воздействия оказались не эффективны у взрослых особей, включая обезьян. Следует отметить, что в экспериментах на животных невозможно было воспроизвести аккомодационные и конвергентные зрительные нагрузки, которым подвергался глаз человека на этапах постнатального рефрактогенеза. Важность последних, с акцентом на нарушения аккомодации, была убедительно доказана в ходе многолетних фундаментальных исследований Российских офтальмологов [4].

Среди всех клинических форм близорукости особое значение имела профилактика и остановка прогрессирования «школьной миопии». Данная клиническая форма миопии непосредственно была связана со зрительными аккомодационно-конвергентными нагрузками [4–6]. До настоящего времени офтальмологи продолжают обсуждать причины и патогенетические звенья, лежащие в основе неравномерного роста глаза и прогрессирования миопии на этапах постнатального рефрактогенеза, особенно в период полового созревания. Остается не ясным, почему гиперметропический дефокус световых лучей усиливает, а миопический замедляет рост глаза, и какой механизм влияния световых фотонов на эти процессы. Это же касается механизмов, лежащих в основе положительного эффекта пребывания на улице в дневное время суток, оптической и ортокератологической коррекции центрального и периферического дефокуса световых лучей.

ЦЕЛЬ

Рассмотреть ключевые факторы, влияющие на генетический код рефрактогенеза, и их роль в патогенетических звеньях развития миопии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу работы положен анализ разноплановых экспериментальных исследований различных авторов по моделированию осевой миопии, в которых был исключен наследственный фактор. Собственные эксперименты *in vivo* по моделированию односторонней осевой миопии были проведены у 14 кроликов породы Шиншилла (14 глаз) и у 10 половозрелых обезьян Павиан-гамадрил (10 глаз). Данные эксперименты были выполнены с целью подтверждения концепции, согласно которой деструкция гелевой структуры стекловидного тела при миопии может стать одной из причин, приводящей к развитию и прогрессированию миопии.

Способ моделирования осуществляли следующим образом. После фиксации животных проводили ретробульбарную анестезию 2,0% раствором новокаина, эпибульбарно инстилировали 0,5% раствора дикаина и устанавливали векорасширитель. Разрез конъюнктивы и эписклеры выполнялся в нижне-наружном квадранте плоской части цилиарного тела. Накладывали провизорный П-образный шов на склеру, инъекционной иглой вводили 0,05 мл 33% стерильного раствора поливинилпирролидона и завязывали шов.

Все исследования выполнялись с соблюдением Хельсинкской декларации свода этических принципов проведения экспериментов с участием человека, разработанного Всемирной медицинской ассоциацией.

В наших клинических исследованиях, охватывающих 50-летний период, акцент был сделан на дифференциальную диагностику различных клинических форм близорукости, среди которых преобладала приобретенная «школьная миопия». Особое внимание было уделено рассмотрению нарушений работы иридоциклохрусталикового комплекса (ИЦХК) при аккомодационно-конвергентных зрительных нагрузках, дифференциальной диагностике оптических аберраций, расстройствам аккомодации, гемодинамики, гидродинамики и трансретинальному диализу внутриглазной жидкости (ВГЖ) у пациентов с различными клиническими формами близорукости. Несмотря на то что эксперименты по моделированию миопии и гемодинамические исследования при различных клинических стадиях и формах миопии были проведены много лет назад, их результаты были вновь проанализированы с учетом новых данных о факторах риска в рефрактогенезе и патогенезе миопии.

Статистическая обработка данных экспериментальных и клинических исследований проводилась с применением программ Statistica и приложения Microsoft Excel. Для оценки полученных данных использовали методы параметрической описательной статистики с определением средней арифметической величины (M) и стандартного отклонения (±σ). Статистическую значимость различий между группами оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. Различия сравниваемых показателей считали достоверными при уровне значимости $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные исследования по моделированию осевой миопии с интравитреальным введением поливинилпирролидона [7] выявили осевое удлинение глаза только у молодых неполовозрелых кроликов и отсутствие достоверного увеличение передне-задней оси (ПЗО) глаза у половозрелых обезьян. В качестве иллюстрации приводим следующее наблюдение по моделированию осевой миопии у кролика. До моделирования по данным ультразвуковой биометрии исходная длина ПЗО глаза составила 15,6 мм, внутриглазное давление — 20 мм рт.ст. при тонометрии по Маклакову. После интравитреального введения высокомолекулярного поливинилпирролидона в течение первых трех дней внутриглазное давление повысилось и колебалось от 26 до 28 мм рт.ст. Офтальмоскопически не отмечалось нарушения прозрачности оптических сред глаза. В последующем давление стабилизировалось на исходных цифрах. Офтальмоскопически и при биомикроскопии нарушения прозрачности оптических сред глаза выявлено не было. На 12-е сутки ПЗО глаза увеличилась на 0,5 мм, что привело к усилению рефракции на 2,0 дптр. К концу 4-й недели увеличение ПЗО составило 0,7 мм, а усиление рефракции достигло 3,0 дптр. Эти показатели оставались стабильными в течение 8 месяцев наблюдений. Патогистологическое исследование не выявило дистрофических изменений со стороны склеры и других оболочек глаза в сравнении с контрольным парным глазом.

Что же касается аналогичного способа моделирования осевой миопии у взрослых половозрелых обезьян Павиан-гамадрил, то достоверного увеличения ПЗО глаз не было отмечено. Данные исследования проводились более 40 лет назад и накопленные к этому времени данные не позволили объяснить причину различий в полученных результатах. Бесперспективность моделирования миопии у половозрелых животных была убедительно доказана зарубежными офтальмологами в разноплановых экспериментальных исследованиях со световой депривацией и моделированием дефокуса световых лучей. Однако до настоящего времени не удалось объяснить, почему отсутствовал эффект светового рефракционного моделирования миопии у половозрелых особей, включая обезьян [1–5]. Необходимо еще раз акцентировать внимание на том, что в экспериментах на животных невозможно было воспроизвести аккомодационные и конвергентные зрительные нагрузки, которым подвергается глаз человека на этапах постнатального рефрактогенеза.

Клинические исследования показали, что ранние зрительные нагрузки с продолжительным напряжением аккомодации и конвергенции нарушали работу ИЦХК и предшествовали состоянию предмиопии и развитию осевой миопии *(рис. 1)*. При статических напряжениях аккомодации нарушалась работа механочувствительных аквапоринов в капсуле и субкапсулярном кубическом эпителии хрусталика. Это повышало внутрихрусталиковое давление, биомеханические напряжения в капсуле хрусталика и переводило его в состояние выпуклого эллипсоида. Последнее ограничивало реализацию гидравлического компонента в механизме аккомодации при сокращениях цилиарной мышцы [8]. Такое состояние глаза сегодня трактуется, как предмиопия. Особенностью данной клинической формы близорукости явилось то, что ее еще нет, но глаз уже готовится к ее развитию.

По определению Международного института миопии предмиопия представляла такое состояние рефракции глаза у детей, которое было близко к эмметропии. При этом комбинация базовой рефракции, возраста и других факторов риска оказалась достаточной, чтобы обеспечить высокую вероятность развития миопии в будущем. Предмиопию можно было выявить за год до появления первых жалоб на зрение, а критическим явился возрастной интервал между 5 и 9 годами [9]. Фактически уже сегодня можно говорить о развитии дошкольной миопии, когда игрушками детей становятся мобильные телефоны, планшеты, ноутбуки и другие гаджеты. Более

Рис. 1. Длительные напряжения аккомодации и конвергенции нарушают работу иридоциклохрусталикового комплекса (ИЦХК) и приводят к развитию состояния предмиопии (1) и осевой миопии (2)

Fig. 1. Long-term tensions of accommodation and convergence disrupt the functioning of the iridocyclocrystalline lens complex (ICLC) and lead to the development of premyopia (1) and axial myopia (2)

того, не исключено, что начало возрастного интервала предмиопии в ближайшем будущем может приблизиться к 3 годам *(рис. 1)*.

Для объяснения влияния световых эффектов на формирование миопии в постнатальном периоде в 2004 г. нами впервые была выдвинута световая митогенетическая теория рефрактогенеза [10]. Суть данной теории сводилась к тому, что в процессе деления клеток в тканях глаза формировались митогенетические поля роста, среди которых ведущим становилось митогенетическое поле сетчатки. Величина этого поля зависела не только от генетической информации, заложенной в ДНК клеток, но и от фокусировки и распределения световых фотонов по рецепторному полю сетчатки [11].

Митогенетическое излучение и митогенетические поля роста были открыты советским биологом Александром Гурвичем в 1923 г. Это было сверхслабое ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин от 190 до 330 нм, которое возникало в ходе репликации хромосом ядерной ДНК при делении (митозе) клетки [12]. В последующих исследованиях митогенетическое излучение было зарегистрировано высокочувствительными приборами в диапазоне 190–325 нм [13–17]. Необходимо отметить, что митогенетическое излучение возникало только в делящихся клетках и стимулировало процессы митоза в рядом расположенных клетках. На его величину оказывало влияние биофотонное излучение, обусловленное интенсивностью обменных процессов в живой клетке. Не случайно именно в сетчатой оболочке глаза с высоким уровнем метаболизма на уровне фоторецепторов формировалось наиболее сильное митогенетическое поле, стимулирующее митогенетические поля роста в сосудистой и склеральной оболочках глаза. Этим можно было объяснить преимущественный рост заднего отдела глаза и его осевое удлинение в постнатальном рефрактогенезе. Принципиально важным явилось понимание того факта, что характер поглощения световых фотонов сетчаткой оказывал влияние на величину и активность ее митогенетического поля.

Известно, что рост тканевых структур глаза обусловлен процессами деления клеток, а окончательное формирование анатомо-топографических и рефракционных показателей глаза заканчивается в возрастном интервале от 18 лет до 21 года. В постнатальном рефрактогенезе мы выделили три стадии:

I стадия — световая (ранняя) — от рождения до 1 года (удлинение ПЗО глаза в среднем на 3 мм, с 16 до 19 мм);

II стадия — свето-аккомодационная (промежуточная) — в возрастном интервале от 1 до 3 лет (удлинение ПЗО на 1 мм за 2 года, с 19 до 20 мм);

III стадия — свето-аккомодационно-конвергентная (поздняя) — от 3 лет до 18–21 года (за 15–18 лет удлинение на 4 мм, с 20 до 24 мм).

Световой фактор был наиболее значим в течение первого года жизни ребенка с центральным гиперметропическим дефокусом световых лучей. В этот период еще не была сформирована фовеа в макулярной области. Низкая острота зрения была недостаточной для возникновения аккомодационного рефлекса, обеспечивающего фокусировку светового потока. По мере морфофункциональных перестроек в фовеа повышалась острота зрения, происходило формирование аккомодационного и конвергентного рефлексов. При этом значимость светового фактора снижалась, замедлялось осевое удлинение глаза. Тем не менее характер фокусировки и распределения световых фотонов по рецепторному полю сетчатки продолжал оказывать влияние на рост глаза и формирование его клинической рефракции. По мере усиления аккомодационных и конвергентных нагрузок, особенно с началом учебы в школе, создавались условия, когда значительно увеличивался период статического напряжения цилиарной мышцы, повышался тонус экстраокулярных мышц и нарушалась работа всего ИЦХК. ИЦХК был назван нами сердцем глаза, поскольк-

ку при сокращениях и расслаблениях цилиарной мышцы реализовалась аккомодация, происходила стимуляция гидродинамики и гемодинамики.

Наши комплексные реоэнцефалографические исследования с проведением функциональной холодовой реоофтальмографической пробы выявили нарушения кровообращения в системе внутренних сонных артерий с преобладанием гипотонической вегетососудистой дистонии и гипотонического типа нейроваскулярной реакции глаза [18]. Именно церебральные вегетососудистые дистонии у детей и подростков явились неблагоприятными фоном, нарушающим гемодинамику в глазу. Последние можно было рассматривать как одну из причин развития первичной слабости аккомодации, влияющей на работу всего ИЦХК. Это позволило объяснить, почему при ослаблении работы ИЦХК ухудшались секреция и трансретинальный диализ ВГЖ, что повышало митогенетический потенциал сетчатки, стимулировало митоз клеток в сосудистой и склеральной оболочках, осевое удлинение глаза и формирование миопической рефракции *(рис. 2)*.

Более того, уже при слабой степени миопии усиление рефракции предопределяло развитие слабости аккомодации, поскольку в этой ситуации не было необходимости при работе вблизи напрягать цилиарную мышцу. Слабость аккомодационного рефлекса нарушала важную роль цилиарной мышцы в реализации гидравлического компонента в механизме аккомодации, который был нами рассмотрен в новой концепции механизма аккомодации [8]. Эта концепция позволила ответить на вопрос, как небольшая по величине цилиарная мышца могла изменить форму столь объемного хрусталика, если ни одна из порций которой не имела прямого прикрепления к цинновым связкам. При рассмотрении гидравлического компонента механизма аккомодации акцент был сделан на то, что при сокращении самой мощной порции цилиарной мышцы (мышца Брюкке) натягивалась цилиарная шпора, расширялись межтрабекулярные пространства, срабатывал клапанный механизм раскрытия склерального синуса и быстро снижалось давление в передней и задней камерах глаза. Возникшая разница с давлением внутри хрусталика переводила его в состояние выпуклого эллипсоида, что увеличивало его преломляющую силу [8].

В 2025 г. световая митогенетическая теория рефрактогенеза и развития миопии была дополнена новыми данными с акцентом на важную роль работы ИЦХК в регуляции интенсивности светового потока и его распределения по рецепторному полю сетчатки [19]. Особый акцент был сделан на рассмотрение участия ИЦХК в стимуляции гидродинамики, гемодинамики и трансретинальном диализе ВГЖ. Нарушение работы ИЦХК усиливало митогенетическое поле сетчатки. С позиций важной роли ИЦХК в регуляции световой нагрузки на сетчатку стало понятным, почему пребывание на улице в дневное время суток и двигательная активность сегодня могут рассматриваться как важные звенья в профилактике развития и прогрессирования миопии [20]. Достаточно отметить, что в фотопических условиях при рассматривании окружающих предметов происходило сужение зрачка, уменьшались оптиче-

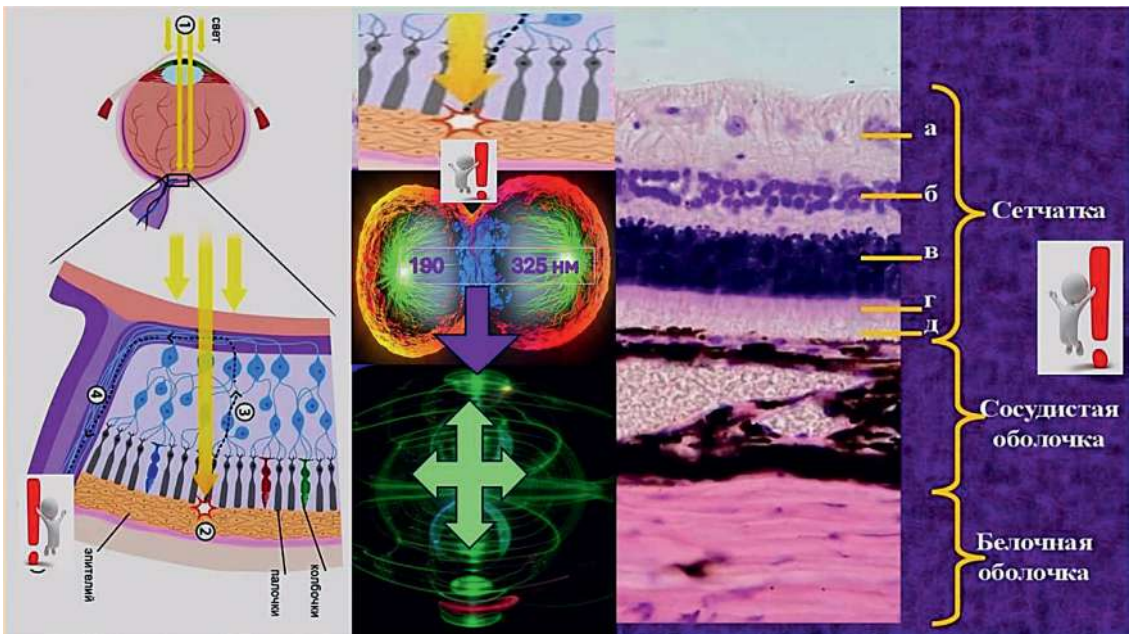


Рис. 2. В постнатальном периоде в зависимости от фокусировки и распределения световых фотонов по рецепторному полю сетчатки усиливаются или ослабляются генетически запрограммированные митогенетические электромагнитные поля роста преимущественно в оболочках заднего отдела глаза, которые играют важную роль в процессе эмметропизации и формировании аметропической рефракции глаза

Fig. 2. In the postnatal period, depending on the focusing and distribution of light photons across the receptor field of the retina, genetically programmed mitogenetic electromagnetic growth fields are strengthened or weakened, primarily in the membranes of the posterior part of the eye, which play an important role in the process of emmetropization and the formation of ametropic refraction of the eye

ские аберрации, повышалась острота зрения и увеличивалась сила аккомодационного рефлекса, происходили активные сокращения и расслабления цилиарной мышцы. При этом, как уже отмечалось, активировалась гидродинамика, гемодинамика и трансретинальный диализ ВГЖ в глазу. Этот эффект усиливался при сочетании с повышенной двигательной активностью и спортивными играми, без значительных физических нагрузок. При двигательной активности стимулировался кровоток во всех органах, включая активацию гемодинамики в глазу.

Согласно современным данным, именно фотон стал основой информационного клеточного взаимодействия, обеспечивающего передачу информации о метаболических процессах в клетке, между клетками, в тканях органов и в организме человека в целом. Биофотонные механизмы явились важным компонентом клеточной электромагнитной сигнализации *in vivo*, поскольку могли переносить информацию [21]. На наш взгляд, биофотонная электромагнитная сигнализации клеточной коммуникации без участия химических процессов добавила еще один аргумент в понимании влияния митогенетического поля сетчатки на преимущественный рост сосудистой и склеры заднего отдела глаза в постнатальном рефрактогенезе.

Митогенетическая концепция в рефрактогенезе и патогенезе развитии миопии позволила объяснить, почему в эксперименте только у молодых неполовозрелых особей центральный гиперметропический дефокус стимулировал, а центральный миопический дефокус световых лучей замедлял осевое удлинение глаз с исходно короткой ПЗО и гиперметропической рефракцией. При гиперметропическом дефокусе стимуляция митогенетического излучения сетчатки была обусловлена прохождением световых лучей через все слои сетчатки и максимальным поглощением световых фотонов фоторецепторами. Это активизировало процессы обмена и деления клеток в сетчатке с индуцированием слабого ультрафиолетового излучения, обладающего митогенетическим эффектом. Данное излучение через биофотонный механизм электромагнитной сигнализации дистанционно стимулировало процессы митоза в клетках сосудистой и склеральной оболочек глаза. Что же касается индуцирования в эксперименте центрального миопического дефокуса, то это вызывало эффект ослабления митогенетического потенциала сетчатки. При этом происходило замедление или остановка эмметропизации и формировалась гиперметропия. Таким образом, световые фотоны влияли на генетически запрограммированный митогенетический потенциал клеток в тканевых структурах заднего отдела глаза, предопределяя его осевое удлинение.

В клинике было отмечено, что при осевом удлинении глаза формировался периферический гиперметропический дефокус, который также стимулировал митогенетический потенциал сетчатки даже в случаях полной оптической коррекции центрального миопического дефокуса световых лучей. Негативное влияние периферического гиперметропического дефокуса световых лучей на рефрактогенез и положительный эффект его оптической коррекции показали патогенетическую направленность такого подхода в профилактике прогрессирования миопии. На сегодняшний день накоплены убедительные клинический данные о замедлении прогрессирования миопии при проведении оптической и ортокератологической коррекции не только центрального, но и периферического дефокуса световых лучей при осевой миопии [22].

Важную роль в ослаблении митогенетического потенциала сетчатки играло функциональное состояние всего ИЦХК. При активных сокращениях и расслаблениях цилиарной мышцы стимулировались гидродинамика, гемодинамика, секреция ВГЖ, ее трансретинальный диализ. ВГЖ выступала в качестве гасителя митогенетического излучения в сетчатке, благодаря высокому содержанию в ней мощного природного антиоксиданта — аскорбиновой кислоты. Ее содержание во ВГЖ в 25–50 раз и более превышало таковую в плазме крови. Аскорбиновая кислота активно транспортировалась из крови через эпителий капилляров цилиарных отростков во ВГЖ с участием специфических транспортеров (SVCT2). Не случайно концентрация аскорбиновой кислоты в стекловидном теле была еще больше. Имеются данные об ингибировании клеточного митоза аскорбиновой кислотой [23], что позволило рассмотреть ее, как уникальный биологический гаситель митогенетического излучения в сетчатке на этапах постнатального рефрактогенеза.

Митогенетическая концепция рефрактогенеза позволила объяснить усиление темпа прогрессирования миопии у подростков в период полового созревания. Это обусловлено взаимным усилением (синергией) между соматотропным гормоном роста и половыми гормонами, которые вместе более значительно активируют деление клеток. Половые стероиды (эстрогены у девочек и тестостерон у мальчиков) стимулировали гипоталамо-гипофизарную систему, что приводило почти к 3-кратному увеличению амплитуды выбросов соматотропного гормона роста. Причем у мальчиков эффект тестостерона реализовался через его превращение (ароматизацию) в эстрогены на уровне мозга. Учет данного факта очень важен при оценке эффекта склеропластических операций при прогрессирующей миопии, целесообразность проведения которых продолжает дискутироваться среди офтальмологов.

По завершении постнатального периода рефрактогенеза и процессов митоза в тканях глаза величина осевого удлинения глаза явилась ведущим фактором прогрессирования и развития осложнений миопии. Именно при осевом удлинении глаза складывались условия повышенных биомеханических напряжений в оболочках глаза при аккомодации и конвергенции, происходило накопление микродеформаций в склере, ее растяжение и истончение. На это реагировали все виды механочувствительных рецепторов, включая аквапорины [24–26]. При осевом удлинении глаза ухудшалась гидродинамика, гемодинамика и трансретинальный диализ ВГЖ, что повышало накопление перекисных радикалов в тканях глаза. Осевое удлинение глаза создавало условия, когда даже обычная суточная световая нагрузка на сетчатку приводила к неполной инактивации продуктов перекисного оксисления липидных мембранных дисков фоторецепторов и разви-

тию витреохориоретинальных дистрофических изменений. Более того, при осевом удлинении глаза, особенно при высокой близорукости, создавались условия, когда даже при полной очковой коррекции формировался относительный гиперметропический дефокус, и засветке подвергались те участки сетчатки, которые в фотопических условиях должны нести минимальную световую нагрузку или отдыхать. Между осевым удлинением глаза и развитием периферических витреохориоретинальных дистрофий отмечалась прямая корреляционная зависимость. При осевом удлинении глаза в процесс вовлекалась и макулярная область сетчатки с развитием дистрофическими изменений, которые протекали по сухому атрофическому или влажному типу с неоваскуляризацией. Необходимо отметить, что по завершению процессов митоза клеток в тканях глаза, величина осевого удлинения глаза и продолжительные аккомодационно-конвергентные зрительные нагрузки сопровождались гидродинамическими и гемодинамическими нарушениями, развивались витреохориоретинальные осложнения, которые явились важными ключевыми маркерами прогрессирования близорукости без осевого удлинения глаза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно современным представлениям, под генетическим кодом понимают систему записи генетической информации о порядке расположения аминокислот в белках в виде последовательности нуклеотидов в ДНК и РНК. Передача это кода осуществляется в процессе деления (митоза) ДНК в ядре клетки. В ходе репликации хромосом ДНК в ядре возникает слабое ультрафиолетовое излучение, которое образует вокруг клетки электромагнитное поле, обладающее стимулирующим митотическим эффектом на рядом расположенные клетки. Таким образом, в постнатальном периоде рефрактогенеза в тканях глаза формируются различные по интенсивности митогенетические поля роста, среди которых ведущую роль играет митогенетическое поле сетчатки с наиболее активными процессами обмена на уровне фоторецепторов.

Накопленный научный материал о свойствах и параметрах слабого ультрафиолетового излучения и когерентности его энергии указывал на то, что данное излучение явилось одним из важных механизмов клеточной электромагнитной коммуникации, без участия химических процессов [21]. Это новый взгляд, который позволил объяснить влияние митогенетического поля сетчатки на сосудистую оболочку и склеру, что вызывало преимущественный рост заднего отдела глаза на этапах постнатального рефрактогенеза. Необходимо еще раз акцентировать внимание на том, что высокий уровень метаболических процессов в клеточных структурах сетчатой оболочки глаза формировал в ней наиболее сильное биофотонное излучение и электромагнитное поле. Последнее присуще всем живым клетках и тканям, что было обусловлено движением и взаимодействием электрических зарядов в процессе жизнедеятельности. Это поле усиливалось на этапах постнатального рефрактогенеза, когда происходили процессы митоза в клетках и формировались митогенетические электромагнитные поля роста в тканях глаза. При этом генерируемые электромагнитные поля не ограничивались контурами клеток и тканей, а распространялись во ВГЖ, диализ которой через сетчатку происходит по градиенту повышенного онкотического и осмотического давлений в подлежащих оболочках заднего отдела глаза. Такой механизм объясняет влияние митогенетического электромагнитного поля сетчатки на прилежащие к ней сосудистую и склеральную оболочки. На эти процессы активное воздействие оказывали световые фотоны, характер их фокусировки и распределения световой энергии по рецепторному полю сетчатки.

Долгое время сверхслабое фотонное излучение живых биологических клеток считались побочным продуктом биохимических реакций и митоза клеток. Только сегодня этот вид излучения стал хорошо изученным биофизическим явлением. Общий научный прогресс и развитие квантовой физики и знаний, связанных с теорией электромагнитного поля, позволили переосмыслить накопленный научный материал о свойствах и параметрах сверхслабого ультрафиолетового излучения. Данное излучение рассматривается, как электромагнитное явление, которое играло важную роль в механизме клеточной электромагнитной коммуникации. Сегодня предложена рабочая концепция биофотонной сигнализации, которая стала отправной точкой для дальнейшего изучения механизмов электромагнитной передачи сигналов в организме человека [21].

Необходимо отметить, что световые фотоны и фотоны сверхслабого митогенетического излучения могли участвовать в мутации генов, которые участвовали в росте и развитии глаза. Такая мутация осуществлялась через регуляцию ионного транспорта, нейротрансмиссию, ремоделирование внеклеточного матрикса сетчатки и других структур глаза. Известны гены *WNT7B* и *GJD2*, которые регулировали нормальный рост глаза через взаимодействие между ганглиозными и амакриновыми клетками. Так, гены *ZIC2* и *ZMAT4* отвечали за рост нейронов ретинальных ганглиев в процессе развития и функционирования фоторецепторных клеток. Что же касается генной информации о длине переднезадней оси глаза, эластичности склеры, толщины роговицы, то эти параметры формировали лишь предрасположенность к развитию миопии. Не случайно в настоящей работе новый взгляд на постнатальный рефрактогенез и развитие миопии был рассмотрен с позиций влияния световых фотонов и аккомодационно-конвергентных зрительных нагрузок на генетический код рефрактогенеза. Это позволило понять, почему генетический фактор не обладает достаточной точностью, чтобы в полной мере предопределять развитие аметропии и ее величину. Рассмотренные патогенетические звенья развития миопии позволили наметить новые подходы к профилактике и остановке прогрессирования близорукости с учетом важной роли митогенетического излучения сетчатки в рефрактогенезе. Такие новые подходы с патогенетическим обоснованием применения ингибиторов митоза будут рассмотрены в наших последующих публикациях.

ВЫВОДЫ

1. Изменения светового режима и аккомодационно-конвергентные зрительные нагрузки нарушают работу ИЦХК, фокусировку световых фотонов и являются ключевыми факторами, влияющими на митогенетическое излучение сетчатки, генетический код рефрактогенеза и развитие осевой миопии.

2. ИЦХК активирует гидродинамику, гемодинамику, стимулирует секрецию и трансретинальный диализ ВГЖ, что может ослаблять или усиливать митогенетическое излучения сетчатки и привести к формированию аметропии при не отягощенном генетическом коде рефрактогенеза.

3. В постнатальном периоде в зависимости от фокусировки и распределения световых фотонов по рецепторному полю сетчатки усиливаются или ослабляются генетически запрограммированные митогенетические электромагнитные поля роста в оболочках заднего отдела глаза, которые играют важную роль в процессе эмметропизации и формировании аметропической рефракции глаза.

4. По завершении процессов митоза клеток в тканях глаза, величина осевого удлинения глаза и продолжительные аккомодационно-конвергентные зрительные нагрузки усиливают биомеханические напряжения в склере, что сопровождается гидродинамическими и гемодинамическими нарушениями, предопределяет развитие витреохориоретинальных осложнений и прогрессирование близорукости.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENSES

1. Machna B, Jastrzebska-Miazga I, Pacwa A, et al. Experimental models of myopia development: A review of literature. *J Physiol Pharmacol.* 2025;76(4): 335–67. https://doi.org/10.26402/jpp.2025.4.01
2. Lin CR, Ablordeppey RK, Benavente-Perez A, Sustained Experimental Myopia Exacerbates the Effect of Eye Growth on Retinal Ganglion Cell Density and Function. *Int J Mol Sci.* 2025;26: 2824. https://doi.org/10.3390/ijms26062824
3. Gettinger K, Tsubota K, Negishi K., Kurihara T. Light and myopia: a focus on the expanding role of non-visual opsins. *Eye and Vision.* 2026;13(6): 1–20. https://doi.org/10.1186/s40662-025-00472-y
4. Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П. Современные направления фундаментальных исследований патогенеза прогрессирующей миопии. *Вестник Российской академии медицинских наук.* 2015;69(3–4): 44.
Iomdina E.N., Tarutta E.P. Modern directions of fundamental research of the pathogenesis of progressive myopia. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2015;69(3–4): 44. (In Russ.). https://doi.org/10.15690/vramn.v69.i3-4.994
5. Tserediani I. Modern Aspects of Pathogenesis of Myopia. *J. Comm. Med. and Pub. Health Rep.* 2024;5. https://doi.org/10.38207/JCMPHR/2024/OCT051205115
6. Zhang C, Shen L, Cai Y, et al. A cross-sectional survey of myopia prevalence and its influencing factors among school children and adolescents under the double reduction policy. *Sci Rep*. 2026. https://doi.org/10.1038/s41598-026-38643-z
7. Патент на изобретение СССР SU1624506A1 / 30.01.1991. Бюл. №4. Советский патент 1991 года по МПК G09B23/28. Сычев Г.М., Корниловский И.М., Миньков А.С., Кобежиков А.И. Способ моделирования осевой миопии.
Patent USSR SU1624506A1 / 30.01.1991. Bulletin No. 4. Soviet patent of 1991 under IPC G09B23/28 Sychev GM, Kornilovskiy IM, Minkov AS, Kobezhikov AI. Method for modeling axial myopia. (In Russ.).
8. Kornilovskiy I.M. Controversial Issues of the Mechanism of Crystalline Lens Accommodation and the Rationale the Hydraulic Component in Its Implementation. *Ophthalmology Research: An International Journal.* 2023;18(5): 52–62. https://doi.org/10.9734/or/2023/v18i5401
9. García-Montero M, Felipe-Márquez G, Arriola-Villalobos P, Garzón N. Pseudomyopia: A Review. *Vision.* 2022;6: 1–17. https://doi.org/10.3390/vision6010017
10. Корниловский И.М. Новая теория рефрактогенеза. Офтальмология. 2004;1(4): 6–14.
Kornilovskiy IM. New theory of refractogenesis. *Ophthalmology in Russia.* 2004;1(4): 6–14. (In Russ.).
11. Корниловский И.М. Роль светового фактора в рефрактогенезе. *Сибирское медицинское обозрение.* 2006;2(39): 70–3.
Kornilovskiy IM. The role of the light factor in refractogenesis. *Siberian Medical Review.* 2006;2(39): 70–3. (In Russ.).
12. Gurwitsch A. Die Natur des spezifischen Erregers der Zellteilung. Archiv für mikroskopische *Anatomie und Entwicklungsmechanik*. 1923;100(1–2): 11–40. (In Germ.). https://doi.org/10.1007/BF02111053
13. Gurwitsch A. Physikalisches über mitogenetische Strahlen. Archiv für mikroskopische *Anatomie und Entwicklungsmechanik.* 1924;103(3–4): 490–8. (In Germ.). https://doi.org/10.1007/BF02107498
14. Gurwitsch AG, Gurwitsch D. Twenty Years of Mitogenetic Radiation: Emergence, Development, and Perspectives, 21st. *Century Science and Technology*. 1999;12(3): 41–53.
15. Naumova E, Naumova A, Volodyaev I, Isaev D. Historical review of early researches on mitogenetic radiation. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering.* 2018;4(4): 040201-1-20.
16. Voeikov VL Mitogenetic radiation, biophotons and non-linear oxidative processes in aqueous media. Integrative Biopysics. Biophotonics. Eds. F-A. Popp, L. Beloussov. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. Boston. London. 2003: 331–60.
17. Naumova EV, Vladimirov YuA, Beloussov LV, Tuchinc VV, Volodyaev IV. Methods of Studying Ultraweak Photon Emission from Biological Objects: I. History, Types and Properties. *Fundamental and Application Significance Biophysics.* 2021;66(5): 764–78.
18. Корниловский И.М. О целесообразности использования умеренной локальной гипотермии для стимуляции кровообращения в глазу у больных близорукостью *Офтальмологический журнал.* 1981;5: 278–81.
Kornilovskiy I.M. On the feasibility of using moderate local hypothermia to stimulate blood circulation in the eye in patients with myopia. *Ophthalmol J.* 1981;5: 278–81 (In Russ).
19. Корниловский И.М. Новая теория рефрактогенеза и развития миопии. *Российский офтальмологический журнал.* 2025;18(3): 102–9.
Kornilovskiy IM. A new theory of refractogenesis and development of myopia. *Russian Ophthalmological Journal.* 2025;18(3): 102–9. (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-3-102-109
20. Lee DMX, Au Eong JTW, Au Eong K-G. Prophylactic treatment of childhood myopia: a game-changer in combating the scourge of myopia? *Front. Public Health.* 2025;13: 1556199. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1556199
21. Tong J. Biophoton signaling in mediation of cell-to-cell communication and radiation-induced bystander effects. *Radiation Medicine and Protection.* 2024;5(3): 145–60. https://doi.org/10.1016/j.radmp.2024.06.004
22. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Маркосян Г.А. и др. Стратегически ориентированная концепция оптической профилактики возникновения и прогрессирования миопии. *Российский офтальмологический журнал.* 2020;13(4): 7–16.
Tarutta EP, Proskurina OV, Markosyan GA, et al. Strategically oriented concept of optical prevention of the onset and progression of myopia. *Russian ophthalmological journal.* 2020;13(4): 7–16. (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-4-7-16
23. Maekawa T, Miyake T, Tani M, Uemoto S Diverse antitumor effects of ascorbic acid on cancer cells and the tumor microenvironment. *Front Oncol.* 2022;12: 981547 https://doi.org/10.3389/fonc.2022.981547
24. Schey K, Zhen Wang, Wenke J, Qi Y. Aquaporins in the eye: Expression, function and roles in ocular disease. *Biochim Biophys Acta.* 2014;1840(5): 1513–23. https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.10.037

25. Ueki S, Suzuki Y, Igarashi H. Retinal aquaporin-4 and regulation of water inflow into the vitreous body. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2021;62(2): 24. https://doi.org/10.1167/iovs.62.2.24
26. Schey KL, Gletten RB, O'Neale CVT, et al. Lens Aquaporins in Health and Disease: Location is Everything! *Front. Physiol.* 2022;13: 882550. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.882550

Информация об авторе
Корниловский Игорь Михайлович — д.м.н., профессор, профессор кафедры глазных болезней Института усовершенствования врачей ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, kornilovsky51@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-8763-7669

Information about the author
Igor M. Kornilovskiy — MD, PhD, Professor, Professor of the Department of Eye Diseases, Institute for Advanced Medical Studies, N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center Ministry of Health of the Russian Federation, kornilovsky51@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-8763-7669

Вклад автора:
Корниловский И.М. — участие в проведении экспериментальных и клинических исследований, рассмотрение ключевых факторов, влияющих на генетический код рефрактогенеза, и их роли в патогенезе миопии на основе авторской световой митогенетической теории рефрактогенеза, редактирование статьи и окончательное утверждение текста для публикации.

Author's contribution:
Kornilovsky I.M. — participation in experimental and clinical studies, consideration of key factors influencing the genetic code of refractogenesis and their role in the pathogenesis of myopia based on the author's light mitogenetic theory of refractogenesis, editing the article and final approval of the text for publication.

Финансирование: Автор не получал конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: The author did not receive a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *26.02.2026*
Переработана: *27.03.2026*
Принята к печати: *11.04.2026*
Received: *26.02.2026*
Revision: *27.03.2026*
Accepted: *11.04.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.7:616.1:008.4-07
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-74-79

Никотинамид и аргинин в слезной жидкости как локальные нейрометаболомные биомаркеры глаукомной оптической нейропатии

Д.К. Махкамова, Ш.А. Ахмедова

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр микрохирургии глаза, Ташкент, Узбекистан

РЕФЕРАТ

Цель. Оценить уровни никотинамида и аргинина в слезной жидкости и плазме крови у пациентов с глаукомной оптической нейропатией и определить их диагностическую значимость как локальных нейрометаболомных биомаркеров.
Материал и методы. Проведено проспективное сравнительное исследование с участием 36 пациентов с первичной открытоугольной глаукомой и 30 здоровых лиц контрольной группы. Всем участникам выполнено комплексное офтальмологическое обследование, включая оптическую когерентную томографию. Концентрации никотинамида и аргинина в плазме крови и слезной жидкости определялись методом жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией. Статистический анализ включал сравнительную оценку показателей между группами.
Результаты. Не выявлено статистически значимых различий уровней никотинамида и аргинина в плазме крови между группами ($p>0,05$). В слезной жидкости отмечено достоверное снижение концентраций обоих метаболитов у пациентов с глаукомной оптической нейропатией. Уровень никотинамида был ниже на 27,7% ($p=0,003$), аргинина — на 26,5% ($p=0,009$) по сравнению с контрольной группой. Структурный анализ по данным ОКТ показал значимое истончение слоя нервных волокон сетчатки и комплекса ганглиозных клеток ($p<0,001$).
Заключение. Снижение уровней никотинамида и аргинина в слезной жидкости отражает локальные нейрометаболические нарушения при глаукомной оптической нейропатии и может рассматриваться как потенциальный неинвазивный биомаркер заболевания.
Ключевые слова: *глаукомная оптическая нейропатия, никотинамид, аргинин, слезная жидкость, нейрометаболомные биомаркеры*

Для цитирования: Махкамова Д.К., Ахмедова Ш.А. Никотинамид и аргинин в слезной жидкости как локальные нейрометаболомные биомаркеры глаукомной оптической нейропатии. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 74–79. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-74-79
Автор, ответственный за переписку: Ахмедова Шахзода Анваровна, shahzoda_22@mail.ru

Original article

Nicotinamide and Arginine in Tear Fluid as Local Neurometabolomic Biomarkers of Glaucomatous Optic Neuropathy

D.K. Makhkamova, Sh.A. Akhmedova

Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

Purpose. To evaluate nicotinamide and arginine levels in tear fluid and blood plasma in patients with glaucomatous optic neuropathy and to determine their diagnostic value as local neurometabolomic biomarkers.
Materials and methods. A prospective comparative study was conducted involving 36 patients with primary open-angle glaucoma and 30 healthy controls. All participants underwent comprehensive ophthalmological examination, including optical coherence tomography. Nicotinamide and arginine concentrations in blood plasma and tear fluid were measured using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Statistical analysis included comparative evaluation between groups.
Results. No statistically significant differences were found in plasma levels of nicotinamide and arginine between the groups ($p>0.05$). In contrast, tear fluid analysis revealed a significant decrease in both metabolites in patients with glaucomatous optic neuropathy. Nicotinamide levels were reduced by 27.7% ($p=0.003$), and arginine levels by 26.5% ($p=0.009$) compared to the control group. Optical coherence tomography demonstrated significant thinning of the retinal nerve fiber layer and ganglion cell complex ($p<0.001$).
Conclusion. Decreased levels of nicotinamide and arginine in tear fluid reflect local neurometabolic alterations in glaucomatous optic neuropathy and may serve as potential non-invasive biomarkers of the disease.

© Махкамова Д.К., Ахмедова Ш.А., 2026

Keywords: *glaucomatous optic neuropathy, nicotinamide, arginine, tear fluid, neurometabolomic biomarkers.*

For citation: Makhkamova D.K., Akhmedova Sh.A. Nicotinamide and Arginine in Tear Fluid as Local Neurometabolomic Biomarkers of Glaucomatous Optic Neuropathy. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 74–79.
https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-74-79
Corresponding author: Shakhzoda A. Akhmedova, shahzoda_22@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Глаукомная оптическая нейропатия (ГОН) является ведущей причиной необратимой слепоты и рассматривается как хроническое нейродегенеративное заболевание, в основе которого лежит прогрессирующая гибель ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) и их аксонов [1]. Современные представления о патогенезе глаукомы выходят за рамки изолированной роли повышенного внутриглазного давления (ВГД), поскольку даже при его эффективном контроле у значительной части пациентов продолжается прогрессирование заболевания [2]. Это указывает на существование дополнительных, прежде всего метаболических механизмов повреждения зрительного нерва.

Одним из ключевых направлений современных исследований является изучение нарушений клеточного энергетического обмена и митохондриальной дисфункции. ГКС характеризуются высокой энергетической зависимостью, и снижение уровня никотинамидадениндинуклеотида (NAD^+) приводит к нарушению продукции АТФ, усилению оксидативного стресса и повышению уязвимости нейронов к дегенерации. Дисбаланс NAD^+/NADH рассматривается как один из центральных механизмов, определяющих как восприимчивость к глаукоме, так и скорость ее прогрессирования, а также как потенциальный системный биомаркер заболевания [3, 4].

Никотинамид, являясь ключевым предшественником NAD^+, играет фундаментальную роль в поддержании митохондриального гомеостаза, аксонального транспорта и энергетического обеспечения нейронов. Экспериментальные исследования демонстрируют, что снижение доступности NAD^+ является ранним патофизиологическим событием при глаукоме, предшествующим структурным изменениям, тогда как восполнение никотинамида обеспечивает выраженный метаболический и структурный нейропротективный эффект, включая сохранение дендритной архитектуры ганглиозных клеток [5–8]. Таким образом, никотинамид рассматривается не только как терапевтическая мишень, но и как чувствительный индикатор нейрометаболического статуса.

Параллельно с энергетическими нарушениями значимую роль в патогенезе ГОН играют сосудистые и нейроваскулярные механизмы [4]. Аргинин, являясь субстратом для синтеза оксида азота, участвует в регуляции микроциркуляции и перфузии зрительного нерва. Нарушение аргининового метаболизма может способствовать эндотелиальной дисфункции и ишемии, усиливая повреждение нейрональных структур и потенцируя нейродегенеративные процессы [2].

В последние годы возрастает интерес к поиску биомаркеров, способных отражать ранние метаболические изменения до развития выраженных морфологических нарушений. Нейрометаболомный подход позволяет оценивать функциональное состояние зрительного нерва на молекулярном уровне. При этом особое значение приобретает анализ слезной жидкости как доступной и минимально инвазивной биологической среды, отражающей локальные метаболические процессы в тканях глаза.

ЦЕЛЬ

Оценка различий уровней никотинамида и аргинина в слезной жидкости и плазме крови у пациентов с ГОН и их ассоциации со структурными параметрами зрительного нерва с целью верификации их как локальных нейрометаболомных биомаркеров.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования. Проведено проспективное сравнительное клинико-лабораторное исследование, включающее 36 пациентов с ГОН и 30 здоровых лиц контрольной группы. Дизайн исследования соответствовал рекомендациям STROBE для обсервационных исследований и был направлен на оценку нейрометаболомных показателей в различных биологических средах.

Характеристика выборки. В исследование включены пациенты в возрасте от 40 до 75 лет с установленным диагнозом первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) начальной или умеренной стадии. Контрольную группу составили сопоставимые по полу и возрасту здоровые добровольцы без офтальмологической патологии. Все участники подписали информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Критерии включения и исключения. Критериями включения являлись возраст от 40 до 75 лет, наличие подтвержденного диагноза ПОУГ начальной или умеренной стадии, а также компенсированное ВГД в течение не менее 3 месяцев, подтвержденное данными динамического наблюдения. Обязательным условием являлось наличие структурных изменений зрительного нерва, включая снижение толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) или комплекса ГКС не менее чем на 5% от возрастной нормы по данным ОКТ, а также снижение плотности капилляров по данным ОКТ-ангиографии. В исследование включались пациенты, получающие стабильную гипотензивную терапию не менее 3 месяцев и нейропротективную терапию не менее 4 недель до включения, при максимальной корригированной остроте зрения (МКОЗ) не ниже 0,3.

Критериями исключения являлись продвинутые и терминальные стадии глаукомы, сопровождающиеся выраженными структурными изменениями, затрудняющими

оценку прогрессирования, включая снижение толщины СНВС менее 50 мкм. Также исключались пациенты с нестабильным или некомпенсированным ВГД, вторичными формами глаукомы, сопутствующей патологией сетчатки и зрительного нерва, способной повлиять на результаты ОКТ и ОКТ-ангиографии, включая диабетическую ретинопатию, возрастную макулярную дегенерацию, ишемическую нейропатию и высокую миопию. Дополнительными критериями исключения являлись низкое качество томографических изображений, наличие артефактов, хирургические вмешательства на глазах в течение последних 6 месяцев, а также декомпенсированные системные сосудистые и неврологические заболевания.

Всем пациентам проводилось стандартизированное комплексное офтальмологическое обследование. Измерение ВГД выполнялось методом апланационной тонометрии по Гольдману преимущественно в утренние часы с допустимым отклонением до 2 ч. Острота зрения определялась с использованием стандартных таблиц Сивцева или Снеллена с коррекцией. Выполнялись биомикроскопия переднего отрезка глаза и офтальмоскопия с оценкой состояния диска зрительного нерва и автоматизированная периметрия по Хамфри и Гольдману. На исходном визите проводилась гониоскопия для исключения закрытоугольной формы глаукомы.

ОКТ и ОКТ-ангиография. Визуализация структур заднего отрезка глаза проводилась с использованием прибора Topcon DRI OCT Triton на основе технологии Swept-Source с длиной волны 1050 нм и частотой сканирования 100 000 А-сканов в секунду. Анализ включал оценку толщины слоя нервных волокон сетчатки в перипапиллярной зоне с распределением по квадрантам и секторам, а также выявление межокулярной асимметрии и отклонений от возрастной нормы. В макулярной области проводился анализ комплекса ганглиозных клеток с сегментацией центральной и парацентральных зон и определением средних и минимальных значений толщины. Дополнительно оценивались параметры головки зрительного нерва, включая отношение экскавации к диску, площадь экскавации и минимальную ширину нейроретинального ободка. ОКТ-ангиография использовалась для определения плотности капилляров в перипапиллярной и макулярной областях. Качество изображений контролировалось с использованием индекса SSI не ниже 60. Сканы с артефактами движения, децентрацией или ошибками сегментации исключались, при необходимости выполнялось повторное сканирование.

Лабораторные исследования. Забор биологического материала проводился параллельно с офтальмологическим обследованием. Венозная кровь объемом 5 мл отбиралась натощак в пробирки с ЭДТА, после чего выполнялось центрифугирование и замораживание плазмы при температуре -80 °C до момента анализа. Слезная жидкость собиралась из нижнего конъюнктивального свода без стимуляции в объеме не менее 10 мкл с использованием микропипеток и также подвергалась замораживанию. Определение концентраций никотинамида и аргинина проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией (LC-MS/MS) с использованием валидированных методик, внутренних стандартов и калибровочных кривых. Все лабораторные процедуры соответствовали требованиям Good Laboratory Practice.

Статистическая обработка данных. Нормальность распределения оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. При нормальном распределении данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (M±SD), сравнение групп проводилось с использованием t-критерия Стьюдента для независимых выборок. При ненормальном распределении применяли критерий Манна–Уитни. Для дополнительной оценки клинической значимости различий рассчитывали относительное изменение показателей (%) по отношению к контрольной группе. Статистически значимыми считались различия при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследование были включены 36 пациентов с ГОН и 30 здоровых добровольцев. Анализ базовых клинико-демографических характеристик не выявил статистически значимых различий между группами по возрасту, полу и уровню ВГД ($p>0,05$), что свидетельствует о их сопоставимости. При этом максимальная корригированная острота зрения была статистически значимо ниже в группе ГОН по сравнению с контролем ($p<0,001$), отражая функциональные нарушения, ассоциированные с заболеванием *(табл. 1)*.

Анализ структурных параметров по данным ОКТ выявил выраженных различий между группами. У пациентов с ГОН отмечалось значимое снижение средней толщины СНВС ($p<0,001$), а также минимальной толщины СНВС ($p<0,001$). Аналогичные изменения были выявлены на уровне макулярной области: средняя толщина комплекса ГКС и внутреннего плексиформного слоя (ВПС) составила 66,7±4,9 мкм в группе ГОН против 77,8±4,6 мкм в контроле ($p<0,001$), минимальная толщина ганглиозного слоя — 61,9±4,4 мкм против 72,1±4,8 мкм соответственно ($p<0,001$).

Параметры головки зрительного нерва также достоверно отличались между группами. В группе ГОН отмечалось увеличение отношения экскавации к диску ($p<0,001$) и площади экскавации ($p<0,001$), а также значительное снижение минимальной ширины нейроретинального ободка ($p<0,001$). Кроме того, межокулярная асимметрия толщины СНВС была существенно выше у пациентов с ГОН ($p<0,001$) *(табл. 2)*.

Оценка уровней нейрометаболитов показала отсутствие статистически значимых различий концентраций никотинамида и аргинина в плазме крови между группами ($p=0,21$ и $p=0,28$ соответственно). В то же время в слезной жидкости выявлено достоверное снижение концентраций обоих метаболитов у пациентов с ГОН. Уровень никотинамида в слезной жидкости составил 17,2±6,1 пг/мл против 23,8±7,5 пг/мл в контрольной группе, что соответствует относительному снижению на 27,7% ($p=0,003$). Несмотря на частичное перекрытие диапазонов значений, межгрупповое различие оказалось статистически значимым по результатам сравнительного анализа. Уровень аргинина — 0,036±0,011 ммоль/л против 0,049±0,014 ммоль/л соответственно ($p=0,009$) *(табл. 3)*.

Анализ относительных изменений продемонстрировал, что снижение уровней метаболитов в слезной жид-

Таблица 1

Базовые клинико-демографические характеристики участников исследования

Table 1

Baseline clinical and demographic characteristics of study participants

Показатель Parameter	ГОН / GON (n=36)	Контроль / Control (n=30)	p
Возраст, лет / Age, years	62,4±8,1	60,7±7,5	0,38
Пол (м/ж) / Sex (M/F)	18/18	15/15	0,99
ВГД, мм рт.ст. / IOP, mm Hg	17,8±2,3	16,9±2,1	0,12
МКОЗ / BCVA	0,72±0,18	0,89±0,11	<0,001
Длительность глаукомы, лет / Duration of glaucoma, years	4,6±2,1	–	–

Примечание: Данные представлены в виде среднего значения ± стандартного отклонения (M±SD). Значения p рассчитаны с использованием t-критерия Стьюдента или критерия Манна–Уитни в зависимости от распределения данных, для категориальных переменных применялся χ^2-тест. Статистически значимые различия отмечены при p<0,05.

Note: Data are presented as mean ± standard deviation (M±SD). p-values were calculated using Student's t-test or Mann–Whitney U test depending on data distribution; categorical variables were analyzed using the χ^2 test. Statistical significance was set at p<0.05.

Таблица 2

Структурные параметры сетчатки и зрительного нерва по данным ОКТ у пациентов с ГОН и в контрольной группе

Table 2

Structural retinal and optic nerve parameters measured by OCT in glaucoma and control groups

Показатель Parameter	ГОН / GON (n=36)	Контроль / Control (n=30)	p
Средняя толщина СНВС, мкм / Mean RNFL thickness, μm	83,9±6,2	96,4±7,1	<0,001
Минимальная толщина СНВС, мкм / Minimum RNFL thickness, μm	74,8±7,1	92,6±6,8	<0,001
Средняя толщина комплекса ГКС+ВПС, мкм / Mean GCIPL thickness, μm	66,7±4,9	77,8±4,6	<0,001
Минимальная толщина ГКС, мкм / Minimum ganglion cell layer thickness, μm	61,9±4,4	72,1±4,8	<0,001
Отношение C/D / Cup-to-disc ratio (C/D)	0,63±0,08	0,38±0,06	<0,001
Площадь экскавации, мм^2 / Cup area, mm^2	1,68±0,33	0,90±0,21	<0,001
Минимальная ширина нейроретинального ободка (BMO-MRW), мкм Minimum rim width (BMO-MRW), μm	148,6±27,8	262,3±34,5	<0,001
Межокулярная асимметрия СНВС, мкм / Inter-eye RNFL asymmetry, μm	8,9±3,2	3,1±1,4	<0,001

Примечание: СНВС — слой нервных волокон сетчатки; ГКС — ганглиозный клеточный слой; ВПС — внутренний плексиформный слой; BMO-MRW — минимальная ширина нейроретинального ободка на уровне мембраны Бруха. Анализ выполнен на уровне глаз. Статистическая значимость оценивалась при p<0,05.

Note: RNFL — retinal nerve fiber layer; GCIPL — ganglion cell–inner plexiform layer; BMO-MRW — Bruch's membrane opening minimum rim width. Analysis was performed on a per-eye basis. Statistical significance was set at p<0.05.

кости носит более выраженный характер по сравнению с плазмой крови. В частности, уровень никотинамида в слезе был снижен на 27,7%, тогда как в плазме — на 7,4%. Аналогичная тенденция наблюдалась для аргинина: снижение на 26,5% в слезной жидкости против 5,5% в плазме. При этом статистически значимые различия были выявлены исключительно для показателей слезной жидкости *(табл. 4)*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают, что ГОН сопровождается локальными метаболическими нарушениями, преимущественно выявляемыми в слезной жидкости. Полученные нами данные согласуются с концепцией, согласно которой повышение ВГД не является единственным и определяющим фактором прогрессирования глаукомы. Даже при его компенсации сохраняется нейродегенерация, что подтверждается как клиническими наблюдениями, так и современными экспериментальными исследованиями [2, 3]. В этой связи особое значение приобретает изучение метаболических механизмов повреждения зрительного нерва.

Одним из ключевых результатов настоящего исследования является отсутствие статистически значимых

Таблица 3

Уровни никотинамида и аргинина в плазме крови и слезной жидкости

Table 3

Nicotinamide and arginine levels in blood plasma and tear fluid

Биомаркер Biomarker	Локализация / Localization	ГОН / GON (n=36)	Контроль / Control (n=30)	p	Нормативные значения Reference range
Никотинамид Nicotinamide	Плазма крови (пг/мл) / Plasma (pg/mL)	78,3±18,5	84,6±21,9	0,21	62,7–106,5
	Слеза (пг/мл) / Tear fluid (pg/mL)	17,2±6,1	23,8±7,5	0,003	–*
Аргинин Arginine	Плазма крови (ммоль/л) / Plasma (mmol/L)	0,52±0,10	0,55±0,12	0,280	0,41–0,67
	Слеза (ммоль/л) / Tear fluid (mmol/L)	0,036±0,011	0,049±0,014	0,009	–*

Примечание: Данные представлены в виде M±SD. *Нормативные значения для слезной жидкости отсутствуют; за референсный диапазон приняты показатели контрольной группы.

Note: Data are presented as mean ± standard deviation (M±SD). *Reference values for tear fluid are not established; values from the control group were used as a reference range.

Таблица 4

Относительное снижение уровней метаболитов в группе ГОН

Table 4

Relative decrease in metabolite levels in the glaucoma group

Биомаркер Biomarker	Биосреда Biological fluid	Изменение (%) Change (%)	p
Никотинамид / Nicotinamide	Плазма / Plasma	–7,4	0,21
Никотинамид / Nicotinamide	Слеза / Tear fluid	–27,7	0,003
Аргинин / Arginine	Плазма / Plasma	–5,5	0,28
Аргинин / Arginine	Слеза / Tear fluid	–26,5	0,009

Примечание: Процентные изменения рассчитаны относительно контрольной группы.

Note: Percentage changes were calculated relative to the control group.

различий уровней никотинамида в плазме крови при одновременном достоверном снижении его концентрации в слезной жидкости. Данный факт указывает на преимущественно локальный характер метаболических нарушений при ГОН. В литературе показано, что никотинамид является предшественником NAD^+ и играет центральную роль в обеспечении митохондриальной функции, энергетического метаболизма и выживания нейронов [4]. Снижение доступности NAD^+ рассматривается как один из ключевых механизмов уязвимости ганглиозных клеток сетчатки при глаукоме [7].

Экспериментальные исследования демонстрируют, что нарушение гомеостаза NAD^+ является ранним событием в патогенезе глаукомы и предшествует морфологическим изменениям. В частности, показано, что дефицит никотинамида приводит к энергетическому дефициту и активации программированной аксональной дегенерации [3]. В свою очередь, восполнение никотинамида способствует сохранению структуры и функции ГКС, включая предотвращение дендритной атрофии [5]. Полученные нами данные о снижении уровня никотинамида в слезной жидкости у пациентов с ГОН согласуются с этими представлениями и могут отражать ранние локальные метаболические нарушения.

Клинические исследования также подтверждают значимость никотинамида в патогенезе глаукомы. Так, показано, что его применение может улучшать функцию внутреннего слоя сетчатки и параметры зрительного поля у пациентов с глаукомой [8, 9]. При этом отмечается, что метаболическая поддержка ГКС является перспективным направлением терапии, дополняющим традиционное снижение ВГД [10]. В этом контексте выявленные нами изменения могут рассматриваться не только как диагностические маркеры, но и как потенциальные терапевтические мишени. Особого внимания заслуживает тот факт, что в настоящем исследовании впервые проведена оценка уровня аргинина в слезной жидкости у пациентов с ГОН. Полученные данные свидетельствуют о достоверном снижении его концентрации в слезе при отсутствии значимых изменений в плазме крови. Несмотря на известную роль аргинина как субстрата для синтеза оксида азота и регулятора сосудистого тонуса, в доступной литературе отсутствуют исследования, посвященные его роли в патогенезе глаукомы на уровне слезной жидкости. Таким образом, полученные результаты носят пилотный характер и расширяют представления о нейрометаболических нарушениях при ГОН.

Выявленная диссоциация между системными и локальными уровнями исследуемых метаболитов имеет важное патофизиологическое значение. Она подтверждает гипотезу о том, что метаболические изменения при глаукоме носят преимущественно тканеспецифический характер и могут не отражаться в системном кровотоке. Это согласуется с современными представлениями о локальной метаболической уязвимости ГКС и их высокой зависимости от митохондриальной функции [4, 7].

С практической точки зрения, полученные результаты подчеркивают высокую диагностическую ценность анализа слезной жидкости как доступной и неинвазивной биологической среды. В отличие от плазмы крови, слеза отражает локальные процессы в тканях глаза и может использоваться для ранней диагностики и мониторинга эффективности нейропротективной терапии.

Несмотря на полученные значимые результаты, исследование имеет ряд ограничений. К ним относятся относительно небольшой объем выборки, отсутствие продольного наблюдения и анализа динамики метаболитов. Кроме того, отсутствие данных в литературе по аргинину ограничивает возможности сравнительного анализа и требует дальнейших исследований в данном направлении. Таким образом, полученные данные подтверждают ключевую роль нейрометаболических нарушений в патогенезе ГОН и демонстрируют, что снижение уровней никотинамида и аргинина в слезной жидкости может рассматриваться как потенциальный маркер локальной нейродегенерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты демонстрируют, что ГОН сопровождается выраженными локальными нейрометаболическими нарушениями, проявляющимися снижением уровней никотинамида и аргинина в слезной жидкости при отсутствии достоверных изменений их концентраций в плазме крови. Это свидетельствует о преимущественно тканеспецифическом характере метаболических изменений при глаукоме и ограниченной информативности системных биомаркеров. Выявленное снижение никотинамида подтверждает роль нарушений NAD^+-зависимого энергетического обмена в патогенезе нейродегенерации зрительного нерва, тогда как снижение уровня аргинина указывает на возможное участие сосудисто-метаболических механизмов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gossman CA, Christie J, Webster MK, Linn DM, Linn CL. Neuroprotective Strategies in Glaucoma. *Curr Pharm Des.* 2016;22(14): 2178–92. https://doi.org/10.2174/1381612822666160128144747
2. Guymer C, Wood JP, Chidlow G, Casson RJ. Neuroprotection in glaucoma: recent advances and clinical translation. *Clin Exp Ophthalmol.* 2019;47(1): 88–105. https://doi.org/10.1111/ceo.13336
3. Chiarugi A. Glaucoma: neuroprotection with NAD-based therapeutic interventions. *Trends Pharmacol Sci.* 2023;44(12): 869–79. https://doi.org/10.1016/j.tips.2023.09.010
4. Cimaglia G, Tribble JR, Votruba M, Williams PA, Morgan JE. Oral nicotinamide provides robust, dose-dependent structural and metabolic neuroprotection of retinal ganglion cells in experimental glaucoma. *Acta Neuropathol Commun.* 2024;12(1): 137. https://doi.org/10.1186/s40478-024-01850-8
5. Petriti B, Williams PA, Lascaratos G, Chau KY, Garway-Heath DF. Neuroprotection in Glaucoma: NAD+/NADH Redox State as a Potential Biomarker and Therapeutic Target. *Cells.* 2021;10(6): 1402. https://doi.org/10.3390/cells10061402
6. Tribble JR, Otmani A, Sun S, et al. Nicotinamide provides neuroprotection in glaucoma by protecting against mitochondrial and metabolic dysfunction. *Redox Biol.* 2021;43: 101988. https://doi.org/10.1016/j.redox.2021.101988
7. Chiu TH, Hung SH, Lan CH, Yen WT, Lu DW. Update on Nicotinamide and Its Application in the Management of Glaucoma. *Int J Mol Sci.* 2025;26(21): 10789. https://doi.org/10.3390/ijms262110789
8. Hui F, Tang J, Williams PA, et al. Improvement in inner retinal function in glaucoma with nicotinamide (vitamin B3) supplementation: A crossover randomized clinical trial. *Clin Exp Ophthalmol.* 2020;48(7): 903–14. https://doi.org/10.1111/ceo.13818
9. De Moraes CG, John SWM, Williams PA, et al. Nicotinamide and Pyruvate for Neuroenhancement in Open-Angle Glaucoma: A Phase 2 Randomized Clinical Trial. *JAMA Ophthalmol.* 2022;140(1): 11–8. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2021.4576
10. Goulart Nacácio E Silva S, Occhiutto ML, Costa VP. The use of Nicotinamide and Nicotinamide riboside as an adjunct therapy in the treatment of glaucoma. *Eur J Ophthalmol.* 2023;33(5): 1801–15. https://doi.org/10.1177/11206721231161101

Информация об авторах
Махкамова Дилбар Камалджановна — д.м.н., нейроофтальмолог, руководитель отдела патологии зрительного нерва и сетчатки Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, Ташкент, Республика Узбекистан, dilbarmk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6080-7680
Ахмедова Шахзода Анваровна — свободный соискатель PhD, врач-офтальмолог Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, Ташкент, Республика Узбекистан, shahzoda_22@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-3984-9660

Information about the authors
Dilbar K. Makhkamova — Doctor of Medical Sciences, neuro-ophthalmologist, Head of the Department of Optic Nerve and Retinal Pathology, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, Tashkent, Republic of Uzbekistan, dilbarmk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6080-7680
Shakhzoda A. Akhmedova — PhD applicant, ophthalmologist, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, Tashkent, Republic of Uzbekistan, shahzoda_22@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-3984-9660

Вклад авторов:
Махкамова Д.К. — концепция и дизайн исследования, интерпретация результатов, написание текста, редактирование, окончательное утверждение рукописи.
Ахмедова Ш.А. — сбор и обработка клинического материала, проведение обследований, статистический анализ, участие в написании текста.

Authors' contributions:
Makhkamova D.K. — study conception and design, interpretation of results, manuscript drafting, editing, final approval of the manuscript.
Akhmedova Sh.A. — data collection and processing, clinical examinations, statistical analysis, contribution to manuscript drafting.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на данное исследование от каких-либо финансирующих агентств в государственном, коммерческом или некоммерческом секторах.
Funding: The authors did not receive any specific grant for this research from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *28.04.2026*
Переработана: *06.06.2026*
Принята к печати: *09.06.2026*
Received: *28.04.2026*
Revision: *06.06.2026*
Accepted: *09.06.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.713-007.64
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-80-88

Изучение аберраций волнового фронта роговицы в отдаленном периоде после ультрафиолетового кросслинкинга по модифицированному Пироговскому протоколу

А.А. Голяков, Р.Р. Файзрахманов, М.М. Шишкин, Т.С. Кузнецова, К.И. Бежецкая

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

Цель. Исследовать изменение роговичных аберраций у пациентов с кератоконусом после кросслинкинга роговицы по Пироговскому протоколу и разработать классификацию с учетом аберраций.

Материал и методы. Обследованы и пролечены 124 пациента (124 глаза) с прогрессирующим кератоконусом I–II стадии по Пироговскому протоколу. Пациентам до лечения и через 1, 3, 6, 12 и 24 месяцев после лечения проводили визометрию, рефрактометрию, кератометрию, кератопахиметрию, кератотопографию, аберрометрию и оптическую когерентную томографию роговицы.

Результаты. С учетом предоперационного показателя роговичных аберраций и послеоперационной остроты зрения пациенты ретроспективно были поделены на 3 группы. В 1-й группе были пациенты с предоперационным интегральным индексом аберраций (ИИА) менее 10 мкм и послеоперационной некорригированной остротой зрения (НКОЗ) 0,8–1,0, максимальной корригированной остротой зрения (МКОЗ) 1,0. Во 2-й группе были пациенты с предоперационным ИИА 11–20 мкм и послеоперационной МКОЗ 0,8–1,0. В 3-й группе были пациенты с предоперационным ИИА более 21 мкм или показателями аберрации астигматизма или комы более 15 мкм и послеоперационной МКОЗ 0,7 и ниже. Анализ аберраций выявил выраженную положительную динамику в 1-й и 2-й группах. У пациентов 1-й группы наблюдалось снижение призмы с 16,49±6,98 до 8,82±3,37 мкм, астигматизма — с 3,98±2,51 до 3,63±2,39 мкм, комы — с 4,69±2,20 до 3,16±1,30 мкм, индекса аберраций — с 5,64±2,02 до 3,74±1,29 ($p<0,05$). Во 2-й группе отмечено уменьшение призмы с 38,52±11,65 до 18,38±5,96 мкм, астигматизма — с 11,15±4,51 до 8,01±3,77 мкм, комы — с 10,77±4,51 до 6,71±3,77 мкм, индекса аберраций — с 13,63±2,73 до 7,98±1,77 ($p<0,05$). В 3-й группе изменения менее выраженные: призма снизилась с 51,38±21,02 до 37,78±18,51 мкм, астигматизм — с 18,10±4,23 до 15,34±4,35 мкм, кома — с 15,11±7,00 до 11,74±6,76 мкм, индекс аберраций — с 22,03±4,67 до 15,32±4,48 ($p<0,05$). Наибольшее улучшение НКОЗ и МКОЗ за 2 года наблюдалось в 1-й группе: НКОЗ до операции — с 0,24±0,21, после операции — 0,82±0,22, МКОЗ — с 0,81±0,18 до 1,00±0,00 соответственно. Во 2-группе НКОЗ улучшилась с 0,18±0,15 до 0,55±0,29, МКОЗ — с 0,51±0,17 до 0,92±0,08 после лечения. В 3-й группе прирост НКОЗ и МКОЗ был минимальным: с 0,10±0,07 до 0,26±0,20 и с 0,33±0,16 до 0,55±0,10 соответственно. Разработана классификация кератоконуса, позволяющая с учетом предоперационных аберраций давать прогноз по остроте зрения после лечения по Пироговскому протоколу.

Выводы. Пироговский протокол продемонстрировал безопасность и эффективность. За счет снижения уровня роговичных аберраций улучшается зрение пациентов. Предложенная классификации позволяет дать прогноз по остроте зрения после лечения.

Ключевые слова: *кератоконус, аберрации, фоторефракционная кератэктомия, кросслинкинг, Кераскан, Микроскан*

Для цитирования: Голяков А.А., Файзрахманов Р.Р., Шишкин М.М., Кузнецова Т.С., Бежецкая К.И. Изучение аберраций волнового фронта роговицы в отдаленном периоде после ультрафиолетового кросслинкинга по модифицированному Пироговскому протоколу *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 80–88. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-80-88

Автор, ответственный за переписку: Голяков Алексей Александрович, dr.alex.07@mail.ru

© Голяков А.А., Файзрахманов Р.Р., Шишкин М.М., Кузнецова Т.С., Бежецкая К.И., 2026

Original article

Study of corneal wavefront aberrations in the remote period after ultraviolet crosslinking using the modified Pirogov protocol

A.A. Golyakov, R.R. Faizrakhmanov, M.M. Shishkin, T.S. Kuznetsova, K.I. Bezhetskaya

National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective. To investigate changes in corneal aberrations in patients with keratoconus after treatment according to the Pirogov protocol and to develop a classification based on aberrations.

Material and methods. 124 patients (124 eyes) with progressive stage I–II keratoconus were examined and treated according to the Pirogov protocol. Patients underwent visometry, refractometry, keratometry, keratopachimetry, keratotopography, aberrometry, and OCT of the cornea before, after, and after 1, 3, 6, 12, and 24 months of treatment.

Results. Taking into account the preoperative corneal aberration index and postoperative visual acuity, the patients were retrospectively divided into three groups. The first group included patients with a preoperative integral aberration index (IIA) of less than 10 microns and a postoperative UCVA of 0.8–1.0, BCVA 1.0. The second group included patients with preoperative IIA of 11–20 microns and postoperative BCVA of 0.8–1.0. The third group included patients with preoperative IIA of more than 21 microns or astigmatism or coma aberration of more than 15 microns and postoperative BCVA of 0.7 and lower. The analysis of aberrations revealed pronounced positive dynamics in groups 1 and 2. In patients of group 1, there was a decrease in the prism from 16.49±6.98 to 8.82±3.37 μm, astigmatism from 3.98±2.51 to 3.63±2.39 μm, coma from 4.69±2.20 to 3.16±1.30 μm, and the aberration index from 5.64±2.02 to 3.74±1.29 ($p<0.05$). The second group showed a decrease in the prism from 38.52±11.65 to 18.38±5.96 μm, astigmatism from 11.15±4.51 to 8.01±3.77 μm, coma from 10.77±4.51 to 6.71±3.77 μm, aberration index from 13.63±2.73 to 7.98±1.77 ($p<0.05$). In group 3, the changes were less pronounced: the prism decreased from 51.38±21.02 to 37.78±18.51 μm, astigmatism from 18.10±4.23 to 15.34±4.35 μm, coma from 15.11±7.00 to 11.74±6.76 μm, the aberration index from 22.03±4.67 to 15.32±4.48 ($p<0.05$). The largest Improvement of UCVA and BCVA over 2 years was observed in group 1: from 0.24±0.21 to 0.82±0.22 and from 0.81±0.18 to 1.00±0.00, respectively. In group 2, UCVA improved from 0.18±0.15 to 0.55±0.29, and UCVA from 0.51±0.17 to 0.92±0.08. In group 3, the increase in UCVA and BCVA was minimal: from 0.10±0.07 to 0.26±0.20 and from 0.33±0.16 to 0.55±0.10, respectively. A classification of keratoconus has been developed, which makes it possible, taking into account preoperative aberrations, to predict visual acuity after treatment according to the Pirogov protocol.

Conclusion. The Pirogov Protocol has demonstrated safety and effectiveness. By reducing the level of corneal aberrations, the quality of patients' vision is improved. The proposed classification makes it possible to predict visual acuity after treatment.

Keywords: *keratoconus, aberrations, photorefractive keratectomy, crosslinking, Kerascan, Microscan*

For citation: Golyakov A.A., Faizrakhmanov R.R., Shishkin M.M., Kuznetsova T.S., Bezhetskaya K.I. Study of corneal wavefront aberrations in the long-term period after ultraviolet crosslinking using the Modified Pirogov Protocol. *Point of View. East–West.* 2026;13(3): 80–88. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-80-88

Corresponding author: Alexey A. Golyakov, dr.alex.07@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Острота зрения зависит от разрешающей способности сетчатки и отклонений в оптической системе глаза. Такие отклонения в оптической физике называются аберрациями (от латинского aberrare — уклоняться, заблуждаться). Аберрация оптической системы — любое угловое отклонение узкого параллельного пучка света от точки идеального пересечения с сетчаткой в центре фовеолы при его прохождении через всю оптическую систему глаза [1].

Выделяют аберрации низшего и высшего порядка. К аберрациям низшего порядка относятся миопия (близорукость), гиперметропия (дальнозоркость) и астигматизм. Эти нарушения рефракции легко корректируются с помощью очков, контактных линз или рефракционной хирургии. К аберрации высшего порядка относят сферическую аберрацию, кому, трефойл и квадрофойл и др. Эти аберрации нельзя полностью исправить с помощью очков или контактных линз, и они могут вызывать жалобы пациентов на ореолы вокруг источников света, блики и снижение контрастности зрения, особенно в условиях низкой освещенности.

Изучение отклонения волнового фронта в глазу в настоящее время широко применяется в оптометрии, в катарактальной и кераторефракционной хирургии. Асимметрия, децентрация и нерегулярность поверхности роговицы могут быть хорошо описаны с помощью аберраций [2, 3].

Изучение аберраций волнового фронта может использоваться в диагностических целях, таких как прогнозирование зрительных возможностей [4].

Отклонения волнового фронта в оптической физике описываются с помощью аппроксимации аберраций в виде полиномов Цернике, что позволяет разложить сложную и нерегулярную оптику на ряд математически более простых компонентов [5, 6].

Анализ ошибки волнового фронта может быть выполнен для оптики всего глаза или для оптики отдельных компонентов или поверхностей глаза, например, для передней поверхности роговицы, что имеет важное значение в рефракционной хирургии, для оценки остроты зрения и диагностики заболеваний.

Особую клиническую значимость анализ аберраций приобретает в диагностике и мониторинге эктатических заболеваний роговицы, в первую очередь при ке-

ратоконусе. При данном заболевании биомеханическое ослабление роговицы приводит к ее прогрессирующему истончению, деформации и выпячиванию, что вызывает грубые нарушения ее оптических свойств. Формируется неправильный астигматизм и увеличиваются роговичные аберрации, которые снижают максимальную корригированную остроту зрения (МКОЗ) [7].

Основной причиной снижения остроты зрения при кератоконусе является увеличение световых аберраций. Этот факт частично объясняет, почему ни одна из существующих классификаций, основанных преимущественно на морфологических параметрах роговицы, не удовлетворяет требованиям специалистов, занимающихся данной патологией.

Раннее в литературе при кератоконусе описывалось в основном влияние аберраций высшего порядка Z31 (Coma), Z33 (Trefoil), Z40 (Spherical Aberration), Z44 (Quartrofoil), Z55 (Secondari coma) [8, 9]. При этом аберрации роговицы при кератоконусе изучены не в полной мере.

Очевидно, что помимо аберраций высшего порядка, аберрации низшего порядка Z01 (Tilt) и Z02 (Astigmatism) также вносят весомый вклад в снижение МКОЗ у больных с кератоконусом.

Современным стандартом лечения, направленным на стабилизацию прогрессирования кератоконуса, является ультрафиолетовый (УФ) кросслинкинг роговицы, выполняемый по Дрезденскому протоколу.

Ранее мы опубликовали сравнение Дрезденского и Пироговского протокола и в проведенном исследовании продемонстрировали безопасность и эффективность последнего [10]. В нынешней статье мы ретроспективно исследовали роговичные аберрации у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу. Пациентам выполняли УФ-кросслинкинг с персонализированной фоторефракционной кератэктомией (ФРК) на отечественном эксимерном лазере «Микроскан Визум» (патент РФ № 2814093).

ЦЕЛЬ

Исследовать изменение роговичных аберраций у пациентов с кератоконусом, пролеченных по Пироговскому протоколу кросслинкинга, и на основании этого разработать классификацию кератоконуса с учетом аберраций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На базе Центра офтальмологии ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России были обследованы и пролечены 124 пациента (124 глаза) с прогрессирующим кератоконусом I–II стадии (по M. Amsler-Krumeich) по Пироговскому протоколу (одновременной персонализированной ФРК с УФ-кросслинкингом).

Критерии включения: мужчины и женщины в возрасте от 18 до 45 лет с диагнозом: прогрессирующий кератоконус I–II стадии (по M. Amsler-Krumeich). Кератоконус считался прогрессирующим, если максимальное значение кератометрии по данным кератотопограммы увеличивалось более, чем на 1 дптр или уменьшалась толщина роговицы более чем на 10% в течение 12 месяцев.

Критерии исключения: наличие тяжелых сопутствующих офтальмологических и соматических заболеваний, воспалительные заболевания глаз в стадии обострения.

Всем пациентам проводилось стандартное офтальмологическое обследование, включающее визометрию, рефрактометрию, кератометрию, кератопахиметрию, кератотопографию, аберраметрию и оптическую когерентную томографию (ОКТ) роговицы перед операцией и на сроках 1 месяц, 3 месяца, 6 месяцев, 1 год и 2 года после хирургического вмешательства.

Топография роговицы исследовалась с помощью кератотопографа Tomey TSM-5 с Шаймпфлюг-камерой. Каждая топографическая карта анализировалась с помощью программного обеспечения Кераскан. В режиме планирования операции программа Кераскан обеспечивает следующее преимущество: она анализирует аберрации роговицы, представляя их в виде полиномов Цернике для стандартизированной апертуры 6,5 мм. Этот подход гарантирует высокую воспроизводимость результатов, делая их независимыми от физиологических вариаций диаметра зрачка пациента и оптических свойств его хрусталика. Чтобы избежать неправильного толкования результатов аберраций глаза или роговицы при сравнении глаз с разными размерами зрачка или применением разных порядков расширения Цернике, данный подход использует простые математические методы интерполяции на основе нормальных данных для быстрого определения клинической значимости аберраций, не заботясь о ширине зрачка и порядке расширения. Были изучены аберрации низших порядков: Z11 (Tilt), Z20 (Defocus), Z22 (Astigmatism), а также высших порядков: Z31 (Coma), Z33 (Trefoil), Z40 (Spherical Aberration), Z44 (Quartrofoil), Z55 (Secondari coma) по классификации полиномов Цернике. Величина аберрации измерялась в микронах (μm).

Пироговский протокол кросслинкинга роговицы выполняли одномоментно в два этапа. На первом этапе проводили персонализированную эксимерлазерную кератэктомию на отечественном лазере «Микроскан Визум» с помощью программного обеспечения «Кераскан» и данных кератопограмм, полученных с помощью кератотопографа Tomey TMS-5. На этапе планирования операции для программирования оптимального профиля абляции уменьшали параметр «диаметр оптической зоны» с 6,0–6,5 до 4,0 мм, параметр «диаметр зоны абляции» оставляли в пределах 7,9–8,4 мм. Нами учитывались данные субъективной коррекции при программировании параметров операции. Глубину абляции регулировали от 100 до 33% от возможного с помощью параметра «неполная абляция», чтобы достоверно испарить строму до допустимых значений, а именно не менее 350 мкм [11]. Интраоперационно ультразвуковым пахиметром измеряли толщину стромы и динамику увеличения ее толщины за счет отека. Для получения безопасных 400 мкм минимальной толщины стромы перед УФ-излучением использовали 0,25% гипоосмолярный раствор Рибофлавина [12, 13].

Вторым этапом выполняли УФ-кросслинкинг роговичного коллагена с использованием системы УФ-из-

лучения «Уфалинк» (Россия) с длиной волны 365±5 нм и плотностью излучения 3,0 мВт/см² с экспозицией УФ-облучения 30 мин. После операции накладывали мягкую контактную линзу на поверхность роговицы. В послеоперационном периоде местно назначали инстилляции антибактериальных, кортикостероидных, репаративных препаратов.

Анализ аберраций роговицы выполнялся ретроспективно для оценки динамики роговичных аберраций и остроты зрения.

Статистический анализ проводился в программе Statistica 10 (Statsoft) с использованием непараметрического метода анализа связанных переменных с применением критерия Уилкоксона. Статистическая значимость различий для проверяемых гипотез принималась при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Помимо аберраций высших порядков важное значение для качества зрения пациентов при кератоконусе имеют аберрации низших порядков: Z11 (Tilt/призма/наклон), Z22 (Astigmatism). На основании трех самых значимых аберраций (призма, астигматизм и кома) мы разработали интегральный индекс аберраций (ИИА), который с высокой достоверностью позволяет прогнозировать результаты лечения.

ИИА = ((аберрация призма / 2) + аберрация астигматизм + аберрация кома) / 3.

К примеру, пациент, у которого уровень аберрации призма равен 42 мкм, аберрации астигматизм — 22 мкм и кома — 15 мкм. ИИА в таком случае равен 19,33, что позволяет отнести такого пациента в группу пациентов с 3-й степенью, без гарантий высоких зрительных функций (без достижения МКОЗ 0,8–1,0).

Ретроспективно на основании полученных результатов нами была выявлена закономерность по предоперационному показателю ИИА и послеоперационной остроте зрения, все пациенты были разделены на 3 группы по степеням: 1-я группа с 1-й степенью (40 глаз) с ИИА до 10 мкм, после проведенного лечения получили НКОЗ 0,8–1,0, МКОЗ 1,0; 2-я группа со 2-й степенью (62 глаза) с ИИА от 11 до 20 мкм, получили МКОЗ 0,8–1,0; 3-я группа с 3-й степенью (22 глаза) с ИИА больше 21 мкм и/или показателями аберрации астигматизма или комы более 15 мкм, МКОЗ после проведенного лечения была на уровне 0,7 и ниже.

Предлагаемая классификация кератоконуса с делением по степеням ИИА и прогнозом по остроте зрения после лечения по Пироговскому протоколу представлена в *таблице 1*.

Например, с учетом нашей классификации диагноз пациента может выглядеть следующим образом: Кератоконус 2-й стадии, 1-й степени по ИИА, где 1-я степень по ИИА позволяет прогнозировать высокие зрительные функции (НКОЗ 0,8–1,0, МКОЗ 1,0) после проведенного лечения по Пироговскому протоколу.

В *таблице 2* представлена динамика остроты зрения, рефракции, кератометрии, роговичного астигматизма и кератометрии задней поверхности роговицы у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу с делением по степеням ИИА.

Наибольшее улучшение НКОЗ наблюдалось в 1-й группе: с 0,24±0,21 до 0,82±0,22 спустя 2 года ($p<0,05$). Во 2-группе НКОЗ улучшилась с 0,18±0,15 до 0,55±0,29 ($p<0,05$). В 3-й группе прирост НКОЗ был минимальным: с 0,10±0,07 до 0,26±0,20 ($p<0,05$). МКОЗ так же улучшилась во всех группах. В 1-й группе МКОЗ уже через год достоверно повысилась с 0,81±0,18 до 1,00±0,00 ($p<0,05$), сохраняя 100% результат через 2 года. Во 2-й группе увеличение МКОЗ составило с 0,51±0,17 до 0,92±0,08 ($p<0,05$), показывая высокие зрительные функции. В 3-й группе улучшение МКОЗ также было минимальным с 0,33±0,16 до 0,55±0,10 ($p<0,05$).

Параметры рефракции, такие как сферический и цилиндрический компоненты, сфероэквивалент, с разной эффективностью улучшились во всех группах. У пациентов 1-й группы снижение сферического компонента составило 1,66 дптр ($p<0,05$) (с −2,50±2,35 до −0,84±1,35), во 2-й группе — 2,27 дптр ($p<0,05$) (с −3,56±2,52 до −1,29±1,58), и в 3-й группе — 2,27 дптр ($p<0,05$) (с −3,93±2,22 до −1,66±2,11). Цилиндриче-

Таблица 1

Классификация кератоконуса с делением по степеням интегрального индекса аберраций и прогнозом по остроте зрения после лечения по Пироговскому протоколу

Table 1

Classification of keratoconus by degrees of the integral index of aberration and prognosis of visual acuity after treatment according to the Pirogov protocol

Степень Degree	Интегральный индекс аберраций до операции Integral index of aberrations before surgery	Острота зрения после лечения по Пироговскому протоколу Visual acuity after Pirogov protocol treatment
1-я степень 1 degree	⩽10 мкм / μm	НКОЗ / UCVA 0,8–1,0 МКОЗ / BCVA 1,0
2-я степень 2 degree	11–20 мкм / μm	МКОЗ / BCVA 0,8–1,0
3-я степень 3 degree	⩾21 мкм и/или показатели аберрации астигматизма или комы >15 мкм / ⩾21 μm and/or astigmatism or coma aberration values >15 μm	МКОЗ / BCVA ⩽0,7

Таблица 2

Динамика остроты зрения, рефракции, кератометрии, роговичного астигматизма и кератометрии задней поверхности роговицы у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу с делением по степеням интегрального индекса аберраций

Table 2

The dynamics of visual acuity, refraction, keratometry, corneal astigmatism and keratometry of the posterior surface of the cornea in patients treated according to the Pirogov protocol divided by degrees of the integral index of aberration

Параметр Parameter	Степень Degree	До операции PreOp	1 мес. 1 month	3 мес. 3 month	6 мес. 6 month	1 год 1 year	2 года 2 year
НКОЗ UCVA	1-я степень 1 degree	0,24±0,21	0,67±0,21	0,76±0,22	0,80±0,23	0,81±0,22	0,82±0,22
	2-я степень 2 degree	0,18±0,15	0,51±0,23	0,51±0,29	0,56±0,30	0,55±0,29	0,55±0,29
	3-я степень 3 degree	0,10±0,07	0,22±0,13	0,23±0,19	0,25±0,19	0,26±0,20	0,26±0,20
МКОЗ BSCVA	1-я степень 1 degree	0,81±0,18	0,92±0,10	0,96±0,08	0,98±0,07	1,00±0,00	1,00±0,00
	2-я степень 2 degree	0,51±0,17	0,74±0,18	0,81±0,16	0,90±0,13	0,91±0,10	0,92±0,08
	3-я степень 3 degree	0,33±0,16	0,49±0,09	0,50±0,13	0,49±0,12	0,55±0,10	0,55±0,10
Сферический компонент, дптр Spherical component, D	1-я степень 1 degree	−2,50±2,35	−0,24±1,51	−0,61±1,37	−0,84±1,41	−0,80±1,38	−0,84±1,35
	2-я степень 2 degree	−3,56±2,52	−0,99±1,84	−0,90±1,73	−1,24±1,71	−1,30±1,65	−1,27±1,56
	3-я степень 3 degree	−3,93±2,22	−1,16±1,67	−1,50±1,94	−1,73±2,14	−1,68±2,10	−1,66±2,11
Цилиндрический компонент, дптр Cylinder component, D	1-я степень 1 degree	−1,34±0,77	−1,09±0,85	−0,89±0,55	−0,89±0,47	−0,85±0,53	−0,88±0,55
	2-я степень 2 degree	−3,17±1,83	−1,69±0,96	−1,67±0,99	−1,60±0,92	−1,51±0,88	−1,55±0,85
	3-я степень 3 degree	−6,41±2,35	−3,55±1,88	−4,02±1,73	−4,16±1,77	−4,02±1,59	−3,98±1,56
Сфероэквивалент, дптр S.E., D	1-я степень 1 degree	−3,24±2,37	−0,80±1,35	−1,09±1,37	−1,32±1,46	−1,26±1,39	−1,31±1,36
	2-я степень 2 degree	−5,19±2,29	−1,89±1,80	−1,77±1,68	−1,90±1,37	−2,03±1,57	−2,05±1,53
	3-я степень 3 degree	−7,14±2,31	−3,11±2,28	−3,52±2,36	−3,77±2,43	−3,73±2,28	−3,70±2,32
Кератометрия средняя, дптр Cornea AVE, D	1-я степень 1 degree	44,54±1,56	42,11±1,92	42,45±1,73	42,61±1,65	42,67±1,55	42,70±1,56
	2-я степень 2 degree	48,40±1,99	44,89±1,77	44,97±1,58	45,17±1,93	45,19±1,61	45,23±1,59
	3-я степень 3 degree	49,34±2,79	46,34±3,97	46,36±3,34	46,45±3,07	46,45±3,05	46,45±3,05
Астигматизм роговицы, дптр Cornea cyl, D	1-я степень 1 degree	−1,45±0,81	−1,32±0,90	−1,11±0,66	−1,09±0,63	−1,11±0,73	−1,11±0,70
	2-я степень 2 degree	−3,66±1,71	−2,10±0,95	−2,09±1,07	−2,26±1,13	−2,14±0,97	−2,12±0,97
	3-я степень 3 degree	−6,34±2,20	−4,75±1,74	−4,48±1,44	−4,39±1,55	−4,30±1,39	−4,30±1,39
Задняя кривизна роговицы, дптр Cornea post AVE, D	1-я степень 1 degree	−6,39±0,29	−6,38±0,31	−6,44±0,34	−6,44±0,30	−6,41±0,33	−6,40±0,33
	2-я степень 2 degree	−7,17±0,46	−7,22±0,51	−7,16±0,49	−7,16±0,48	−7,17±0,49	−7,19±0,49
	3-я степень 3 degree	−7,27±0,43	−7,48±0,56	−7,49±0,58	−7,37±0,51	−7,35±0,45	−7,33±0,45

ский компонент в 1-й группе уменьшился с −1,34±0,77 до −0,88±0,55 (p<0,05), во 2-й группе — с −3,17±1,83 до −1,55±0,85 (p<0,05), в 3-й группе — с −6,41±2,35 до −3,98±1,56 (p<0,05). Сфероэквивалент рефракции за 2 года уменьшился на 59,2% (p<0,05) в 1-й группе исследования, на 60,5% (p<0,05) во 2-й группе и на 48,2% (p<0,05) в 3-й группе.

В 1-й группе средняя оптическая сила роговицы снизилась с 44,54±1,56 до 42,70±1,56 (p<0,05) в течение 2 лет наблюдения, во 2-й группе — с 48,40±1,99 до 45,23±1,59 (p<0,05). В группе 3-й степени средняя оптическая сила роговицы уменьшилась с 49,34±2,79 до 46,45±3,05 (p<0,05). Цилиндрический компонент роговицы снизился в 1-й группе с −1,45±0,81 до −1,11±0,70 (p<0,05),

Таблица 3

Динамика роговичных индексов у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу с делением по степеням интегрального индекса аберраций

Table 3

Dynamics of corneal indices in patients treated according to the Pirogov protocol divided by degrees of the integral index of aberration

Параметр Parameter	Степень Degree	До операции PreOp	1 мес. 1 month	3 мес. 3 month	6 мес. 6 month	1 год 1 year	2 года 2 year
KCI	1-я степень 1 degree	40,13±20,34	9,48±12,96	7,69±12,94	9,48±12,69	9,53±12,98	7,97±11,85
	2-я степень 2 degree	84,39±18,86	34,46±29,04	32,23±26,81	36,55±27,27	39,84±23,81	38,14±24,23
	3-я степень 3 degree	86,93±14,84	69,93±29,30	56,56±36,68	61,79±32,58	62,19±33,07	61,81±32,69
KSI	1-я степень 1 degree	25,95±12,96	7,66±11,08	7,06±10,04	9,65±12,88	7,98±11,61	8,43±10,80
	2-я степень 2 degree	56,01±17,14	39,40±19,36	39,02±21,97	40,87±18,73	40,24±19,51	38,57±18,94
	3-я степень 3 degree	68,61±10,60	54,88±13,88	53,23±19,49	56,24±11,61	56,18±12,83	55,96±12,94
ESI передний / front	1-я степень 1 degree	25,20±19,45	2,40±5,73	3,50±6,53	3,80±6,96	3,80±7,32	3,05±6,53
	2-я степень 2 degree	77,35±16,48	30,24±22,13	30,45±19,01	32,84±20,84	32,19±19,53	30,42±19,90
	3-я степень 3 degree	83,91±15,57	66,48±30,55	57,91±32,14	59,73±31,06	59,91±31,89	59,00±31,35
ESI задний / rear	1-я степень 1 degree	35,10±17,36	34,50±19,20	35,45±20,16	36,00±20,66	34,80±20,42	33,75±19,28
	2-я степень 2 degree	58,90±23,89	60,85±26,46	64,97±21,71	64,16±20,93	63,32±21,26	61,99±20,95
	3-я степень 3 degree	65,18±25,67	69,12±33,15	74,18±26,00	68,82±28,56	69,36±28,77	68,73±29,04
SAI	1-я степень 1 degree	1,29±0,52	0,78±0,33	0,74±0,33	0,81±0,35	0,70±0,33	0,69±0,30
	2-я степень 2 degree	2,53±1,24	1,10±0,45	1,05±0,35	1,06±0,50	1,02±0,40	0,97±0,44
	3-я степень 3 degree	3,23±1,30	2,82±1,71	2,20±1,55	2,22±1,46	2,09±0,99	2,03±0,99
SRI	1-я степень 1 degree	0,56±0,32	0,39±0,32	0,31±0,16	0,35±0,29	0,31±0,24	0,31±0,22
	2-я степень 2 degree	0,95±0,32	0,63±0,30	0,49±0,27	0,51±0,28	0,50±0,22	0,48±0,26
	3-я степень 3 degree	1,17±0,33	1,04±0,41	1,06±0,46	0,99±0,42	0,98±0,38	0,99±0,39

во 2-й группе — с −3,66±1,71 до −2,12±0,97 (p<0,05), в 3-й группе — с −6,34±2,20 до −4,30±1,39 (p<0,05).

У пациентов 1-й и 2-й групп к 6 месяцам отмечается выраженное уменьшение средней оптической силы роговицы с последующей стабилизацией. В 3-й группе изменение коррелирующих показателей менее выражено; сохраняется высокий цилиндрический компонент роговицы.

Показатели кератометрии задней поверхности роговицы во всех группах за 2 года наблюдения в сравнении с данными до операции не показали значимых изменений.

В *таблице 3* представлена динамика роговичных индексов у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу с делением по степеням ИИА.

В 1-й группе отмечено наибольшее улучшение индексов кератоконуса. Индекс KCI снизился с 40,13±20,34 до 7,97±11,85 (p<0,05), передний ESI — с 25,20±19,45 до 3,05±6,53 (p<0,05), KSI — с 25,95±12,96 до 8,43±10,80 (p<0,05) к 2 годам.

У пациентов 2-й группы наблюдалось выраженное, но менее интенсивное снижение индексов: KCI уменьшился с 84,39±18,86 до 38,14±24,23 (p<0,05), а передний ESI — с 77,35±16,48 до 30,42±19,90 (p<0,05).

В 3-й группе зафиксировано незначительное улучшение индексов с сохранением высоких значений после операции: KCI снизился с 86,93±14,84 до 61,81±32,69 (p<0,05), а передний ESI — с 83,91±15,57 до 59,00±31,35 (p<0,05). При этом показатели задней поверхности роговицы (ESI задний) оставались стабильными во всех группах.

В *таблице 4* представлена динамика роговичных аберраций у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу с делением по степеням ИИА.

Анализ волновых аберраций выявил выраженную положительную динамику в 1-й и 2-й группах. У пациентов 1-й группы наблюдалось значительное снижение призмы — с 16,49±6,98 до 8,82±3,37 мкм (p<0,05), астигматизма — с 3,98±2,51 до 3,63±2,39 мкм (p<0,05) и комы — с 4,69±2,20 до 3,16±1,30 мкм (p<0,05) к 2 годам. Это сопровождалось уменьшением ИИА с 5,64±2,02 до 3,74±1,29 (p<0,05), что коррелирует с улучшением оптических свойств роговицы.

В 2-й группе также отмечено значимое улучшение: призма — с 38,52±11,65 до 18,38±5,96 мкм (p<0,05),

Таблица 4

Динамика роговичных аберраций у пациентов, пролеченных по Пироговскому протоколу с делением по степеням интегрального индекса аберраций

Table 4

Dynamics of corneal aberrations in patients treated according to the Pirogov protocol divided by degrees of the integral index of aberrations

Параметр Parameter	Степень Degree	До операции PreOp	1 мес. 1 month	3 мес. 3 month	6 мес. 6 month	1 год 1 year	2 года 2 year
Призма Tilt	1-я степень 1 degree	16,49±6,98	8,56±3,10	8,31±3,23	8,84±3,17	8,86±3,35	8,82±3,37
	2-я степень 2 degree	38,52±11,65	17,44±7,39	17,50±6,63	18,41±7,10	18,17±6,09	18,38±5,96
	3-я степень 3 degree	51,38±21,02	36,44±20,16	37,07±22,13	36,11±19,36	36,83±18,39	37,78±18,51
Астигматизм Astigm	1-я степень 1 degree	3,98±2,51	3,82±2,26	3,54±2,16	3,62±2,11	3,55±2,22	3,63±2,39
	2-я степень 2 degree	11,15±4,51	7,69±3,47	8,14±3,82	8,01±3,84	8,14±3,84	8,01±3,77
	3-я степень 3 degree	18,10±4,23	14,44±4,81	14,77±4,95	15,36±3,71	15,29±4,35	15,34±4,35
Кома Coma	1-я степень 1 degree	4,69±2,20	3,32±1,02	3,10±1,08	3,25±1,35	3,21±1,28	3,16±1,30
	2-я степень 2 degree	10,77±4,51	6,68±3,47	6,66±3,82	6,80±3,84	6,75±3,84	6,71±3,77
	3-я степень 3 degree	15,11±7,00	11,82±6,93	12,14±7,09	11,99±6,95	11,88±6,90	11,74±6,76
Интегральный индекс аберраций Integral index of aberrations	1-я степень 1 degree	5,64±2,02	3,81±1,01	3,60±1,09	3,76±1,23	3,73±1,24	3,74±1,29
	2-я степень 2 degree	13,63±2,73	7,69±1,91	7,87±2,05	7,99±1,99	8,00±1,82	7,98±1,77
	3-я степень 3 degree	22,03±4,67	14,83±4,58	15,15±4,98	15,14±4,83	15,19±4,53	15,32±4,48

астигматизм — с 11,15±4,51 до 8,01±3,77 мкм (p<0,05), кома снизилась с 10,77±4,51 до 6,71±3,77 мкм (p<0,05). ИИА уменьшился с 13,63±2,73 до 7,98±1,77 (p<0,05), демонстрируя сохранение положительной динамики, хотя и с более высокими конечными значениями по сравнению с 1-й группой.

В 3-й группе изменения были менее выраженными: призма снизилась с 51,38±21,02 до 37,78±18,51 мкм (p<0,05), астигматизм — с 18,10±4,23 до 15,34±4,35 мкм (p<0,05), кома — с 15,11±7,00 до 11,74±6,76 мкм (p<0,05). ИИА уменьшился с 22,03±4,67 до 15,32±4,48 (p<0,05). Аберрации после операции остались на высоком уровне, что привело к незначительному улучшению зрения.

Улучшения показателей аберраций по данным аберрометрии наблюдались в первые 3–6 месяцев после операции во всех группах.

После применения Пироговского протокола кросслинкинга роговицы ни у одного пациента не отмечено ухудшения данных кератометрии, роговичных индексов и параметров зрения по сравнению с дооперационными значениями.

ВЫВОДЫ

Лечение кератоконуса с применением Пироговского протокола, включающего УФ-кросслинкинг роговицы и персонализированную трансэпителиальную ФРК с использованием отечественного эксимерного лазера «Микроскан Визум», продемонстрировало безопасность и эффективность. Достоверное уменьшение показателей кератометрии, данных рефракции, улучшение значений роговичных индексов, повышение остроты зрения свидетельствует об улучшении оптических свойств роговицы. За счет снижения уровня роговичных аберраций повышается острота зрения пациентов.

На основании нашего исследования мы предлагаем классификацию кератоконуса, которая, учитывая дооперационные аберрации роговицы, дает возможность прогнозировать результаты по зрению после лечения по Пироговскому протоколу.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Балашевич Л.И. Рефракционная хирургия. СПб.: СПбМАПО; 2002.
Balashevich LI. Refractive surgery. SPb.: SPbMAPO; 2002. (In Russ.).
2. Alio J, Galai A, Montalban R, Pinero D. Corneal wavefront-guided LASIK retreatments for correction of highly aberrated corneas following refractive surgery. *J Refract Surg.* 2007;23: 760–73. https://doi.org/10.3928/1081-597X-20071001-05
3. Randleman JB, Thompson KP, Staver PR. Wavefront aberrations from corneal ectasia after laser in situ keratomileusis demonstrated by InterWave aberrometry. *J Refract Surg.* 2004;20: 170–5. https://doi.org/10.3928/1081-597X-20040301-13
4. Watson AB, Ahumada AJ Jr. Predicting visual acuity from wavefront aberrations. *J Vis.* 2008;8(4): 17.1–19. https://doi.org/10.1167/8.4.17
5. Liang J, Grimm B, Goetz S, Bille JF. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *J Opt Soc Am A.* 1994;11: 1949–57. https://doi.org/10.1364/josaa.11.001949
6. Schweigerling J, Grievenkamp JE, Miller JM. Representation of videokeratoscopic height data with Zernike polynomials. *J Opt Soc A.* 1995;12: 2105–13. https://doi.org/10.1364/josaa.12.002105
7. Negishi K, Kumanomido T, Utsumi Y, Tsubota K. Effect of higher-order aberrations on visual function in keratoconic eyes with a rigid gas permeable contact lens. *Am J Ophthalmol.* 2007;144(6): 924–9. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2007.08.004
8. Аверич В.В., Егорова Г.Б. Оптические аберрации глаза при кератоконусе. *Клиническая офтальмология.* 2022;22(3): 168–74.
Averich VV, Egorova GB. Ocular aberrations in keratoconus. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology.* 2022;22(3): 168–74. (In Russ.). https://doi.org/10.32364/2311-7729-2022-22-3-168-174
9. Erdinest N, London N, Landau D, et al. Higher Order Aberrations in Keratoconus. *Int Ophthalmol.* 2024;44(1): 172. https://doi.org/10.1007/s10792-024-03118-5
10. Голяков А.А., Файзрахманов Р.Р., Шишкин М.М., Тимофеев Ю.С. Эффективность и безопасность нового комбинированного способа лечения кератоконуса с помощью ультрафиолетового кросслинкинга коллагена роговицы в сочетании с персонализированной трансэпителиальной фоторефракционной кератэктомией. Пироговский протокол. Российский офтальмологический журнал. 2025;18(2): 34–42.
Golyakov AA, Fayzrakhmanov RR, Shishkin MM, Timofeev YuS. Efficacy and safety of a new combined treatment method of ultraviolet corneal collagen crosslinking in combination with personalized transepithelial photorefractive keratectomy of keratoconus. Pirogovsky protocol. *Russian Ophthalmological Journal.* 2025;18(2): 34–42. (In Russ.).
https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-2-34-42
11. Kontadakis GA, Kankariya VP, Tsoulnaras K, Long-Term Comparison of Simultaneous Topography-Guided Photorefractive Keratectomy Followed by Corneal Cross-linking versus Corneal Cross-linking Alone. *Ophthalmology.* 2016; 123(5): 974–83. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.010
12. Hafezi F, Mrochen M, Iseli HP, Seiler T. Collagen crosslinking with ultraviolet-A and hypoosmolar riboflavin solution in thin corneas. *J Cataract Refract Surg.* 2009;35(4): 621–4. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.10.060
13. Бикбов М.М., Русакова Ю.А., Усубов Э.Л., Рахимова Э.М. Кросслинкинг тонких роговиц: современное видение проблемы. Обзор литературы. *Acta Biomedica Scientifica.* 2020;5(5): 73–80.
Bikbov MM, Rusakova IA, Usubov EL, Rakhimova EM. Crosslinking of Thin Corneas: a Modern Vision of the Problem. Literature Review. *Acta Biomedica Scientifica.* 2020;5(5): 73–80. (In Russ.). https://doi.org/10.29413/ABS.2020-5.5.10

Информация об авторах
Голяков Алексей Александрович — врач-офтальмолог Центра офтальмологии ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Dr.Alex.07@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8803-4218
Файзрахманов Ринат Рустамович — д.м.н., зав. Центром офтальмологии ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» Министерства Здравоохранения Российской Федерации, rinatrf@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4341-3572
Шишкин Михаил Михайлович — д.м.н., профессор, главный офтальмолог Центра Офтальмологии ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, michael94@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5917-6153
Кузнецова Татьяна Сергеевна — к.м.н., врач-офтальмолог, преподаватель кафедры глазных болезней ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, tskuznetsova2013@gmail.com, https://orcid.org/ 0000-0003-4024-6817
Бежецкая Кристина Игоревна — ординатор 2 года кафедры глазных болезней ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, kristina-bezh@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-8174-0100

Information about the authors
Aleksei A. Golyakov — ophthalmologist at the Center of Ophthalmology of the Federal State Budgetary Institution «National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Dr.Alex.07@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8803-4218
Rinat R. Fayzrakhmanov — Dr. of Med. Sci., professor, Head of the Ophthalmology Center of the Federal State Budgetary Institution

«National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, rinatrf@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4341-3572
Mikhail M. Shishkin — Dr. of Med. Sci., professor, Head of the Ophthalmology Center of the Federal State Budgetary Institution «National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, michael94@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5917-6153
Tatyana S. Kuznetsova — PhD, ophthalmologist, Lecturer at the Department of Eye Diseases, National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov of the Ministry of Health of the Russian Federation, tskuznetsova2013@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4024-6817
Kristina I. Bezhetskaya — 2-year resident of the Department of Eye Diseases of the Federal State Budgetary Institution «National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, kristina-bezh@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-8174-0100

Вклад авторов:
Голяков А.А. — сбор и обработка материалов, проведение операций, ведение и обследование пациентов, статистический анализ результатов, написание текста статьи.
Файзрахманов Р.Р. — концепция, написание текста статьи, анализ литературы и результатов.
Шишкин М.М. — научное редактирование, анализ результатов
Кузнецова Т.С. — написание текста статьи, анализ литературы и результатов, статистический анализ результатов.
Бежецкая К.И. — ведение и обследование пациентов, сбор и обработка материалов, написание текста статьи, статистический анализ результатов.

Author's contribution:
Golyakov A.A. — collection and processing of materials, conducting operations, management and examination of patients, statistical analysis of results, writing the text of the article.
Fayzrakhmanov R.R. — concept, writing of the text of the article, analysis of literature and results.
Shishkin M.M. — scientific editing, analysis of results
Kuznetsova T.S. — writing the article, analyzing the literature and results, and conducting statistical analysis of the results.
Bezhetskaya K.I. — management and examination of patients, collection and processing of materials, writing the text of the article, statistical analysis of the results.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторе.
Funding: The authors did not receive a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of Interest: None.

Поступила: *04.12.2025*
Переработана: *29.12.2025*
Принята к печати: *25.02.2026*
Received: *04.12.2025*
Revision: *29.12.2025*
Accepted: *25.02.2026*

Оригинальная статья
УДК 617.713-089.843
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-89-96

Сквозная кератопластика с использованием интрастромального кольца при кератоконусе в эксперименте *ex vivo*

В.А. Сучкова, С.Б. Измайлова, Д.С. Островский, М.Х. Хубецова, А.В. Шацких

ФГАУ «НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

Цель. Первично изучить биосовместимость замкнутого интрастромального кольца из полиметилметакрилата и роговицы, динамику репаративных процессов и характер взаимодействия «имплантат–ткань» в условиях длительного органотипического культивирования кадаверных корнеосклеральных комплексов человека *ex vivo*, изолированных от системных факторов организма.

Материал и методы. В исследовании использованы 9 кадаверных глаз человека (средний возраст доноров 53±4 года), полученных от Глазного тканевого банка ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. Образцы разделены на три группы (по n=3): Опыт 1 — тоннель 10,0 мм + кольцо 8,5 мм; Опыт 2 — тоннель 9,0 мм + кольцо 7,5 мм; Контроль — тоннель 9,0 мм без имплантации кольца. После фемто-ассистированной сквозной кератопластики с одномоментной имплантацией кольца в сформированный карман в резидуальной строме роговицы реципиента выполнялось выкраивание корнеосклерального диска (трепан 16,0 мм). Образцы культивировали 90 суток в среде DMEM/F12 с 5% ЭТС при +37 °C, 5% CO_2. После фиксации проведены: сканирующая электронная микроскопия (JCM-6000 Plus, JEOL), иммуногистохимия (виментин, α-SMA, CD90, CD105, каспазы-7/8, BAX, цитохром C) и световая микроскопия (окраска гематоксилин-эозин на микроскопе Leica DM LB2).

Результаты. Во всех опытных группах наблюдалась активация резидентных кератоцитов (единичные виментин-позитивные клетки на границе «имплантат–строма») и формирование зачатков соединительнотканной капсулы без признаков некроза, апоптоза, миофибробластической трансформации (отсутствие α-SMA) и привлечения мезенхимальных стволовых клеток (CD90/CD105 отрицательно). Сканирующая электронная микроскопия выявила адгезию клеточно-волокнистых структур к поверхности кольца и упорядоченное ремоделирование коллагена. В контрольной группе изменения ограничивались пропитыванием стромы белковым гелем без активного клеточного ответа. Выраженных различий между группами Опыт 1 и Опыт 2 не выявлено.

Выводы. Одномоментная имплантация замкнутого интрастромального кольца в стромальный карман реципиента во время проведения сквозной кератопластики индуцирует физиологический адаптационный ответ без признаков деструкции или патологического фиброза. Полученные данные свидетельствуют о высокой биосовместимости подхода на морфологическом уровне и открывают перспективы для дальнейших доклинических и клинических исследований.

Ключевые слова: *кератоконус, сквозная кератопластика, интрастромальное кольцо, фемтосекундный лазер, роговица*

Для цитирования: Сучкова В.А., Измайлова С.Б., Островский Д.С., Хубецова М.Х., Шацких А.В. Сквозная кератопластика с использованием интрастромального кольца при кератоконусе в эксперименте *ex vivo*. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 89–96. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-89-96

Автор, ответственный за переписку: Сучкова Валерия Алексеевна, 9324val@gmail.com

Original article

Penetrating keratoplasty with intrastromal ring implantation in keratoconus: an *ex vivo* experimental study

V.A. Suchkova, S.B. Izmaylova, D.S. Ostrovsky, M.Kh. Khubetsova, A.V. Shatskikh

National Medical Research Center «Intersectoral Scientific and Technical Complex «Eye Microsurgery' named after S.N. Fyodorov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Purpose. To primarily assess the biocompatibility of a closed polymethyl methacrylate (PMMA) intrastromal ring with the corneal stroma, the dynamics of reparative processes, and the nature of the implant–tissue interaction under long-term organotypic ex vivo cultivation of human cadaveric corneoscleral complexes isolated from systemic organismal factors.

© *Сучкова В.А., Измайлова С.Б., Островский Д.С., Хубецова М.Х., Шацких А.В., 2026*

Material and methods. Nine human cadaveric eyes (mean donor age 53±4 years) were obtained from the Eye Tissue Bank of the S. N. Fedorov National Medical Research Center "MNTK Eye Microsurgery" of the Ministry of Health of the Russian Federation. The samples were divided into three groups (n=3 each): Experiment 1 — 10.0-mm stromal tunnel +8.5-mm ring; Experiment 2 — 9.0-mm stromal tunnel + 7.5-mm ring; Control — 9.0-mm stromal tunnel without ring implantation. Following femtosecond laser-assisted penetrating keratoplasty with simultaneous implantation of the ring into the stromal pocket created within the residual recipient corneal stroma, a corneoscleral disc was trephined (16.0-mm trephine). The samples were cultivated for 90 days in DMEM/F12 medium supplemented with 5% FBS at +37 °C and 5% CO_2. After fixation, scanning electron microscopy (JCM-6000 Plus, JEOL), immunohistochemistry (vimentin, α-SMA, CD90, CD105, caspases-7/8, BAX, cytochrome c), and light microscopy (hematoxylin–eosin staining using a Leica DM LB2 microscope) were performed.
Results. In all experimental groups, activation of resident keratocytes (single vimentin-positive cells at the implant–stroma interface) and the formation of early connective tissue capsule were observed, without signs of necrosis, apoptosis, myofibroblastic transformation (absence of α-SMA expression), or recruitment of mesenchymal stem cells (CD90/CD105 negative). Scanning electron microscopy demonstrated adhesion of cell–fiber structures to the ring surface and orderly collagen remodeling. In the control group, changes were limited to stromal imbibition with a protein gel without an active cellular response. No pronounced differences between Experiment 1 and Experiment 2 were detected.
Conclusions. Simultaneous implantation of a closed intrastromal ring into a stromal pocket of the recipient cornea during penetrating keratoplasty induces a physiological adaptive response without evidence of tissue destruction or pathological fibrosis. The findings indicate high biocompatibility of this approach at the morphological level and support its potential for further preclinical and clinical investigations.
Keywords: *keratoconus, penetrating keratoplasty, intrastromal corneal ring, femtosecond laser, cornea*

For citation: Suchkova V.A., Izmaylova S.B., Ostrovsky D.S., Khubetsova M.Kh., Shatskikh A.V. Penetrating keratoplasty with intrastromal ring implantation in keratoconus: an *ex vivo* experimental study. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 89–96. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-89-96
Corresponding author: Valeriia A. Suchkova, 9324val@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

В последние годы широкое распространение получили методы коррекции посткератопластического астигматизма с помощью имплантации интрастромальных роговичных сегментов или колец (разомкнутых и цельных) [1–5]. Ряд исследований демонстрирует высокую эффективность данной технологии в отношении достижения хороших зрительных, рефракционных и топографических результатов [1–4].

Однако традиционная имплантация сегментов проводится, как правило, в отдаленном послеоперационном периоде — через 1,5–2 года после кератопластики, когда уже сформирован рубец и стабилизирована форма трансплантата. Это существенно ограничивает возможность достижения оптимального рефракционного результата и значительно ухудшает качество жизни пациента в период ожидания коррекции.

В этой связи перспективным и клинически значимым направлением является интраоперационная профилактика посткератопластических аметропий путем одномоментной имплантации интрастромальных сегментов или колец во время кератопластики.

На сегодняшний день выделяют два основных подхода:

- имплантация сегментов или колец в донорский трансплантат [2, 3];
- имплантация интрастромального роговичного кольца в стромальный карман реципиента [4].

Интрастромальные роговичные сегменты применяются в кераторефракционной хирургии уже несколько десятилетий. Гистологические исследования кератоконусных роговиц человека после их имплантации демонстрируют ремоделирование стромы, минимальную клеточную реакцию и отсутствие выраженного воспаления или отторжения [6–8].

В то же время морфологическая оценка безопасности и биосовместимости замкнутых интрастромальных колец, имплантируемых одномоментно с кератопластикой, в литературе практически не представлена.

Таким образом, доклиническая оценка комбинированного подхода — кератопластики с одномоментной имплантацией замкнутого интрастромального кольца — на модели *ex vivo* является актуальной и востребованной задачей.

ЦЕЛЬ

Первично изучить биосовместимость интрастромального кольца и роговицы, динамику репаративных процессов и характер взаимодействия «кольцо–ткань» в контролируемых лабораторных условиях, изолированных от влияния системных факторов организма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В работе использовались кадаверные глаза человека (n=9), полученные от Глазного тканевого банка ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (г. Москва).

Критерии включения: наличие жизнеспособного эндотелия и непригодность роговиц для терапевтической кератопластики (наличие лабораторно подтвержденной инфекционной опасности донора).

Средний возраст доноров составил 53±4 года, соотношение мужчин и женщин — 5:4. Средний временной интервал от момента смерти до начала экспериментальных процедур — 20±3 ч.

Работа с трупным материалом проводилась в соответствии с законодательством Российской Федерации, международными этическими принципами и разрешительными документами.

Методы хирургического моделирования

Все хирургические манипуляции выполнялись в операционном блоке ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (г. Москва).

Кадаверные глаза рандомизированы на три группы (по n=3 в каждой):

- Группа «Опыт 1» — протяженность интрастромального тоннеля 10,0 мм, имплантация кольца диаметром 8,5 мм;
- Группа «Опыт 2» — протяженность тоннеля 9,0 мм, имплантация кольца диаметром 7,5 мм;
- Группа «Контроль» — протяженность тоннеля 9,0 мм, имплантация не проводилась.

Во всех случаях выполняли фемтоассистированную сквозную кератопластику по ранее разработанной технологии [8]. Во всех группах после выполнения соответствующих хирургических этапов (формирование тоннеля при помощи фемтосекундного лазера Femto LDV Z8 на глубине 350 микрон и/или имплантация кольца) для стандартизации образцов проводилось выкраивание корнеосклерального диска. Для этого использовался стандартный трепан диаметром 16,0 мм**.** Полученный комплекс тщательно промывался стерильным сбалансированным солевым раствором для удаления остаточного дебриса.

Органотипическое культивирование

Корнеосклеральные диски помещали в индивидуальные культуральные флаконы объемом 25 см³. Питательная среда: DMEM/F12 («ПанЭко», Россия) с добавлением 5% эмбриональной телячьей сыворотки (HyClone, США), 2 ммоль/л L-глутамина («ПанЭко», Россия) и 1% антибиотико-антимикотической смеси (Sigma-Aldrich, Канада).

Культивирование проводили в инкубаторе NU-5510 (NuAire, США) при +37 °C, 5% CO_2 и влажности 95%. Полная замена среды — каждые 72 ч. Общий срок культивирования — 90 суток (3 месяца).

Методы морфологического анализа

После культивирования образцы фиксировали в 10% нейтральном забуференном формалине (3 ч, +4 °C), рассекали на 4 равноценных фрагмента и распределяли по видам исследования:

1. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).
2. Иммуногистохимический анализ.
3. Гистологическое исследование.

СЭМ проводили на JCM-6000 Plus (JEOL, Япония) после постфиксации, обезвоживания в ацетоне, критической точки сушки CO_2, напыления золота (~5 нм) при 15 кВ.

Иммуногистохимия выполнялась на криосрезах 5 мкм с использованием первичных и флуоресцентно-меченых вторичных антител (Alexa Fluor 488/594, Abcam), докрашиванием ядер Hoechst 33258 и визуализацией на конфокальном микроскопе FluoView FV10i (Olympus, Япония).

Гистологические срезы (3–5 мкм) окрашивали гематоксилином–эозином и изучали на микроскопе Leica DM LB2 (Leica Microsystems, Германия) при увеличениях ×50–400.

Все исследования (органотипическое культивирование, иммуногистохимия, СЭМ) выполнены в Центре фундаментальных и прикладных медико-биологических проблем, гистологическое исследование — в лаборатории патологической анатомии и гистологии глаза ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (г. Москва).

С учетом экспериментального характера исследования и малого объема выборки (n=3 в каждой группе) полученные данные рассматриваются как описательные. Для количественных и полуколичественных показателей приведены медиана и диапазон/типичные значения; формальное применение параметрических критериев не проводилось. При необходимости сравнения выраженности полуколичественных признаков между группами (4-балльная шкала) планировалось использование непараметрического критерия Краскела–Уоллиса, однако из-за малого числа наблюдений статистическая значимость различий не оценивалась, и расчет носит исключительно иллюстративный характер. Обработку данных и построение графиков выполняли в среде Microsoft Excel / GraphPad Prism / Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сканирующая электронная микроскопия

Обзорная СЭМ (ув. ×20) продемонстрировала равномерное формирование интрастромального кармана с правильным расположением имплантата в просвете у всех образцов опытных групп. Имплантат сохранял стабильное положение, признаков смещения, деформации или нарушения целостности не выявлено *(рис. 1).*

При детальном анализе поверхности имплантата (ув. ×400) в обеих опытных группах определялись волокнистые структуры, морфологически отличающиеся от материала кольца. Эти элементы имели иную ультраструктурную организацию и располагались в зонах адгезии, что свидетельствует об их тканевом происхождении и начале процессов взаимодействия «имплантат–ткань» *(рис. 2).*

Сравнение внутренней поверхности кармана после извлечения кольца показало тесную аппозицию новообразованных коллагеновых фибрилл к стенкам канала. Фибриллы сохраняли упорядоченную организацию, без признаков дегенерации или хаотичного расположения. В контрольной группе внутренняя поверхность канала оставалась относительно гладкой, без выраженных признаков ремоделирования *(рис. 3).*

Межгрупповые различия по характеру и выраженности ультраструктурных изменений между группами Опыт 1 и Опыт 2 оказались минимальными и визуально не значимыми. Полученные данные свидетельствуют о благоприятном тканевом ответе, отсутствии деструктивных изменений и начале формирования соединительнотканной капсулы как адаптационно-репаративного процесса.

Иммуногистохимический анализ

Иммуногистохимическое исследование проводилось на криостатных срезах с использованием панели маркеров, отражающих активацию кератоцитов, апоптоз, миофибробластическую трансформацию и привлечение стволовых клеток.

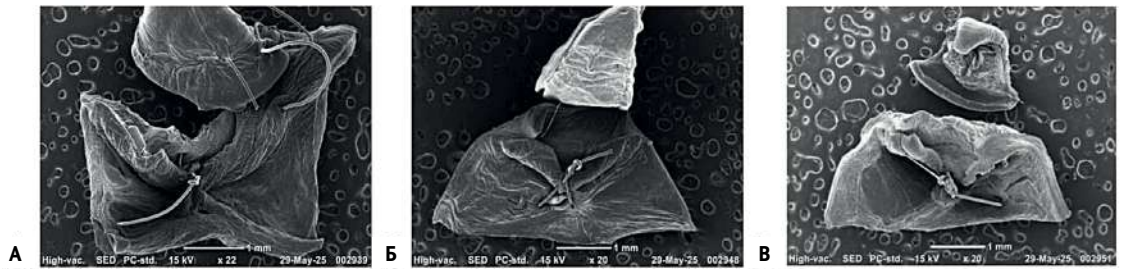


Рис. 1. Общий вид роговичного комплекса с интрастромальным кольцом: А — Опыт 1; Б — Опыт 2; В — Контроль. Сканирующая электронная микроскопия. Увеличение: ×20. Ускоряющее напряжение: 15 кВ

Fig. 1. General view of the corneal complex with an intrastromal ring: A — Experiment 1; Б — Experiment 2; B — Control. Scanning electron microscopy. Magnification: ×20. Acceleration voltage: 15 kV

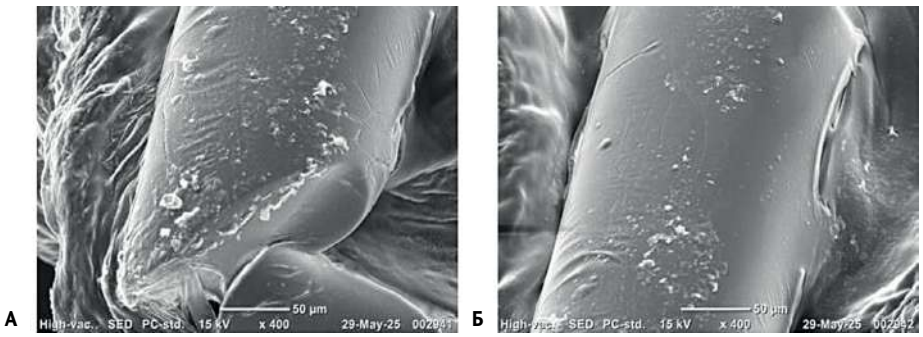


Рис. 2. Общий вид интрастромального кольца с участками адгезии: А — Опыт 1; Б — Опыт 2. Сканирующая электронная микроскопия. Увеличение: ×400. Ускоряющее напряжение: 15 кВ

Fig. 2. General view of the intrastromal ring with adhesion sites: A — Experiment 1; Б — Experiment 2. Scanning electron microscopy. Magnification: ×400. Acceleration voltage: 15 kV

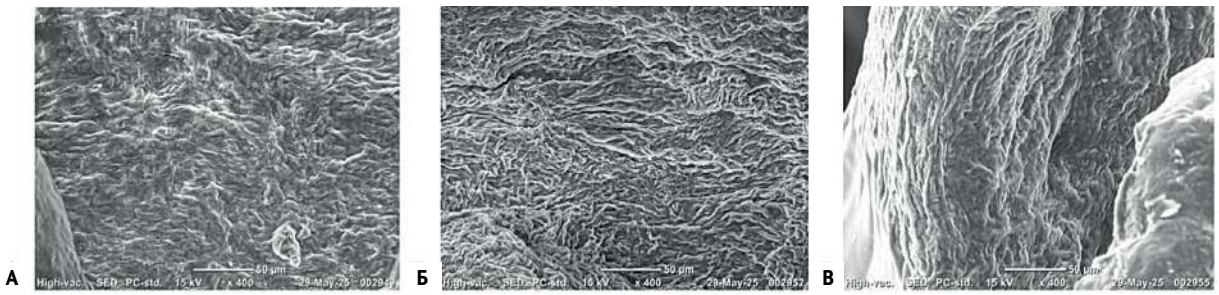


Рис. 3. Архитектоника поверхности стромального ложа: А — Опыт 1; Б — Опыт 2; В — Контроль. Сканирующая электронная микроскопия. Увеличение: ×400. Ускоряющее напряжение: 15 кВ

Fig. 3. Architectonics of the stromal bed surface: A — Experiment 1; Б — Experiment 2; B — Control. Scanning electron microscopy. Magnification: ×400. Acceleration voltage: 15 kV

Экспрессия маркеров мезенхимальных стволовых клеток (CD90 и CD105) во всех группах отсутствовала, что указывает на отсутствие привлечения экзогенных клеток-предшественников и достаточность резидентного пула кератоцитов для осуществления наблюдаемого ответа.

Признаки апоптоза (каспаза-7, каспаза-8, BAX, цитохром С) в просвете интрастромального кармана не выявлены ни в одной из групп, что подтверждает сохранение жизнеспособности кератоцитов и отсутствие цитотоксического действия имплантата.

Экспрессия α-гладкомышечного актина (α-SMA) также отсутствовала во всех группах, что исключает миофибробластическую трансформацию и патологическое фиброзирование.

В то же время в обеих опытных группах определялись единичные виментин-позитивные клетки, расположенные преимущественно на границе «имплантат–строма». Повышенная экспрессия виментина свидетельствует об активации резидентных кератоцитов и их участии в ремоделировании внеклеточного матрикса, что является адаптационным, а не патологическим процессом.

В контрольной группе экспрессия всех исследуемых маркеров соответствовала базовому уровню физиологического состояния ткани.

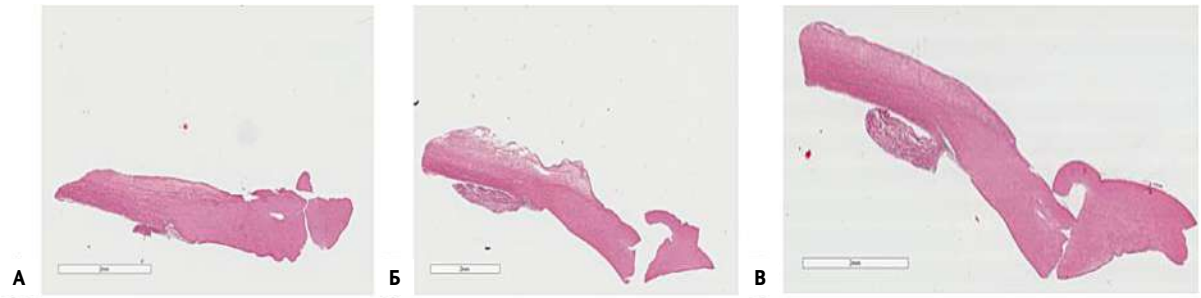


Рис. 4. Донорская роговица после экспериментального моделирования интрастромальной кератопластики: А — Опыт 1; Б — Опыт 2; В — Контроль; (На этапе подготовки гистологических срезов шов не выдержал механической нагрузки, в результате чего препарат разделился на два фрагмента); Световая микроскопия. Увеличение: ×50. Окраска: Гематоксилин и эозин

Fig. 4. Donor cornea after experimental modeling of intrastromal keratoplasty: A — Experiment 1; Б — Experiment 2; B — Control; (During the stage of preparing histological sections, the suture could not withstand the mechanical load, as a result of which the preparation was divided into two fragments); Light microscopy. Magnification: ×50. Staining: Hematoxylin and eosin

Гистологическое исследование

Во всех группах структура стромы в целом сохранялась, без признаков некроза, выраженного воспалительного инфильтрата или грубого рубцевания. В опытных группах (Опыт 1 и Опыт 2) наблюдались признаки начального адаптационного ремоделирования: умеренное разволокнение в зоне лазерного воздействия, сглаженность поверхности и повышенная клеточная активность в лимбальной зоне. В контрольной группе изменения ограничивались пропитыванием стромы белковым гелем без признаков активного клеточного ответа *(рис. 4)*.

Для наглядного сравнения выраженности основных морфологических признаков между группами проведена полуколичественная оценка по 4-балльной шкале *(рис. 5)*. Наибольшие различия наблюдались по признакам разволокнения стромы, повышенной клеточности и активации лимбальной зоны. Признаки патологического фиброза, воспаления или некроза отсутствовали во всех группах. Сохранность коллагенового матрикса оставалась высокой во всех вариантах.

Таким образом, *рисунок 5* отражает распределение выраженности основных морфологических признаков в виде описательной полуколичественной оценки при малом числе наблюдений (n=3), без претензии на строгую статистическую доказательность выявленных тенденций. Учитывая малый объем выборки (n=3 в каждой группе), представленные полуколичественные оценки по 4-балльной шкале носят описательный характер и не предназначены для формального статистического сравнения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из первых подходов к коррекции посткератопластического астигматизма с помощью интрастромального кольца была технология, предложенная J.H. Krumeich. В 2006 г. он опубликовал результаты имплантации кольца из сплава кобальт–титан–молибден (диаметром 8 мм) непосредственно в интерфейс между трансплантатом и роговицей реципиента во время проведения сквозной кератопластики [5].

Хотя автор отмечал потенциальное снижение послеоперационного астигматизма и частоты иммунных реакций, последующие наблюдения выявили серьезные осложнения: самопроизвольный разрыв швов, прогрессирующая передняя дислокация кольца, протрузия и экструзия имплантата, а также необходимость его удаления в ряде случаев [9]. Эти осложнения были связаны с механическим раздражением интерфейса «трансплантат–реципиент», локальным воспалением и нарушением стабильности рубца.

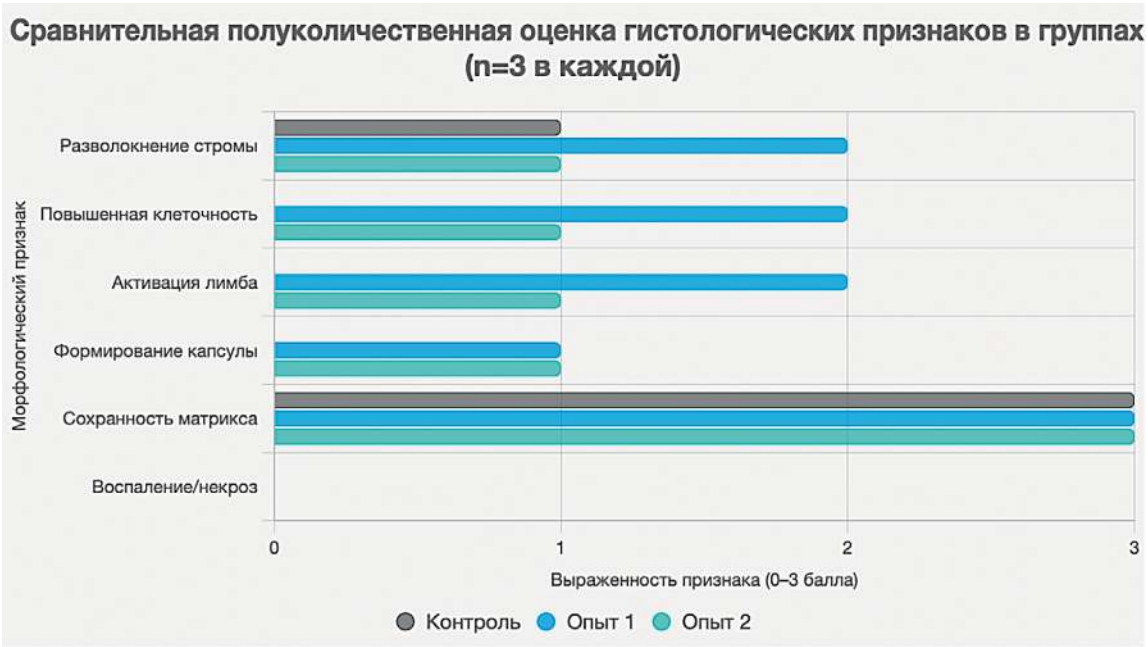
В связи с этим мы задались целью разработать альтернативный подход, позволяющий избежать прямого контакта жесткого имплантата с зоной рубцевания и интерфейсом. Было решено формировать интрастромальный карман в собственной роговице реципиента с последующей имплантацией замкнутого кольца из полиметилметакрилата одномоментно с кератопластикой.

Такой способ теоретически позволяет:

- изолировать имплантат от зоны рубцевания;
- распределить механическую нагрузку равномерно в пределах стромы реципиента;
- минимизировать риск протрузии и экструзии.

Проведенное нами морфологическое исследование ex vivo показало высокую биосовместимость данного подхода на тканевом уровне. Ни в одной из опытных групп не выявлено признаков некроза, апоптоза, выраженного воспаления или миофибробластической трансформации кератоцитов. Напротив, наблюдалась умеренная активация резидентных кератоцитов (виментин-позитивные клетки), упорядоченное ремоделирование коллагена и формирование зачатков соединительнотканной капсулы, что соответствует физиологическому адаптационному ответу. Эта промежуточная структура, вероятно, обеспечивает плавное перераспределение механических напряжений между жестким имплантатом и эластичной роговичной тканью, создавая условия для стабильной долгосрочной интеграции. Отсутствие экспрессии α-SMA и маркеров стволовых клеток (CD90, CD105) дополнительно подтверждает, что реакция носит контролируемый и не патологический характер.

Полученные данные согласуются с ранее опубликованными гистологическими исследованиями синтетических интрастромальных сегментов в кератоконусных роговицах, где также отмечались минимальная воспа-



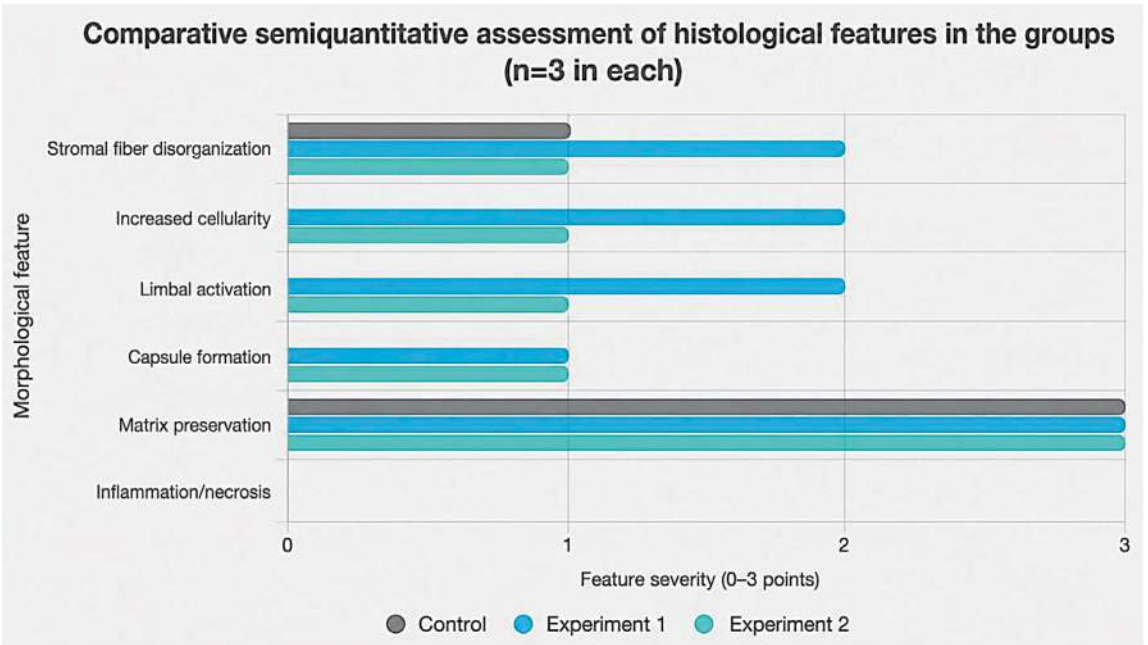


Рис. 5. Сравнительная полуколичественная оценка выраженности ключевых гистологических признаков в группах исследования после 90 суток органотипического культивирования. По оси абсцисс — морфологические признаки, оцененные по 4-балльной шкале (0 — отсутствует, 1 — минимально, 2 — умеренно, 3 — выражено). По оси ординат — выраженность признака (баллы). Столбцы отражают среднюю оценку по группе (n=3 в каждой). Обозначения: серый — Контроль, синий — Опыт 1, голубой — Опыт 2

Fig. 5. Comparative semiquantitative assessment of the severity of key histological features in the study groups after 90 days of organotypic cultivation. The abscissa axis shows morphological features assessed on a 4-point scale (0 = absent, 1 = minimal, 2 = moderate, 3 = pronounced). The ordinate axis shows the severity of the feature (points). Columns represent the average score for the group (n=3 each). Legends: Gray = Control, Blue = Experiment 1, Light Blue = Experiment 2

лительная реакция и ремоделирование стромы без отторжения [7–8]. В отличие от интерфейсной имплантации Krumeich, наш подход позволяет полностью избежать контакта имплантата с зоной рубцевания, что, по-видимому, и обеспечивает отсутствие деструктивных и протрузивных осложнений в эксперименте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное экспериментальное исследование на модели длительного органотипического культивирования кадаверных корнеосклеральных комплексов челове-

ка позволило впервые детально охарактеризовать ранние адаптационные процессы, индуцированные одномоментной имплантацией замкнутого интрастромального роговичного кольца в строму реципиента во время проведения кератопластики.

Результаты исследования свидетельствуют о перспективности и безопасности проведения фемтоассистированной сквозной кератопластики с одномоментной имплантацией интрастромального кольца. Полученные морфологические доказательства биосовместимости и физиологичности тканевого ответа, открывают перспективы для дальнейшего клинического применения и совершенствования технологии.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENSES

1. Мороз З.И., Токмакова А.Н., Волкова О.С. Интрастромальная кератопластика с имплантацией роговичных сегментов в коррекции астигматизма после сквозной кератопластики по поводу кератоконуса. *Офтальмохирургия. 2015*;(4): 70–7.
Moroz ZI, Tokmakova AN, Volkova OS. Intrastromal keratoplasty with implantation of corneal segments in the correction of astigmatism after penetrating keratoplasty for keratoconus. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2015;(4): 70–7. (In Russ.).
2. Калинников Ю.Ю., Иошин И.Э., Григорян А.Р. Имплантация интрастромального роговичного кольца в коррекции роговичного астигматизма высокой степени после передней послойной глубокой кератопластики. *Катарактальная и рефракционная хирургия.* 2015;15(4): 30–4.
Kalinnikov YuYu, Ioshin IE, Grigoryan AR. Implantation of an intrastromal corneal ring in the correction of high-degree corneal astigmatism after anterior lamellar deep keratoplasty. *Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya.* 2015;15(4): 30–4. (In Russ.).
3. Калинников Ю.Ю., Калинникова С.Ю., Динь Тхи Хоай Ань, Рагимова Л.Ф. Хирургическая техника кератопластики с одномоментной имплантацией цельного или разомкнутого кольца в трансплантат. *Вестник офтальмологии.* 2023;139(4):71–81. https://doi.org/10.17116/oftalma202313904171
Kalinnikov YuYu, Kalinnikova SYu, Dinh Thi Hoai Anh, Ragimova LF. Surgical technique of keratoplasty with simultaneous implantation of a full or open ring into the graft. *Russian Annals of Ophthalmology.* 2023;139(4):71–81. (In Russ.).
4. Патент РФ на изобретение № 2674889 / 13.12.2018. Измайлова С.Б., Малюгин Б.Э., Новиков С.В. и др. Способ проведения кератопластики с одномоментной имплантацией интрастромального кольца для профилактики послеоперационного астигматизма.
Patent RUS No. 2674889 / 13.12.2018. Izmaylova SB, Malyugin BE, Novikov SV, et al. Method of keratoplasty with simultaneous intrastromal ring implantation for prevention of postoperative astigmatism. (In Russ.)
5. Krumeich JH, Knülle A, Krumeich BM. Intrastromal corneal ring in penetrating keratoplasty: evidence-based update 4 years after implantation. *J Cataract Refract Surg.* 2006;32(8): 1295–302. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.04.013
6. Coskunseven E, Kymionis GD, Talu H, et al. Intrastromal corneal ring segment implantation with the femtosecond laser in a post-keratoplasty patient with recurrent keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(10):1808–1810. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.05.042
7. Samimi S, Léger F, Toubin D, Colin J. Histopathological findings after intracorneal ring segment implantation in keratoconic human corneas. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(2): 247–53. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.10.033
8. Al-Amry M, Alkatan HM. Histopathologic findings in two cases with history of intrastromal corneal ring segments insertion. *Middle East Afr J Ophthalmol.* 2011;18(4): 317–9. https://doi.org/10.4103/0974-9233.90136
9. Birnbaum F, Seitz B, Maier P, Reinhard T. The intrastromal corneal ring in penetrating keratoplasty—long-term results of a prospective randomized study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2011;249(5): 683–9. https://doi.org/10.1007/s00417-010-1585-9.

Информация об авторах
Сучкова Валерия Алексеевна — аспирант отдела трансплантационной и оптико-реконструктивной хирургии переднего отрезка глазного яблока ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, 9324val@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-7177-9445
Измайлова Светлана Борисовна — д.м.н., зав. отделом трансплантационной и оптико-реконструктивной хирургии переднего отрезка глазного яблока ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, lana-dok@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3516-1774
Островский Дмитрий Сергеевич — к.б.н., зав. лабораторией трансплантологии и клеточной биологии Центра фундаментальных и прикладных медико-биологических проблем ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, dmitriyostrovskiy@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2817-7102
Хубецова Мадина Хетаговна — к.м.н., зав. Глазным тканевым банком Центра фундаментальных и прикладных медико-биологических проблем ФГАУ «НМИЦ «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, porporina@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-6378-8750
Шацких Анна Викторовна — к.м.н., врач-патологоанатом, к.м.н., заведующая патологоанатомической лабораторией ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им.акад. С.Н. Федорова» Минздрава России», avsatik07@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3437-8162

Information about the authors
Valeriia A. Suchkova — Postgraduate student, Department of Transplantation and Optic-Reconstructive Surgery of the Anterior Segment of the Eyeball, Academician S.N. Fyodorov Federal State Institution "Intersectoral Scientific and Technical Complex 'Eye Microsurgery' named after S.N. Fyodorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 9324val@gmail.com, https://orcid.org/0009-0003-7177-9445
Svetlana B. Izmaylova — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Transplantation and Optic-Reconstructive Surgery of the Anterior Segment of the Eyeball, Academician S.N. Fyodorov Federal State Institution "Intersectoral Scientific and Technical Complex 'Eye Microsurgery' named after S.N. Fyodorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, lana-dok@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3516-1774
Dmitry S. Ostrovsky — Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Transplantology and Cell Biology, Center for Fundamental and Applied Medico-Biological Problems, Academician S.N. Fyodorov Federal State Institution "Intersectoral Scientific and Technical Complex 'Eye Microsurgery' named after S.N. Fyodorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, dmitriyostrovskiy@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2817-7102
Madina Kh. Khubetsova — Candidate of Medical Sciences, Head of the Eye Tissue Bank, Center for Fundamental and Applied Medico-Biological Problems, Academician S.N. Fyodorov Federal State Institution "Intersectoral Scientific and Technical Complex 'Eye Microsurgery' named after S.N. Fyodorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, porporina@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-6378-8750
Anna V. Shatskikh — Candidate of Medical Sciences, PhD, head of the pathological anatomy laboratory, Academician S.N. Fyodorov Federal State Institution "Intersectoral Scientific and Technical Complex 'Eye Microsurgery' named after S.N. Fyodorov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, avsatik07@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3437-8162

Вклад авторов:
Сучкова В.А. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, обработка данных, написание текста.
Измайлова С.Б. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.
Островский Д.С. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала.
Хубецова М.Х. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала.
Шацких А.В. — существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала.

Author's contribution:
Suchkova V.A. — Substantial contribution to the concept and design of the work, collection, analysis, and processing of material, data processing, writing.

Izmaylova S.B. — Substantial contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.
Ostrovsky D.S. — Substantial contribution to the concept and design of the work, collection, analysis, and processing of material.
Khubetsova M.Kh. — Substantial contribution to the concept and design of the work, collection, analysis, and processing of material.
Shatskikh A.V. — Substantial contribution to the concept and design of the work, 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.

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

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *23.03.2026*
Переработана: *09.04.2026*
Принята к печати: *23.04.2026*
Received: *23.03.2026*
Revision: *09.04.2026*
Accepted: *23.04.2026*

Обзор литературы
УДК: 617.7-089.5
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-97-102

Анестезия в офтальмохирургии катаракты и глаукомы: современные подходы (обзор литературы)

В.О. Седаков[1], Е.Л. Сорокин[1, 2], Д.Ю. Игнатенко[1]

[1]ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Хабаровский филиал, Хабаровск, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, Хабаровск, Россия

РЕФЕРАТ

В обзоре систематизированы современные методы анестезии при хирургии катаракты и глаукомы. Проанализированы более 30 источников (2017–2025 гг.), включая клинические рекомендации, метаанализы и оригинальные исследования. Особое внимание уделено персонализированному выбору метода обезболивания с учетом анатомо-физиологических особенностей.
Ключевые слова: *офтальмологическая анестезия, топическая анестезия, субтеноновая блокада, внутриглазное давление, катаракта, глаукома*

Для цитирования: Седаков В.О., Сорокин Е.Л., Игнатенко Д.Ю. Анестезия в офтальмохирургии катаракты и глаукомы: современные подходы (обзор литературы). *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 97–102. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-97-102
Автор, ответственный за переписку: Седаков Вадим Олегович, naukakhvmntk@mail.ru

Literature review

Anesthesia in ophthalmic surgery for cataracts and glaucoma: modern approaches (literature review)

V.O. Sedakov[1], E.L. Sorokin[1, 2], D.Yu. Ignatenko[1]

[1]The S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Khabarovsk Branch, Khabarovsk, Russia
[2]Far-Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia

ABSTRACT

This review systematizes modern anesthesia methods for cataract and glaucoma surgery. More thirty-five sources (2017–2024) were analyzed, including clinical guidelines, meta-analyses, and original studies. Particular attention is paid to the personalized selection of anesthesia methods based on anatomical and physiological characteristics.
Keywords: *ophthalmic anesthesia, topical anesthesia, sub-Tenon block, intraocular pressure, cataract, glaucoma*

For citation: Sedakov V.O., Sorokin E.L., Ignatenko D.Yu. Anesthesia in ophthalmic surgery for cataracts and glaucoma: modern approaches (literature review). *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 97–102. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-97-102
Corresponding author: Vadim O. Sedakov, naukakhvmntk@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Ежегодно в России выполняется более 500 тыс. операций по поводу катаракты [1]. Современная офтальмохирургия предъявляет исключительные требования к анестезиологическому обеспечению оперативных вмешательств, которые обусловлены особыми анатомо-физиологическими структурами органа зрения, поскольку адекватный выбор анестезиологического пособия напрямую влияет на клинические исходы микроинвазивных операций [1, 2].

Согласно данным многоцентровых исследований последних лет, оптимальный метод анестезии при офтальмохирургических операциях должен обеспечивать не только адекватную аналгезию, создающую комфортные условия как для пациента, так и для хирурга, но и ее минимальное влияние на гемодинамические показатели глаза и внутриглазное давление (ВГД) [2]. Наиболее важным является то, что анестезия при офтальмологи-

© *Седаков В.О., Сорокин Е.Л., Игнатенко Д.Ю., 2026*

ческих операциях требует особого внимания по поддержанию адекватной сосудистой перфузии диска зрительного нерва и по профилактике резких колебаний ВГД [3].

ЦЕЛЬ

Систематизировать современные данные о методах анестезии при хирургии катаракты и глаукомы, оценить их эффективность и безопасность, а также определить критерии персонализированного выбора анестезиологического пособия с учетом анатомо-физиологических особенностей глаза.

АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЙ АНЕСТЕЗИИ

Передний отрезок глазного яблока характеризуется крайне высокой плотностью ноцицептивных рецепторов. Согласно исследованиям S. Chandra и соавт., концентрация нервных окончаний в роговице максимальна, их плотность достигает 300–600 на мм^2, что объясняет исключительно высокую степень ее чувствительности [4]. Помимо этого, высокая болевая чувствительность присуща всему переднему отделу сосудистого тракта – радужной оболочке, цилиарному телу, что обусловлено наличием нервного сплетения в области цилиарного тела, где расположены анастомозы между эписклеральными и интраокулярными сосудами [4].

Кровоснабжение глаза осуществляется через систему передних и задних цилиарных артерий, а также центральной артерией сетчатки. Особенностью орбитальной гемодинамики является наличие богатых анастомозов между системами наружной и внутренней сонных артерий. Это требует тщательного контроля объема вводимых в полость орбиты анестетиков (не более 3–4 мл) во избежание компрессии ее сосудистых структур [5, 6].

ТОПИЧЕСКАЯ АНЕСТЕЗИЯ ГЛАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ЕЕ СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МИКРОХИРУРГИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ НА ПЕРЕДНЕМ ОТРЕЗКЕ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

Топическая глазная анестезия прошла эволюцию от монотерапии с применением 0,5% пропаракаина в начале 2000-х гг. [7] до современных комбинированных схем с персонализацией подхода.

В 1990-х гг. топические анестетики уже применялись, хотя они были направлены преимущественно на выполнение диагностических процедур. При этом хирургия требовала ретробульбарных блокад 2% новокаином или общей анестезии – особенно у детей [8, 9].

Ситуация значительно изменилась после публикации революционного исследования J.P. Gills (1997), показавшего возможность выполнения факоэмульсификации катаракты под топической анестезией [10]. Тогда использовался пропаракаин 0,5% в монотерапии, инстиллируемый 2–3 каплями в конъюнктивальный мешок за 5–10 мин до операции.

Существенными недостатками подобного подхода являлись: короткая продолжительность действия (лишь 15–20 мин), ограниченная зона обезболивания. При этом частота хирургических осложнений доходила до 5,8%, а применение методики было ограничено кратковременными вмешательствами [9, 11].

В начале 2000-х гг., благодаря появлению новых лекарственных форм, произошел переход к комбинированным схемам топической анестезии. Так, применение 4% геля лидокаина, наносимого в нижний конъюнктивальный свод полоской длиной 5–10 мм, обеспечивало существенную пролонгированность действия анестезии (до 30–45 мин), хотя при этом требовалось больше времени для достижения концентрации препарата (2–3 мин) [6].

Широкое применение нашел также 0,4% раствор оксибупрокаина. По своим характеристикам он занимает промежуточное положение: начало анестезирующего действия у него происходит быстрее, чем у лидокаин-геля, но медленнее, чем у пропаракаина; при этом продолжительность аналгезии превышает таковую у пропаракаина, но уступает лидокаину [12]. Несмотря на это, клиницисты выявили ряд ограничений данного препарата: недостаточную для длительных операций глубину и длительность обезболивания, что вынуждает к повторным инстилляциям; низкую эффективность у тревожных пациентов и при повышенном ВГД; риск системной токсичности при частом применении; а также неполную стабилизацию ВГД [3, 12, 13].

Эти ограничения стимулировали развитие новых лекарственных форм и методик. Параллельно шло также техническое улучшение топической анестезии: разработка новых аппликаторов для гелей, дозирующих систем, что повышало стандартизацию применения [14].

С 2010 по 2024 г. произошло углубление персонализации топической глазной анестезии. В частности, с учетом возраста у пожилых было предложено сочетание оксибупрокаина с гиалуронатом [2, 15], у детей — пропаракаина с лидокаин-гелем [16], при синдроме «сухого глаза» — с учетом состояния глазной поверхности и длительности операции, использование масляных форм лидокаина [17].

Появление наноформ анестезиологических препаратов с пролонгированным действием расширило показания к топической анестезии практически при всех вмешательствах на переднем отрезке глаза, обеспечив снижение частоты интраоперационных осложнений с 5,8% в 1990-е гг. до 1,2–1,8% в современных протоколах [11, 17, 18].

Эволюция топической анестезии наглядно представлена в *таблице 1* [6, 11, 12, 18].

К настоящему времени топическая анестезия уже широко применяется в клинической практике при факоэмульсификации катаракты, антиглаукомных операциях (трабекулопластика, иридотомия), рефракционных вмешательствах (LASIK, PRK) и даже при некоторых витреоретинальных операциях (передний доступ) [10, 17, 18].

Заслуживают особого внимания фармакокинетические параметры современных топических анестетиков. Так, применение пропаракаина 0,5% в виде инстилляций 1–2 капель в конъюнктивальный мешок за 5 мин до вмешательства показано при кратковременных процедурах с продолжительностью до 20 мин. Быстрое начало действия (20–30 с) особенно ценно при амбулаторных вмешательствах на переднем отрезке глаза, однако относительно короткий период его полувыведения (15–20 мин) ограничи-

Таблица 1

Сравнительная характеристика периодов развития топической анестезии

Table 1

Comparative characteristics of development periods of topical anesthesia

Параметр Parameter	До 2000 г. Before 2000	2000–2010 гг.	Современный период (2010–2025) Modern period (2010–2025)
Основной препарат Main drug	Пропаракаин 0,5% Proparacaine 0.5%	Пропаракаин + лидокаин Proparacaine + lidocaine	Комбинированные персонализированные схемы Combined personalized schemes
Длительность Duration	15–20 мин 15–20 min	30–45 мин 30–45 min	До 60 мин Up to 60 min
Частота осложнений Frequency of complications	5,8%	3,5%	1,2–1,8%
Основные показания Main indications	Катаракта Cataract	Катаракта + глаукома Cataract + glaucoma	Все переднесегментные операции All anterior segment operations
Техника введения Technique of introduction	Простые инстилляции Simple instillations	Капли + гель Drops + gel	Мультимодальные подходы Multimodal approaches

вает применение данного препарата при длительных офтальмохирургических вмешательствах [17]. В отличие от него, лидокаин, используемый в форме 4% геля, наносимого на конъюнктиву нижнего свода специальным аппликатором за 2–3 мин до операции, показал снижение дискомфорта для пациентов на 40%. Это обусловлено его более пролонгированным эффектом (30–45 мин), при этом гель лидокаина требует большего времени для достижения терапевтической концентрации (1–2 мин) [6].

Компромиссным вариантом топической анальгезии можно считать топическую анестезию с применением 0,4% р-ра оксибупрокаина в режиме инстилляций одной капли на переднюю поверхность глаза при длительных вмешательствах через каждые 15 минут. Препарат включен в клинические рекомендации Минздрава России (2021) и предназначен для пациентов старше 70 лет [19]. Данный метод сочетает в себе достаточно быстрое начало действия (30–40 с) с продолжительностью аналгезии до 60 мин [19]. Сравнительная характеристика современных топических анестетиков представлена в *таблице 2* [11–13, 20].

Повышение клинической эффективности топической анестезии при ее эволюции наглядно демонстрируется путем сравнения результатов стандартной факоэмульсификации. Так, если в 1995 г. операция, выполняемая под 3-кратной инстилляцией пропаракаина, сопровождалась высокой частотой интраоперационного дискомфорта (до 38%) [7], то в 2023 г. та же процедура, проводимая под комбинацией оксибупрокаина 0,4% и лидокаин-геля 2%, сопровождается гораздо более низкой частотой дискомфорта — лишь 4,2% [13, 18]. Столь значительный прогресс стал возможным благодаря углубленному пониманию анатомо-физиологических особенностей иннервации переднего отрезка глаза [4], разработке новых лекарственных форм и совершенствованию техник введения анестетиков.

Эти фармакологические особенности применяемых современных препаратов напрямую влияют на клинический выбор анестетика в зависимости от планируемой продолжительности и сложности оперативного вмешательства. Как показывают клинические исследования последних лет, персонализация схемы топического обезболивания достигается за счет учета трех ключевых аспектов: возрастных особенностей пациента, состояния глазной поверхности и характеристик планируемого хирургического вмешательства [10, 13, 17].

У пациентов старше 70 лет современные протоколы топической глазной анестезии требуют особого подхода, учитывающего возрастные физиологические изменения глазной поверхности: снижение корнеальной чувствительности, повышенную уязвимость роговичного эпителия.

На основании клинических исследований последних лет [2, 12, 15] разработана стандартизированная методика применения комбинации оксибупрокаина 0,4% с гиалуронатом натрия, включающая три ключевых этапа.

Предоперационная подготовка пациента начинается за 15–20 мин до хирургического вмешательства. Первоначально выполняется инстилляция одной капли оксибупрокаина 0,4% в нижний конъюнктивальный свод при слегка оттянутом нижнем веке. Через 2 мин после первой инстилляции в конъюнктивальную полость вводится одна капля 0,15% раствора гиалуроната натрия, что способствует стабилизации слезной пленки и предотвращает дегидратацию роговицы. Повторная инстилляция одной капли оксибупрокаина выполняется через 5 мин после первоначального введения для достижения достаточной глубины анестезии [15].

При этом интраоперационное поддержание анестезии требует тщательного динамического мониторинга состояния глазной поверхности. При продолжительности вмешательств более 30 мин каждые последующие 20–25 мин рекомендуется дополнительная инстилляция одной капли оксибупрокаина. Как показали исследования N. Anton и соавт., подобный режим позволяет поддерживать стабильный анальгетический эффект в течение всего операционного периода [20]. При появ-

Таблица 2

Сравнительная характеристика современных топических анестетиков

Table 2

Comparative characteristics of modern topical anesthetics

Препарат Drug	Концентрация Concentration	Начало действия Beginning of the action	Длительность эффекта Duration of effect	Частота осложнений Frequency of complications
Пропаракаин Proparacaine	0,5%	20–30 с 20–30 s	15–20 мин 15–20 min	1,2%
Лидокаин Lidocaine	4% гель 4% gel	1–2 мин 1–2 min	30–45 мин 30–45 min	2,7%
Оксибупрокаин Oxybuprocaine	0,4%	30–40 с 30–40 sec	45–60 мин 45–60 min	1,8%

лении первых признаков эпителиальной сухости поверхности роговицы (потеря блеска, локальные помутнения эпителия) применяется гиалуронат натрия в гелевой форме, который наносится на поверхность роговицы с помощью стерильного шпателя. Особое внимание уделяется визуальному контролю состояния роговичного эпителия под операционным микроскопом, что позволяет своевременно корректировать режим увлажнения [13, 15].

Согласно данным ряда авторов, послеоперационный уход за состоянием глазной поверхности включает регулярные инстилляции гиалуроната натрия каждые 30 мин в течение первых 2 ч после вмешательства. Обязательным является контроль состояния роговичного эпителия при биомикроскопии с окрашиванием флюоресцеином. При выявлении эпителиопатии II степени и выше рекомендуется дополнительное применение бесконсервантных форм искусственной слезы [2, 21].

Клинические исследования демонстрируют, что предложенная методика топической анестезии гиалуронатом натрия обеспечивает:

• стабильную аналгезию продолжительностью 45–60 мин ($p<0,01$ по сравнению с монотерапией) [12];

• снижение частоты ятрогенной эпителиопатии с 28 до 7% (OR 0,21, 95% ДИ 0,12–0,38) [2];

• улучшение визуализации операционного поля за счет стабилизации слезной пленки (у 89% пациентов) [20];

• минимальное влияние на показатели ВГД (ΔВГД <2 мм рт.ст.) [13].

У пациентов пожилого возраста особое значение приобретает контроль системной абсорбции анестетиков. Исследования показали, что комбинированное применение оксибупрокаина с гиалуронатом снижает системную абсорбцию на 35% по сравнению с монотерапией [15]. Это особенно важно для пациентов с сопутствующей сердечно-сосудистой патологией, у которых необходимо минимизировать кардиотоксические эффекты местных анестетиков.

СУБТЕНОНОВАЯ АНЕСТЕЗИЯ

Субтеноновая (тенонова) анестезия представляет собой метод регионарной анестезии, при котором анестетик вводится в субтеноново пространство. По сравнению с топической анестезией, данный метод обеспечивает более глубокую и продолжительную аналгезию, блокируя цилиарные нервы [22].

Показаниями к субтеноновой анестезии являются [3, 23]:

• длительные и технически сложные операции на переднем отрезке глаза (например, комбинированные операции по поводу катаракты и глаукомы);

• наличие нистагма или повышенной двигательной активности;

• непереносимость или аллергия к топическим анестетикам;

• необходимость дополнительного мидриаза и гипотонии глаза.

Техника выполнения анестезии включает доступ в полость теноновой капсулы через конъюнктиву в нижне-наружном или верхне-наружном квадрантах и введение 1,5–2,0 мл местного анестетика через тупоконечную канюлю [23].

Авторы отмечают целый ряд преимуществ данного метода анестезии [22, 23]:

• глубокая аналгезия;

• эффективная гипотония глаза;

• снижение риска перфорации глазного яблока, в сравнении с ретробульбарными блокадами;

• возможность движений глазом пациентом по команде хирурга.

Осложнения могут включать развитие хемоза (до 15% случаев), субконъюнктивальное ретробульбарное кровоизлияние, интраокулярное введение анестетика. Имеется также умеренный риск перфорации склеры, который возникает крайне редко при правильной технике выполнения процедуры [14, 24].

Сравнительные исследования, проведенные рядом авторов, демонстрируют, что субтеноновая анестезия обеспечивает высокий анальгетический эффект, сравнимый с ретробульбарной блокадой, но с меньшим риском серьезных осложнений [22, 25].

В исследовании C.M. Kumar и соавт. показано, что комбинация 2% лидокаина и 0,5% бупивакаина в общем объеме 2 мл (в равных частях) обеспечивает аналгезию продолжительностью до 90 мин с отличным контролем ВГД [12].

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ МЕТОДА АНЕСТЕЗИИ

В связи с появлением различных вариантов локальной анестезии при выполнении внутриглазных операций у анестезиолога офтальмохирургического отделения возникает закономерный вопрос, какую методику предпочесть? Следует при этом отметить, что выбор оптимального метода анестезии должен основываться на комплексной оценке: исходного состояния пациента, разновидности планируемого вмешательства и доступных для анестезиолога ресурсов. Но при этом ключевыми факторами являются:

1. Характеристики пациента: возраст, наличие и уровень тревожности, его способность к сотрудничеству, сопутствующие заболевания (особенно сердечно-сосудистые и неврологические), аллергологический анамнез, анатомические особенности орбиты [13, 26].

2. Характер оперативного вмешательства: его предполагаемая продолжительность, сложность, необходимость динамического контроля уровня ВГД, требования к акинезии глазного яблока [8, 27].

3. Опыт хирургической команды: владение техниками регионарной анестезии, возможность мониторинга и купирования потенциальных осложнений [8].

Для стандартной факоэмульсификации катаракты у контактных, адекватных пациентов, способных выполнять команды хирурга и сохранять неподвижность глаза, методом выбора является топическая глазная анестезия [13]. Для длительных и комбинированных операций на переднем отрезке глаза (в частности, хирургия катаракты и глаукомы), а также у пациентов с нистагмом предпочтительна субтеноновая анестезия [18, 22]. Вопрос об общей анестезии может рассматриваться в случаях выраженного блефароспазма, психомоторного возбуждения или при противопоказаниях к регионарной анестезии [8].

По данным ряда авторов, дальнейшие исследования, направленные на повышение возможностей анестезии при выполнении операций на переднем отрезке глаза, должны быть сосредоточены на разработке новых лекарственных форм анестетиков с улучшенным профилем безопасности и продолжительностью действия, а также на уточнении алгоритмов выбора метода анестезии для различных клинических ситуаций [18, 26, 28–33].

Поскольку современная малоинвазивная офтальмохирургия катаракты и глаукомы характеризуется тенденцией к минимизации инвазивности, соответственно, анестезиологическое пособие при ее выполнении должно обладать высокой степенью эффективности и безопасности. В этом плане топическая анестезия, пройдя значительную эволюцию своего становления и развития, стала методом выбора для большинства вмешательств на переднем отрезке глаза. Но при этом ее выполнение следует выбирать лишь для пациентов, способных сотрудничать с хирургом и анестезиологом. Для более сложных и продолжительных операций субтеноновая анестезия остается важной альтернативой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные возможности выбора метода анестезии, учитывающие индивидуальные особенности пациента, характеристики планируемого вмешательства и возможности хирургической команды, позволяют осуществлять персонализированный подход к конкретному пациенту, что, соответственно, минимизирует риски осложнений и оптимизирует периоперационные результаты.

Представленный в обзоре анализ эволюции топической анестезии демонстрирует значительное снижение частоты интраоперационных осложнений (с 5,8 до 1,2–1,8%) и интраоперационного дискомфорта (с 38 до 4,2%) при переходе к персонализированным комбинированным схемам. Применение протоколов с гиалуронатом у пожилых пациентов позволяет дополнительно снизить риск ятрогенной эпителиопатии (отношение шансов 0,21) и системную абсорбцию анестетика (на 35%). Эти данные подтверждают, что предложенный персонализированный подход является клинически эффективным и безопасным.

ЛИТЕРАТУРА/RERFERENCES

1. ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России. Аналитический отчет о деятельности офтальмологической службы Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. Доступно по: https://igb.ru/docs/И.В.Коробко%20Публичный%20отчет%20о%20результатах%20деят-ти%20НМИЦ%20за%202022%20год.pdf. Ссылка активна на 14.08.2026
Federal State Budgetary Institution “Helmholtz National Medical Research Center of Ophthalmology” of the Ministry of Health of the Russian Federation. Analytical report on the activities of the ophthalmology service of the Russian Federation for 2022. Moscow, 2023. Available from https://igb.ru/docs/И.В.Коробко%20Публичный%20отчет%20о%20результатах%20деят-ти%20НМИЦ%20за%202022%20год.pdf. Accessed 14th August, 2026 (In Russ.)
2. Toth AB, Binczyk NM, Tran EM, et al. Effect of Oral Opioid Prescription on Rates of Postoperative Pain among Ophthalmology Subspecialties: A Large Database Analysis. *Ophthalmol Sci*. 2026;6(5): 101120. https://doi.org/10.1016/j.xops.2026.101120
3. Davis DB 2nd, Mandel MR. Efficacy and complication rate of 16,224 consecutive peribulbar blocks. A prospective multicenter study. *J Cataract Refract Surg*. 1994;20(3): 327–37. https://doi.org/10.1016/s0886-3350(13)80586-x
4. Chandra S, Sugiarto A, Hotasi R, et al. The Effectiveness of 2% Lidocaine Gel Compared to 0.5% Tetracaine Eye Drop As Topical Anesthetic Agent for Phacoemulsification Surgery. *Anesth Pain Med*. 2018;8(2): e68383. https://doi.org/10.5812/aapm.68383
5. Мясникова В.В., Битюков Ю.В., Дереза С.В., и др. Анальгетик центрального действия нефопам как компонент анальгоседации в офтальмохирургии. *Регионарная анестезия и лечение острой боли*. 2017;11(3): 189–194.
Myasnikova VV, Bityukov UV, Dereza SV, et al. Central activity analgetic nefopam as a component of analgosedation in ophthalmosurgery. *Regional anesthesia and acute pain management*. 2017;11(3): 189–94. (In Russ.). https://doi.org/10.18821/1993-6508-2017-11-3-189-194
6. Мясникова В.В., Сахнов С.Н., Дереза С.В. и др. Ксеноновая ларингомасочная анестезия в офтальмохирургии. *Анестезиология и реаниматология*. 2018;(4): 64–8.
Myasnikova VV, Sahnov SN, Dereza SV, et al. Xenon laryngeal mask anesthesia in ophthalmosurgery. *Anesthesiology and resuscitation*. 2018;(4): 64–68. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/anaesthesiology201804164
7. Hashimoto DA, Witkowski E, Gao L, et al. Artificial Intelligence in Anesthesiology: Current Techniques, Clinical Applications, and Limitations. *Anesthesiology*. 2020;132(2): 379–94. https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002960
8. Urquhart C.S., Fulton R. Regional anaesthesia for ophthalmic surgery. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. 2025;26(9): 589–92. https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2025.07.009

9. Bryant JS, Busbee BG, Reichel E. Overview of ocular anesthesia: past and present. *Curr Opin Ophthalmol*. 2011;22(3): 180–4. https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e328345974c
10. Gills JP, Cherchio M, Raanan M. Unpreserved lidocaine to control discomfort during cataract surgery using topical anesthesia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 1997;23(4): 545–50. https://doi.org/10.1016/S0886-3350(97)80211-8
11. Leslie L, Liu SH, Kuo IC. Topical ophthalmic anesthetics for corneal abrasions: findings from a Cochrane systematic review and meta-analysis. *Commun Med (Lond)*. 2025;5(1): 393. https://doi.org/10.1038/s43856-025-00979-4
12. Kumar CM, Eid H, Dodds C. Sub-Tenon's anaesthesia: complications and their prevention. *Eye (Lond)*. 2011;25(6): 694–703. https://doi.org/10.1038/eye.2011.69
13. Eke T. Anesthesia for glaucoma surgery. *Ophthalmol Clin North Am*. 2006;19(2): 245–55. https://doi.org/10.1016/j.ohc.2006.02
14. Zhou YL, Tong Y, Wang YX, Zhao PQ, Wang ZY. A prospective, randomised, double-masked comparison of local anaesthetic agents for vitrectomy. *Br J Ophthalmol*. 2017;101(8): 1016–21. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2016-309780
15. Ferrara M, Romano V, Longo L, et al. Life-threatening complications in ophthalmic surgery: a systematic review. *Eye (Lond)*. 2025;39(1): 69–78. https://doi.org/10.1038/s41433-024-03442-1
16. Müller LJ, Marfurt CF, Kruse F, Tervo TM. Corneal nerves: structure, contents and function. *Experimental Eye Research*. 2003;76(5): 521–42. https://doi.org/10.1016/S0014-4835(03)00050-2
17. National Eye Institute (NEI). Cataract surgery facts. 2023. Available from: https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/cataracts/cataract-surgery. Accessed 14th August, 2026
18. Pucchio A, Pur DR, Dhawan A, et al. Anesthesia for ophthalmic surgery: an educational review. *International Ophthalmology*. 2023;43: 1761–9. https://doi.org/10.1007/s10792-022-02564-3
19. Клинические рекомендации. Катаракта старческая. 2020-2021-2022. Утверждены Минздравом России. Доступно по: https://disuria.ru/ld/13/1361kr20H25MZ.pdf
Clinical guidelines. Senile cataract. 2020-2021-2022
Approved by the Ministry of Health of the Russian Federation. (In Russ.) Available from https://disuria.ru/ld/13/1361kr20H25MZ.pdf. Accessed 14th August, 2026.
20. Anton N, Dohotariu FC, Armeanu T, et al. A comprehensive review of management modalities for glaucoma and intraocular hypertension during pregnancy. *Int Ophthalmol*. 2026;46(1): 176. https://doi.org/10.1007/s10792-026-04030-w
21. Allaf AM, Chang TC, Masters NH. Anesthesia Strategies for Pediatric Ophthalmic Patients: Systematic Review of Recent Advances and Updates. *Curr Ophthalmol Rep*. 2025;13(1): 12. https://doi.org/10.1007/s40135-025-00339-4
22. Yahalomi T, Achiron A, Moscovici D, et al. Safety and efficacy of various topical anesthesia for intravitreal injection: a randomized controlled trial. *Int Ophthalmol*. 2026;46(1): 91. https://doi.org/10.1007/s10792-026-03961-8
23. Guise P. Sub-Tenon's anesthesia: an update. *Local and Regional Anesthesia*. 2012;5: 35–46. https://doi.org/10.2147/LRA.S16314
24. Elghannam M, Hassan BA, Shams N, et al. Retrobulbar Hematoma: Presentation, Management, and Visual Outcomes. *J Craniofac Surg*. 2025;36(2): 486–90. https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000010924
25. Nuijts RMMA, Cochener-Lamard B, Szaflik JP, et al. Safety of an Intracameral Fixed Combination for Mydriasis and Intraocular Anaesthesia During Cataract Surgery. *Clin Ophthalmol*. 2024;18: 1103–15. https://doi.org/10.2147/OPTH.S453257
26. Guerin GM, Guerin PL, Verdimonti E, Iuri L, Tognetto D. A predictive scoring system for anesthesiologist intervention in cataract surgery. *European Journal of Ophthalmology*. 2025;35(6): 2066–74. https://doi.org/10.1177/11206721251355482
27. West SK, Saldanha IJ, Woreta F, et al. A global scoping review of clinical practice guidelines for cataract surgery. *AJO Int*. 2026;3(1): 100226. https://doi.org/10.1016/j.ajoint.2026.100226
28. Giordano D, Raso MG, Pernice C, Agnoletti V, Barbieri V. Topical local anesthesia: focus on lidocaine-tetracaine combination. *Local Reg Anesth*. 2015;8: 95–100. https://doi.org/10.2147/LRA.S41836
29. Азнабаев Б.М., Загидуллина А.Ш., Лакман И.А., Исламова Р.Р., Сатторова Р.Р. Взаимосвязи между биомеханическими свойствами корнеосклеральной оболочки и морфометрическими показателями глаза у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Офтальмология*. 2019;16(3): 335–43.
Aznabaev BM, Zagidullina ASh, Lakman IA, Islamova RR, Sattarova RR. Correlation of corneoscleral membrane biomechanical properties and eye morphometric parameters in patients with primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology in Russia*. 2019;16(3): 335–43. (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-3-335-343
30. Малишевская Т.Н., Петров С.Ю., Петров С.А., и др. Терапевтические возможности стимуляции репаративного нейрогенеза у пациентов с глаукомой, перенесших коронавирусную инфекцию. *Вестник офтальмологии*. 2023;139(2): 44–51.
Malishevskaya TN, Petrov SYu, Petrov SA, et al. Therapeutic possibilities of stimulating reparative neurogenesis in patients with glaucoma who have recovered from a coronavirus infection. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2023;139(2): 44–51. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/oftalma202313902144
31. Leslie L, Liu SH, Kuo IC. Topical ophthalmic anesthetics for corneal abrasions: findings from a Cochrane systematic review and meta-analysis. *Res Sq*. 2024;(8): rs.3.rs-4160700/v1. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4160700/v1
32. Mohankumar A, Rajan M. Role of hyaluronidase as an adjuvant in local anesthesia for cataract surgery. *Indian J Ophthalmol*. 2023;71(7): 2649–55. https://doi.org/10.4103/IJO.IJO_2515_22
33. Valizadeh G., Valizadeh S., Moghaddasi A., et al. Sub-Tenon's versus Topical Anesthesia for Effectiveness of Analgesia During Cataract Surgery: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Clinical Ophthalmology*. 2025;19: 1475–87. https://doi.org/10.2147/OPTH.S512750.

Информация об авторах
Седаков Вадим Олегович — врач-анестезиолог-реаниматолог Хабаровского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, naukakhvmntk@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-6387-4482
Сорокин Евгений Леонидович — д.м.н., профессор, заместитель директора по научной работе Хабаровского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, профессор кафедры общей и клинической хирургии ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, naukakhvmntk@mail.ru, https//orchid.org/0000-0002-2028-1140
Игнатенко Дмитрий Юрьевич — зав. отделением анестезиологии и реанимации, врач-анестезиолог-реаниматолог Хабаровского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, naukakhvmntk@mail.ru, https//orchid.org/0000-0002-3507-3651

Information about the authors
Vadim O. Sedakov — anesthesiologist-resuscitator of the Khabarovsk branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, naukakhvmntk@mail.ru, https//orchid.org/0009-0004-6387-4482
Evgenii L. Sorokin — Dr. Sci. (Med.), Professor, Deputy Head for Scientific Work of the Khabarovsk branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Professor of the General and Clinical Surgery Department at the Far Eastern State Medical University, naukakhvmntk@mail.ru, https//orchid.org/0000-0002-2028-1140
Dmitry Yu. Ignatenko — Head of the Department of Anesthesiology and Resuscitation, anesthesiologist-resuscitator of the Khabarovsk branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, naukakhvmntk@mail.ru, https//orchid.org/0000-0002-3507-3651

Вклад авторов в работу:
Седаков В.О. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, анализ литературы, написание текста.
Сорокин Е.Л. — редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.
Игнатенко Д.Ю. — редактирование.

Author's contribution:
Sedakov V.O. — concept and design of the study, collection and processing of material, literature analysis, writing the text.
Sorokin E.L. — editing, final approval of the version to be published.
Ignatenko D.Yu. — editing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *27.05.2026*
Переработана: *26.06.2026*
Принята к печати: *09.07.2026*
Received: *27.05.2026*
Revision: *26.06.2026*
Accepted: *09.07.2026*

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ
CASES REPORT

Клинический случай
УДК 617.7-003.6
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-103-108

Проникающее ранение глазного яблока с крупным внутриглазным инородным телом: особенности витреоретинального лечения на примере клинического случая

Ю.В. Гнатюк, Д.А.Лаптев, Е.Е. Филиппова
Городская многопрофильная больница № 2, Санкт-Петербург, Россия

РЕФЕРАТ

Открытая травма глазного яблока с внутриглазным инородным телом (ВГИТ) относится к наиболее тяжелым вариантам офтальмотравмы и требует индивидуального выбора хирургической тактики, особенно в случаях, когда ранящий агент имеет крупные размеры.

Цель — демонстрация возможностей комбинированного лечения проникающего корнеосклерального ранения с крупным стеклянным ВГИТ и оценка анатомо-функционального результата.

Результаты. Представлено клиническое наблюдение пациентки 45 лет, поступившей после дорожно-транспортного происшествия с проникающим корнеосклеральным ранением правого глаза, травматической катарактой, гифемой, кровоизлиянием в стекловидное тело и стеклянным ВГИТ. По данным компьютерной томографии в полости правого глазного яблока определялось округлое инородное тело (ИТ) размерами 6,7×3,5 мм, плотностью +1230–1560 HU. Выполнено комбинированное хирургическое вмешательство: факоэмульсификация травматической катаракты, микроинвазивная витрэктомия 25G, формирование заднего капсулорексиса, транспупиллярное перемещение ИТ размерами 6×3,5×2,5 мм в переднюю камеру с последующей эвакуацией через склеророговичный тоннель, имплантация заднекамерной интраокулярной линзы и воздушная тампонада. Через 1 месяц на контрольном осмотре отмечалась прозрачность оптических сред, центрированное положение интраокулярной линзы, сетчатка прилежала на всем протяжении, сохраненная архитектоника макулярной области по данным оптической когерентной томографии. Максимальная корригированная острота зрения правого глаза повысилась с 0,01 до 0,9 с астигматической коррекцией в 2,0 дптр.

Заключение. Представленное наблюдение демонстрирует возможность достижения благоприятного анатомо-функционального исхода при тяжелой проникающей травме глазного яблока с крупным стеклянным ВГИТ при условии индивидуального выбора хирургической тактики, поэтапного лечения и применения современных витреоретинальных технологий.

Ключевые слова: *внутриглазное инородное тело, крупное внутриглазное инородное тело, витрэктомия, витреоретинальная хирургия, проникающая травма глазного яблока, травматическая катаракта*

Для цитирования: Гнатюк Ю.В., Лаптев Д.А., Филиппова Е.Е. Проникающее ранение глазного яблока с крупным внутриглазным инородным телом: особенности витреоретинального лечения на примере клинического случая. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 103–108. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-103-108
Автор, ответственный за переписку: Лаптев Данил Андреевич, danlda@mail.ru

Clinical case

Penetrating Ocular Injury with a Large Intraocular Foreign Body: Features of Vitreoretinal Surgical Management — A Clinical Case Report

Yu.V. Gnatyuk, D.A. Laptev, E.E. Filippova
City Multifield Hospital No. 2, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

Open-globe injury with an intraocular foreign body (IOFB) is one of the most severe types of ocular trauma and requires individualized surgical planning, particularly when the traumatic fragment is large.

The aim of this report was to demonstrate the potential of combined surgical treatment for a penetrating corneoscleral injury with a large glass IOFB and to assess the anatomical and functional outcome.

Results. We report the case of a 45-year-old female patient admitted after a road traffic accident with a penetrating corneoscleral injury of the right eye, traumatic cataract, hyphema, vitreous hemorrhage and a glass IOFB. Computed tomography revealed a rounded foreign body within the right globe measuring 6.7×3.5 mm, with a density of +1230 to +1560 HU. Combined surgery was performed, including phacoemulsification of the traumatic cataract, 25-gauge microinvasive vitrectomy,

© *Гнатюк Ю.В., Лаптев Д.А., Филиппова Е.Е., 2026*

posterior capsulorhexis, transpupillary displacement of the foreign body measuring 6×3.5×2.5 mm into the anterior chamber followed by its removal through a sclerocorneal tunnel, posterior chamber intraocular lens implantation and air tamponade. At the 1-month follow-up examination, the ocular media were clear, the intraocular lens was centered, the retina was attached throughout, and optical coherence tomography showed preserved macular architecture. Best-corrected visual acuity in the right eye improved from 0.01 to 0.9 with 2.0 D of astigmatic correction.

Conclusion. This clinical observation demonstrates the possibility of achieving a favorable anatomical and functional outcome in severe penetrating ocular injury with a large glass IOFB, provided that an individualized approach, staged treatment and modern vitreoretinal technologies are applied.

Keywords: *intraocular foreign body, large intraocular foreign body, vitrectomy, vitreoretinal surgery, penetrating ocular injury, traumatic cataract*

For citation: Gnatyuk Yu.V., Laptev D.A., Filippova E.E. Penetrating ocular injury with a large intraocular foreign body: features of vitreoretinal surgical management — a clinical case report. *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 103–108. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-104-108

Corresponding author: Danil A. Laptev, danlda@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Травмы глазного яблока с внутриглазными инородными телами (ВГИТ) относятся к числу наиболее тяжелых офтальмотравм вследствие нарушения анатомической целостности оболочек глаза и высокого риска повреждения его внутренних структур. Клиническое течение травмы и выбор хирургической тактики во многом зависят от локализации ВГИТ. Существенное значение имеет и природа инородного тела (ИТ): металлическая, стеклянная или органическая. Эти факторы определяют техническую сложность удаления ВГИТ и повышают риск интра- и послеоперационных осложнений [1]. Именно поэтому особенно важен анализ и представление клинических наблюдений, отражающих возможности современных витреоретинальных методик лечения подобных состояний.

По данным литературы, ВГИТ выявляются примерно в 17–40% случаев проникающих травм глазного яблока [2]. При поражении заднего сегмента глаза риск утраты зрительных функций особенно высок: слепота развивается в 70,3% случаев [3, 4]. Наиболее часто данная патология встречается у лиц трудоспособного возраста от 21 до 40 лет и нередко сочетается с повреждениями костей лицевого скелета и орбиты, что существенно усугубляет клиническое течение и осложняет оказание специализированной офтальмологической помощи [5].

Значимость проникающих травм глазного яблока с ВГИТ обусловлена высоким риском развития тяжелых витреоретинальных осложнений, нередко приводящих к стойкой утрате зрительных функций [6]. Особую сложность представляют случаи с крупными ВГИТ, при которых стандартные хирургические подходы ограничены, а тактика лечения требует индивидуального, поэтапного и высокотехнологичного решения, что подчеркивает клиническую значимость анализа и представления подобных наблюдений.

В отечественной литературе одним из наиболее обоснованных подходов является комбинированный путь удаления ВГИТ, при котором трансвитреальный доступ используется для визуализации, мобилизации и перемещения ИТ, а окончательная эвакуация выполняется передним путем через лимбальный или склеророговичный разрез. Куликов А.Н. и соавт. описывают несколько вариантов реализации данного подхода: «пинцет–пинцет», «магнит–пинцет», «магнит–магнит», а также удаление с использованием цангового пинцета Нойбауэра [4].

Выбор конкретного способа удаления определяется размером, формой, локализацией, материалом и магнитными свойствами ВГИТ. Для магнитных фрагментов могут применяться комбинации с постоянным магнитом, тогда как при стеклянных ВГИТ основное значение приобретают механическая фиксация и контролируемое перемещение ИТ под эндовитреальным визуальным контролем. Крупные стеклянные ВГИТ, особенно имеющие гладкие грани и нестандартную форму, могут быть затруднительны для удаления стандартными витреальными пинцетами 23–25G. В таких случаях комбинированный путь экстракции позволяет адаптировать хирургическую тактику к анатомической ситуации и снизить риск дополнительной интраокулярной травматизации [3, 4].

ЦЕЛЬ

Продемонстрировать возможности витреоретинального лечения проникающего ранения глазного яблока с крупным стеклянным ВГИТ и оценить анатомо-функциональные результаты вмешательства на примере клинического случая.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Пациентка К., 45 лет, поступила в офтальмологический центр СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2» 22.11.2025 с диагнозом: проникающее корнеосклеральное ранение с ВГИТ правого глаза. Жалобы при поступлении на выраженное снижение зрения, боль и покраснение правого глаза. Из анамнеза известно, что 16.11.2025 пациентка попала в ДТП. В момент столкновения ударилась о руль левой половиной лица, лобовое стекло автомобиля разбилось. 17.11.2025 госпитализирована в ближайший стационар, где была выполнена первичная хирургическая обработка (ПХО) проникающей корнеосклеральной раны правого глаза. В дальнейшем пациентке была рекомендована госпитализация в специализированный офтальмологический центр для продолжения лечения.

Офтальмологический статус на момент поступления: максимальная корригированная острота зрения (МКОЗ) по таблице Сивцева–Головина правого глаза составила

Рис. 1. Биомикроскопия правого глаза на момент поступления (медикаментозный мидриаз)

Fig. 1. Biomicroscopy of the right eye on admission (pharmacological mydriasis)

Рис. 2. Спиральная компьютерная томография орбит от 22.11.2025

Fig. 2. Orbital spiral computed tomography dated November 22, 2025

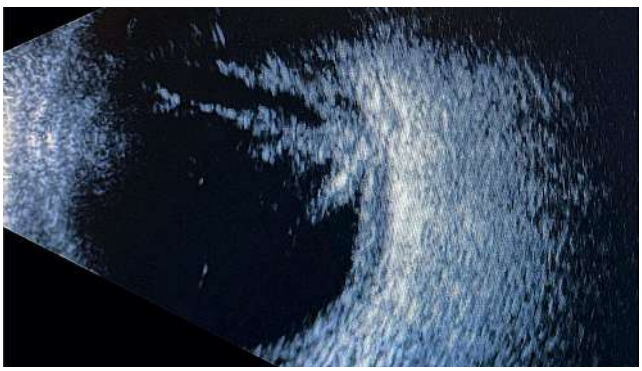


Рис. 3. Подозрение на травматическую отслойку сетчатки по результатам В-сканирования правого глаза от 22.11.2025

Fig. 3. Suspected traumatic retinal detachment based on B-scan ultrasonography of the right eye dated November 22, 2025

0,01 н/к, левого — 1,0. При биомикроскопии правого глаза определялись следующие изменения: ушитая линейная вертикальноориентированная корнеосклеральная рана с 7 до 11 часов, травматическая колобома радужки на 10 часах, взвесь форменных элементов крови в передней камере и стекловидном теле. Глазное дно не офтальмоскопировалось. При биомикроскопии переднего отрезка левого глаза: гематома верхнего и нижнего век, секторальная гипосфагма. Глазное дно без особенностей *(рис. 1)*.

Компьютерная томография орбит выполнена на 64-срезовом мультиспиральном компьютерном томографе SOMATOM Definition (Siemens, Германия) в режиме FAST Planning с минимальной толщиной среза 0,24 мм. По данным исследования были обнаружены переломы латеральной, медиальной и нижней стенок левой орбиты без пролабирования клетчатки. Также определялись переломы скуловой кости слева в проекции дуги (со смещением), лобного отростка (со смещением), передней, медиальной, задненаружной стенок левой верхнечелюстной пазухи, костей носа (со смещением), верхней челюсти слева. В полости правого глазного яблока визуализировалось ИТ округлой формы, диаметром 6,7×3,5 мм, плотностью +1230–1560 HU (единиц Хаунсфилда) *(рис. 2)*.

По результатам В-сканирования правого глаза — подозрение на травматическую отслойку сетчатки *(рис. 3)*.

С учетом характера травмы, наличия крупного ВГИТ, выраженных витреоретинальных осложнений был выставлен диагноз: «Открытая травма правого глазного яблока 4-й степени, тип С II, глубина повреждения d. Проникающее корнеосклеральное ранение с ВГИТ (стекло) после ПХО. Микрогифема. Иридодиализ. Травматическая катаракта. Кровоизлияние в стекловидное тело в токсико-гемолитической стадии. Локальная травматическая отслойка сетчатки? Перелом скулоорбитального комплекса слева. Параорбитальная гематома». На фоне стабилизации состояния пациентки и проведения курса противовоспалительной и антибактериальной терапии было принято решение о проведении оперативного лечения.

26.11.2025 выполнено комбинированное вмешательство в объеме факоэмульсификации осложненной травматической катаракты и микроинвазивной витрэктомии 25G с удалением ВГИТ. В ходе операции, после выполнения факоэмульсификации и задней витрэктомии, сформирован задний капсулорексис. ИТ, размерами 6×3,5×2,5 мм, посредством цангового пинцета 19G выведено транспупиллярно в переднюю камеру, после чего под бимануальным контролем положения эвакуировано через сформированный склеророговичный тоннель. В капсульный мешок имплантирована интраокулярная линза Akreos Adapt AO +21,0 дптр. Введение стерильного воздуха в конце операции *(рис. 4, 5)*. Несмотря на тяжесть поражения, признаков отслойки сетчатки не выявлено, и к моменту завершения хирургического вмешательства зон, требующих барьерной лазеркоагуляции (БЛК), не обнаружено. Также в рамках комбинированного вмешательства челюстно-лицевыми хирургами была выполнена

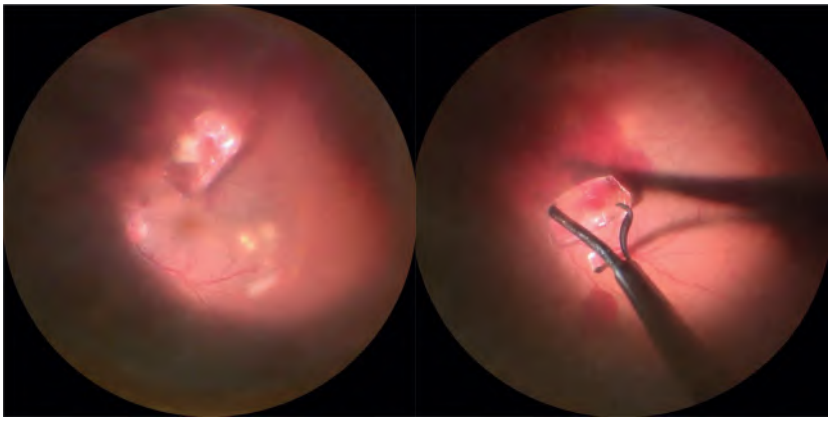


Рис. 4. ВГИТ (стекло) на глазном дне

Fig. 4. Intraoperative visualization of a glass intraocular foreign body on the fundus

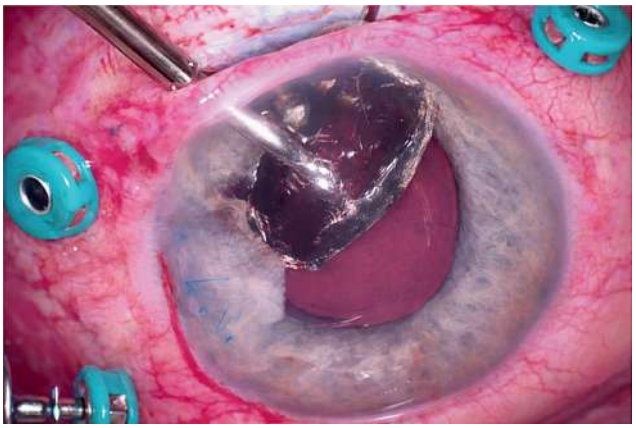


Рис. 5. Транспупиллярное удаление ВГИТ

Fig. 5. Transpupillary removal of the intraocular foreign body

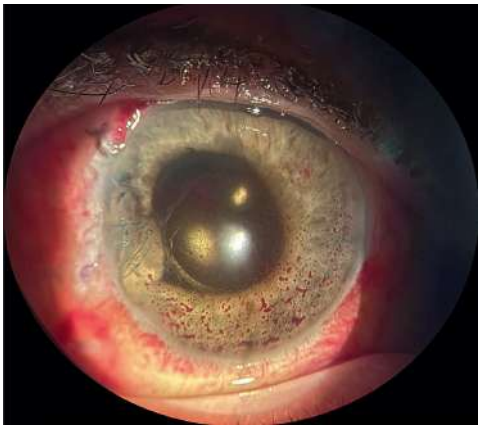


Рис. 6. Биомикроскопия правого глаза на следующий день после операции

Fig. 6. Biomicroscopy of the right eye on the first postoperative day

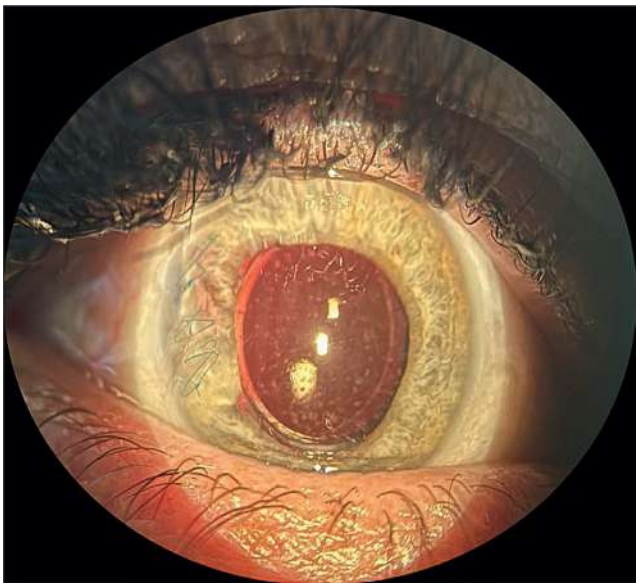


Рис. 7. Биомикроскопия правого глаза на контрольном осмотре через 1 месяц после операции (медикаментозный мидриаз)

Fig. 7. Biomicroscopy of the right eye at the 1-month postoperative follow-up examination (pharmacological mydriasis)

репозиция скуловой кости слева крючком Лимберга и костей носа.

Интраоперационно и в раннем послеоперационном периоде осложнений отмечено не было. Отмечалась стабилизация анатомического состояния глазного яблока, нормализация внутриглазного давления и отсутствие отрицательной динамики со стороны сетчатки *(рис. 6)*. Острота зрения правого глаза при выписке составила 0,02 н/к, что соответствует раннему послеоперационному периоду при воздушной тампонаде. Пациентке была рекомендована повторная явка через 1–1,5 месяца для контрольного осмотра, проведения В-сканирования и оптической когерентной томографии (ОКТ).

Контрольный осмотр пациентки через месяц: оптические среды прозрачны, заднекамерная интраокулярная линза центрирована, резорбция воздушной тампонады *(рис. 7)*.

При офтальмоскопии — диск зрительного нерва (ДЗН) и макулярная зона (МЗ) без особенностей, по ходу нижней височной артерии участок субретинального кровоизлияния в стадии резорбции, сетчатка прилежит на всем протяжении. По данным ОКТ правого глаза от-

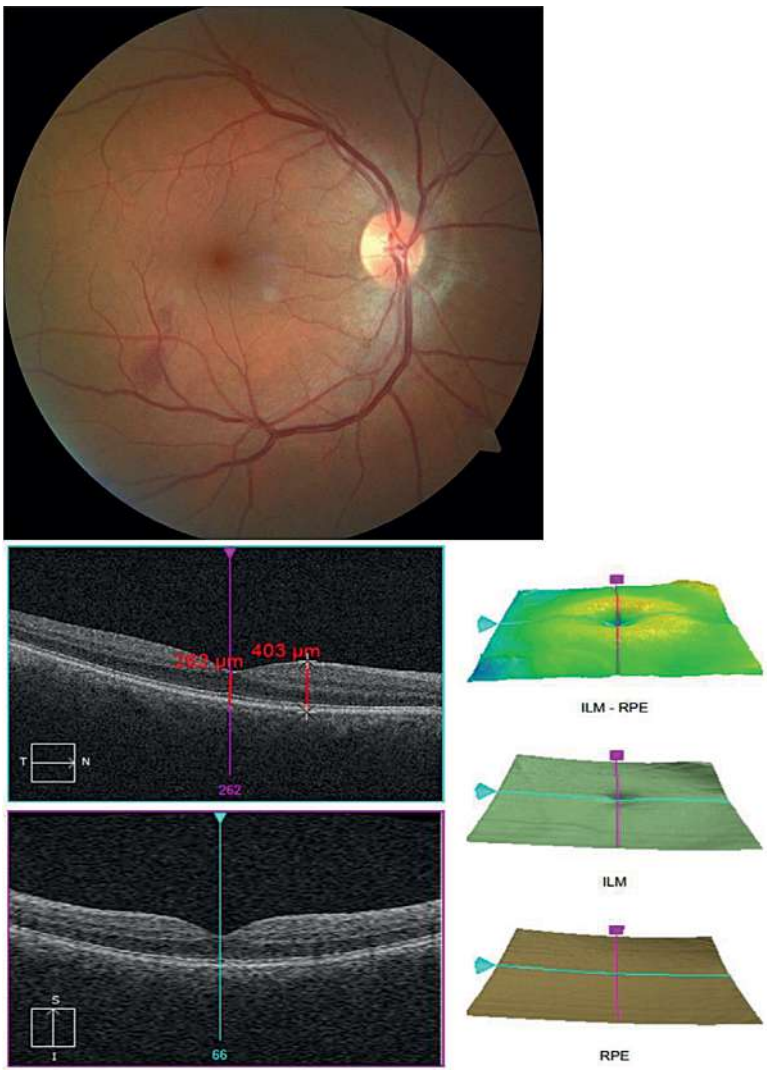


Рис. 8. Офтальмоскопическая картина и оптическая когерентная томография состояния глазного дна правого глаза через месяц после лечения

Fig. 8. Fundus appearance and optical coherence tomography of the right eye 1 month after treatment

мечалась сохраненная архитектоника макулярной области, удовлетворительные показатели фовеолярной толщины и отсутствие признаков макулярного отека, что свидетельствовало о стабильном анатомическом состоянии сетчатки. МКОЗ правого глаза увеличилась с 0,01 до 0,9 с астигматической коррекцией в 2 диоптрии, что подчеркивает функциональную состоятельность глаза, несмотря на тяжесть первичного повреждения и объем выполненного хирургического вмешательства *(рис. 8)*.

ОБСУЖДЕНИЕ

Лечение открытых травм глаза с ВГИТ остается одной из наиболее сложных задач офтальмотравматологии [7–11]. Особую клиническую сложность представляют случаи с крупными ВГИТ, при которых стандартные методы удаления ИТ ограничены и сопряжены с дополнительной травматизацией внутриглазных структур. В представленном наблюдении ключевое значение имел выбор способа удаления ВГИТ. Сочетание факоэмульсификации, формирования заднего капсулорексиса и витрэктомии 25G обеспечило восстановление прозрачности оптических сред и доступ к заднему отрезку глаза, а комбинированный путь удаления позволил снизить риск дополнительной травматизации внутриглазных структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленное клиническое наблюдение демонстрирует возможность достижения благоприятного анатомо-функционального исхода при тяжелой проникающей травме глазного яблока с крупным внутриглазным инородном телом при условии индивидуального выбора хирургической тактики, поэтапного лечения и применения современных витреоретинальных технологий. Полученные данные позволяют рассматривать комбинированный путь экстракции как один из анатомически щадящих вариантов удаления крупных стеклянных фрагментов в подобных случаях.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Kuhn F, Maisiak R, Mann L, Morris R, Witherspoon C The Ocular Trauma Score (OTS): Prognosticating the final vision of the seriously injured eye. In: Kuhn F, Pieramici D (eds) Ocular trauma: principles and practice. Thieme, New York, 2002. Pp. 14–12. https://doi.org/10.1016/s0896-1549(02)00007-x
2. Волков В., Трояновский Р., Шишкин М., и др. Современные принципы первичной офтальмохирургической помощи при открытой травме глазного яблока. Сообщение 2. *Офтальмохирургия.* 2003;S1: 10–6.
Volkov V, Troyanovskiy R, Shishkin M, et al. Sovremennye printsipy pervichnoy oftal'mokhirurgicheskoy pomoshchi pri otkrytoy travme glaznogo yabloka. Soobshchenie 2. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2003;S1: 10–6. (In Russ.)
3. 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: 109–11.
4. Kulikov AN, Churashov SV, Mikhin AA, Danilichev VF, Volkov VV. Removal of a glass intraocular foreign body (analysis of outcomes and surgical treatment methods). *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii.* 2019;1: 109–11. (In Russ.) https://doi.org/10.25276/2312-4911-2019-1-109-111
5. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Михин А.А. Комбинированный путь удаления внутриглазных инородных тел (способы и результаты). *Современные технологии в офтальмологии.* 2019;3: 104–7.
Kulikov AN, Churashov SV, Mikhin AA. Combined approach to intraocular foreign body removal (methods and outcomes). *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii.* 2019;3: 104–7. (In Russ.). https://doi.org/10.25276/2312-4911-2019-3-104-107
6. Ferenc K, Robert C, Douglas W. Epidemiology of Blinding Trauma in the United States Eye Injury Registry. *Ophthalmic Epidemiol.* 2006;13: 209–16. https://doi.org/10.1080/09286580600665886
7. Greven CM, Engelbrecht NE, Slusher MM, Nagy SS. Intraocular foreign bodies: management, prognostic factors, and visual outcomes. *Ophthalmology.* 2000;107(3): 608–12. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(99)00134-7
8. Гундорова Р.А., Степанов А.В., Курбанова Н.Ф. Современная офтальмотравматология. М.: Издательство Медицина; 2007. 256 с.
9. Gundorova RA, Stepanov AV, Kurbanova NF. Sovremennaya oftal'motravmatologiya. Moscow: Meditsina; 2007. 256 p. (In Russ.).
10. Волков В.В., Даниличев В.Ф., Ерюхин И.А., Шиляев В.Г., Шишкин М.М. Повреждения органа зрения. В кн.: Современная офтальмология. Под ред. Даниличева В.Ф. СПб.: Питер; 2009: 121–48
11. Volkov VV, Danilichev VF, Eryukhin IA, Shilyaev VG, Shishkin MM. Injuries of the organ of vision. In: Sovremennaya oftal'mologiya. Danilichev VF, editor. Saint Petersburg: Piter; 2009: 121–48. (In Russ.).
12. Esmaeli B, Elner SG, Schork MA, Elner VM. Visual outcome and ocular survival after penetrating trauma. A clinicopathologic study. *Ophthalmology.* 1995;102: 393–400. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(95)31009-3
13. Li L, H Lu, Ma K, et al. Etiologic Causes and Epidemiological Characteristics of Patients with Intraocular Foreign Bodies: Retrospective Analysis of 1340 Cases over Ten Years. *J Ophthalmol.* 2018;2018: 1–8. https://doi.org/10.1155/2018/6309638
14. Михин А.А., Чурашов С.В., Куликов А.Н., Ильющенков Д.С. Клинико-экспериментальное обоснование применения наконечника калибра 25G к постоянному магниту для удаления внутриглазных инородных тел. *Офтальмология.* 2022;19(1): 83–90.
15. Mikhin AA, Churashov SV, Kulikov AN, Ilyushchenkov DS. Clinical and experimental substantiation of the use of a 25G tip attached to a permanent magnet for intraocular foreign body removal. *Ophthalmology in Russia.* 2022;19(1): 83–90. (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-83-90.

Информация об авторах
Гнатюк Юрий Витальевич — врач-офтальмолог II микрохирургического отделения СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница № 2», yuragnatyuk@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0001-2061-0805
Лаптев Данил Андреевич — врач-офтальмолог II микрохирургического отделения СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница №2», danlda@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1454-7894
Филиппова Елена Евгеньевна — врач-офтальмолог II микрохирургического отделения СПб ГБУЗ «Городская многопрофильная больница №2», elena.fill00@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2560-1879

Information about the authors
Yury V. Gnatyuk — ophthalmologist of the 2nd microsurgical department, Saint Petersburg City Multifield Hospital No. 2, Saint Petersburg, Russia, yuragnatyuk@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0001-2061-0805
Danil A. Laptev — ophthalmologist of the 2nd microsurgical department, Saint Petersburg City Multifield Hospital No. 2, Saint Petersburg, Russia, danlda@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1454-7894
Elena E. Filippova — ophthalmologist of the 2nd microsurgical department, Saint Petersburg City Multifield Hospital No. 2, Saint Petersburg, Russia, elena.fill00@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2560-1879

Вклад авторов:
Гнатюк Ю.В. — сбор и обработка материала, написание текста, редактирование.
Лаптев Д.А. — написание текста, редактирование.
Филиппова Е.А. — написание текста, редактирование.

Author's contribution:
Gnatyuk Yu.V. — collection and processing of the material, text writing, editing.
Laptev D.A. — text writing, editing.
Filippova E.E. — text writing, editing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *28.04.2026*
Переработана: *05.05.2026*
Принята к печати: *25.05.2026*
Received: *28.04.2026*
Revision: *05.05.2026*
Accepted: *25.05.2026*

СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ
CASES REPORT

Клинический случай
УДК 617.713-002.1
DOI: https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-109-114

Клинический случай атипичного кератита затяжного течения, вызванного вирусом простого герпеса

Т.И. Полтанова, Н.Ю. Белоусова

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

РЕФЕРАТ

Представлен клинической случай атипичного кератита затяжного течения, вызванного вирусом простого герпеса. При первичном обращении пациента по поводу болевого синдрома и снижения зрительных функций левого глаза в результате обследования был обнаружен язвенный дефект на периферии роговицы левого глаза, предположительно аутоиммунной этиологии, в связи с чем был проведен курс системной и местной кортикостероидной терапии с положительной динамикой. Повторная госпитализация через 3 недели после выписки была связана с появлением центральных стромальных роговичных инфильтратов с деэпителизацией, отека роговицы с буллезными изменениями, роговичных преципитатов, повышением внутриглазного давления (ВГД). В связи с обнаружением антител к вирусу простого герпеса в ходе лабораторного исследования, был установлен диагноз хронического герпетического кератоувеита левого глаза с офтальмогипертензией и проведен курс лечения ацикловиром системно в течение 1 месяца. Эффективность проведенной терапии заключалась в повышении зрительных функций, рассасывании роговичного инфильтрата с остаточным облаковидным помутнением, нормализации ВГД. Наличие периферического язвенного кератита в сочетании с офтальмогипертензией требует исключения герпетической природы заболевания с использованием современных методов лабораторной диагностики из-за доминирования герпесвирусов в этиологической структуре воспалительной патологии роговой оболочки.

Ключевые слова: о*фтальмогерпес, периферический язвенный кератит, офтальмогипертензия*

Для цитирования: Полтанова Т.И., Белоусова Н.Ю. Клинический случай атипичного кератита затяжного течения, вызванного вирусом простого герпеса (клинический случай). *Точка зрения. Восток–Запад.* 2026;13(3): 109–114. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-109-114

Автор, ответственный за переписку: Белоусова Наталья Юрьевна, Susan29@yandex.ru

Clinical case

Clinical case of atypical keratitis of prolonged course caused by Herpes simplex virus

T.I. Poltanova, N.Yu. Belousova

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

ABSTRACT

The clinical case of atypical keratitis of prolonged course caused by Herpes simplex virus was presented. The patient who complained of acute ocular pain in the left eye and loss of vision was hospitalized and treated with topical and systemic corticosteroids because of the presence of peripheral corneal ulcer presumably of autoimmune etiology. Despite clinical improvement, three weeks later the patient was re-hospitalized in connection with the appearance of central corneal stromal infiltrates with epithelial defects, edema, bullous changes, keratic precipitates and increase in intraocular pressure (IOP). Due to laboratory detection of Herpes simplex virus antibodies, we make the diagnosis of chronic herpetic keratouveitis with ophthalmohypertension and applied Acyclovir systemically for 1 month. The positive result of the treatment included resolution of corneal infiltrates with a residual slight corneal opacity, visual improvement and IOP normalization. In cases of peripheral ulcerative keratitis with ophthalmohypertension it is necessary to exclude herpetic nature of the disease by using advanced methods of laboratory diagnostics because of dominance of herpes in the etiologic structure of inflammatory corneal diseases.

Keywords: *ophthalmoherpes, peripheral ulcerative keratitis, ophthalmohypertension*

For citation: Poltanova T.I., Belousova N.Yu. Clinical case of atypical keratitis of prolonged course caused by Herpes simplex virus (literature review). *Point of view. East–West.* 2026;13(3): 109–114. https://doi.org/10.25276/2410-1257-2026-3-109-114

Corresponding author: Natalia Yu. Belousova, Susan29@yandex.ru

© Полтанова Т.И., Белоусова Н.Ю., *2026*

АКТУАЛЬНОСТЬ

Офтальмогерпес как проявление системной эндогенной герпетической инфекции является актуальной проблемой в офтальмологии в связи с широким распространением, рецидивирующим течением, а также трудностями в диагностике и лечении, что часто приводит к неблагоприятным исходам с потерей зрительных функций [1–3]. Кератит, являясь доминирующей нозологией в структуре герпетической болезни органа зрения, может представлять сложности при этиологической верификации вследствие полиморфизма клинических проявлений [4]. Вместо типичных форм герпетического кератита (древовидной, географической, дисковидной) офтальмолог может столкнуться с периферическими язвенными дефектами, клинически напоминающими поражение роговицы при аутоиммунных заболеваниях, или с нехарактерными для вирусов герпеса кольцевидными инфильтратами и мигрирующей эпителиопатией [5, 6]. Несвоевременно установленный диагноз герпетического поражения роговицы приводит к неправильной медикаментозной терапии (например, раннему назначению кортикостероидов), что не только не способствует клиническому улучшению, но и может усугубить имеющееся заболевание, провоцируя затяжное течение кератита с последующим лизисом стромы роговицы и перфорацией [7]. Отсутствие адекватного противовирусного лечения, как местного, так и системного, предрасполагает к частым рецидивам, при этом каждый последующий эпизод воспаления роговицы протекает тяжелее, с выраженным нарушением трофики, персистирующими эрозиями и язвами роговой оболочки, формированием грубого васкуляризированного помутнения [8, 9].

ЦЕЛЬ

Представить клинической случай атипичного кератита затяжного течения, вызванного вирусом простого герпеса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В приемный покой ГБУЗ НО «Нижегородская областная клиническая больница им. Н.А. Семашко» МЗ РФ г. Нижнего Новгорода обратился пациент П., 1963 г.р., с жалобами на слезотечение, светобоязнь, острую боль в левом глазу, покраснение и снижение остроты зрения левого глаза. По данным амбулаторной карты, симптомы появились 3 недели назад на фоне полного здоровья, в связи с чем, пациент обратился к офтальмологу по месту жительства. Были назначены топические антибактериальные средства из группы фторхинолонов (ципрофлоксацин 0,3% 4 раза в сутки) по поводу острого бактериального конъюнктивита левого глаза. Повторный амбулаторный прием через 5 суток был связан с усилением болевого синдрома и дальнейшим снижением остроты зрения левого глаза. Врачом по месту жительства было выявлено повышение внутриглазного давления (ВГД) левого глаза и установлен диагноз острого приступа первичной закрытоугольной глаукомы, по поводу чего назначена местная гипотензивная терапия в виде инстилляций пилокарпина гидрохлорида 1% 6 раз в сутки и дорзоламида гидрохлорида 2% 3 раза в сутки. На фоне проводимого лечения отмечалась отрицательная динамика, в связи с чем больной был направлен в экстренном порядке в приемный покой ГБУЗ НО «НОКБ им. Н.А. Семашко».

Проведено стандартное офтальмологическое обследование, включавшее визометрию с определением некорригированной и максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ) с помощью проектора знаков и набора пробных очковых линз; биомикроскопию (БМС) переднего отрезка глаза с помощью щелевой лампы SL-P-00 (Россия) с применением витальных красителей — тест-полосок с флуоресцеином («Doctor Klaus», Беларусь), биомикроофтальмоскопию с асферическими высокодиоптрийными линзами (Volk, +90 дптр, США), тонометрию на бесконтактном пневмотонометре (Huvitz HNT-7000, Южная Корея).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При первичном осмотре пациента в стационаре получены следующие объективные данные:

Острота зрения правого глаза (visus OD) = 1,0.

Острота зрения левого глаза (visus OS) = 0,2 не корригирует.

ВГД OD = 20 мм рт.ст., ВГД OS = 25 мм рт.ст.

БМС OD: положение глазного яблока в орбите правильное, движение в полном объеме, форма и положение век правильное, рост ресниц правильный, слизистая физиологической окраски, роговица прозрачная, передняя камера средней глубины, влага прозрачная, цвет и рисунок радужки не изменены, зрачок круглый, реакция на свет не нарушена, диаметр зрачка 4 мм, факосклероз, на глазном дне — диск зрительного нерва (ДЗН) бледно-розовый, границы четкие, артерии равномерно сужены, вены извиты, а:в=1:2, макулярная зона и периферия сетчатки не изменены.

БМС OS: положение глазного яблока в орбите правильное, движение в полном объеме, форма и положение век правильное, рост ресниц правильный, гиперемия конъюнктивы век, смешанная инъекция глазного яблока, субконъюнктивальное кровоизлияние, роговица отечная, в центральных отделах содержит облачковидное помутнение серого цвета без признаков деэпителизации, в верхне-наружных отделах роговой оболочки у лимба с 12 до 15 ч определяется серповидный язвенный дефект с подрытым центральным краем, дно язвы чистое, чувствительность роговицы снижена, передняя камера средней глубины с прозрачным содержимым *(рис. 1)*, цвет и рисунок радужки не изменены, зрачок круглый, реакция на свет не нарушена, диаметр зрачка 4 мм, факосклероз, на глазном дне — ДЗН бледно-розовый, границы четкие, артерии равномерно сужены, вены извиты, а:в=1:2, макулярная зона и периферия сетчатки не изменены.

Результаты лабораторных исследований крови пациента:

Общий анализ крови: Hb — 142 г/л (норма 128–150 г/л), Er — $5{,}24\times10^{12}$/л (норма $4{,}1–5{,}2\times10^{12}$/л), Le —

Рис. 1. Фото левого глаза пациента П., 62 лет. Диагноз: периферическая язва роговицы левого глаза. Видно периферическое изъязвление роговицы серповидной формы с 12 до 15 часов, в центре роговицы — облачковидное помутнение

Fig. 1. Photo of the left eye of patient P., 62 years old. Diagnosis: peripheral corneal ulcer of the left eye. Peripheral corneal ulcerative defect between 12 and 3 o'clock hours and central slight corneal opacity are visible

11,77×10⁹/л (норма 4–10×10⁹/л), Tr — 140×10⁹ /л (норма 178–318×10⁹ /л); сахар крови 5,0 ммоль/л (норма 3,3–5,5 ммоль/л), СОЭ 11 мм/ч (норма 2–16 мм/ч).

С-реактивный белок <0/6 мг/л (нормальные значения менее 5 мг/л), ревматоидный фактор <10 отн. ЕД/мл (нормальные значения менее 14 МЕ/мл), циркулирующие иммунные комплексы — 90,00 ЕД/мл ((нормальные значения менее 20 ЕД/мл), антитела класса IgG к токсоплазме гондии <0,13 МЕ/мл (отрицательный результат — менее 1 МЕ/мл), антитела класса IgG к хламидиям (*Chlamydia trachomatis*) — отрицательный результат, антитела класса IgG к токсокарам <2 у.е. (нормальные значения <9,0 у.е.).

Осмотрен ревматологом — убедительных данных за наличие ревматического заболевания на момент осмотра нет.

Повышение уровня циркулирующих иммунных комплексов крови, небольшой лейкоцитоз, отрицательные результаты иммунологического исследования крови на наиболее частые паразитарные инфекции в совокупности с результатами офтальмологического осмотра, выявившего наличие периферического язвенного дефекта роговицы, позволило установить клинический диагноз периферической язвы роговицы левого глаза (предположительно аутоиммунного генеза), осложненной офтальмогипертензией, помутнение роговицы.

Пациент был госпитализирован для консервативного лечения, которое включало инстилляции левофлоксацина 0,5% 5 раз в сутки, тропикамида 1% 3 раза в сутки, диклофенака 0,1% 4 раза в сутки, дексаметазона 0,1% 4 раза в сутки в течение 5 дней с последующим снижением дозы до 3 раз в сутки до 10 дней, внутривенное капельное введение раствора дексаметазона фосфата 0,4% в дозировке 32 мг в сутки 2 дня, 16 мг 2 дня, затем 8 мг внутримышечно 2 дня. Оценка эффективности терапии проводилась путем исследования динамики зрительных функций, воспалительных изменений переднего отрезка глаза, а также значений офтальмотонуса. В результате проведенного лечения диагносцировано повышение МКОЗ левого глаза до 0,4, купирование симптомов острого воспаления при БМС — отсутствие инъекции глазного яблока, эпителизация язвенного дефекта роговицы. нормализация ВГД (18 мм рт.ст.), Пациент был выписан под наблюдение офтальмолога по месту жительства, рекомендованы инстилляции слезозаменителей (гиалуроната натрия 0,2% 4 раза в сутки) в постоянном режиме и бромфенака 0,09% 1 раз в сутки на 3 недели.

Повторно пациент обратился через 3 недели с жалобами на слезотечение, светобоязнь, покраснение, боль в левом глазу и снижение зрения. Офтальмологический статус на момент повторного обращения:

Острота зрения правого глаза (visus OD) = 1,0.

Острота зрения левого глаза (visus OS) = 0,01 не корригирует.

ВГД OD = 19 мм рт.ст., OS = 24 мм рт.ст.

БМС OD: положение глазного яблока в орбите правильное, движение в полном объеме, форма и положение век правильное, рост ресниц правильный, слизистая физиологической окраски, роговица прозрачная, передняя камера средней глубины, влага прозрачная, цвет и рисунок радужки не изменены, зрачок круглый, реакция на свет не нарушена, диаметр 4 мм, факосклероз, на глазном дне — ДЗН бледно-розовый, границы четкие, артерии равномерно сужены, вены извиты, а:в=1:2, макулярная зона и периферия сетчатки не изменены.

БМС OS: положение глазного яблока в орбите правильное, движение в полном объеме, блефароспазм, небольшой отек век, рост ресниц правильный, слезотечение, смешанная инъекция глазного яблока, роговица мутная, отечная, поверхность ее неровная, с буллезными изменениями, в центральных отделах в поверхностных слоях — инфильтрат неправильной формы серого цвета с деэпителизацией, на 3 часах у лимба — истончение роговицы с неоваскуляризацией, складки десцеметовой оболочки, на эндотелии единичные крупные преципитаты белого цвета, чувствительность роговицы отсутствует, передняя камера средней глубины, водянистая влага опалесцирует, небольшая стушеванность рисунка радужки, зрачок округлый 3 мм в диаметре, реакция на свет сохранена, глубжележащие среды в деталях не просматриваются *(рис. 2)*.

Проведено лабораторное исследование крови на герпесвирусы, наиболее часто поражающие передний сегмент глаза. Иммуноферментный анализ (ИФА) позволил обнаружить антитела IgG к вирусу простого герпеса 1-го и 2-го типов — титр 1:800 (отрицательные значения — титр менее 1:100), антитела IgG к вирусу Варицелла-Зостер (п/кол) — не обнаружены.

На основании данных клинического и лабораторного обследования, установлен окончательный клинический диагноз: хронический персистирующий герпетический кератоувеит, постгерпетическая кератопатия,

Рис. 2. Фото левого глаза пациента П., 62 лет. Диагноз: хронический персистирующий герпетический кератоувеит, постгерпетическая кератопатия левого глаза. Видны отек роговицы с буллезными изменениями, центральный инфильтрат серого цвета, крупные преципитаты

Fig. 2. Photo of the left eye of patient P., 62 years old. Diagnosis: chronic persistent herpetic keratouveitis, postherpetic keratopathy of the left eye. Corneal edema with bullous changes, central irregular grayish infiltrate, large keratic precipitates are visible

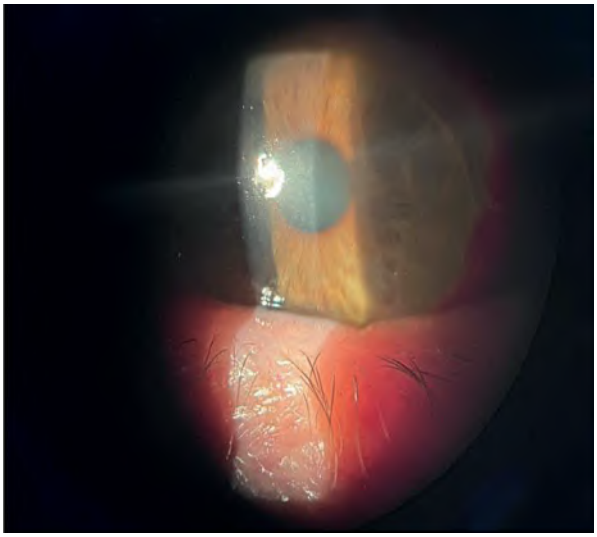


Рис. 3. Фото левого глаза пациента П., 62 лет. Диагноз: хронический кератоувеит левого глаза, ремиссия, поверхностное помутнение роговицы левого глаза. Видно помутнение роговицы облаковидной формы в центральной зоне, роговица прозрачная

Fig. 3. Photo of the left eye of patient P., 62 years old. Diagnosis: chronic keratouveitis, remission; superficial corneal opacity of the lest eye. The transparent corneal with central superficial corneal opacity are visible

увеальная офтальмогипертензия, помутнение роговицы левого глаза.

Проведенное консервативное лечение в стационаре включало: миристоиламино[пропил]аммония хлорид 0,01% в инстилляциях в левый глаз 3 раза в сутки, мазь глазная ацикловира 3% — 5 раз в сутки, диклофенак 0,1% 4 раза в сутки, тропикамид 1% 2 раза в сутки, дорзоламида гидрохлорид 2% 2 раза в сутки, декспантенол глазной гель 5% 4 раза в сутки, парентерально — раствор ацикловира по 750 мг 3 раза в сутки 7 дней, затем перорально — 400 мг (2 таблетки) — 5 раз в сутки.

К 10 дню лечения отмечалась выраженная положительная динамика: повышение МКОЗ левого глаза до 0,3, воспалительные явления уменьшились — блефароспазм, слезотечение отсутствуют, остаточная легкая гиперемия бульбарной конъюнктивы, уменьшение отека роговицы с частичным рассасыванием инфильтрата, сохраняются участки облаковидного помутнения в параоптической зоне без прокрашивания флюоресцеином 1%, роговичные преципитаты рассосались, показатели ВГД в норме (12 мм рт.ст.). В течение 3 недель в амбулаторных условиях пациент продолжал противовирусное лечение ацикловиром в дозировке 400 мг 5 раз в сутки внутрь, инстилляции бромфенака 0,09% 1 раз в сутки, кератопротекторов — гиалуроната натрия 0,16% с D-пантенолом 1% и хондроитин сульфатом натрия 0,05% 5 раз в сутки. При повторном осмотре пациента через 1 месяц после выписки выявлено повышение МКОЗ левого глаза до 0,7, отсутствие инъекции глазного яблока, рассасывание инфильтрата роговицы, участки облаковидного помутнения в парацентральной зоне без прокрашивания флюоресцеином 1% *(рис. 3),* ВГД в норме.

Пациенту было рекомендовано проведение курса противорецидивной противовирусной терапии через 3 месяца, консультация инфекциониста по месту жительства.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, нетипичная для герпетического кератита манифестация заболевания в виде периферических язвенных дефектов роговицы может затруднять решение диагностической задачи, что и способствовало в описанном случае постановке неправильного диагноза — периферической язвы роговицы неинфекционной этиологии. Периферия роговицы имеет хорошее кровоснабжение и обилие иммуннокомпетентных клеток, что делает ее более уязвимой к развитию иммуноопосредованного воспаления [10, 11]. Большая схожесть клинической картины с периферическими язвенными кератитами аутоиммунного генеза у данного пациента привела к несвоевременному назначению иммуносупрессивной терапии, причем не только местной, но и системной. Согласно принятому в Российской Федерации алгоритму терапии острой фазы воспаления роговой оболочки с нарушением ее целостности, вызванного вирусами герпеса, использование глюкокортикостероидных препаратов должно быть исключено. Обладая выраженным противовоспалительным действием, данные лекарственные средства снижают иммуногенез, способствуя репликации вируса, прогрессированию заболевания и

его затяжному течению [12]. Безопасным является применение стероидных препаратов только в подострый период герпетической инфекции органа зрения, причем на фоне адекватной противовирусной терапии аналогами нуклеозидов [13], которая была назначена в данном клиническом случае только спустя несколько месяцев от начала заболевания, что также благоприятствовало хронизации воспалительного процесса, вовлечению в процесс сосудистой оболочки глаза [8]. Следствием затяжного течения герпетического кератита также является и нарушение трофической иннервации роговицы с развитием кератопатии как в форме эпителиопатии, так в тяжелых случаях и в виде буллезных изменений, что нередко приводит к стойким помутнениям роговой оболочки, учитывая склонность герпетической инфекции к частым рецидивам [9]. Предшествующая верификации возбудителя местная терапия у данного пациента, начиная с амбулаторного звена, имела тенденцию к бессистемной полипрогмазии, включавшая назначение лекарственных препаратов из разных фармакологических групп, оказывающих негативное влияние на состояние глазной поверхности вследствие токсического воздействия на эпителий роговой оболочки [8].

Повышение офтальмотонуса левого глаза уже при первичном обращении пациента должно было заставить задуматься о возможной герпесвирусной природе периферического язвенного кератита. Литературные источники указывают на тот факт, что более половины случаев кератоувеитов (от 47 до 90%), ассоциированных с герпетической инфекцией, сопровождаются повышением ВГД. Увеальная офтальмогипертензия, как правило, является следствием воспалительного поражения клеток трабекулярной сети, что проявляется отеком трабекулы, ее обструкцией клетками воспаления, продуктами клеточного распада и фибрином, нарушая нормальную фильтрационную способность дренажной системы глаза. Лечение данного осложнения включает, прежде всего, контроль репликации вируса и устранение глазного воспаления [14].

Поэтому при всех формах периферического язвенного поражения роговой оболочки, наряду с аутоиммунной, необходимо исключать и инфекционную природу заболевания, в частности, герпетическую [15, 16], что не было выполнено в данном клиническом случае при первичном обращении пациента.

Согласно рекомендациям современных отечественных и зарубежных исследователей, для лабораторного подтверждения атипичных форм офтальмогерпеса кроме стандартного серологического количественного определения уровней иммуноглобулинов G и M к вирусам герпеса и ПЦР-диагностики ДНК герпесвирусов в мазках с поверхности глаза, целесообразно определение секреторного иммуноглобулина А (sIgA) в слезной жидкости, а также качественное определение наличия вируса в других биологических жидкостях — слезе, слюне, моче, крови в режиме реального времени (RT-ПЦР) [2, 17, 18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преобладание герпетической инфекции в этиологической структуре воспалительных поражений роговой оболочки требует диагностической настороженности, особенно при рецидивирующем и затяжном течении кератитов, сопровождающихся таким специфическим признаком, как офтальмогипертензия. Использование современных методов комплексной лабораторной диагностики позволяет подтвердить герпесвирусную этиологию процесса в сомнительных случаях и назначить своевременное этиопатогенетическое лечение.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Аксенова С.В., Малькина М.В., Седойкина А.В. Исходы герпетических кератитов в зависимости от иммунного статуса пациентов. *Вестник Мордовского университета.* 2016; 26(2): 160–7.
Aksenova SV, Malkina MV, Sedoykina AV. Herpetic keratitis outcomes depending on immune status of patients. *Mordovia University Bulletin.* 2016; 2(26): 160–7. (In Russ.). https://doi.org/ 10.15507/0236-2910.026.201602.160-167
2. 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): 90–7.
Chernakova GM, Maychuk DYu, Semenova TB. Clinical manifestations, diagnostics and therapy of herpetic keratitis today: three facets of one problem. *Russian Ophthalmological Journal.* 2017;10(1): 90–7. (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-1-90-97
3. Суров А.В., Медведева М.В., Сагирова С.Ф., и др. Применение комбинированного препарата интерферона альфа-2b в комплексной терапии герпетических кератитов у пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию. Российский офтальмологический журнал. 2023;16(2): 83–9.
Surov AV, Medvedeva MV, Sagirova SF, et al. The use of combined interferon alpha-2b-based medicine in the complex treatment of herpetic keratitis in patients after coronavirus infection. *Russian ophthalmological journal.* 2023;16(2): 83–91. (In Russ.). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-83-91
4. Чернакова Г.М., Клещева Е.А., Щеголева В.И. Стромальные герпетические кератиты с изъязвлением, ассоциированные с реактивацией вируса Эпштейна–Барр и вируса герпеса человека 6-го типа: опыт диагностики и терапии. *Офтальмология.* 2022;19(3): 665–71.
Chernakova GM, Kleshcheva EA, Shchegoleva VI. Stromal Herpetic Keratitis with Ulceration Associated with Reactivation of Epstein–Barr Virus and Human Herpes Virus Type 6: Experience of Diagnosis and Therapy. *Ophthalmology in Russia.* 2022;19(3): 665–71. (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-665-671
5. Subramaniam R, Teo KS, Muhammed J. Atypical Presentation of Herpes Stromal Keratitis in a Contact Lens Wearer. *Cureus.* 2023;15(5): e38438. https://doi.org/10.7759/cureus.38438
6. Shields C, Buggareddigari S, Jakati S, et al. Atypical Migratory Serpiginous Corneal Epitheliopathy: Unmasking Herpes Simplex Virus Association. *Cornea.* 2026;45(4): 527–32. https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000003966
7. Зайнутдинова Г.Х., Саитова Г.Р. Клинический случай герпетического кератита, осложненного применением кортикостероидов. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2025;12(3): 92–5.
Zainutdinova GKh, Saitova GR. A clinical case of herpetic keratitis complicated by the use of corticosteroids. *Point of View. East–West.* 2025;12(3): 592–5. (In Russ.). https://doi.org/10.25276/2410-1257-2025-3-92-95
8. Чернакова Г.М., Майчук Д.Ю., Клещева Е.А., Лошкарева А.О., Семенова Т.Б. Рекомендации по ведению пациентов с герпетическим кератитом/кератоувеитом затяжного тече-

ния: от проблем к решению. *Офтальмология.* 2019;16(4): 537–45.
Chernakova GM, Maychuk DYu, Kleshcheva EA, Loshkareva AO, Semenova TB. Guidelines for the Management of Patients with Herpetic Keratitis/Keratouveitis in the Long Term: from Problem to Solution. *Ophthalmology in Russia.* 2019;16(4): 537–45. (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-4-537-545
9. Майчук Д.Ю. Нейротрофический кератит, вызванный герпетической инфекцией: диагностика и современные подходы к лечению. *Клинический разбор в общей медицине.* 2025;6 (8): 61–4.
Maychuk DYu. Neurotrophic keratitis caused by herpesvirus infection: diagnosis and modern approaches to treatment. *Clinical review for general practice.* 2025;6(8): 61–4. (In Russ.). https://doi.org/10.47/407/kr2025.6.8.00660
10. Masunaga M, Shimatani R, Shinozaki K, et al. Mathematical Modeling of Lesion Pattern Formation in Dendritic Keratitis. *Bull Math Biol.* 2026;88(4): 45. https://doi.org/10.1007/s11538-026-01598-3
11. Yoshida M, Hariya T, Yokosura S, et al. Concomitant herpes simplex keratitis and autoimmune-associated ulcerative keratitis in rheumatoid arthritis patients. *Am J Ophthalmol Case Rep.* 2020:9: 100648. https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2020.100648
12. Зайнутдинова Г.Х., Бабушкин А.Э. Рациональное использование кортикостероидов в терапии офтальмогерпеса. *Точка зрения. Восток–Запад.* 2021;3: 57–60.
Zainutdinova GKh, Babushkin AE. Rational use of corticosteroids in the treatment of ophthalmic herpes. *Point of View. East–West.* 2021;3: 57–60. (In Russ.). https://doi.org/10.25276/2410-1257-2021-3-57-60
13. Keenan JD. Steroids in the management of infectious keratitis. *Cornea.* 2023;42(11): 1333–9. https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000003340
14. Еричев В.П., Абдуллаева Э.Х. Герпесвирусная инфекция, глаукома и офтальмогипертензия. Национальный журнал глаукома. 2020;19(1): 61–8.
Erichev V, Abdullaeva EH. Herpesvirus infection, glaucoma and ocular hypertension. *National Journal glaucoma.* 2020;19(1): 61–8. (In Russ.). https://doi.org/10.25700/NJG.2020.01.09
15. Fu L, Jones S. Peripheral ulcerative keratitis. StatPearls Publishing; 2026.
16. Zaher SS, Sandinha T, Roberts F, Ramaesh K. Herpes simplex keratitis misdiagnosed as rheumatoid arthritis-related peripheral ulcerative keratitis. *Cornea.* 2005;24(8): 1015–7. https://doi.org/10.1097/01.ico.0000159758.36230.c1
17. Qiu JN, Huang FF, Liu CH, et al. Atypical stromal herpes simplex keratitis: clinical features and diagnosis. *Jpn J Ophthalmol.* 2023;67(1): 43–9. https://doi.org/10.1007/s10384-022-00963-8
18. Erdem E, Harbiyeli II, Ozturk G, et al. Atypical herpes simplex keratitis: frequency, clinical presentations and treatment results. *Int Ophthalmol.* 2020;40(3): 659–65. https://doi.org/10.1007/s10792-019-01226-1.

Информация об авторах
Полтанова Татьяна Ивановна — к.м.н., доцент кафедры глазных болезней ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России, tpoltanova@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-7997-1330
Белоусова Наталья Юрьевна — к.м.н., доцент кафедры глазных болезней ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России, Susan29@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-6370-6017

Information about the authors
Tatyana I. Poltanova — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Eye Diseases, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Health of Russian Federation, tpoltanova@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-7997-1330
Natalya U. Belousova — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Eye Diseases, Privolzhsky Research Medical University of the Ministry of Health of Russian Federation, Susan29@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-6370-6017

Вклад авторов:
Полтанова Т.И. — сбор и обработка материала, написание текста.
Белоусова Н.Ю. — написание текста, редактирование.

Author's contribution:
Poltanova T.I. — collection and processing of the material, text writing.
Belousova N.Yu. — text writing, editing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.
Financial transparency: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Отсутствует.
Conflict of interest: None.

Поступила: *26.05.2026*
Переработана: *10.06.2026*
Принята к печати: *24.06.2026*
Received: *26.05.2026*
Revision: *10.06.2026*
Accepted: *24.06.2026*