



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-1-99-106>

# Новые возможности оптимизации эффекта склеропластики при прогрессирующей миопии

Г.А. Маркосян, Е.П. Тарутта, Е.Н. Иомдина, Н.С. Измайлова, В.Н. Папян✉,  
С.В. Милаш, К.А. Рамазанова, М.С. Зайцев

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19,  
Москва, 105062, Россия

**Цель работы** — разработка в эксперименте способа подготовки аллотрансплантата с оптимизированными свойствами для склеропластики (СП) при прогрессирующей миопии. **Материал и методы.** Эксперимент выполнен на 40 глазах 20 кроликов породы шиншилла, которые были разделены на четыре группы в зависимости от способа обработки склерального аллотрансплантата для СП: 1-я группа (контроль) — 5 кроликов (10 глаз) с интактным трансплантатом; 2-я группа — 5 кроликов (10 глаз) с трансплантатом после ультрафиолетового (УФА) кросслинкинга с рибофлавином; 3-я группа — 5 кроликов (10 глаз) с трансплантатом после УФА-кросслинкинга с рибофлавином с дополнительной обработкой 0,1 % раствором рибофлавина; 4-я группа — 5 кроликов (10 глаз) с трансплантатом после УФА-кросслинкинга с рибофлавином с дополнительной обработкой 1,5 % раствором актовегина. Сравнительная оценка биомеханических показателей трансплантата до и после УФА-кросслинкинга с рибофлавином проведена *in vitro* с помощью биомеханического тестирования (AUTOGRAPH, Япония). Акустическую плотность склеры (АПС) до и после СП оценивали *in vivo* с помощью ультразвукового диагностического прибора VOLUSON 730 (Kretz), а толщину хориоидеи (ТХ) — с использованием Mirante SLO/OCT (Nidek). Через 1 мес после СП проведено морфологическое изучение удаленных экспериментальных глаз. **Результаты.** Оценка биомеханических свойств трансплантата, АПС, ТХ и морфологической картины комплекса «склера — трансплантат» показала преимущества использования для СП трансплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга в сочетании с дополнительной обработкой 0,1 % раствором рибофлавина (3-я группа). Модуль упругости в результате УФА-кросслинкинга вырос в 1,2 раза. Повышение АПС после СП в 1-й (контрольной) группе составило в среднем 14 у. е., во 2-й — 17 у. е., в 3-й — 23 у. е., в 4-й — 17 у. е., т. е. наибольшее увеличение АПС отмечено в 3-й группе. Увеличение ТХ также было наибольшим в 3-й группе —  $14,4 \pm 0,3$  мкм против  $6,0 \pm 0,3$  мкм во 2-й группе и  $12,1 \pm 0,2$  мкм в 4-й. Морфологическое изучение показало лучшее приживание и упорядоченную структуру трансплантата в экспериментальных глазах 3-й группы. **Заключение.** УФА-кросслинлинг как первый этап подготовки трансплантата позволил повысить его биомеханическую устойчивость и сохранить структуру при приживлении, а дополнительная обработка рибофлавином способствовала улучшению кровоснабжения хориоидеи. Подготовка аллосклерального трансплантата для склеропластики при прогрессирующей миопии, включающая два этапа: УФА-кросслинлинг и последующую обработку 0,1 % раствором рибофлавина, является наиболее эффективным способом оптимизации его свойств.

**Ключевые слова:** склеропластика; прогрессирующая миопия; трансплантат; УФА-кросслинлинг; рибофлавин; актовегин; акустическая плотность склеры; толщина хориоидеи; приживание

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Для цитирования:** Маркосян Г.А., Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Измайлова Н.С., Папян В.Н., Милаш С.В., Рамазанова К.А., Зайцев М.С. Новые возможности оптимизации эффекта склеропластики при прогрессирующей миопии. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (1): 99-106. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-1-99-106>

# New possibilities for optimizing the effect of scleroplasty in progressive myopia

Gayane A. Markosyan, Elena P. Tarutta, Elena N. Iomdina, Natalia S. Izmailova, Violetta N. Papyan✉, Sergey V. Milash, Kamilla A. Ramazanova, Maxim S. Zaitsev

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia  
violettapapyan@gmail.com

**Purpose:** to experimentally develop a method for preparing an allograft with optimized properties for scleroplasty (SP) in progressive myopia. **Material and methods.** The experiment was performed on 40 eyes of 20 Chinchilla rabbits, which were divided into four groups depending on the method of processing the scleral allograft for SP: Group 1 (control) — 5 rabbits (10 eyes) with an intact graft; Group 2 — 5 rabbits (10 eyes) with a graft after ultraviolet (UVA) crosslinking with riboflavin; Group 3 — 5 rabbits (10 eyes) with a graft after UVA crosslinking with riboflavin and with additional treatment with 0.1 % riboflavin solution; Group 4 — 5 rabbits (10 eyes) with a graft after UVA crosslinking with riboflavin with an additional 1.5 % actovegin solution treatment. Comparative evaluation of biomechanical parameters of the graft before and after UVA crosslinking with riboflavin was carried out in vitro using biomechanical testing (AUTOGRAPH device, Japan). Acoustic density of the sclera (ADS) before and after SP was assessed in vivo using an ultrasound diagnostic device VOLUSON 730 (Kretz), and choroidal thickness (CT) using Mirante SLO/OCT (Nidek). One month after SP, a morphological study of the enucleated experimental eyes was performed. **Results.** The study of the biomechanical properties of the graft, ADS, CT and the morphological picture of the sclera-graft complex showed the advantages of using for SP a graft treated with UVA crosslinking in combination with additional treatment with 0.1 % riboflavin solution (group 3). The elastic modulus as a result of UVA crosslinking increased by 1.2 times. The increase in ADS after SP in the 1st (control) group was on average 14 units, in the 2nd — 17 units, in the 3rd — 23 units, in the 4th — 17 units, i. e. the greatest increase in ADS was noted in group 3. The increase in CT was also the greatest in group 3 —  $14.4 \pm 0.3 \mu\text{m}$ , against  $6.0 \pm 0.3 \mu\text{m}$  in group 2 and  $12.1 \pm 0.2 \mu\text{m}$  in group 4. Morphological study showed better engraftment and ordered structure of the graft in the experimental eyes of group 3. **Conclusion.** UVA crosslinking, as the first stage of the graft preparation, allowed increasing its biomechanical stability and preservation of structure during engraftment, and additional treatment with riboflavin contributed to the improvement of blood supply to the choroid. Preparation of alloscleral graft for scleroplasty in progressive myopia, including two stages — UVA crosslinking and subsequent treatment with 0.1 % riboflavin solution, is the most effective way to optimize its properties.

**Keywords:** scleroplasty; progressive myopia; graft; UVA crosslinking; riboflavin; actovegin; acoustic density of the sclera; choroidal thickness; engraftment

**Conflicts of interests:** there is no conflict of interests.

**Financial disclosure:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**For citation:** Markosyan G.A., Tarutta E.P., Iomdina E.N., Izmailova N.S., Papyan V.N., Milash S.V., Ramazanova K.A., Zaitsev M.S. New possibilities for optimizing the effect of scleroplasty in progressive myopia. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (1): 99-106 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-1-99-106>

В настоящее время миопия наблюдается у значительной части детей и подростков во всем мире, ее распространенность среди школьников достигает 60 % в Азии и 40 % в Европе, в том числе и в России [1, 2]. Отмечается увеличение как распространенности этой аномалии рефракции, так и частоты миопии высокой степени и, как следствие, риска вызванных ею серьезных осложнений, приводящих к необратимой потере зрения [3]. В то же время своевременно проведенные лечебно-профилактические мероприятия (в первую очередь склероукрепляющие вмешательства) позволяют во многих случаях предотвратить возникновение этих осложнений или оказать тормозящее влияние на их развитие [4].

Необходимо подчеркнуть, что эффективность склероукрепляющего лечения во многом определяется адекватным выбором метода его проведения (малоинвазивного вмешательства или бандажирующей склеропластики), используемого пластического материала (например, биологически активного синтетического трансплантата или донорской склеры), возрастом пациента и исходным состоянием оперируемого глаза (степенью миопии и скоростью ее про-

грессирования), а также биомеханическими показателями корнеосклеральной оболочки глаза и выраженностью общих нарушений обмена соединительной ткани [4, 5].

Особое внимание следует уделить снижению эффективности склеропластики (СП), связанному с неадекватными механическими свойствами самого трансплантата из донорской склеры, а также с его частичной резорбцией и замещением в процессе приживления собственной соединительной тканью реципиента с нарушенными морфологическими и биомеханическими свойствами, характерными для миопической склеры [6]. Исходя из этого, для повышения лечебного эффекта склеропластических вмешательств и его продолжительности имеет смысл использовать дополнительную обработку трансплантатов из донорской склеры, повышающую их структурную и биомеханическую устойчивость.

В литературе имеются данные о различных подходах к оптимизации свойств донорской склеры. Так, известен способ подготовки склерального трансплантата для СП путем обработки полимерной композицией, которая повышает его адгезию к поверхности склеры и стимулирует более

прочное приживление (сращение со склерой реципиента), что повышает эффективность хирургического лечения. Однако данная обработка не приводит к существенному повышению биомеханической стабильности самого трансплантата [7, 8]. Проводили армирование донорской склеры синтетическими нитями, это повышало биомеханическую прочность трансплантата в целом, но не влияло на его структуру [9]. Обработкой трансплантата из донорской склеры 0,1 % генипином (повышающим стабильность трансплантата за счет кросслинкинга коллагена) достигли снижения темпа прогрессирования высокой миопии и развития дегенеративных изменений на глазном дне после СП [10]. Однако диффузия в окружающие ткани раствора генипина, содержащегося в трансплантате, может быть небезопасна для внутренних оболочек глаза. Так, в экспериментальном исследовании показано значительное истончение перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки, выявлены гистологические и электрофизиологические изменения при ретробульбарной инъекции даже самых низких доз генипина, не останавливающих развитие индуцированной миопии [11].

В отличие от обработки генипином, широко известно безопасное и эффективное клиническое применение УФА-кросслинкинга для биомеханической и структурной стабилизации роговицы при кератэктазиях [12, 13], а также безопасное экспериментальное использование УФА для кросслинкинга склеры [14] и в единичном клиническом исследовании — для склероукрепляющего лечения высокой миопии [15].

В связи с этим мы предлагаем оптимизировать биомеханические свойства трансплантата из аллосклеры с помощью ультрафиолетового кросслинкинга А-диапазона (УФА-кросслинкинга) с рибофлавином.

Кроме того, мы посчитали целесообразным для повышения адгезивных и биостимулирующих свойств донорской склеры, а также для обеспечения трофического эффекта СП на оболочку глазного яблока осуществить дополнительную медикаментозную обработку трансплантата биоактивными препаратами: 1) депротеинизированным гемодериватом из телячьей крови с низкомолекулярными пептидами и дериватами нуклеиновых кислот — актовегином, который является антигипоксантом, оказывающим метаболический, нейропротективный и микроциркуляторный эффект [16]; 2) витамином В<sub>2</sub> (рибофлавином), который, регулируя окислительно-восстановительные процессы, принимает участие в белковом, жировом и углеводном обмене, а также в поддержании нормальной зрительной функции глаза [17].

**ЦЕЛЬ** работы — разработать в эксперименте способ подготовки аллотрансплантата с оптимизированными свойствами для СП при прогрессирующей миопии.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперимент *in vivo* выполнен на 40 глазах 20 кроликов породы шиншилла, которые были разделены на 4 группы. В 1-й группе (группе контроля) 5 кроликам (10 глаз) произведена СП с использованием склерального аллотрансплантата (без дополнительной обработки); во 2-й группе — 5 кроликам (10 глаз) произведена СП с использованием склерального аллотрансплантата после кросслинкинга с рибофлавином; в 3-й группе — 5 кроликам (10 глаз) проведена СП с использованием склерального аллотрансплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга с рибофлавином и дополнительно обработанного 0,1 % раствором рибофлавина; в 4-й группе — 5 кроликам (10 глаз) произведена СП с использованием склерального аллотран-

сплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга с рибофлавином и дополнительно обработанного 1,5 % раствором актовегина.

Подготовка аллотрансплантатов для СП в группах 2–4 заключалась в следующем.

Во 2-й группе аллотрансплантат из склеры перед операцией на 20 мин помещали в 0,1 % раствор рибофлавина, затем извлекали из раствора и подвергали УФА-кросслинкингу с длиной волны 370 нм при интенсивности излучения 3 мВт/с в течение 30 мин с одновременной инстилляцией на поверхность аллотрансплантата каждые 5 мин 0,1 % раствора рибофлавина.

В 3-й группе аллотрансплантат после УФА-кросслинкинга (проведенного так же, как в группе 2) перед операцией на 30 мин помещали в 1,0 % раствор рибофлавина.

В 4-й группе аллотрансплантат после УФА-кросслинкинга (проведенного так же, как в группе 2) перед операцией на 30 мин помещали в 1,5 % раствор актовегина.

Методика операции СП в эксперименте во всех группах была следующей. После эпibuльбарной анестезии 1 % раствором алкаина проводили разрез конъюнктивы и теноновой капсулы длиной 2 мм в верхненаружном квадранте глазного яблока. На поверхность этого сегмента склеры укладывали трансплантат, который подшивали к склере узловым швом (шовный материал Vicril 10/0), затем разрез конъюнктивы ушивали и инстиллировали 0,25 % раствор левомицетина. В течение первых трех дней в конъюнктивальную полость однократно инстиллировали раствор антибиотика.

До СП и через 1 мес после нее с помощью многофункционального ультразвукового диагностического прибора VOLUSON 730 (Kretz) проводили *in vivo* измерение акустической плотности склеры (АПС) глаз животных всех экспериментальных групп.

Кроме того, до СП и через 1 мес после нее с помощью аппарата Mirante SLO/OCT (Nidek) измеряли *in vivo* толщину хориоидеи глаз животных всех экспериментальных групп.

Сравнительная оценка биомеханических показателей трансплантата из аллосклеры до и после УФА-кросслинкинга с рибофлавином проведена *in vitro* с помощью биомеханического тестирования на аппарате AUTOGRAPH (Япония). Анализ зависимости «напряжение — деформация» интактных и УФА-обработанных образцов склеры позволил определить их прочность, модуль упругости и максимальную деформацию (растяжимость).

Через 1 мес после операции животных выводили из эксперимента. Глаза удалили методом экзентерации для сохранения топографического положения трансплантата и последующего морфологического исследования особенностей его приживления.

Макроскопическое исследование глазного яблока проводили под стереомикроскопом с прецизионным взятием стенки глазного яблока с трансплантатом для последующего микроскопического исследования. Гистологические препараты окрашивали по стандартным методикам гематоксилином и эозином, а также трехцветной окраской по Маллори с последующей микроскопией в проходящем свете.

Эксперимент проводился с соблюдением международных принципов Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным, изложенных в директиве Европейского сообщества (86/609/ЕС) «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных». Протокол настоящего исследования № 68/1 был утвержден локальным Комитетом по этике.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительная оценка биомеханических показателей трансплантата из аллосклеры до и после УФА-кросслинкинга с рибофлавином показала значимое увеличение его прочности (в 1,6 раза) и модуля упругости (в 1,2 раза), а также снижение растяжимости (в 1,4 раза), т. е. существенное повышение биомеханической устойчивости (таблица).

Прижизненный контроль биофизических свойств склеры подтвердил повышение ее акустической плотности различной степени через 1 мес после СП во всех экспериментальных группах (рис. 1–4).

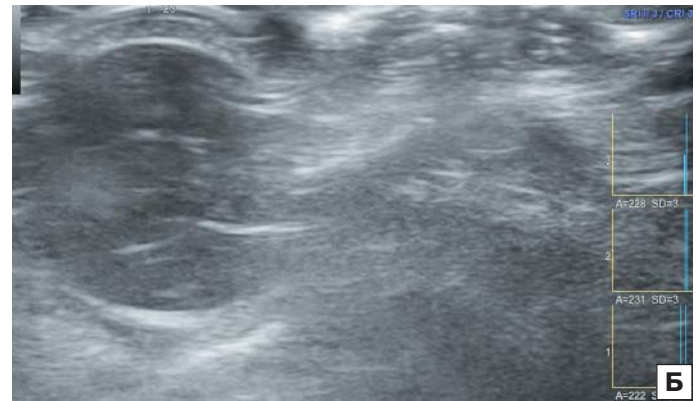
**Таблица.** Упруго-прочностные параметры склерального трансплантата до и после УФА-кросслинкинга (КЛ)

**Table.** Elastic-strength parameters of scleral graft before and after UVA cross-linking (CL)

Образцы Samples	Упруго-прочностные параметры склерального трансплантата Elastic-strength parameters of scleral graft				
	Толщина, мм Thickness, mm	Р, Н P, N	$\sigma$ , Н/мм <sup>2</sup> $\sigma$ , N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon$ , %	Е, Н/мм <sup>2</sup> E, N/mm <sup>2</sup>
До КЛ Before CL	0,66	12,8	4,8	44,8	30,0
После КЛ After CL	0,54	17,0	7,9	33,4	36,0

**Примечание.** Р — разрывная нагрузка,  $\sigma$  — прочность,  $\varepsilon$  — максимальная продольная деформация, Е — модуль упругости.

**Note.** P — breaking load,  $\sigma$  — strength,  $\varepsilon$  — maximum longitudinal deformation, E — module of elasticity.



**Рис. 1.** Определение акустической плотности склеры (АПС) в группе 1: А — до операции АПС = 213 у. е., Б — через 1 мес после операции АПС = 227 у. е.

**Fig. 1.** Estimation of sclera acoustical density (SAD, relative units) in group 1: А — before surgery SAD = 213, Б — in 1 month after surgery SAD = 227



**Рис. 2.** Определение акустической плотности склеры (АПС) в группе 2: А — до операции АПС = 199 у. е., Б — через 1 мес после операции АПС = 216 у. е.

**Fig. 2.** Estimation of sclera acoustical density (SAD, relative units) in group 2: А — before surgery SAD = 199, Б — in 1 month after surgery SAD = 216

В 1-й (контрольной) группе повышение АПС составило в среднем 14 у. е., во 2-й — 17 у. е., в 3-й — 23 у. е., в 4-й — 17 у. е., т. е. наибольшее увеличение АПС отмечено в 3-й группе, в которой использовали комбинированную обработку трансплантата — с помощью УФА-кросслинкинга с рибофлавином и дополнительную обработку рибофлавином.

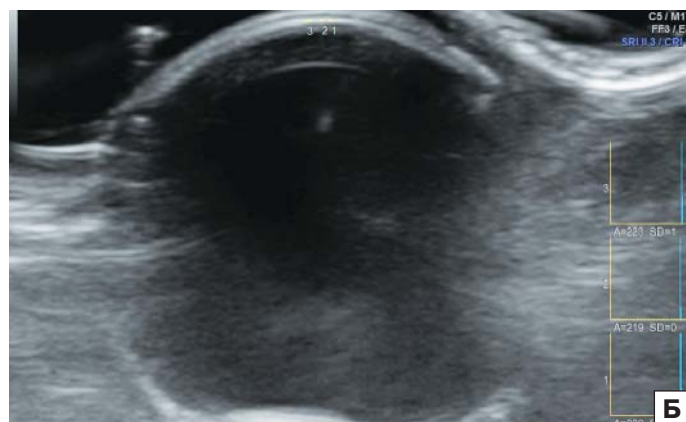
Сравнительное исследование толщины хориоидеи (ТХ) для оценки влияния подготовки трансплантационного материала на гемодинамику глаза экспериментальных животных показало, что через 1 мес после СП ТХ в 1-й группе (группе контроля) осталась практически на уровне дооперационных значений. Увеличение ТХ во 2-й группе (с УФА-обработкой трансплантата) составило в среднем  $6,0 \pm 0,3$  мкм (рис. 5, А, Б).

Увеличение ТХ в группе 3 (с дополнительной обработкой трансплантата рибофлавином) было в 2 раза выше, чем в группе 2, и составило в среднем  $14,4 \pm 0,3$  мкм (рис. 6, А, Б).

В группе 4 увеличение ТХ было менее значительным, чем в группе 3, и составило в среднем  $12,1 \pm 0,2$  мкм (рис. 7, А, Б). Таким образом, наибольшее повышение ТХ после склеропластики (так же, как АПС) отмечено в группе 3.

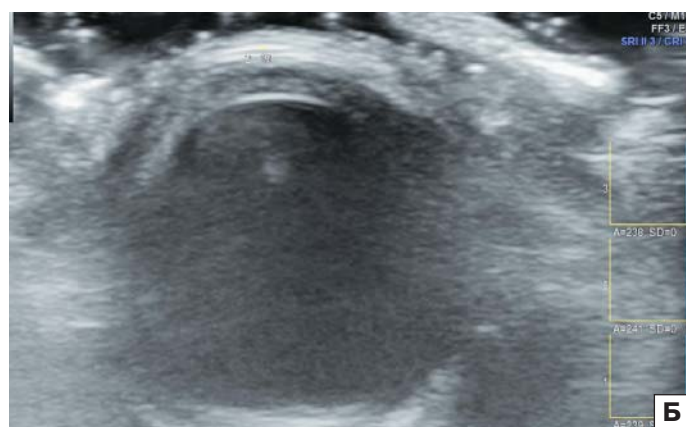
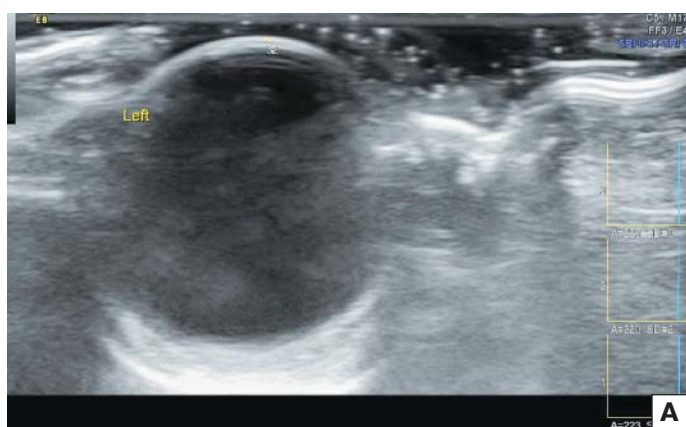
Морфологические исследования экспериментальных глаз после экзентерации показали, что трансплантат правильно расположен в тканях эписклеры, он неподвижный, без признаков воспаления (рис. 8, 9).

Морфологическое исследование макроскопической картины приживления необработанного трансплантата



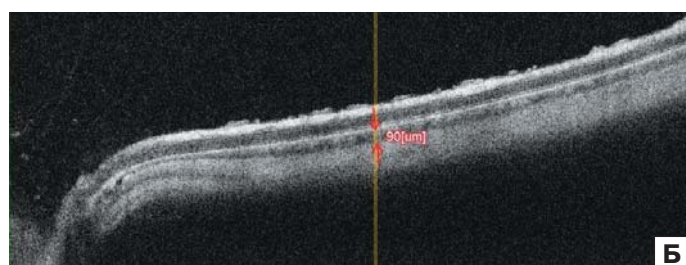
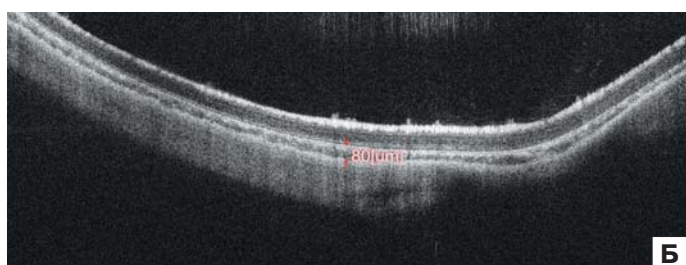
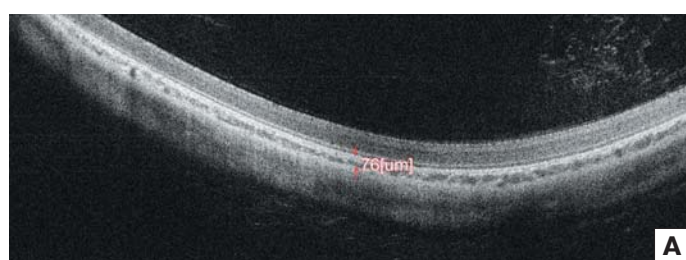
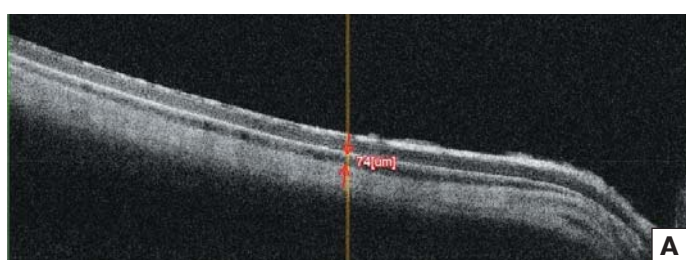
**Рис. 3.** Определение акустической плотности склеры (АПС) в группе 3: А — до операции АПС = 197 у. е., Б — через 1 мес после операции АПС = 220 у. е.

**Fig. 3.** Estimation of sclera acoustical density (SAD, relative units) in group 3: А — before surgery SAD = 197, Б — in 1 month after surgery SAD = 220



**Рис. 4.** Определение акустической плотности склеры (АПС) в группе 4: А — до операции АПС = 222 у. е., Б — через 1 мес после операции АПС = 239 у. е.

**Fig. 4.** Estimation of sclera acoustical density (SAD, relative units) in group 4: А — before surgery SAD = 222, Б — in 1 month after surgery SAD = 239

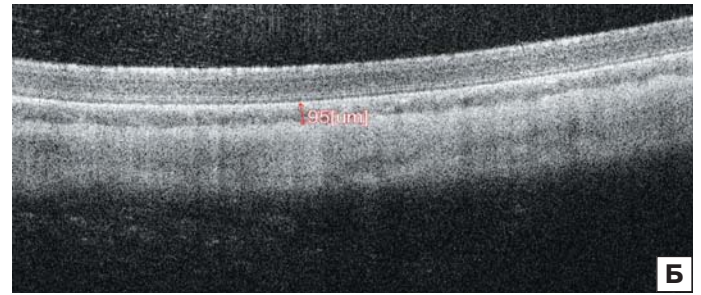
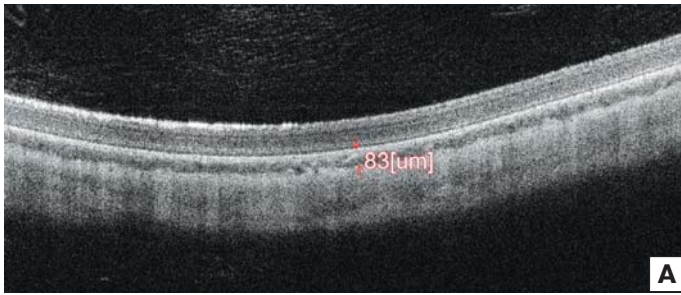


**Рис. 5.** Толщина хориоидеи (ТХ) в группе 2 (склеропластика с использованием трансплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга): А — до операции ТХ = 74 мкм, Б — через 1 мес после операции ТХ = 80 мкм

**Fig. 5.** Choroidal thickness (CT) in group 2 (scleroplasty using a graft treated with UVA crosslinking): А — before surgery CT = 74  $\mu$ m, Б — in 1 month after surgery CT = 80  $\mu$ m

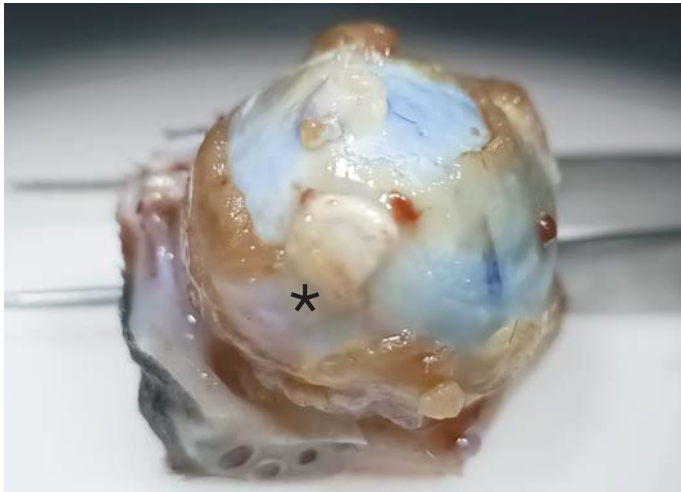
**Рис. 6.** Толщина хориоидеи (ТХ) в группе 3 (склеропластика с использованием трансплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга с дополнительной обработкой 0,1 % рибофлавином): А — до операции ТХ = 76 мкм, Б — через 1 мес после операции ТХ = 90 мкм

**Fig. 6.** Choroidal thickness (CT) in group 3 (scleroplasty using a graft treated with UVA crosslinking and additionally treated using 0.1% riboflavin solution): А — before surgery CT = 76  $\mu$ m, Б — in 1 month after surgery CT = 90  $\mu$ m



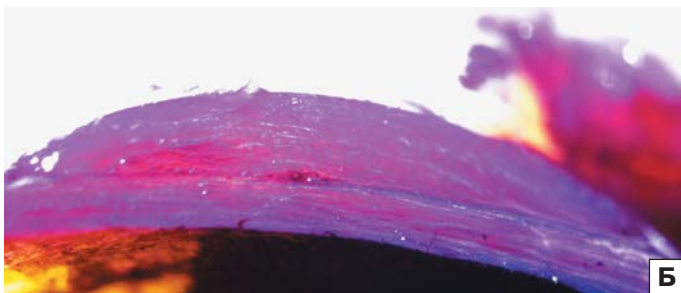
**Рис. 7.** Толщина хориоидеи (ТХ) в группе 4 (склеропластика с использованием трансплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга с дополнительной обработкой актовегином): А — до операции ТХ = 83 мкм, Б — через 1 мес после операции ТХ = 95 мкм

**Fig. 7.** Choroidal thickness (CT) in group 3 (scleroplasty using a graft treated with UVA crosslinking and additionally treated using 0.1 % actovegin solution): А — before surgery CT = 83  $\mu$ m, Б — in 1 month after surgery CT = 95  $\mu$ m



**Рис. 8.** Расположение трансплантата (\*) на поверхности склеры

**Fig. 8.** Placement of the graft (\*) on the scleral surface



**Рис. 9.** Макроскопическая картина глаза кролика после склеропластики. Трансплантат окружен соединительнотканной капсулой: А — трансплантат обозначен красной пунктирной линией, увеличение 6,7, Б — препарат подкрашен гематоксилином, увеличение 40

**Fig. 9.** Macroscopic picture of a rabbit eye after scleroplasty. The graft is surrounded by a connective tissue capsule: А — the graft is indicated by the red dotted line, magnification 6.7, Б — the preparation is stained with hematoxylin, magnification 40

(группа 1) через 1 мес после СП показало, что трансплантат окружен соединительнотканной капсулой, ее волокна располагаются параллельно поверхности склеры реципиента и при окраске гематоксилином определяются в виде белесых тяжей на фиолетовом фоне (рис. 9, А, Б).

Сравнительное морфологическое исследование приживления трансплантатов без обработки и после УФА-кросслинкинга с рибофлавином через 1 мес после СП показало, что гистологически трансплантат без дополнительной обработки имеет схожее со склерой реципиента строение, отличаясь лишь волнистостью коллагеновых волокон (рис. 10, А, Б).

В то же время трансплантат, обработанный с помощью УФА-кросслинкинга, плотно прилежит к склере и характеризуется более компактной структурой коллагеновых волокон (рис. 10, Б).

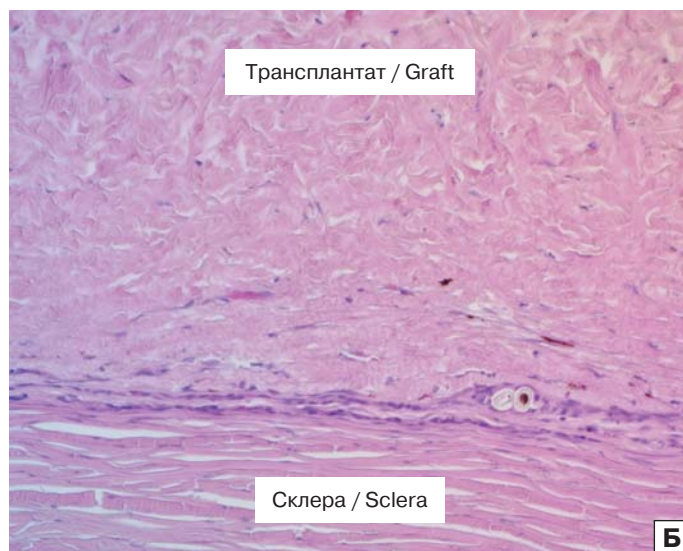
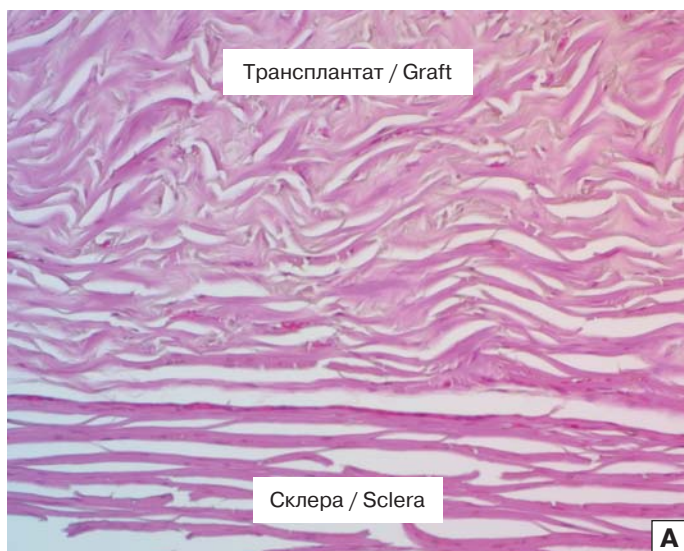
Морфологическое исследование приживления трансплантатов из аллосклеры после УФА-кросслинкинга с дополнительной обработкой растворами актовегина и рибофлавина через 1 мес после СП показал некоторые различия: в первом случае волокна коллагена деформированы, гиалинизированы, что может являться проявлением начальных дегенеративных изменений трансплантата, а во втором — волокна коллагена более упорядочены и сохраняют параллельный ход (рис. 11, А, Б).

Результаты исследования биомеханических свойств трансплантата, АПС, ТХ, морфологической картины комплекса «склера — трансплантат» показали преимущества использования для склеропластики трансплантата, обработанного с помощью УФА-кросслинкинга в сочетании с дополнительной обработкой 0,1 % раствором рибофлавина. УФА-кросслинкинг как первый этап подготовки трансплантата повышает его биомеханическую устойчивость, а рибофлавин, диффундирующий в склеру и окружающие ткани, стимулирует белковый метаболизм, улучшает кровоснабжение хориоидеи, оказывает антиоксидантный и трофический эффект на оболочки глаза.

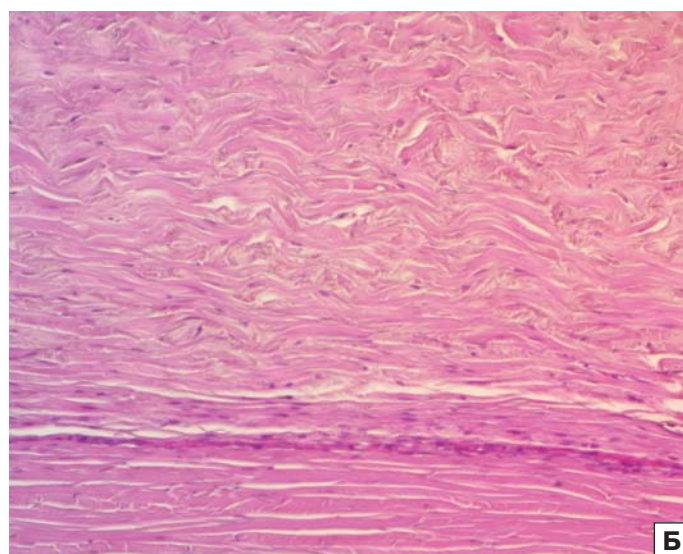
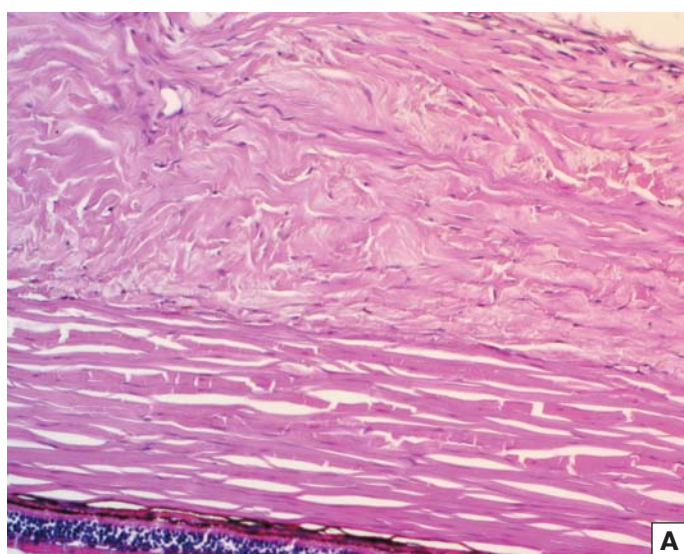
Очевидно, подготовка аллосклерального трансплантата для склеропластики при прогрессирующей миопии, включающая два этапа: УФА-кросслинкинг и последующую обработку 0,1 % раствором рибофлавина, является наиболее эффективным способом оптимизации его свойств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клинические и морфологические исследования глаз экспериментальных животных после склеропластики показали, что предложенный способ подготовки трансплантата из аллосклеры, включающий УФА-кросслинкинг с рибофлавином и дополнительную обработку раствором рибо-



**Рис. 10.** Микрофотографии склеры и трансплантата через 1 мес после склеропластики: А — трансплантат без обработки, Б — трансплантат после УФА-кросслинkinга с дополнительной обработкой 0,1 % рибофлавина. Окраска гематоксилин-эозином, увеличение 200  
**Fig. 10.** Micrographs of the sclera and the graft 1 month after scleroplasty: А — the graft without treatment, Б — the graft after UVA crosslinking with additional treatment by 0.1 % riboflavin. Staining: hematoxylin-eosin, magnification 200



**Рис. 11.** Микрофотографии склеры и трансплантата через 1 мес после склеропластики: А — трансплантат, обработанный с помощью УФА-кросслинkinга с дополнительной обработкой 1,5 % актовегина, Б — трансплантат, обработанный с помощью УФА-кросслинkinга с дополнительной обработкой 0,1 % рибофлавина. Окраска гематоксилин-эозином, увеличение 200  
**Fig. 11.** Micrographs of the sclera and the graft 1 month after scleroplasty: А — the graft treated with UVA crosslinking with additional treatment with 1.5 % actovegin, Б — the graft treated with UVA crosslinking with additional treatment with 0.1 % riboflavin. Staining: hematoxylin-eosin, magnification 200

флавина, повышает его биомеханическую устойчивость и оказывает стимулирующее воздействие на кровоснабжение хориоидеи, что позволяет считать его использование перспективным для повышения стабилизирующего эффекта склероукрепляющего лечения у пациентов с прогрессирующей миопией.

#### Литература/References

1. Катаргина Л.А., Михайлова Л.А. Состояние детской офтальмологической службы в Российской Федерации (2012–2013 гг.). *Российская педиатрическая офтальмология*. 2015;10(1):5–10. [Katargina L.A., Mikhailova L.A. The state of children's ophthalmological service in the Russian Federation (2012–2013). *Russian pediatric ophthalmology*. 2015; 10 (1): 5–10 (In Russ.)].
2. Grzybowski A, Kanclerz P, Tsubota K, Lanca C, Saw SM. A review

- on the epidemiology of myopia in school children worldwide. *BMC Ophthalmol*. 2020 Jan 14; 20 (1):27. doi: 10.1186/s12886-019-1220-0
3. Haarman AEG, Enthoven CA, Tideman JW, et al. The complications of myopia: A review and meta-analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2020 Apr 9; 61 (4): 49. doi: 10.1167/iovs.61.4.49
4. Тарутта Е.П. Склероукрепляющее лечение и профилактика осложнений прогрессирующей близорукости. В кн.: Аветисов С.Э., Кашенко Т.П., Шамшинова А.М., ред. Зрительные функции и их коррекция у детей. Москва: Медицина; 2005: 191–202. [Tarutta E.P. Sclera reinforcement treatment and prevention of complication of progressive myopia. In: Avetisov S.E., Kashchenko T.P., Shamshinova A.M., eds. Visual functions and their correction in children. Moscow: Meditsina; 2005: 191–202 (In Russ.)].
5. Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Маркосян Г.А. и др. Биомеханические показатели корнеосклеральной оболочки глаза и состояние соединительнотканной системы у детей и подростков с различными формами прогрессирующей миопии. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2013;

- 1: 18–23. [Iomdina E.N., Tarutta E.P., Markosyan G.A., et al. Biomechanical characteristics of the corneoscleral tunic and the state of the connective tissue system in the children and adolescents presenting with various forms of progressive myopia. *Russian pediatric ophthalmology*. 2013; 1: 18–23 (In Russ)].
6. Tarutta EP, Andreyeva LD. A morphological study of the transplants after scleroplasty in progressive myopia. *Exp Eye Res*. 1998; 67: 68.
  7. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Максимова М.В., Шамхалова Э.Ш., Андреева Л.Д. Укрепление склеры у детей с повышенным риском прогрессирования близорукости. *Вестник офтальмологии*. 1992; 108 (2): 14–7. [Tarutta E.P., Iomdina E.N., Maksimova M.V., Shamkhalova E.Sh., Andreeva L.D. Sclera fortification in children at a high risk of progressive myopia. *Vestnik oftal'mologii*. 1992; 108 (2): 14–7 (In Russ.)].
  8. Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Андреева Л.Д. и др. Экспериментальное обоснование склероукрепляющего лечения прогрессирующей близорукости биологически активным синтетическим трансплантатом. *Рефракционная хирургия и офтальмология*. 2005; 4: 19–23. [Iomdina E.N., Tarutta E.P., Andreeva L.D., et al. An experimental validation of sclera strengthening treatment of progressive myopia with a biologically active synthetic transplant. *Refraktsionnaya khirurgiya i oftal'mologiya*. 2005; 4: 19–23 (In Russ.)].
  9. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Маркосян Г.А., Андреева Л.Д., Лазук А.В. Армированный трансплантат для склеропластических операций. Патент РФ № 2140242 от 27.10.1999. [Tarutta E.P., Iomdina E.N., Markosyan G.A., Andreeva L.D., Lazuk A.V. Reinforced graft for scleroplastic operations. RF Patent No. 2140242, October 27, 1999 (In Russ.)].
  10. Xue A, Zheng L, Tan G, et al. Genipin-crosslinked donor sclera for posterior scleral contraction/reinforcement to fight progressive myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018 Jul 2; 59 (8): 3564–73. doi: 10.1167/iovs.17-23707
  11. Hamdaoui ME, Levy AM, Stuber AB, et al. Scleral crosslinking using genipin can compromise retinal structure and function in tree shrews. *Exp Eye Res*. 2022 Jun; 219: 109039. doi: 10.1016/j.exer.2022.109039
  12. Wollensak G. Corneal collagen crosslinking: new horizons. *Expert Review of Ophthalmology*. 2010; 5 (2): 201–15. https://doi.org/10.1586/eop.10.7
  13. Angelo L, Gokul Boptom A, McGhee C, Ziaei M. Corneal crosslinking: Present and future. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2022 Sep 1; 11 (5): 441–52. doi: 10.1097/APO.0000000000000557
  14. Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Семчишен В.А. и др. Экспериментальная реализация малоинвазивных технологий кросслинкинга склеры. *Вестник офтальмологии*. 2016; 6: 49–57. [Iomdina E.N., Tarutta E.P., Semchishen V.A., et al. Experimental realization of minimally invasive techniques of scleral collagen cross-linking. *Vestnik oftal'mologii*. 2016; 6: 49–57 (In Russ., In Engl.)]. doi: 10.17116/engoftalma20161326-4
  15. Li Y, Qi Y, Sun M, et al. Clinical feasibility and safety of scleral collagen cross-linking by riboflavin and ultraviolet A in pathological myopia blindness: A Pilot Study. *Ophthalmol Ther*. 2023 Apr; 12 (2): 853–66. doi: 10.1007/s40123-022-00633-5
  16. Кирисенко Л.И., Опарина А.Е., Пучкина Е.В. Сравнительная оценка применения корнерегеля и глазного геля «Актовегин» у пациентов после экстракции катаракты. *Российский медицинский журнал*. 2003; 4: 178–9. [Kirisenko L.I., Oparina A.E., Puchkina E.V. Comparative evaluation of the use of Korneregel and eye gel “Actovegin” in patients after cataract extraction. *Russian medical journal*. 2003; 4: 178–9 (In Russ.)].
  17. Золотарева Р.А., Логинова Н.Ю. Рибофлавин: общие аспекты метаболизма. *Евразийский Союз Ученых*. 2016; 6 (27): 75–7. [Zolotareva R.A., Loginova N.Yu. Riboflavin: general aspects of metabolism. *Eurasian Union of Scientists*. 2016; 6 (27): 75–7 (In Russ.)]. https://cyberleninka.ru/article/n/riboflavin-obshchie-aspekty-metabolizma

**Вклад авторов в работу:** Г.А. Маркосян — разработка концепции и дизайна исследования, сбор данных и их интерпретация, написание статьи; Е.П. Тарутта — разработка концепции и дизайна исследования; Е.Н. Иомдина — сбор данных и их интерпретация, редактирование и финальная подготовка статьи к публикации; В.Н. Папян — сбор и анализ данных, написание статьи; Н.С. Измайлова, С.В. Милаш, К.А. Рамазанова, М.С. Зайцев — сбор и анализ данных.

**Authors' contribution:** G.A. Markosyan — development of the concept and design of the study, data collection and interpretation, writing of the article; E.P. Tarutta — development of the concept and design of the study; E.N. Iomdina — data collection and interpretation, editing and final preparation of the article for publication; V.N. Papyan — data collection and analysis, writing of the article; N.S. Izmailova, S.V. Milash, K.A. Ramazanova, M.S. Zaitsev — data collection and analysis.

Поступила: 13.08.2025. Переработана: 16.08.2025. Принята к печати: 18.08.2025  
Originally received: 13.08.2025. Final revision: 16.08.2025. Accepted: 18.08.2025

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

**Гаянэ Айказовна Маркосян** — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики

**Елена Петровна Тарутта** — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-8864-4518

**Елена Наумовна Иомдина** — д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0001-8143-3606

**Наталья Сергеевна Измайлова** — начальник отдела патологической анатомии и гистологии, ведущий научный сотрудник, врач-патологоанатом, ORCID 0000-0002-4713-5661

**Виолетта Николаевна Папян** — аспирант отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0009-0008-8646-7141

**Сергей Викторович Милаш** — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики, ORCID 0000-0002-3553-9896

**Камилла Ахмедовна Рамазанова** — канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики, ORCID 0000-0002-2635-4291

**Максим Сергеевич Зайцев** — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела ультразвуковых исследований, ORCID 0000-0002-4135-1128

Для контактов: Виолетта Николаевна Папян,  
violettapapyan@gmail.com

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

**Gayane A. Markosyan** — Dr. of Med. Sci., leading researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

**Elena P. Tarutta** — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-8864-4518

**Elena N. Iomdina** — Dr. of Biol. Sci., professor, principal researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0001-8143-3606

**Natalia S. Izmailova** — head of the department of pathological anatomy and histology, leading researcher, pathologist, ORCID 0000-0002-4713-5661

**Violetta N. Papyan** — PhD student of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0009-0008-8646-7141

**Sergey V. Milash** — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-3553-9896

**Kamilla A. Ramazanova** — Cand. of Med. Sci., head of the unit of ultrasound diagnostics, ORCID 0000-0002-2635-4291

**Maxim S. Zaitsev** — Cand. of Med. Sci., researcher of ultrasound department, ORCID 0000-0002-4135-1128

For contacts: Violetta N. Papyan,  
violettapapyan@gmail.com