

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-1-96-103>



Современная оценка эффективности и безопасности склеропластики при прогрессирующей миопии

Е.Н. Иомдина[✉], Е.П. Тарутта, Г.А. Маркосян, Ю.И. Гаврилова

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

Цель обзора — проанализировать данные современных исследований (последних двух десятилетий), посвященных эффективности и безопасности склероукрепляющего хирургического лечения прогрессирующей миопии у детей и взрослых. Представлены результаты ближайших и отдаленных наблюдений, свидетельствующие о влиянии исходной степени миопии, возраста пациента, хирургической методики и выбора пластического материала на исход вмешательства и дальнейшее течение миопического процесса. Описаны преимущества биологически активного синтетического трансплантата, позволяющего депонировать лекарственные препараты, стимулирующие кросслинкинг склеры и обладающие биомеханическим, трофическим и гемодинамическим эффектом. Перспективным подходом в склероукрепляющем лечении миопии является кросслинкинг склерального коллагена.

Ключевые слова: прогрессирующая миопия; склероукрепляющее лечение; донорская склера; градиент прогрессирования; переднезадняя ось глаза; кросслинкинг

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Маркосян Г.А., Гаврилова Ю.И. Современная оценка эффективности и безопасности склеропластики при прогрессирующей миопии. Российский офтальмологический журнал. 2021; 14 (1): 96-103. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-1-96-103>

Current assessment results of the efficacy and safety of scleroplasty in progressive myopia

Elena N. Iomdina[✉], Elena P. Tarutta, Gayane A. Markosian, Julia I. Gavrilova

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

The purpose of the review is to analyze the data of recent studies (performed in the last two decades) of the efficacy and safety of sclera reinforcement surgeries for progressive myopia in children and adults. Short-term and long-term observation results are presented, indicating the impact of the initial degree of myopia, the patient's age, surgical technique and the choice of plastic material on the outcome of the intervention and the further course of the myopic process. The advantages of a biologically active synthetic graft are described, which makes it possible to deposit drugs that stimulate scleral crosslinking and have a biomechanical, trophic and hemodynamic effect. Crosslinking of scleral collagen is a promising approach to the treatment of myopia.

Keywords: progressive myopia; sclera reinforcement; donor sclera; progression gradient; axial length; crosslinking

Conflict 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: Iomdina E.N., Tarutta E.P., Markosian G.A., Gavrilova J.I. Current assessment results of the efficacy and safety of scleroplasty in progressive myopia. Russian ophthalmological journal. 2021; 14 (1): 96-103 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-1-96-103>

В последние годы интерес офтальмологов к проблеме миопии во всем мире резко увеличился. Это связано как с ростом распространенности миопической рефракции, так и с появлением новых эффективных возможностей профилактики ее возникновения и прогрессирования [1–3]. Предлагаются комплексные системы прогноза, включающие значимые факторы — предикторы, позволяющие выявлять группы риска по миопии и предупреждать ее возникновение с помощью новых, в первую очередь оптических, методов [4, 5]. Появились новые подходы к стабилизации миопии, эффективные в основном при миопии слабой и средней степени. Это в первую очередь оптические методы регуляции рефрактогенеза, основанные на индуцировании миопического дефокуса (ортокератология, мультифокальные мягкие контактные линзы, перифокальные очки) [6–10], медикаментозные средства (слабые растворы атропина, пирензепин, фенилэфрин, 7-methylxanthine и др.) [11, 12], функциональное и аппаратное лечение [13], а также различные сочетания перечисленных лечебных форматов [14].

Однако все эти методы в отдельности или при их сочетании, несмотря на значительную эффективность, не обеспечивают остановку прогрессирования миопии в 100 % случаев, остается часть пациентов (в первую очередь детей и подростков), у которых, несмотря на проведенное лечение, продолжается усиление рефракции до высоких степеней на фоне роста переднезадней оси (ПЗО) глаза, и, как следствие, развиваются связанные с этим процессом патологические изменения глазного дна. Необходимо отметить, что частота высокой миопии в последние десятилетия достаточно быстро растет [15, 16] и, соответственно, растет удельный вес осложненной миопии, которая приводит к необратимой потере зрения и инвалидизации [17–20]. Частота такой патологической (дегенеративной) миопии, по разным данным, варьирует в популяции от 0,9 до 3,1 % [21]; по другим данным, она становится причиной слепоты или слабосвидения у 7 % населения европейских стран [22–24] и у 12–27 % в странах азиатского региона [25–27], в том числе у лиц молодого возраста [28]. Значительное удлинение ПЗО, истончение склеры и внутренних оболочек глаза, развитие стафиломы заднего полюса являются ключевыми факторами периферических и центральных дегенеративных изменений глазного дна миопического генеза — хориоретинальной дистрофии, периферического и центрального ретиношизиса, разрывов сетчатки и ее отслойки [29–33].

Ведущей причиной такого прогрессирующего и необратимого удлинения ПЗО признана нарастающая биомеханическая нестабильность склеральной оболочки миопического глаза, вызванная дистрофическими нарушениями ее соединительнотканного экстрацеллюлярного матрикса, в первую очередь снижением синтеза и увеличением деградации коллагена, а также снижением уровня его поперечной связанности (кросслинкинга) [34–36].

Именно поэтому, начиная с 30-х годов прошлого века, когда была опубликована пионерская работа российского офтальмолога М.М. Шевелева [37], в качестве метода стабилизации миопического процесса стали применять хирургическое укрепление склеры в области заднего полюса глаза. С тех пор склеропластика прошла длинный путь развития: от бума своего применения в 70–80-е годы XX века до почти полного спада интереса к этому методу в конце 1990-х — начале 2000-х годов [38–45]. Основными причинами фактического отказа офтальмологов от массового применения склеропластических вмешательств стали данные об их низкой эффективности в отдаленном периоде наблюдения и сообщения о возникающих в редких случаях интра- и послеоперационных

осложнениях — хориоидальном отеке, повреждении вортесной вены, хемозе, нарушении движений глаз и др. [42–46].

Тем не менее в некоторых российских офтальмологических центрах, прежде всего в НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца, активно продолжались научно-клинические исследования, включавшие тщательный анализ эффективности склероукрепляющего лечения прогрессирующей миопии и причин неудовлетворительных исходов, а также разработку новых, более эффективных способов его практического применения [47–50].

В последнее десятилетие вследствие роста частоты миопии, в том числе высокой степени, как было сказано выше, зарубежные офтальмологи, прежде всего в Китайской народной республике, в меньшей степени в США, Австралии, Израиле и некоторых странах Европы вновь обратились к возможности лечения патологической миопии с помощью склероукрепляющих вмешательств [51].

ЦЕЛЬЮ данного обзора является анализ современных (начиная с 2000 г.) данных об эффективности и безопасности склероукрепляющего лечения прогрессирующей миопии.

Клинические исследования, выполненные в последние два десятилетия, демонстрируют практически такой же высокий стабилизирующий эффект склеропластики в ранние сроки после ее проведения, как было показано в предыдущий период, в годы активного ее использования. Результаты несколько варьируют в зависимости от использованного пластического материала, метода операции и исходной степени миопии у оперированных пациентов. Склеропластика по упрощенной методике Н.Н. Пивоварова [52] с использованием ксенотрансплантата через 12 мес после ее проведения позволила добиться стабилизации рефракции у 71,1 % детей с прогрессирующей миопией средней степени, через 24 мес — у 78,4 %. В группе контроля миопия не прогрессировала, соответственно, лишь в 22,9 и 20 % случаев. В раннем послеоперационном периоде отмечена локальная гиперемия, отек конъюнктивы [53]. Использование аналогичного пластического материала (Ксенопласта — материала на основе ксеноколлагена) обеспечило в течение года после операции по Н.Н. Пивоварову стабилизацию миопии высокой степени только в 43,5% глаз, в которых усиление рефракции за этот период не превысило 0,25 дптр, и еще в 14,5% глаз — 0,5–0,75 дптр. При этом у пациентов аналогичного возраста, с такой же (высокой) степенью миопии и одинаковым исходным градиентом ее прогрессирования (группа контроля), в которой использовали Аллоплант (<http://alloplant.ru/ru/content/wetreat/files/miopy4docs.pdf>) — материал на основе аллосухожилия [54], стабилизация миопии отмечалась чаще — в 80 % случаев [55]. Для упрощенной склеропластики у детей и подростков с миопией средней и высокой степени продолжают использовать и донорскую склеру, в том числе подвергнутую криообработке (после предварительной экспозиции в растворе жидкого азота в течение 10 с) [56]. В.В. Егоров и соавт. [57] сообщают о стабилизации миопии у детей с миопией средней степени через год после операции по методике Н.Н. Пивоварова, выполненной одномоментно на двух глазах, в 84,3 % случаев, а через 3 года — в 62,9 %, при этом ПЗО выросла на $0,13 \pm 0,01$ и $0,29 \pm 0,03$ мм соответственно. В то же время, по данным этих же авторов, через 3 года после поэтапных склероукрепляющих операций на обоих глазах, выполненных с интервалом в год, частота стабилизации миопии отмечена у $81,4 \pm 4,4$ % пациентов, что в 1,3 раза выше, чем при одномоментной операции ($p < 0,05$). Система склероукрепляющих вмешательств (малоинвазивных и бандажирующих), которая предполагает их поэтапное

выполнение с не менее чем 6-месячным интервалом на парных глазах, была ранее разработана и до сих пор используется в НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца [47–49].

Стабилизирующий эффект склеропластики с использованием донорской склеры в раннем периоде наблюдения, наиболее выраженный у детей и подростков с миопией слабой и средней степени, подтвержден на большом клиническом материале (1282 глаза): через год после операции существенное замедление темпа прогрессирования миопии отмечалось в 92 % случаев [58]. Подтверждена эффективность склеропластики и у взрослых пациентов с высокой осложненной миопией: в сроки 8–12 мес отмечена стабилизация рефракции и улучшение состояния центральной сетчатки (макулярного интерфейса) [59].

В то же время большинство современных исследований сосредоточено на оценке долговременного стабилизирующего влияния склеропластики на течение миопического процесса как у детей и подростков, так и у взрослых пациентов с быстро прогрессирующей миопией. Много исследований такого рода ожидаемо проводится в Китайской народной республике. Так, в группе детей с исходно высоким градиентом прогрессирования миопии с помощью склеропластики по модифицированному методу Снайдера — Томпсона [60] с использованием донорской склеры удалось в 2 раза замедлить усиление рефракции: ее изменение через $4,99 \pm 1,30$ года составило $1,50 \pm 1,44$ дптр (ПЗО выросла на $1,27 \pm 0,54$ мм) против $3,02 \pm 1,57$ дптр (рост ПЗО — $2,05 \pm 0,91$ мм) в контрольной группе. Никаких осложнений авторы не отметили [60]. Аналогичные результаты — двукратное замедление градиента прогрессирования ($0,44$ дптр против $0,23$ дптр/год в группе контроля) — получены за период 3-летнего [61] и 5-летнего наблюдения детей с высокой миопией после склеропластики с использованием донорской склеры при отсутствии каких бы то ни было серьезных осложнений [62, 63]. Близкий стабилизирующий эффект склеропластики с использованием широкой полоски донорской склеры также при отсутствии осложнений отмечен у детей с высокой миопией (усиление рефракции на $1,12$ дптр и рост ПЗО на $0,75$ мм против $-1,82$ дптр и $0,94$ мм соответственно на не оперированном парном глазу) через $2,5$ года [64]. Стабилизация рефракции и состояния глазного дна после склеропластики донорской склерой у детей с высокой врожденной миопией отмечается и в работе российских офтальмологов [65]. Детям с экстремально высокой миопией ($-17,57 \pm 5,56$ дптр, ПЗО = $30,09 \pm 2,18$ мм) предложено сочетать склеропластику донорской склерой с имплантацией факичных ИОЛ: через 3 года прогрессирования миопии не отмечено (ПЗО = $30,35 \pm 2,29$ мм), никаких осложнений тоже не выявлено [66].

Китайские офтальмологи применяют склероукрепляющую хирургию (в большинстве случаев используют донорскую склеру) не только у детей, но и у взрослых пациентов с высокой прогрессирующей миопией: 5-летнее наблюдение показало достоверно более слабое изменение рефракции и ПЗО ($0,14$ дптр/год и $0,06$ мм/год) после операции, чем в группе контроля ($0,64$ дптр/год и $0,27$ мм/год) [67]. У взрослых пациентов с высокой миопией после склеропластики отмечена стабилизация рефракции, остроты зрения и состояния глазного дна, в то время как в группе контроля выявлено статистически значимое ухудшение данных показателей [68, 69]. Эти результаты полностью подтвердили данные, полученные в более раннем 5-летнем российско-американском исследовании, в котором было показано достоверное замедление прогрессирования высокой миопии у взрослых пациентов: рост ПЗО после операции по методу

Снайдера — Томпсона с использованием донорской склеры составил в среднем $0,07$ против $0,21$ мм/год в контрольной группе. Авторы не выявили серьезных осложнений, однако отметили в части случаев временные ограничения абдукции, временный подъем внутриглазного давления и небольшой хориоидальный выпот [70].

Небольшие нарушения движений глаз, которые наблюдались только в раннем послеоперационном периоде, отмечены в работе словацких офтальмологов А. Gerinec, G. Slezakova [71]. Авторы приводят успешные результаты склеропластики по методу F. Thompson [44] с использованием не донорской склеры, а пластического материала Zenoderm (на основе свиной кожи) на 251 глазу 154 детей в возрасте 2–18 лет с высокой миопией в отдаленном периоде наблюдения: через 10 лет стабилизация ПЗО была достигнута в 53,8 % глаз, а стабилизация рефракции — в 52,9 % глаз, при этом в остальных случаях (47 % глаз) градиент прогрессирования, составлявший исходно $1,1$ дптр/год, снизился до $0,1$ дптр/год. В другой работе отмечен более высокий процент стабилизации миопии (в среднем по всей группе 91,3 %) через 4 года после ксеносклеропластики (основу этого материала составляет перикард крупного рогатого скота), однако оперированные пациенты были подростки и лица молодого возраста (15–30 лет), т. е. старше, чем в упомянутом выше исследовании, и у значительной части из них миопия была слабой и средней степени (в 65 % случаев). При этом у пациентов с высокой миопией стабилизация ПЗО наблюдалась в 88,3 % случаев [72].

Сочетание склеропластики (в качестве трансплантата использовалась донорская склера) с пломбированием склеры в области заднего полюса глаза у пациентов в возрасте 10–43 лет с миопией высокой степени позволило достичь еще более значительного стабилизирующего эффекта как в отношении рефракции, так и состояния глазного дна, чем склеропластика по Снайдеру — Томпсону (в авторской модификации). Так, стабилизация рефракции после склероконструктивной операции с пломбированием заднего полюса наблюдалась в 100 % случаев в течение года, в 95,2 % — 3 лет, в 90,5 % — 6–8 лет. Стабилизирующий эффект склеропластики по Снайдеру — Томпсону составил соответственно 100, 88,5 и 75,6 %. При использовании склеропластики с пломбированием заднего полюса ни в одном случае не наблюдалось отрицательной динамики состояния центральных отделов глазного дна, а прогрессирование периферических хориоретинальных дистрофий (ПВХРД) обнаружено только в 7,2 % случаев. В то же время на парных глазах отрицательная динамика в центральных отделах глазного дна отмечалась в 11,5 %, а на периферии — в 30,8 % [73].

Прогрессирование миопии, которое наблюдается в части случаев в отдаленном периоде после склеропластики, побудило Е.П. Тарутту и соавт. [47–49] разработать целую систему склероукрепляющего лечения прогрессирующей и осложненной миопии, которая включает поэтапное чередование повторных малоинвазивных и бандажирующих вмешательств на обоих глазах в сочетании (при необходимости) с лазеркоагуляцией (ЛК) ПВХРД сетчатки с учетом скорости (годового градиента) прогрессирования миопии и возраста пациента. Эффективность разработанной системы была оценена по итогам 10-летнего динамического наблюдения двух групп детей с быстро прогрессирующей миопией. Основная — I группа (240 больных, 480 глаз; возраст в начале наблюдения $9,1 \pm 1,0$ года, степень миопии $5,5 \pm 1,1$ дптр, скорость прогрессирования $1,2 \pm 0,4$ дптр/год) получала лечение, включавшее повторные склероукрепляющие вмешательства: малоинвазивные (МСП) в возрасте 8–9 лет (1–2 МСП на

каждом глазу с интервалом 0,5 года) и бандажирующие (БСП) операции в возрасте 10–12 лет (интервал между парными глазами 1–1,5 года). Показанием к повторному укреплению склеры являлось возобновление прогрессирования миопии: свыше 0,75 дптр/год — для МСП, свыше 1,25 дптр/год — для БСП. Вторая — контрольная группа (106 больных, 212 глаз, средний возраст в начале наблюдения $9,0 \pm 0,2$ года, степень миопии $5,3 \pm 1,3$ дптр, средняя скорость прогрессирования $0,98 \pm 0,80$ дптр/год) не получала склероукрепляющего хирургического лечения. Патологических изменений глазного дна в начале наблюдения у пациентов обеих групп не было. Пациентов осматривали каждые 6 мес в течение 10 лет с неперенным тщательным контролем периферии глазного дна и при показаниях проводили аргонлазерную фотокоагуляцию сетчатки. Показания к ЛК в обеих группах были одинаковыми. Средняя скорость прогрессирования миопии в течение 10 лет в основной группе составила 0,38 дптр/год, в контрольной она была в 2 раза выше — 0,80 дптр/год, а степень миопии в конце наблюдения оказалась достоверно ниже ($-9,3 \pm 1,0$ дптр), чем в контрольной группе ($-13,3 \pm 1,1$ дптр). Частота ПВХРД в основной группе также была ниже, чем в контрольной — 33,7 и 56,1 %, в частности решетчатой дистрофии и разрывов — 10 и 20,8 %, разрывов с субклинической отслойкой сетчатки — 0,8 и 2,4 % соответственно. ЛК была проведена на 4,6 % глаз (6,7 % больных) в основной и на 13,2 % глаз (17,9 % больных) в контрольной группе. Полученные результаты убедительно свидетельствуют о том, что система повторных склероукрепляющих вмешательств в комбинации с профилактической периферической ЛК сетчатки позволяет снизить темп прогрессирования и риск развития ПВХРД и отслойки сетчатки у детей и подростков с быстропрогрессирующей миопией [74].

В целом вывод о благоприятном влиянии на течение миопического процесса склероукрепляющего лечения, проведенного с использованием различных пластических материалов, различных хирургических методов и в разных возрастных группах, подтверждают два совсем недавно опубликованных метаанализа. В первом из них [75], включавшем анализ результатов 11 клинических исследований, приводятся средние значения разницы в скорости прогрессирования — 0,41 дптр/год (95%-ный ДИ, от 0,21 до 0,61; $p < 0,001$) и удлинения ПЗО — 0,17 мм/год (95%-ный ДИ, от 0,22 до 0,11; $p < 0,001$) между группами оперированных и не оперированных глаз. Лучшие результаты получены при использовании трансплантата в виде одной широкой полоски донорской склеры, а также у детей в сравнении со взрослыми пациентами. Во втором метаанализе обобщены результаты 26 клинических исследований [76]. В 20 из них склеропластика была проведена на одном глазу, результаты прослежены в течение 3–5 лет и признаны весьма удовлетворительными в сравнении с парным неоперированным глазом. Другие 6 исследований являлись рандомизированными и контролируемыми, при этом в группе контроля проводилось только консервативное лечение. Рост ПЗО у пациентов в контрольной группе был статистически более значительный, чем в группе оперированных пациентов. Хотя в большинстве исследований отмечено позитивное влияние склеропластики на течение миопического процесса, их эффективность значительно варьировала, особенно в отдаленном периоде наблюдения.

Анализ причин прогрессирования миопии после склеропластики с использованием различных биологических (донорских) тканей, в том числе животного происхождения, и ее неудовлетворительных отдаленных исходов показал, что существенным фактором является частичная резорбция трансплантата за счет активации коллагенолитических ферментов

(в частности, коллагеназы) [42], а также его замещение в процессе приживления собственной соединительной тканью реципиента с миопией, т. е. дефектным коллагеном [77], что приводит к значительному ослаблению опорной функции комплекса «склера — трансплантат». Кроме того, использование биологических тканей, встречавшее и раньше известные трудности ввиду национальных и религиозных традиций, в последнее время осложнилось из-за возможности инфицирования и контаминации специфическими или неспецифическими агентами (ВИЧ-инфекция, прионные заболевания, гепатит, туберкулез и т. д.), а несовершенство методов консервирования и стерилизации донорской ткани не обеспечивает ее безопасного применения, что создает риск послеоперационных осложнений и аллергических реакций. Очевидно, для повышения лечебного эффекта склеропластических вмешательств целесообразно использовать синтетические материалы, не подвергающиеся деградации и обеспечивающие постоянный биомеханический эффект, но обладающие в то же время стимулирующей активностью, свойственной биологическим (донорским) тканям, улучшающим трофику и кровоснабжение оболочек глаза. Необходимость создания синтетического пластического материала нового поколения была обусловлена также и серьезными недостатками существующих синтетических имплантатов (силиконовая резина, фторопласт, полиуретан и др.), применяемых в офтальмологии, а именно, из-за нередко наблюдаемых осложнений — отторжения, выделения токсических соединений, синдрома сдавления, ишемии переднего отрезка глаза с образованием пролежней, перфорации склеры, болевого синдрома и др. [78–80].

В результате комплексного экспериментального исследования в НИИЦ глазных болезней им. Гельмгольца совместно с ВНИИ синтетического волокна был разработан и апробирован синтетический склеропластический трансплантат, сочетающий в себе стимулирующие свойства природных (донорских) пластических материалов с устойчивостью к биорезорбции и аутостерильностью, свойственными синтетическим (искусственным) материалам. Трансплантат представлял собой трикотажное полиэфирное полотно, на поверхность которого нанесено специальное полимерное покрытие, депонирующее германийсодержащий препарат женьшеня — панаксел. Данный препарат обладает заданной биологической активностью, стимулирует коллагенообразование и гемодинамику в оболочках миопического глаза. Панаксел, постепенно высвобождаясь из полимерного покрытия, оказывает пролонгированное трофическое воздействие на склеру и внутренние оболочки глаза, а синтетический каркас имплантата, прорастающий новообразованной соединительной тканью, обеспечивает длительный механический (поддерживающий) эффект вмешательства [81]. Двухлетние клинические наблюдения использования этого материала для малоинвазивного склероукрепляющего лечения детей и подростков с высоким годичным градиентом прогрессирования (ГПП) миопии показали стабилизацию рефракции и длины ПЗО в 94 % случаев, повышение запаса относительной аккомодации в среднем на 1,6 дптр, отсутствие отрицательной динамики состояния глазного дна [82]. Данный биологически активный трансплантат (БАТ) получил достаточно широкое применение не только для лечения прогрессирующей миопии, но и в других областях офтальмохирургии [83].

Возможность использования БАТ не только для биомеханического воздействия, но и для депонирования в его полимерном покрытии различных биологически активных субстратов открыло перспективы для пролонгированной

антидистрофической терапии прогрессирующей миопии. В рамках реализации этого подхода было предложено депонировать в полимерном покрытии БАТ природный биосовместимый полимер аминной природы — хитозан, который среди прочих биостимулирующих свойств характеризуется способностью улучшать гемодинамику и трофику тканей, а также стимулировать образование поперечных связей в коллагеновых структурах, повышая тем самым их биомеханическую стабильность [84, 85].

После проведения комплексных экспериментальных и доклинических исследований БАТ с хитозаном (полотно офтальмологическое трикотажное, полиэфирное с покрытием из хитозана с германийсодержащим препаратом, стерильное «Хитекс-Х-Г») был разрешен для применения в офтальмохирургии и начал использоваться для малоинвазивного склероукрепляющего лечения прогрессирующей миопии, а также для других экстрасклеральных воздействий. После такого лечения у детей и подростков с прогрессирующей миопией средней и высокой степени установлено существенное снижение ГПП (в 4,4 раза) и удлинения ПЗО, достоверное повышение акустической плотности склеры, аккомодационного ответа, интраокулярного кровотока и толщины хориоидеи, что свидетельствует о значительном трофическом и гемодинамическом эффекте предложенного БАТ на оболочки миопического глаза. Улучшение регионарной гемодинамики привело к снижению ГПП и на парном, неоперированном глазу в 2,2 раза [86, 87].

Хирургический кросслинкинг миопической склеры, реализованный в вышеупомянутой работе с помощью БАТ, содержащего хитозан, использовали также китайские офтальмологи, осуществившие кросслинкинг донорского склерального трансплантата путем его предоперационной обработки сшивающим агентом — генипином. В результате динамического 2–3-летнего наблюдения отмечено значимое замедление прогрессирования миопии у молодых пациентов (моложе 18 лет): в оперированных глазах увеличение ПЗО составило 0,32 мм, а в группе контроля (парные интактные глаза) — 0,82 мм. Никаких осложнений не отмечено [88].

Необходимо отметить, что кросслинкинг склеры — перспективное направление в области склероукрепляющего лечения прогрессирующей миопии, основанное на ином подходе к проблеме. Вместо использования тех или иных пластических материалов, после имплантации срастающихся со склерой и таким образом формирующих новый, более устойчивый к растяжению биоконструкт, этот подход заключается в воздействии на собственную соединительную ткань склеры, повышающем ее биомеханическую стабильность за счет формирования дополнительных поперечных внутри- и межмолекулярных связей в коллагеновых структурах. В клинической практике пока возможен только хирургический кросслинкинг, осуществляемый путем направленного воздействия сшивающих агентов, депонированных в пластическом материале (например, БАТ с хитозаном), используемом для склероукрепляющей хирургии.

Однако в настоящее время ведутся активные разработки в области коллагенового кроссликинга склеры, и данный подход уже экспериментально реализован двумя основными способами. Первый способ использует эффект фотополимеризации — ультрафиолетовое воздействие на склеру *in vivo* в сочетании с ее обработкой раствором рибофлавина или использование более длинноволнового излучения с другим фотосенсибилизатором (фотохимический кросслинкинг) [89–94]. Показано, что в результате такого воздействия как в ближайшем, так и в отдаленном периоде наблюдения значительно увеличивается прочность и модуль упругости

склеральной ткани за счет повышения уровня ее поперечной связанности, и при соблюдении адекватного режима процедуры отсутствует повреждающий эффект на структуры глаза, а у экспериментальных животных с индуцированной миопией отмечается существенное замедление роста ПЗО глаза [90, 91, 95, 96]. Другой способ повышения поперечной связанности склеры предусматривает инъекции под тенонovu капсулу глаза растворов сшивающих агентов (медикаментозный кросслинкинг), в частности глицеральдегида, комплекса основных аминокислот или других соединений [94, 97, 98]. Обе технологии повышения структурной стабильности коллагена склеры весьма эффективны и в перспективе могут быть использованы для безоперационного (фотохимического или медикаментозного) склероукрепляющего лечения прогрессирующей миопии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ основной современной российской и зарубежной литературы убедительно свидетельствует о том, что склероукрепляющие воздействия являются эффективным инструментом профилактики прогрессирования миопии и развития ее осложнений как у детей, так и взрослых пациентов. Степень стабилизирующего влияния таких вмешательств на течение миопического процесса и их безопасность в ближайшем и отдаленном послеоперационном периоде во многом зависят от хирургической методики и выбора пластического материала; предпочтение следует отдавать биологически активным синтетическим трансплантатам, позволяющим депонировать лекарственные препараты, которые стимулируют кросслинкинг склеры, а также обладают трофическим и гемодинамическим эффектом. При определении показаний к склеропластике необходимо учитывать исходный градиент прогрессирования миопии, возраст и состояние глазного дна пациента, а также предусматривать необходимость дальнейших повторных вмешательств, поскольку только системный и поэтапный подход к склероукрепляющему лечению в течение всего периода прогрессирования может обеспечить надежную стабилизацию миопического процесса и предотвратить развитие его инвалидизирующих осложнений. Склеропластика должна рассматриваться как необходимый компонент комплексной системы профилактики прогрессирования миопии, который может успешно сочетаться с другими лечебными подходами — оптическим (очковая и контактная коррекция, ортокератология), функциональным (аппаратное лечение) и медикаментозным.

Литература/References

1. Wolffsohn J.S., Calossi A., Cho P., et al. Global trends in myopia management attitudes and strategies in clinical practice — 2019 update. *Contact Lenses and Anterior Eye*. 2020; 43 (1): 9–17. doi: 10.1016/j.clae.2019.11.002
2. Прокуркина О.В., Маркова Е.Ю., Бржеский В.В. и др. Распространенность миопии у школьников некоторых регионов России. *Офтальмология*. 2018; 15 (3): 348–53. [Proskurina O.P., Markova E.Y., Brzheskij V.V., et al. The Prevalence of Myopia in Schoolchildren in Some Regions of Russia. *Ophthalmology in Russia*. 2018; 15 (3): 348–53 (in Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-3-348-353>]
3. Wildsoet C.F., Chia A., Cho P., et al. IMI — Interventions for Controlling Myopia Onset and Progression Report. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2019; 60: M106–M131. <https://doi.org/10.1167/iiov.18-25958>
4. Тарутта Е.П., Прокуркина О.В., Тарасова Н.А., Ибатуллин Р.А., Ковычев А.С. Предикторы миопии как отправная точка для начала активных мер по предупреждению ее развития. *Российский офтальмологический журнал*. 2018; 11 (3): 107–12. [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Ibatullin R.A., Kovychev A.S. Myopia predictors as a starting point for active prevention of myopia development. *Russian ophthalmological journal*. 2018; 11 (3): 107–12 (in Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-107-112>]
5. Zadnik K., Sinnott L.T., Cotter S.A., et al. Prediction of Juvenile-Onset Myopia. *JAMA Ophthalmol*. 2015; 133 (6): 683–9. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2015.0471

6. *Tarutina E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Milash S.V., Markosyan G.A.* Отдаленные результаты очковой коррекции с перифокальным дефокусом у детей с прогрессирующей миопией. *Вестник офтальмологии*. 2019; 135 (5): 46–53. [Tarutina E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Milash S.V., Markosyan G.A. Long-term results of peripheral defocus spectacle lens correction in children with progressive myopia. *Vestnik oftal'mologii*. 2019; 135 (5): 46–53 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/oftalma201913505146>]
7. *Tarutina E.P., Verzhanskaya T.Yu.* Стабилизирующий эффект ортокератологической коррекции миопии (результаты десятилетнего наблюдения). *Вестник офтальмологии*. 2017; 133 (1): 49–54. [Tarutina E.P., Verzhanskaya T.Yu. Stabilizing effect of orthokeratology lenses (ten-year follow-up results). *Vestnik oftal'mologii*. 2017; 133 (1): 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133149-54>]
8. *Aller T.A., Liu M., Wildsoet C.F.* Myopia control with bifocal contact lenses: a randomized clinical trial. *Optom. Vis. Sci.* 2016; 93 (4): 344–52. doi: 10.1097/OPX.0000000000000808
9. *Walline J., Greiner K., McVey M., Jones-Jordan L.* Multifocal contact lens myopia control. *Optom Vis Sci.* 2013; 90 (11): 1207–14. doi: <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000036>
10. *Li S.M., Kang M.T., Wu S.S.* Studies using concentric ring bifocal and peripheral add multifocal contact lenses to slow myopia progression in school-aged children: a meta-analysis. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2017; 37 (1): 51–9. <https://doi.org/10.1111/opo.12332>
11. *Chia A., Lu Q.S., Tan D.* Five-Year Clinical trial on atropine for the treatment of myopia 2: myopia control with atropine 0.01 % eyedrops. *Ophthalmology*. 2016; 123 (2): 391–9. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.07.004
12. *Vutipongsatorn K., Yokoi T., Ohno-Matsui K.* Current and emerging pharmaceutical interventions for myopia. *British Journal of Ophthalmology*. 2019; 103: 1539–48. <http://dx.doi.org/10.1136/bjophthalmol-2018-313798>
13. *Tarutina E.P., Iomdina E.N., Tarasova N.A. и др.* Современные методы диагностики и комплексного функционального лечения прогрессирующей миопии. *Практическая медицина*. 2018; 3 (114): 16–20. [Tarutina E.P., Iomdina E.N., Tarasova N.A., et al. Modern methods of diagnosing and complex functional treatment of progressive myopia. *Prakticheskaya meditsina*. 2018; 3 (114): 16–20 (in Russian)].
14. *Tarutina E.P., Iomdina E.N., Tarasova N.A., Markosyan G.A., Maksimova M.V.* Комплексный подход к профилактике и лечению прогрессирующей миопии у школьников. *РМЖ «Клиническая офтальмология»*. 2018; 2: 70–6. [Tarutina E.P., Iomdina E.N., Tarasova N.A., Markosyan G.A., Maksimova M.V. Complex approach to the prevention and treatment of progressive myopia in school children. *RMZh “Klinicheskaya oftal'mologiya”*. 2018; 2: 70–6 (in Russian). doi: 10.21689/2311-7729-2018-18-2-70-76]
15. *Pan C.W., Ramamurthy D., Saw S.M.* Worldwide prevalence and risk factors for myopia. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2012; 32 (1): 3–16. doi: 10.1111/j.1475-1313.2011.00884.x
16. *Vitale S., Sperduto R.D., Ferris F.L. 3rd.* Increased prevalence of myopia in the United States between 1971–1972 and 1999–2004. *Arch. Ophthalmol.* 2009; 127: 1632–9. doi: 10.1001/archophthalmol.2009.303
17. *Chan N.S., Teo K., Cheung C.M.* Epidemiology and diagnosis of myopic choroidal neovascularization in Asia. *Eye Contact Lens*. 2016; 42 (1): 48–55. doi: 10.1097/ICL.0000000000000201
18. *Foster P.J., Jiang Y.* Epidemiology of myopia. *Eye (Lond)* 2014; 28: 202–8. doi: <https://doi.org/10.1038/eye.2013.280>
19. *Morgan I.G., Ohno-Matsui K., Saw S.M.* Myopia. *Lancet* 2012; 379: 1739–48. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60272-4
20. *Wong T.Y., Ferreira A., Hughes R., Carter G., Mitchell P.* Epidemiology and disease burden of pathologic myopia and myopic choroidal neovascularization: an evidence-based systematic review. *Am. J. Ophthalmol.* 2014; 157: 9–25. doi: 10.1016/j.ajo.2013.08.010
21. *Vongphanit J., Mitchell P., Wang J.* Prevalence and progression of myopic retinopathy in an older population. *Ophthalmology*. 2002; 109 (4): 704–11. doi: 10.1016/s0161-6420(01)01024-7
22. *Cedrone C., Nucci C., Scuderi G., et al.* Prevalence of blindness and low vision in an Italian population: a comparison with other European studies. *Eye (Lond)* 2006; 20: 661–7. doi: 10.1038/sj.eye.6701934
23. *Klaver C.C., Wolfs R.C., Roger C.W., et al.* Age-specific prevalence and causes of blindness and visual impairment in an older population: the Rotterdam Study. *Arch. Ophthalmol.* 1998; 116: 653–8. doi: 10.1001/archophth.116.5.653
24. *Либман Е.С., Шахова Е.В.* Слепота и инвалидность вследствие патологии органа зрения в России. *Вестник офтальмологии*. 2006; 1: 35–7. [Libman E.S., Shakhova E.V. Blindness and low vision due to eye pathology. *Vestnik oftal'mologii*. 2006; 1: 35–7 (in Russian)].
25. *Iwase A., Araie M., Tomidokoro A., et al.* Prevalence and causes of low vision and blindness in a Japanese adult population: the Tajimi Study. *Ophthalmology*. 2006; 113: 1354–62. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.04.022
26. *Xu L., Wang Y., Li Y., et al.* Causes of blindness and visual impairment in urban and rural areas in Beijing: the Beijing Eye Study. *Ophthalmology*. 2006 Jul; 113 (7): 1134.e1–11. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.01.035
27. *Yamada M., Hiratsuka Y., Roberts C.B., et al.* Prevalence of visual impairment in the adult Japanese population by cause and severity and future projections. *Ophthalmic Epidemiol.* 2010; 17: 50–7. doi: 10.3109/09286580903450346
28. *Verkharla P.K., Ohno-Matsui K., Saw S.M.* Current and predicted demographics of high myopia and an update of its associated pathological changes. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2015; 35 (5): 465–75. doi: 10.1111/opo.12238
29. *Yoshida T., Hayashi K., Ohno-Matsui K., et al.* Long-term pattern of progression of myopic maculopathy: a natural history study. *Ophthalmology*. 2010; 117 (8): 1595–611 / <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.11.003>
30. *Moriyama M., Ohno-Matsui K., Hayashi K., et al.* Topographic analyses of shape of eyes with pathologic myopia by high-resolution three-dimensional magnetic resonance imaging. *Ophthalmology*. 2011; 118: 1626–37. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.01.018
31. *Hsiang H.W., Ohno-Matsui K., Shimada N., et al.* Clinical characteristics of posterior staphylocoma in eyes with pathologic myopia. *Am. J. Ophthalmol.* 2008; 146: 102–10. doi: 10.1016/j.ajo.2008.03.010
32. *He M., Zeng J., Liu Y., et al.* Refractive error and visual impairment in urban children in southern China. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2004; 45 (3): 793–9. doi: 10.1167/iovs.03-1051
33. *Wu P.C., Chen Y.J., Chen C.H., et al.* Assessment of macular retinal thickness and volume in normal eyes and highly myopic eyes with third-generation optical coherence tomography. *Eye*. 2008; 22: 551–5. doi: 10.1038/sj.eye.6702789
34. *Иомдина Е.Н.* Биомеханические и биохимические нарушения склеры при прогрессирующей близорукости и методы их коррекции. В кн.: *Аветисов С.Э., Кашенко Т.П., Шамшинова А.М., ред. Зрительные функции и их коррекция у детей.* Москва: Медицина; 2005: 163–83. [Iomdina E.N. Biomechanical and biochemical disorders of the sclera in progressive myopia and methods of their correction. In: *Avetisov S.E., Kashchenko T.P., Shamshinova A.M., eds. Visual functions and their correction in children.* Moscow: Meditsina; 2005: 163–83 (in Russian)].
35. *Troilo D., Smith E.L. III, Nickla D.L., et al.* IMI — report on experimental models of emmetropization and myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019; 60 (3): 31–88. doi: 10.1167/iovs.18-25967
36. *Summers J.A.* The Sclera and its role in regulation of the refractive state. In: *Spaide R., Ohno-Matsui K., Yannuzzi L. (eds). Pathologic Myopia.* Springer, New York, NY; 2014: 59–74. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8338-0_5
37. *Шевелев М.М.* Операция против высокой близорукости и склерэктазии с помощью пересадки фасцие latae на истонченную склеру. *Русский офтальмологический журнал*. 1930; 11: 107–10. [Shevelev M.M. Operation against high myopia and scleral ectasia with aid of transplantation of fascia lata on thinned sclera. *Russian ophthalmological journal*. 1930; 11: 107–10 (in Russian)].
38. *Thompson F.B.* Scleral reinforcement for high myopia. *Ophthalmic Surg.* 1985; 16 (2): 90–4.
39. *Momose A.* Surgical treatment of myopia with special references to posterior scleral support operation and radial keratotomy. *Indian J. Ophthalmol.* 1983; 31: 759–67.
40. *Tarutina E.P., Iomdina E.N., Maksimova M.V., Shamkhalova E.Sh., Andreeva L.D.* Укрепление склеры у детей с повышенным риском прогрессирования близорукости. *Вестник офтальмологии*. 1992; 108 (2): 14–7. [Tarutina 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 Russian)].
41. *Кагермазова Н.Х., Захаров В.Д.* Профилактика прогрессирования близорукости методом склеропластики. *Офтальмологический журнал*. 1975; 7: 485–8. [Kagermazova N.Kh., Zakharov V.D. Prevention of progression of myopia using a method of scleroplasty. *Oftal'mologicheskij zhurnal*. 1975; 7: 485–8 (in Russian)].
42. *Бушueva Н.Н.* Отдаленные результаты различных методов склероукрепляющих операций у детей и подростков, страдающих прогрессирующей близорукостью. *Офтальмологический журнал*. 1989; 4: 194–8. [Bushueva N.N. Remote results of different methods of sclera reinforcement operations in children and adolescents with progressive myopia. *Oftal'mologicheskij zhurnal*. 1989; 4: 194–8 (in Russian)].
43. *Curtin B.J., Whitmore W.G.* Long-term results of scleral reinforcement surgery. *Am. J. Ophthalmol.* 1987; 103 (4): 544–8. doi: 10.1016/s0002-9394(14)74278-3
44. *Thompson F.B.* Scleral reinforcement in myopia surgery. New York: Macmillan; 1990: 267–97.
45. *Whitwell J.* Scleral reinforcement in degenerative myopia. *Trans. Ophthalmol. Soc. U.K.* 1971. 91: 679–86.
46. *Karabatsas C.H., Waldock A., Potts M.J.* Cilioretinal artery occlusion following scleral reinforcement surgery. *Acta Ophthalmol. Scand.* 1997; 75 (3): 316–8. doi: 10.1111/j.1600-0420.1997.tb00784.x
47. *Tarutina E.P.* 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. [Tarutina 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 Russian)].
48. *Tarutta E.P.* Возможности профилактики прогрессирующей и осложненной миопии в свете современных знаний о ее патогенезе. Вестник офтальмологии. 2006; 122 (1): 43–7. [*Tarutta E.P.* Potentialities of preventing progressive and complicated myopia in the light of present-day knowledge of its pathogenesis. Vestnik oftal'mologii. 2006; 122 (1): 43–7 (in Russian)].
 49. *Tarutta E.P., Iomdina E.N., Akhmedzhanova E.V.* Прогрессирующая миопия у детей: лечить или не лечить? Вестник офтальмологии. 2005; 2 (121): 5–8. [*Tarutta E.P., Iomdina E.N., Akhmedzhanova E.V.* Progressing myopia in children: does it need treatment or not? Vestnik oftal'mologii. 2005; 121 (2): 5–8 (in Russian)].
 50. *Iomdina E.N., Tarutta E.P., Markosyan G.A. и др.* Новые технологии склероукрепляющего лечения прогрессирующей миопии. Российская педиатрическая офтальмология. 2008; 1: 28–30. [*Iomdina E.N., Tarutta E.P., Markosyan G.A., et al.* New technologies of sclera-strengthening treatment of progressive myopia. Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya. 2008; 1: 28–30 (in Russian)].
 51. *Chassine T., Villain M., Hamel C.P., Daien V.* How can we prevent myopia progression? Eur. J. Ophthalmol. Jul–Aug 2015; 25 (4): 280–5. doi: 10.5301/ejo.5000571
 52. *Мирзаянц М.Г., Приставко Э.Ф., Пивоваров Н.Н.* О механизмах лечебного действия операции укрепления склеры. Реконструктивная офтальмохирургия. Москва; 1979: 136–8. [*Mirzajants M.G., Pristavko E.F., Pivovarov N.N.* On the mechanisms of therapeutic action of sclera reinforcement surgery. Reconstructive ophthalmosurgery. Moscow; 1979: 136–8 (in Russian)].
 53. *Красюк Е.Ю., Носкова О.Г.* Анализ эффективности склеропластики среди пациентов детского отделения ОГБУЗ «Тамбовская офтальмологическая больница». Вестник Тамбовского университета. 2015; 20 (4): 791–4. [*Krasyuk E.Yu., Noskova O.G.* Analysis of efficiency of scleroplasty among patients of children department of regional state budget institute of public health "Tambov ophthalmologic hospital". Vestnik Tambovskogo universiteta. 2015; 20 (4): 791–4 (in Russian). doi: 10.20310/1810-0198]
 54. *Мулдашев Э.Р.* Технологии «Аллоплант» как инновационная модель регенеративной хирургии. Практическая медицина. 2019; 17 (1): 12–6. [*Muldashev E.R.* Alloplant technology as the innovational model of regenerative surgery. Prakticheskaya medicina 2019; 17 (1): 12–6 (in Russian). <https://reg-surgery.ru/2019/PM2019.pdf>]
 55. *Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Дроздова Г.А., Ларионов Е.В., Озорнина О.С.* Результаты применения склеропластического материала на основе ксеноколлагена при лечении прогрессирующей близорукости. Российская педиатрическая офтальмология. 2009; (3): 35–8. [*Anisimova S.Yu., Anisimov S.I., Drozdova G.A., Larionov E.V., Ozornina O.S.* Pathophysiological features of the use of material at the base of xenocollagen for the surgical treatment of progressing myopia. Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya. 2009; (3): 35–8 (in Russian)].
 56. *Паштаев Н.П., Григорьева И.Н.* Предварительные результаты модифицированной криогенной склеропластики. Саратовский научно-медицинский журнал. 2019; 15 (2): 515–7. [*Pashtayev N.P., Grigorieva I.N.* Preliminary results of modified cryogenic scleroplasty. Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal. 2019; 15 (2): 515–7 (in Russian)].
 57. *Егоров В.В., Ли В.В., Смолякова Г.П., Капура О.И.* Клиническое обоснование нового тактического подхода к проведению склероукрепляющих операций у детей с прогрессирующей миопией. Здоровоохранение Дальнего Востока. 2018; 77 (3): 38–41. [*Egorov V.V., Li V.V., Smolyakova G.P., Kashura O.I.* Clinical substantiation of new tactical approach scleral reinforcement surgery in children with progressive myopia. Zdravookhranenie Dal'nego Vostoka. 2018; 77 (3): 38–41 (in Russian)].
 58. *Труфанова Л.П., Балалин С.В.* Анализ эффективности склеропластических операций у детей с прогрессирующей миопией при длительном наблюдении. Новые возможности медикаментозного лечения прогрессирующей миопии. Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2018; 68 (4): 51–6. [*Trufanova L.P., Balalin S.V.* Analysis of the effectiveness of scleroplastic operations in children with progressive myopia with long-term follow-up. New possibilities of drug treatment of progressive myopia. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. 2018; 68 (4): 51–6 (in Russian). doi: 10.19163/1994-9480-2018-4(68)-51-56]
 59. *Ji X., Wang J., Zhang J., et al.* The effect of posterior scleral reinforcement for high myopia macular splitting. Journal of international medical research. 2011; 39 (2): 662|6. doi: 10.1177/147323001103900236
 60. *Snyder A.A., Thompson F.B.* A simplified technique for surgical treatment of degenerative myopia. Am. J. Ophthalmol. 1972; 74 (2): 273–7. doi: 10.1016/0002-9394(72)90544-2
 61. *Chen M., Dai J., Chu R., Qian Y.* The efficacy and safety of modified Snyder-Thompson posterior scleral reinforcement in extensive high myopia of Chinese children. Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology. 2013; 251: 2633–8. <https://doi.org/10.1007/s00417-013-2429-x>
 62. *Shen Z.M., Zhang Z.Y., Zhang L.Y., Li Z.G., Chu R.Y.* Posterior scleral reinforcement combined with patching therapy for pre-school children with unilateral high myopia. Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology. 2015; 253: 1391–5. <https://doi.org/10.1007/s00417-015-2963-9>
 63. *Miao Z., Li L., Xiaoli M., et al.* Modified posterior scleral reinforcement as a treatment for high myopia in children and Its therapeutic effect. BioMed Research International. 2019; 2019: 1–7. <https://doi.org/10.1155/2019/5185780>
 64. *Xu Y., Liu H., Niu T., et al.* Long-term observation of curative effects of posterior scleral reinforcement surgery in patients with juvenile progressive myopia. Zhonghua Yan Ke Za Zhi. 2000; 36: 455–8.
 65. *Маркосян Г.А., Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н. и др.* Клинико-функциональные и биомеханические аспекты патогенеза, диагностики и лечения врожденной миопии: обзор литературы и анализ собственных данных. Российская педиатрическая офтальмология. 2016; 11 (3): 149–57. [*Markosyan G.A., Tarutta E.P., Iomdina E.N., et al.* The clinico-functional and biomechanical aspects of pathogenesis, diagnostics, and treatment of congenital myopia: the review of the literature and the analysis of the native data. Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya. 2016; 11 (3): 149–57 (in Russian). doi: 10.18821/1993-1859-2016-11-3-149-157]
 66. *Zhu S.Q., Wang Q.M., Xue A.Q., et al.* Posterior sclera reinforcement and phakic intraocular lens implantation for highly myopic amblyopia in children: a 3-year follow-up. Eye. 2014; 28: 1310–4. doi: <https://doi.org/10.1038/eye.2014.200>
 67. *Xue A., Bao F., Zheng L., et al.* Posterior scleral reinforcement on progressive high myopic young patients. Optometry and vision science. 2014; 91 (4): 412–8. doi: 10.1097/OPX.0000000000000201
 68. *Li X.J., Yang X.P., Li Q.M., et al.* Posterior scleral reinforcement for the treatment of pathological myopia. International journal of ophthalmology. 2016; 9 (4): 580–4. doi: 10.18240/ijo.2016.04.18
 69. *Cheng Peng, Jun Xu, Xiangying Ding, et al.* Effects of posterior scleral reinforcement in pathological myopia: A 3-year follow-up study. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2019 Mar; 257 (3): 607–17. doi: 10.1007/s00417-018-04212-y
 70. *Ward B., Tarutta E.P., Mayer M.J.* The efficacy and safety of posterior pole buckles in the control of progressive high myopia. Eye. 2009; 23: 2169–74. doi: [org/10.1038/eye.2008.433](https://doi.org/10.1038/eye.2008.433)
 71. *Gerinec A., Slezakova G.* Posterior scleroplasty in children with severe myopia. Bratisl. Lek. Lisky. 2001; 102 (2): 73–8.
 72. *Чеглаков Ю.А., Иошин И.Э., Чеглаков В.Ю., Моисеенко Г.Л.* Отдаленные результаты ксеносклеропластики заднего полюса глаза при лечении пациентов с прогрессирующей миопией. Вестник офтальмологии. 2005; 121 (6): 18–21. [*Cheglakov Yu.A., Ioshin I.E., Cheglakov V.Yu., Moiseyenko G.L.* Long-term results of xenoscleroplasty of the posterior pole of the eyeball in the treatment of patients with progressive myopia. Vestnik oftal'mologii. 2005; 121 (6): 18–21 (in Russian)].
 73. *Tarutta E.P., Iomdina E.N., Кружкова Г.В., Маркосян Г.А.* Отдаленные результаты склерореконструктивного лечения прогрессирующей миопии. Российский офтальмологический журнал. 2011; 4 (1): 71–5. [*Tarutta E.P., Iomdina E.N., Krushkova G.V., Markosyan G.A.* Long-term results of sclera reconstructive surgery of progressive myopia. Russian ophthalmological journal. 2011; 4 (1): 71–5 (in Russian)].
 74. *Tarutta E.P., Iomdina E.N., Viadro E.V.* Sclera reinforcement treatment and prevention of complications of progressive myopia in children. Points de Vue. 2010; 63: 29–33.
 75. *Huang W., Duan A., Qi Y.* Posterior scleral reinforcement to prevent progression of high myopia. Asia Pac. J. Ophthalmol. (Phila). 2019 Sep–Oct; 8 (5): 366–70. doi: 10.1097/APO.0000000000000257
 76. *Chen C.-A., Lin P.-Y., Wu P.-C.* Treatment effect of posterior scleral reinforcement on controlling myopia progression: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE. 2020; 15 (5): e0233564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233564>
 77. *Tarutta E.P., Andreyeva L.D.* A morphological study of the transplants after scleroplasty in progressive myopia. Exp. Eye Res. 1998; 67: 68.
 78. *Бушueva Н.Н.* Эксплантат для укрепления склеры при хирургическом лечении прогрессирующей близорукости. Офтальмологический журнал. 1992; 2: 70–7. [*Bushueva N.N.* The explant for supporting the sclera in surgical treatment of progressive myopia. Oftal'mologicheskij zhurnal. 1992; 2: 70–7 (in Russian)].
 79. *Roh M., Grace L.N., Miller J.B.* Complications associated with MIRAgel for treatment of retinal detachment. Semin. Ophthalmol. 2018; 33 (1): 89–94. doi: 10.1080/08820538.2017.1353822
 80. *Papakostas T.D., Vavvas D.* Postoperative complications of scleral buckling. Semin. Ophthalmol. 2018; 33 (1): 70–4. doi: 10.1080/08820538.2017.1353816
 81. *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. Refraktionnaya khirurgiya i oftal'mologiya. 2005; 4: 19–23 (in Russian)].

82. *Тарутта Е.П., Маркосян Г.А., Иващенко Ж.Н.* Клинико-функциональные показатели близоруких глаз после склеропластики биологически активным трансплантатом. Рефракционная хирургия и офтальмология. 2006; 6 (3): 30–4. [Tarutta E.P., Markosyan G.A., Ivashchenko Zh.N. Clinical and functional parameters of myopic eyes after scleroplasty with a biologically active graft. Refraktsionnaya khirurgiya i oftal'mologiya. 2006; 6 (3): 30–4 (in Russian)].
83. *Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Киселева О.А. и др.* Универсальный синтетический материал для офтальмохирургии. Российский офтальмологический журнал. 2010; 3 (4): 71–5. [Tarutta E.P., Iomdina E.N., Kiseleva O.A., et al. A universal synthetic material for ocular surgery. Russian Ophthalmological Journal. 2010; 3 (4): 71–5 (in Russian)].
84. *Лазаренко В.И., Осипова О.В., Большаков И.Н.* Коллаген-хитозановый комплекс в лечении дегенеративной миопии. Красноярск, 2014. [Lazarenko V.I., Osipova O.V., Bolshakov I.N. Collagen-chitosan complex in the treatment of degenerative myopia. Krasnoyarsk, 2014 (in Russian)].
85. *Лобзина Н.В., Большаков И.Н., Лазаренко В.И.* Свойства хитозана и его применение в офтальмологии. Сибирское медицинское обозрение. 2015; 5: 5–13. [Lobzina N.V., Bolshakov I.N., Lazarenko V.I. Properties of chitosan and its using in ophthalmology. Sibirskoe meditsinskoe obozrenie. 2015; 5: 5–13 (in Russian). doi: 10.20333/25000136-2015-5-5-13]
86. *Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Маркосян Г.А. и др.* Транспальпебральная реоофтальмография как метод оценки эффективности склероукрепляющего и трофического лечения прогрессирующей миопии. Офтальмология. 2018; 15 (4): 439–46. [Iomdina E.N., Tarutta E.P., Markosyan G.A., et al. Transpalpebral rheoophthalmography as a method for evaluating the effectiveness of sclera-strengthening and trophic treatment of progressive myopia. Ophthalmology in Russia. 2018; 15 (4): 439–46 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-439-446>]
87. *Тарутта Е.П., Маркосян Г.А., Сианосян А.А., Милаш С.В.* Толщина хориоидеи при различных видах рефракции и ее динамика после склероукрепляющих операций. Российский офтальмологический журнал. 2017; 10 (4): 48–53. [Tarutta E.P., Markosyan G.A., Sianosyan A.A., Milash S.V. Choroidal thickness in varied types of refraction and its changes after sclera strengthening surgeries. Russian ophthalmological journal. 2017; 10 (4): 48–53 (in Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-4-48-53>]
88. *Xue A., Zheng L., Tan G., et al.* Genipin-crosslinked donor sclera for posterior scleral contraction/reinforcement to high progressive myopia. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2018; 59: 3564–73. doi: 10.1167/iov.17-23707
89. *Wollensak G., Iomdina E., Dittert D.D., Salamatina O., Stoltenburg G.* Cross-linking of scleral collagen in the rabbit using riboflavin and UVA. Acta Ophthalmol. Scand. 2005; 83: 477–82. doi: 10.1111/j.1600-0420.2005.00447.x
90. *Backhouse S., Gentle A.* Scleral remodeling in myopia and its manipulation: a review of recent advances in scleral strengthening and myopia. Annals of eye science. 2018 Jan; 3 (1): 1–15. doi: 10.21037/aes.2018.01.04
91. *Liu S., Li S., Wang B., et al.* Scleral cross-linking using riboflavin UVA irradiation for the prevention of myopia progression in a guinea pig model: blocked axial extension and altered scleral microstructure. PLoS One. 2016; 11: e0165792 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165792>
92. *Li Y., Liu C., Sun M., et al.* Ocular safety evaluation of blue light scleral cross-linking in vivo in rhesus macaques. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2019; 257: 1435–42. <https://doi.org/10.1007/s00417-019-04346-7>
93. *Wollensak G., Iomdina E.* Long-term biomechanical properties of rabbit sclera after collagen crosslinking using riboflavin and ultraviolet A (UVA). Acta Ophthalmol. 2009; 87 (2): 193–8. doi: 10.1111/j.1755-3768.2008.01229.x
94. *Иомдина Е.Н., Тарутта Е.П., Семчишен В.А. и др.* Экспериментальная реализация малоинвазивных технологий кроссликинга 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 Russian). doi: 10.17116/engoftalma20161326-4]
95. *Wang M., Zhang F., Liu K., Zhao X.* Safety evaluation of rabbit eyes on scleral collagen cross-linking by riboflavin and ultraviolet A. Clin. Experiment. Ophthalmol. 2015; 43: 156–63. doi: 10.1111/ceo.12392
96. *Dotan A., Kremer I., Livnat T., et al.* Scleral cross-linking using riboflavin and ultraviolet-a radiation for prevention of progressive myopia in a rabbit model. Exp Eye Res. 2014; 127: 190–5. doi: 10.1016/j.exer.2014.07.019
97. *Wollensak G., Iomdina E.* Long-term biomechanical properties after collagen crosslinking of sclera using glyceraldehyde. Acta Ophthalmol. 2008; 86 (8): 887–93. doi: 10.1111/j.1755-3768.2007.01156.x
98. *Kim T.G., Kim W., Choi S., Jin K.H.* Effects of scleral collagen crosslinking with different carbohydrate on chemical bond and ultrastructure of rabbit sclera: Future treatment for myopia progression. PLoS ONE. 2019; 14 (5): e0216425. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216425>

Вклад авторов в работу: Е.Н. Иомдина — идея, дизайн, написание и редактирование статьи; Е.П. Тарутта — дизайн и научное редактирование статьи; Г.А. Маркосян — сбор и анализ литературы; Ю.И. Гаврилова — сбор литературы.

Authors' contribution: E.N. Iomdina — concept and design of the review, article writing and editing; E.P. Tarutta — concept of the review, final article editing; G.A. Markosyan — data collection and analysis; J.I. Gavrilova — data collection.

Поступила: 25.06.2020

Переработана: 02.07.2020

Принята к печати: 08.07.2020

Originally received: 25.06.2020

Final revision: 02.07.2020

Accepted: 08.07.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Елена Наумовна Иомдина — д-р. биол. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргномики

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргномики

Гаяне Айказовна Маркосян — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргномики

Юлия Игоревна Гаврилова — ординатор

Для контактов: Елена Наумовна Иомдина, iomdina@mail.ru

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

Elena N. Iomdina — Dr. of Biol. Sci., professor, principal researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmology ergonomics

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmology ergonomics

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

Julia I. Gavrilova — resident

Contact information: Elena N. Iomdina, iomdina@mail.ru