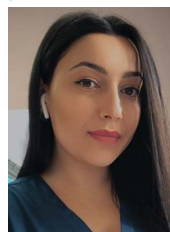


Миопия: патогенез и современные методы контроля. Обзор литературы

Е.Ю. Маркова¹Р.С. Исабеков¹Г.В. Авакянц¹,М.М. Яхьяева²

¹ ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Бескудниковский бульвар, 59а, Москва, 127486, Российская Федерация

² ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Островитянова, 1, Москва, 117997, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(1):149–155

В обзоре приведен анализ современных данных по распространенности, патогенезу и способам контроля прогрессирования миопии. Было выполнено библиографическое исследование научных публикаций в следующих базах данных: Medline, Pubmed, Cochrane, eLibrary. Анализ отечественной и зарубежной литературы продемонстрировал высокую распространенность миопии во всем мире, значительное количество информации по патогенезу и способам замедления прогрессирования миопии. Все основные методы контроля миопии подразделяются на мероприятия, направленные на изменение образа жизни ребенка, медикаментозную терапию, оптическую коррекцию и хирургические способы. Наиболее дискуссионным остается вопрос хирургических методов контроля близорукости, в частности склеропластики и УФ-кросслинкинга склеры.

Ключевые слова: миопия, патогенез миопии, распространенность миопии

Для цитирования: Маркова Е.Ю., Исабеков Р.С., Авакянц Г.В., Яхьяева М.М. Миопия: распространенность, патогенез и современные методы контроля. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2022;19(1):149–155. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-149-155>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует



Myopia: Pathogenesis and Actual Methods of Control. Literature Review

E.Yu. Markova¹, R.S. Isabekov¹, G.V. Avakyants¹, M.M. Yah'yayeva²

¹Fyodorov Eye Microsurgery Institution
Beskudnikovskiy blvd., 59A, Moscow, 127486, Russian Federation

²Pirogov Russian National Research Medical University
Ostrovyanova str., 1, Moscow, 117997, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(1):149–155

This literature review analyzed of current information about prevalence, pathogenesis and methods of controlling the progression of myopia. Bibliographic research of scientific publications was carried out in the following databases: Medline, Pubmed, Cochrane, eLibrary. Languages of publications: Russian and English. Analysis of Russian and foreign literature has demonstrated that the prevalence of myopia is increasing extensively worldwide. All the main methods of controlling myopia are divided into measures aimed at changing the child's lifestyle, drug therapy, optical correction and surgical methods. The most debatable issue remains the surgical methods of controlling myopia, in particular, posterior scleral reinforcement and UV-A-crosslinking of the sclera.

Keywords: myopia, pathogenesis of myopia, prevalence of myopia

For citation: Markova E.Yu., Isabekov R.S., Avakyants G.V., Yah'yayeva M.M. Myopia: Pathogenesis and Actual Methods of Control. Literature Review. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(1):149–155. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-149-155>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned
There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Близорукость признана серьезной глобальной проблемой офтальмологии, которая, как ожидается, затронет все большее число людей в следующие десятилетия [1]. Современный рост близорукости отражает тенденцию, при которой дети во многих странах проводят значительное количество времени за чтением, учебной или в последнее время — за компьютером и смартфоном. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что не только генетические, но и экологические факторы, такие как время, проведенное на открытом воздухе, играют важную роль в развитии миопии.

Метаанализ, приведенный Brien Holden Vision Institute, охватывающий 2,1 млн участников, показал, что с 2000 по 2050 г. произойдет значительное увеличение количества близоруких во всем мире. По прогнозам в 2050 г. число близоруких составит 4,8 млрд человек. Это значит, что 49,8 % населения мира будут близорукими. При этом почти 1 млрд человек будет иметь близорукость высокой степени. Было подсчитано, что с 2010 по 2020 год распространенность миопии во всем мире увеличилась с 28,3 до 34,0 %, что составляет около 20 % от базовой распространенности [2].

МЕТОДЫ

Было выполнено библиографическое исследование научных публикаций в следующих базах данных: Medline, Pubmed, Cochrane, eLibrary. Исследования на животных и людях, опубликованные на английском и русском языке (полный текст), были включены в этот обзор.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Патогенез

Самые последние статьи о патогенезе ускоренного роста глаза касаются влияния периферического дефокуса сетчатки. Сетчатка может воспринимать гиперметропическую и миопическую расфокусировку и инициировать различные реакции роста посредством нейромедиаторов: допамина, гена раннего ответа на рост-1 (Egr-1), глюкагона, инсулина, вазоактивного интестинального пептида, ретиновой кислоты, оксида азота и др. Эти нейромедиаторы проникают через сосудистую оболочку, вызывая изменения в синтезе внеклеточного матрикса склеры, что изменяет ее биомеханические свойства, приводя к увеличению длины глаза и прогрессированию близорукости. Молекулярные и биохимические изменения сетчатки, вызывающие изменения в слое пигментного эпителия, сосудистой оболочке и склере при различных экспериментальных условиях, привели к созданию «теории сигнального каскада» контроля роста глаза (рис. 1) [3].

Дофамин выделяется амакриновыми клетками и является основным катехоламином сетчатки. Синтез допамина напрямую зависит от уровня дневного освещения. Фармакологические исследования подтверждают роль допамина в регуляции роста глаз. Основопологающая работа Stone и соавт. [4] показала, что ежедневная субконъюнктивальная инъекция апоморфина (неселективного агониста рецепторов допамина) цыплятам замедляет прогрессирование миопии в дозозависимом отношении. С тех пор было показано, что различные дофаминергические агонисты замедляют развитие экспериментальной близорукости у различных видов животных.

Е.Ю. Маркова, Р.С. Исабеков, Г.В. Авакянц, М.М. Яхьяева

Контактная информация: Маркова Елена Юрьевна markova_ej@mail.ru

Миопия: патогенез и современные методы контроля. Обзор литературы

Введение синтетического допамина или его предшественника леводопы [LDOPA] у животных также эффективно уменьшает экспериментальную близорукость. Недавние исследования показали, что стимулированное светом увеличение высвобождения допамина сетчатки способно замедлять развитие экспериментально вызванной близорукости. Было высказано предположение, что вызванные светом изменения в отношении высвобождения допамина могут лежать в основе снижения заболеваемости близорукостью у детей, которые больше времени проводят на открытом воздухе [3].

Склера является конечным этапом в теории сигнального каскада, представляет собой плотную соединительную ткань, которая определяет размер и форму глаза и, как известно, является динамичной тканью, которая подвергается постоянному ремоделированию на протяжении всей жизни. Результаты исследований, проведенных за последние 25 лет, показали, что ремоделирование склеры регулируется генетическими и экологическими факторами, которые могут оказывать глубокое влияние на размер глаза и рефракцию. Несколько типов матриксных металлопротеиназ (MMPs) и тканевых ингибиторов металлопротеиназ (TIMPs) были вовлечены в процесс ремоделирования матрикса в склере близоруких глаз. Склера при близорукости претерпевает ряд биохимических изменений: уменьшение накопления коллагена, снижение уровня гиалуроновой кислоты и сульфатированных гликозаминогликанов, усиление ферментативной деградации [5].

Факторы риска

Исследования выявили ряд негенетических факторов риска, которые влияют

на распространенность, прогрессирование или профилактику близорукости: факторы окружающей среды (время, проведенное на открытом воздухе; время работы с объектами на близком расстоянии), образование,

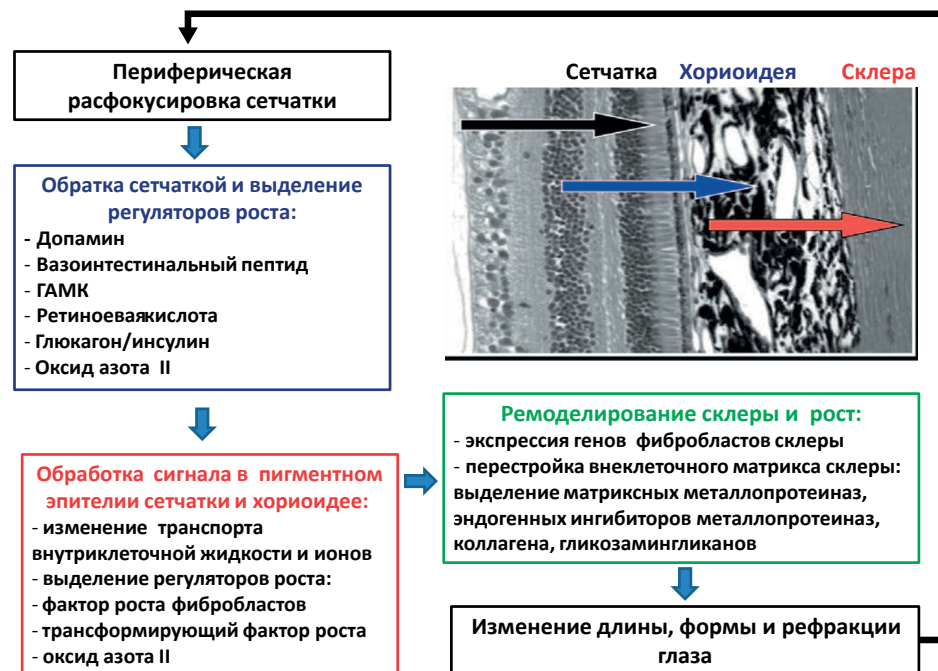


Рис. 1. Патогенез развития миопии [3]

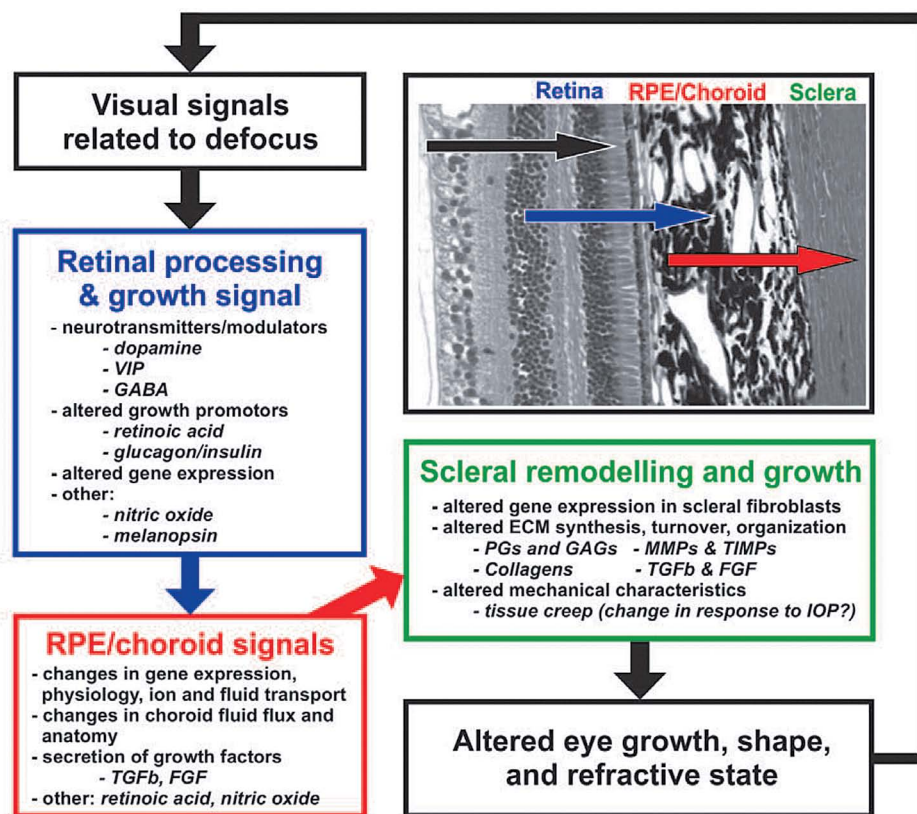


Fig. 1. The pathogenesis of myopia [3]

личные характеристики (этническая принадлежность, пол, близорукость у родителей, образование, физическое развитие, обстоятельства рождения).

По данным некоторых исследований, женщины демонстрируют более быстрое прогрессирование миопии, чем мужчины [6, 7], однако эта разница наблюдалась не во всех исследованиях [8]. Наследственность при близорукости коррелирует со скоростью осевого удлинения и увеличением миопической аномалии рефракции [9, 10].

Было обнаружено, что возникновение и прогрессирование близорукости связано с повышенным соотношением аккомодации-конвергенции/аккомодации (АС/А), которое можно было наблюдать до возникновения близорукости. Была предложена теория о том, что нарушение аккомодации с последующим гиперметропическим дефокусом на сетчатке может стать стимулятором осевого роста [11, 12].

На сегодня ряд ученых связывают прогрессирование миопии с уменьшением количества времени, проводимого на открытом воздухе. По данным различных авторов, этот эффект обусловлен яркостью светового воздействия [13, 14], увеличением воздействия коротких волн (360–400 нм) или воздействием ультрафиолетового света [15]. Увеличение времени, проведенного на открытом воздухе, эффективно тормозит прогрессирование близорукости. По мнению ряда ученых, количество времени, проведенного на открытом воздухе, не было связано с замедлением прогрессирования миопии в глазах, которые уже были близорукими [16].

Увеличение количества времени, проведенного за мониторами, также связывают с прогрессированием миопии [17]. Однако недавний систематический обзор С. Lanca и соавт. показал неоднозначные результаты [18].

Основные направления для снижения прогрессирования миопии:

- 1) Мероприятия, направленные на изменение образа жизни ребенка.
- 2) Медикаментозная терапия.
- 3) Оптическая коррекция.
- 4) Хирургические вмешательства.

Мероприятия, направленные на изменение образа жизни ребенка

Систематический обзор литературы, проведенный Кембриджским университетом в Великобритании, показал, что дети, которые проводят дополнительный час вне дома каждую неделю, имеют на 2 % меньший риск развития близорукости. Каждый дополнительный час ежедневного воздействия дневного солнечного света может снизить риск развития близорукости на 13 % [19]. Вероятность развития близорукости снижается примерно на треть, если время, проводимое на открытом воздухе, увеличивается до 14 или более часов в неделю [20, 21].

Медикаментозная терапия для снижения прогрессирования миопии

Атропин является неселективным антагонистом мускариновых рецепторов, стимулирует биосинтез внеклеточного матрикса в клетках фибробластов склеры, тем самым утолщая склеральную ткань и снижая ее эластичность и склонность к удлинению. Кроме того, атропин может снижать биосинтез внеклеточного матрикса в других тканях, таких как фибробласты хориоидеи [22]. Известно, что атропин имеет дозозависимое ингибирующее действие на прогрессирование близорукости. Первоначальное использование высоких дозы атропина (0,5, 1,0 %) замедляет прогрессирование миопии более чем на 75 % в течение 2 лет. Стоит отметить, что более низкие концентрации атропина (0,1 и 0,01 %) аналогично замедляют близорукость до 67 % и имеют меньше побочных эффектов [23]. Также известно, что использование атропина 0,01 % через 36 месяцев и через 5 лет показало самое медленное прогрессирование близорукости с наименьшими визуальными побочными эффектами по сравнению с более высокими дозами атропина [24]. Однако в Российской Федерации данный метод пока не имеет законной основы и применяется только по разрешению локального этического комитета.

В 2005 году проводилось исследование действия пиренземина (антагониста мускариновых рецепторов M1) на прогрессирование миопии. В 12-месячном исследовании в азиатской популяции 2%-ный гель пиренземина, наносимый местно на глаз два раза в день, уменьшал прогрессирование близорукости на 44 % и удлинение оси на 39 % по сравнению с контрольной группой; побочные эффекты наблюдались у 11 % [25].

Как и в случае с атропином, антимиускариновые свойства пиренземина могут привести к ухудшению зрения вблизи, чувствительности к свету, некоторому дискомфорту и зуду, а также остаткам лекарств на веках или ресницах. На данный момент пирензепин недоступен в качестве средства лечения близорукости.

Оптическая коррекция и ортокератология как метод замедления прогрессирования миопии

Исследования на животных показывают, что гиперметропический дефокус стимулирует удлинение в осевом направлении, в то время как миопическая расфокусировка уменьшает скорость удлинения в осевом направлении [3].

По последним данным, использование очков с полной коррекцией не замедляет прогрессирование близорукости, но при этом недостаточная коррекция способствует прогрессированию до 30 % [26–28]. Бифокальные очки или линзы с прогрессивным дополнением по сравнению с монофокальными линзами дали небольшой эффект в замедлении прогрессирования близорукости [29].

Одним из способов оптической коррекции является использование мягких контактных (монофокальных,

бифокальных, мультифокальных), жестких газонепроницаемых и ортокератологических линз.

Использование стандартных монофокальных мягких контактных линз не влияет на замедление или прогрессирование миопии [30, 31].

В некоторых исследованиях сообщалось, что жесткие газопроницаемые линзы замедляют прогрессирование близорукости у детей [32], но более поздние исследования показали, что использование этих линз не влияет на удлинение оси и что очевидный контроль прогрессирования близорукости, скорее всего, был вызван путем временного уплощения роговицы [33]. Ортокератологические линзы приводят к уменьшению гиперметропического дефокуса на периферии сетчатки и увеличению миопического периферического дефокуса. Эффект замедления удлинения глаза по осевой длине составляет от 30 до 63 %. Общий эффект лечения составляет около 50 % [34, 35].

При использовании ортокератологических линз центральная часть роговицы уплощается, а среднeperиферическая становится более крутой. Такая топография роговицы создает условия для формирования положительной сферической аберрации и относительной периферической миопии. Было доказано, что ношение ОКЛ приводит к формированию миопического периферического дефокуса, что сопровождается торможением увеличения ПЗО при продолжающемся росте поперечного диаметра глаза. Ряд авторов указывает, что раннее прекращение лечения ортокератологическими линзами приводит к увеличению скорости удлинения оси у детей (эффект отскока) [36].

Хирургические методы воздействия на прогрессирование миопии

По-прежнему дискуссионен вопрос о применении хирургических методик лечения близорукости.

Согласно экспериментам на животных, гистопатологические изменения после проведения склеропластики были разделены на 4 фазы: период воспалительной реакции (1–2 недели после операции); стадия образования гранулемы, стадия ангиогенеза (2–4 недели после операции); стадия образования коллагеновых волокон (1–3 месяца после операции) и стадия пролиферации соединительной ткани (>3 месяцев после операции). Гистопатологические изменения в раннем периоде после операции проявлялись воспалительной реакцией и образованием коллагеновых волокон. Неоваскуляризация появляется на поверхностях донорской и акцепторной склеры, а также между ними через 1 неделю после операции. Неоваскуляризация достигает пика в заднем сегменте глаза через 1–3 месяца после операции, улучшает трофику заднего полюса, тем самым улучшая зрительные функции пациента [37].

В.В. Егоров и соавт. 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 и 0,29 мм соответственно [38].

Склеропластика по упрощенной методике Н.Н. Пивоварова 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 2018 году в Китае было проведено исследование, в котором 40 пациентам (до 18 лет) с прогрессирующей близорукостью был проведен химический кросслинкинг склеральным трансплантатом в одном сегменте, который обработали фибриновым клеем — генипином. Склероукрепляющая операция проводилась на один глаз, при этом второй глаз использовали для контроля. В результате 2–3-летнего наблюдения осевая длина глаза на прооперированных глазах увеличилась в среднем на 0,32 мм, в контрольной группе с интактными глазами — на 0,82 мм [39].

Описаны послеоперационные осложнения склеропластики: повышение внутриглазного давления, отек конъюнктивальной ткани, кровоизлияние в стекловидное тело, кровоизлияние в сетчатку или хориоидею, дилатация или нарушение движения глаз, отслойка сетчатки и атрофия зрительного нерва. Также может произойти вытеснение армирующего материала, симблефарон, хориоидальные выпоты и повреждение сосудов орбиты. Стоит отметить, что вышеперечисленные осложнения встречаются крайне редко [40]. В настоящее время склеропластика при прогрессирующей близорукости в основном проводится в России, Восточной Европе и Китае, хотя также имеются публикации из США [41].

При прогрессирующей миопии снижение прочностных свойств склеры связывают прежде всего с недостатком стабилизирующих перекрестных интра- и интермолекулярных связей в склеральной ткани (их количество снижено примерно на 15 % в области экватора и на 12 % — в заднем полюсе). В связи с этим был предложен новый метод лечения прогрессирующей близорукости, направленный на увеличение количества стабилизирующих сшивок склеральной ткани — кросслинкинг склеры. G. Wollensak и соавт. в 2005 году выявили серьезные побочные эффекты процедуры кросслинкинга склеры в виде потери фоторецепторов, наружного ядерного слоя и пигментного эпителия сетчатки на большом протяжении. Кроме того, отмечалось поражение роговицы у животных в виде стромального отека, потери кератоцитов и эпителиальных клеток на стороне, где проводилось облучение [42].

При выполнении первых работ по УФ-кроссликингу склеры использовались устройства для УФ облучения роговицы. Данные особенности требовали выполнения широкого разреза конъюнктивы, отсечения экстраокулярных мышц, интрасклерального наложения швов-держателей [42, 43].

В связи с этим в Уфимском НИИ глазных болезней было разработано устройство для перекрестного сшивания коллагена склеры «УФалинк С», предназначенное для облучения ультрафиолетом фиброзной оболочки глазного яблока в области экватора и заднего полюса [44].

Выводы

Близорукость является социально значимой проблемой, и необходимость в контроле ее прогрессирования, несомненно, актуальна. Урбанизация, ухудшение экологической обстановки, цифровизация общества, уменьшение количества времени, проведенного на открытом воздухе, приводят к стойкому увеличению числа факторов, влияющих на развитие миопии. Актуальным остается вопрос о патогенезе миопии и роли различных медиаторов, транзиторов в процессе прогрессирования близорукости. Детальное изучение патогенеза миопии позволяет находить новые методы воздействия для контроля близорукости. Современные методы

контроля миопии подразумевают мероприятия, направленные на изменение образа жизни ребенка, медикаментозную терапию при миопии (атропин, пирензипин), оптическую коррекцию и хирургические вмешательства (склеропластика, модифицированный склеральный кросслинкинг). При наличии различных предложенных методов контроля близорукости большинство отмечают, что максимальные усилия необходимо прикладывать на изменение образа жизни ребенка с увеличением времени прогулок, уменьшением количества экранного времени и т.д. При этом наиболее дискуссионным остается вопрос хирургических методов контроля близорукости, в частности склеропластики и УФ-кросслинкинга склеры.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Маркова Е.Ю. — научное редактирование;
Исабеков Р.С. — сбор материала, анализ;
Авакянц Г.В. — сбор, перевод и обработка материала;
Яхьяева М.М. — сбор материала, анализ.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A., Jong M., Naidoo K.S., Sankaridurg P., Wong T.Y., Naduvilath T.J., Resnikoff S. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016 May;123(5):1036–1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006. Epub 2016 Feb 11. PMID: 26875007
- Sankaridurg P., Tahhan N., Kandel H., Naduvilath T., Zou H. IMI Impact of Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021 Apr;62(5):28. DOI: 10.1167/iov.62.5.2
- Troilo D., Smith E.L. 3rd, Nickla D.L., Ashby R., Tkatchenko A.V., Ostrin L.A., Gawne T.J., Pardue M.T., Summers J.A., Kee C.S., Schroedl F., Wahl S., Jones L. IMI — Report on Experimental Models of Emmetropization and Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019 Feb 28;60(3):M31–M88. DOI: 10.1167/iov.18-25967. PMID: 30817827. PMID: PMC6738517
- Stone R.A., Lin T., Laties A.M., Iuvone P.M. Retinal dopamine and form-deprivation myopia. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1989 Jan;86(2):704–706. DOI: 10.1073/pnas.86.2.704. PMID: 2911600. PMID: PMC286542
- Norton T.T., Rada J.A. Reduced extracellular matrix in mammalian sclera with induced myopia. *Vision Res*. 1995 May;35(9):1271–1281. DOI: 10.1016/0042-6989(94)00243-f. PMID: 7610587
- Donovan L., Sankaridurg P., Ho A., Naduvilath T., Smith E.L. 3rd, Holden B.A. Myopia progression rates in urban children wearing single-vision spectacles. *Optom Vis Sci*. 2012 Jan;89(1):27–32. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3182357f79. PMID: 21983120. PMID: PMC3249020
- Midelfart A., Kinge B., Midelfart S., Lydersen S. Prevalence of refractive errors in young and middle-aged adults in Norway. *Acta Ophthalmol Scand*. 2002 Oct;80(5):501–505. DOI: 10.1034/j.1600-0420.2002.800508.x. PMID: 12390161
- Shrestha S.P., Bhat K.S., Binu V.S., Barthakur R., Natarajan M., Subba S.H. Pattern of refractive errors among the Nepalese population: a retrospective study. *Nepal J Ophthalmol*. 2010 Jul-Dec;2(2):87–96. DOI: 10.3126/nepjoph.v2i2.3714. PMID: 21505524
- Tideman J.W.L., Polling J.R., Hofman A., Jaddoe V.W., Mackenbach J.P., Klaver C.C. Environmental factors explain socioeconomic prevalence differences in myopia in 6-year-old children. *Br J Ophthalmol*. 2018 Feb;102(2):243–247. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2017-310292. Epub 2017 Jun 12. PMID: 28607175
- Kearney S., Strang N.C., Cagnolati B., Gray L.S. Change in body height, axial length and refractive status over a four-year period in caucasian children and young adults. *J Optom*. 2020 Apr-Jun;13(2):128–136. DOI: 10.1016/j.optom.2019.12.008. Epub 2020 Jan 25. PMID: 31992535. PMID: PMC7182783
- Mutti D.O., Mitchell G.L., Hayes J.R., Jones L.A., Moeschberger M.L., Cotter S.A., Kleinstein R.N., Manny R.N., Twelker J.D., Zadnik K.; CLEERE Study Group. Accommodative lag before and after the onset of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006 Mar;47(3):837–846. DOI: 10.1167/iov.05-0888. PMID: 16505015
- Mutti D.O., Mitchell G.L., Jones-Jordan L.A., Cotter S.A., Kleinstein R.N., Manny R.E., Twelker J.D., Zadnik K.; CLEERE Study Group. The Response AC/A Ratio Before and After the Onset of Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017 Mar 1;58(3):1594–1602. DOI: 10.1167/iov.16-19093. PMID: 28291868. PMID: PMC5361580
- Hua W.J., Jin J.X., Wu X.Y., Yang J.W., Jiang X., Gao G.P., Tao F.B. Elevated light levels in schools have a protective effect on myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2015 May;35(3):252–262. DOI: 10.1111/opo.12207. PMID: 25913873
- Read S.A., Collins M.J., Vincent S.J. Light exposure and physical activity in myopic and emmetropic children. *Optom Vis Sci*. 2014 Mar;91(3):330–341. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000160. PMID: 24413273
- Torii H., Ohnuma K., Kurihara T., Tsubota K., Negishi K. Violet Light Transmission is Related to Myopia Progression in Adult High Myopia. *Sci Rep*. 2017 Nov 6;7(1):14523. DOI: 10.1038/s41598-017-09388-7. PMID: 29109514. PMID: PMC5674003
- Xiong S., Sankaridurg P., Naduvilath T., Zang J., Zou H., Zhu J., Lv M., He X., Xu X. Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a meta-analysis and systematic review. *Acta Ophthalmol*. 2017 Sep;95(6):551–566. DOI: 10.1111/aos.13403. Epub 2017 Mar 2. PMID: 28251836. PMID: PMC5599950
- Mccrann S., Loughman J., Butler J.S., Paudel N., Flitcroft D.I. Smartphone use as a possible risk factor for myopia. *Clin Exp Optom*. 2021 Jan;104(1):35–41. DOI: 10.1111/cxo.13092. PMID: 32452059
- Lanca C., Saw S.M. The association between digital screen time and myopia: A systematic review. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2020 Mar;40(2):216–229. DOI: 10.1111/opo.12657. Epub 2020 Jan 13. PMID: 31943280
- Sherwin J.C., Reacher M.H., Keogh R.H., Khawaja A.P., Mackey D.A., Foster P.J. The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2012 Oct;119(10):2141–2151. DOI: 10.1016/j.ophtha.2012.04.020. Epub 2012 Jul 17. PMID: 22809757
- Jones L.A., Sinnott L.T., Mutti D.O., Mitchell G.L., Moeschberger M.L., Zadnik K. Parental history of myopia, sports and outdoor activities, and future myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007 Aug;48(8):3524–3532. DOI: 10.1167/iov.06-1118. PMID: 17652719. PMID: PMC2871403
- French A.N., Ashby R.S., Morgan I.G., Rose K.A. Time outdoors and the prevention of myopia. *Exp Eye Res*. 2013 Sep;114:58–68. DOI: 10.1016/j.exer.2013.04.018. Epub 2013 May 2. PMID: 23644222
- Cristaldi M., Olivieri M., Pezzino S., Spampinato G., Lupo G., Anfuso C.D., Rusciano D. Atropine Differentially Modulates ECM Production by Ocular Fibroblasts, and Its Ocular Surface Toxicity Is Blunted by Colostrum. *Biomedicines*. 2020 Apr 5;8(4):78. DOI: 10.3390/biomedicines8040078. PMID: 32260532. PMID: PMC7236597
- Chua W.H., Balakrishnan V., Chan Y.H., Tong L., Ling Y., Quah B.L., Tan D. Atropine for the treatment of childhood myopia. *Ophthalmology*. 2006 Dec;113(12):2285–2291. DOI: 10.1016/j.ophtha.2006.05.062. Epub 2006 Sep 25. PMID: 16996612
- 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 Feb;123(2):391–399. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.07.004. Epub 2015 Aug 11. PMID: 26271839
- Tan D.T., Lam D.S., Chua W.H., Shu-Ping D.F., Crockett R.S.; Asian Pirenzepine Study Group. One-year multicenter, double-masked, placebo-controlled, parallel safety and efficacy study of 2% pirenzepine ophthalmic gel in children with myopia. *Ophthalmology*. 2005 Jan;112(1):84–91. DOI: 10.1016/j.ophtha.2004.06.038. PMID: 15629825
- Chung K., Mohidin N., O'Leary D.J. Undercorrection of myopia enhances rather than inhibits myopia progression. *Vision Res*. 2002 Oct;42(22):2555–2559. DOI: 10.1016/S0042-6989(02)00258-4. PMID: 12445849
- Li S.Y., Li S.M., Zhou Y.H., Liu L.R., Li H., Kang M.T., Zhan S.Y., Wang N., Milodot M. Effect of undercorrection on myopia progression in 12-year-old children. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2015 Aug;53(8):1363–1368. DOI: 10.1007/s00417-015-3053-8. Epub 2015 Jun 2. PMID: 26032395
- Koomson N.Y., Amedo A.O., Opoku-Baah C., Ampeh P.B., Ankamah E., Bonsu K. Relationship between Reduced Accommodative Lag and Myopia Progression. *Optom Vis Sci*. 2016 Jul;93(7):683–691. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000867. PMID: 27058593

29. Walline J.J., Lindsley K.B., Vedula S.S., Cotter S.A., Mutti D.O., Ng S.M., Twelker J.D. Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020 Jan 13;1(1):CD004916. DOI: 10.1002/14651858.CD004916.pub4. PMID: 31930781. PMCID: PMC6984636
30. Horner D.G., Soni P.S., Salmon T.O., Swartz T.S. Myopia progression in adolescent wearers of soft contact lenses and spectacles. *Optom Vis Sci.* 1999 Jul;76(7):474–479. DOI: 10.1097/00006324-199907000-00023. PMID: 10445639
31. Walline J.J., Jones L.A., Sinnott L., Manny R.E., Gaume A., Rah M.J., Chitkara M., Lyons S.; ACHIEVE Study Group. A randomized trial of the effect of soft contact lenses on myopia progression in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008 Nov;49(11):4702–4706. DOI: 10.1167/iovs.08-2067. Epub 2008 Jun 19. PMID: 18566461
32. Perrigin J., Perrigin D., Quintero S., Grosvenor T. Silicone-acrylate contact lenses for myopia control: 3-year results. *Optom Vis Sci.* 1990 Oct;67(10):764–769. DOI: 10.1097/00006324-199010000-00003. PMID: 2247299
33. Walline J.J., Jones L.A., Mutti D.O., Zadnik K. A randomized trial of the effects of rigid contact lenses on myopia progression. *Arch Ophthalmol.* 2004 Dec;122(12):1760–1766. DOI: 10.1001/archophth.122.12.1760. PMID: 15596577
34. Li S.M., Kang M.T., Wu S.S., Meng B., Sun Y.Y., Wei S.F., Liu L., Peng X., Chen Z., Zhang F., Wang N. 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 Jan;37(1):51–59. DOI: 10.1111/opo.12332. Epub 2016 Nov 23. PMID: 27880992
35. Queirós A., Amorim-de-Sousa A., Lopes-Ferreira D., Villa-Collar C., Gutiérrez Á.R., González-Méjome J.M. Relative peripheral refraction across 4 meridians after orthokeratology and LASIK surgery. *Eye Vis (Lond).* 2018 May 20;5:12. DOI: 10.1186/s40662-018-0106-1. PMID: 29796404. PMCID: PMC5960502
36. Smith E.L. 3rd. Prentice Award Lecture 2010: A case for peripheral optical treatment strategies for myopia. *Optom Vis Sci.* 2011 Sep;88(9):1029–1044. DOI: 10.1097/OPX.0b013e3182279cfa. PMID: 21747306. PMCID: PMC3371664
37. Wildsoet C.F., Chia A., Cho P., Guggenheim J.A., Polling J.R., Read S., Sankaridurg P., Saw S.M., Trier K., Walline J.J., Wu P.C., Wolffsohn J.S. IMI — Interventions Myopia Institute: Interventions for Controlling Myopia Onset and Progression Report. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019 Feb 28;60(3):M106–M131. DOI: 10.1167/iovs.18-25958. Erratum in: *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019 Apr 1;60(5):1768. PMID: 30817829
38. 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. [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 = Rossiyskiy oftalmologicheskii zhurnal.* 2021;14(1):96–103 (In Russ.)]. DOI: 10.21516/2072-0076-2021-14-1-96-103
39. 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;59:3564–3573. DOI: 10.1167/iovs.17-23707
40. 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):366–370. DOI: 10.1097/APO.0000000000000257. PMID: 31513040. PMCID: PMC6784774
41. Ward B., Tarutta E.P., Mayer M.J. The efficacy and safety of posterior pole buckles in the control of progressive high myopia. *Eye (Lond).* 2009 Dec;23(12):169–174. DOI: 10.1038/eye.2008.433. PMID: 19229272
42. Wollensak G., Spoerl E. Collagen crosslinking of human and porcine sclera. *J Cataract Refract Surg.* 2004 Mar;30(3):689–695. DOI: 10.1016/j.jcrs.2003.11.032. PMID: 15050269
43. Zhang Y., Li Z., Liu L., Han X., Zhao X., Mu G. Comparison of riboflavin/ultraviolet-A cross-linking in porcine, rabbit, and human sclera. *Biomed Res Int.* 2014;2014:194204. DOI: 10.1155/2014/194204. Epub 2014 Jan 2. PMID: 24527438. PMCID: PMC3910020
44. Бикбов М.М., Халимов А.Р., Бикбова Г.М. Харитонов, С.В. Устройство для перекрестного сшивания коллагена склеры. Патент на полезную модель RU 144673 от 28.07.2014. [Bikbov M.M., Khalimov A.R., Bikbova G.M., Kharitonov S.V. Device for cross-linking scleral collagen. patent RU 144673, July 28, 2014 (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Маркова Елена Юрьевна
доктор медицинских наук, заведующая отделом микрохирургии и функциональной реабилитации глаза у детей
Бескудниковский бульвар, 59А, Москва, 127486, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-4981-0755>

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Исабеков Руслан Сражудинович
врач-ординатор
Бескудниковский бульвар, 59А, Москва, 127486, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-9918-0459>

ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Авакянц Гоар Вардановна
врач-офтальмолог, аспирант
Бескудниковский бульвар, 59А, Москва, 127486, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-8474-8926>

ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Островитянова, 1, Москва, 117997, Российская Федерация
Хьяева Марьяна Магомедсаидовна
студентка

ABOUT THE AUTHORS

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Markova Elena Yu.
MD, Head of the Department of Microsurgery and functional rehabilitation of children's eye
Beskudnikovskiy blvd., 59A, Moscow 127486, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-4981-0755>

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Isabekov Ruslan S.
resident doctor
Beskudnikovskiy blvd., 59A, Moscow 127486, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-9918-0459>

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution
Avakants Goar V.
ophthalmologist, postgraduate
Beskudnikovskiy blvd., 59A, Moscow 127486, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-8474-8926>

Pirogov Russian National Research Medical University
Yah'yeva Mar'yana M.
student
Ostrovityanova str., 1, Moscow, 117997, Russian Federation