

Обзор

УДК 617.753.2:004.8

DOI: <https://doi.org/10.25276/2307-6658-2024-3-54-60>

Применение искусственного интеллекта в решении проблемы профилактики прогрессирования миопии

Е.Ю. Маркова¹, Т.В. Беликова¹, Е.В. Кечин^{1, 2}, Э.А. Шихалиева¹, А.А. Постольник¹,
А.Е. Никитина¹, Д.Я. Наврузалиева¹

¹ФГБОУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва, Россия

²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

В данном литературном обзоре рассматриваются современные возможности применения искусственного интеллекта в отношении прогнозирования и лечения миопии. Искусственный интеллект применяется в различных областях медицины с использованием цифровых данных. В течение последних нескольких лет методы, основанные на машинном обучении, показывали хорошие результаты в анализе и обнаружении закономерностей различных данных. С помощью искусственного интеллекта можно улучшить эффективность системы здравоохранения и снизить нагруз-

ку и объем рутинной работы врачей. Учитывая объем информации, особенно для сложного заболевания, такого как близорукость, где многочисленные созависимые факторы участвуют в причинах, эпидемиологии, диагностике и прогрессировании, практически невозможно вручную проанализировать клинические данные. Методы машинного обучения позволяют прогнозировать развитие высокой степени близорукости у подростков, что может быть полезным для раннего выявления детей в группе риска и проведения своевременного вмешательства.

Ключевые слова: миопия, искусственный интеллект, машинное обучение

Для цитирования: Маркова Е.Ю., Беликова Т.В., Кечин Е.В., Шихалиева Э.А., Постольник А.А., Никитина А.Е., Наврузалиева Д.Я. Применение искусственного интеллекта в решении проблемы профилактики прогрессирования миопии. Российская детская офтальмология. 2024;3(49): 54–60. DOI: <https://doi.org/10.25276/2307-6658-2024-3-54-60>

Автор, ответственный за переписку: Эльвира Абдулжалиловна Шихалиева, mellifluous.el@mail.ru

ABSTRACT

Original article

Application of artificial intelligence in prevention of myopia progression. Solving the problem

E.Yu. Markova¹, T.V. Belikova¹, E.V. Kechin^{1, 2}, E.A. Shikhalieva¹, A.A. Postolnik¹, A.E. Nikitina¹, D.Ya. Navruzaliev¹

¹The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

This literature review reflects current possibilities of using artificial intelligence in relation to the prediction and treatment of myopia. Artificial intelligence is applied in various fields of medicine, using digital data. Over the past few years, machine learning-based methods have shown excellent results in analyzing and detecting patterns in various data. With the help of artificial intelligence, it is possible to improve the efficiency of the healthcare system and reduce the workload and volume of routine

clinical work. Given the size, especially for a complex disease such as myopia, where numerous co-dependent factors are involved in the causes, epidemiology, diagnosis and progression, it is almost impossible to manually analyze clinical data. Machine learning methods make it possible to predict development of a high degree of myopia in adolescents, which may be useful for early detection of children at risk and timely intervention.

Key words: myopia, artificial intelligence, machine learning

For citation: Markova E.Yu., Belikova T.V., Kechin E.V., Shikhalieva E.A., Postolnik A.A., Nikitina A.E., Navruzaliev D.Ya. Application of artificial intelligence in prevention of myopia progression. Solving the problem. Rossiyskaya detskaya oftalmologiya. 2024;3(49): 54–60. DOI: <https://doi.org/10.25276/2307-6658-2024-3-54-60>

Corresponding author: Elvira A. Shikhalieva, mellifluous.el@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Близорукость является наиболее распространенной аномалией рефракции и ведущей причиной снижения остроты зрения во всем мире [1]. Повсеместная распространенность близорукости охватывает 28,3% мирового населения, что в общей сложности составляет почти 2 млрд человек. По оценкам, к 2050 г. число людей с миопией увеличится до 4,76 млрд человек, а это, в свою очередь, составляет 49,8% мирового населения [2].

В связи с высокой распространенностью, частым развитием осложнений и высокой частотой первичной инвалидности по зрению в общей нозологической структуре, проблема развития и прогрессирования миопии, несмотря на многочисленные попытки ее решения научным сообществом, остается актуальной и социально значимой [3]. Миопия – полиэтиологическое заболевание, имеющее множество теорий происхождения. Э.С. Аветисов сформулировал трехфакторную теорию происхождения миопии, согласно которой ключевым звеном развития заболевания выступает несоответствие между зрительной нагрузкой и возможностями аккомодационного аппарата глаза, помимо этого под влиянием внутриглазного давления происходит ослабление прочностных свойств склеры. Все это подкрепляется существенным воздействием генетических факторов. Причиной ослабленной аккомодации является недостаточное кровоснабжение цилиарной мышцы в результате ее недостаточной тренированности, врожденной морфологической неполноценности, а также в результате гормональных сдвигов и общих соматических заболеваний организма [4].

Основными патогенетическими механизмами прогрессирования близорукости являются фактор генетической предрасположенности [5], нарушения соединительнотканного строения склеры и гемодинамики, изменения аккомодации [4] и конвергенции [6–8]. Кроме того, на сегодняшний день актуальны теория периферического ретинального дефокуса [9–11] и теория воздействия факторов окружающей среды [12].

Ввиду наличия множества факторов в патогенезе развития и прогрессирования близорукости, на сегодняшний день в арсенале офтальмологов имеются различные медикаментозные и немедикаментозные, в том числе хирургические, методы лечения прогрессирующей миопии. Несмотря на уже имеющиеся значительные успехи в профилактике и лечении данного заболевания, мы сталкиваемся с развитием непоправимых изменений глазного дна и существенным снижением остроты зрения. В связи с этим проблема стабилизации зрительных функций и предотвращения осложнений, без сомнений актуальна.

Основные способы лечения миопии

Медикаментозная терапия, способствующая снижению прогрессирования миопии. Атропин является неселективным антагонистом, он был впервые использован Уэллсом в 1900 г. для остановки прогрессирования близорукости путем «паралича» аккомодации. За счет стимуляции биосинтеза внеклеточного матрикса фибробластов склеры, снижается эластичность склеральной ткани и намечается тенденция к удлинению. Анализ ряда ретроспективных исследований с использованием атропина показал, что 1% атропин имеет тенденцию замедлять прогрессирование близорукости почти на 80% [13–16, 25].

M.F. Chiang и соавт. изучали эффект применения 1% раствора атропина 1 раз в неделю в течение периода от 1 месяца до 10 лет. Они сообщили о средней скорости прогрессирования 0,08 дптр/год в группе, соблюдающей требования, и 0,23 дптр/год в группе, частично соблюдающей требования [17, 25]. Ряд авторов отмечают, что более низкие концентрации атропина (0,1 и 0,01%) также замедляют близорукость до 70% и имеют меньше побочных эффектов [18]. Однако в Российской Федерации данный метод пока не имеет законной основы и применяется только по разрешению локального этического комитета.

Медикаментозное лечение направлено на нормализацию работоспособности цилиарной мышцы при привычно-избыточном напряжении аккомодации (ПИНА) и спазме аккомодации: М-холинолитики короткого действия производят воздействие на цилиарную мышцу; α -адреномиметики осуществляют стимуляцию радиальных волокон Иванова цилиарной мышцы; применяют также их комбинации (Стелфрин супра (фенилэфрина гидрохлорид – 25 мг), Феникамид (фенилэфрина гидрохлорид – 50,0 мг, тропикамид – 8,0 мг)).

Оптическая коррекция и ортокератология (ОК), способствующие снижению прогрессирования миопии. Очковая коррекция миопии в детском возрасте может быть реализована в виде монофокальных очков, бифокальных и прогрессивных очков, альтернирующей анизокоррекции. Использование очков с полной коррекцией не замедляет прогрессирование близорукости, но при этом недостаточная коррекция способствует прогрессированию до 30% [19–21, 23].

Контактные линзы при близорукости у детей и подростков рекомендуют, если целесообразна постоянная коррекция. Преимущество контактных линз перед очками – создание более четкого изображения на сетчатке, уменьшение аберраций, отсутствие призматического эффекта и отсутствие ограничения поля зрения очковой оправой. Миопия у детей может быть корригирована монофокальными стандартными мягкими контактными линзами либо бифокальными или мультифокальными контактными линзами.

В последнее время ОК считается одним из наиболее эффективных оптических методов борьбы с

близорукостью. Хотя этот метод не может полностью остановить прогрессирование близорукости, ингибирующий эффект на осевое удлинение в течение 2 лет, как сообщается, составляет от 32 до 63% [22].

Хирургическими методами, способствующими снижению прогрессирования миопии, являются склероукрепляющие оперативные вмешательства различных модификаций, суть которых заключается в использовании донорских либо синтетических трансплантационных материалов, помещенных под Тенонovu оболочку. Сформированный комплекс «склера – трансплантат», обеспечивает биомеханическую устойчивость склеральной ткани [23]. Двухлетний послеоперационный период обеспечивает рефракционную стабильность в 87–96% оперированных глаз и в течение одного года в 80% парных глаз [24].

Применение искусственного интеллекта для определения предикторов миопии

Искусственный интеллект (ИИ) применяется в различных областях медицины, используя цифровые данные. В течение нескольких лет методы, основанные на машинном обучении, показывали отличные результаты в анализе и обнаружении закономерностей в различных данных. С помощью ИИ можно улучшить эффективность системы здравоохранения и снизить нагрузку и объем рутинной работы врачей.

Машинное обучение, включая ИИ, позволяет разрабатывать новые и улучшать существующие модели прогноза результата лечения на основе данных до лечения. Одной из основных форм машинного обучения является контролируемое обучение, где модель обучается на основе маркированных данных с шаблоном «ввод – вывод».

Офтальмология стала значимой областью исследований ИИ, успешно применяя его в скрининге различных глазных заболеваний. Вместе с тем ИИ является одним из инструментов, способствующих повышению эффективности процесса лечения за счет более точной диагностики, оценки новых биомаркеров заболеваний, автоматизации процессов принятия решений и поддержки в других аспектах повседневной деятельности врача.

Рассмотрим выборку наиболее актуальных на сегодняшний день исследований, использующих машинное обучение для прогнозирования прогрессирования близорукости.

В работе H.J. Tong и соавт. приведено исследование с использованием машинного обучения, в котором были выделены 37 переменных, содержащих информацию о результатах офтальмологического скрининга и данных анкеты для 7239 участников. В результате были выделены наиболее влиятельные факторы на прогрессирование близорукости у детей школьного возраста, такие как: пол ребенка, наличие

у одного или двух родителей близорукости, возраст ребенка, зрительная нагрузка вблизи, времяпрепровождение на свежем воздухе. Интересно, что пол является наиболее важным фактором в дифференциации близорукости в период средней школы, при этом девочки имеют более высокий уровень близорукости, чем мальчики. В это исследование было включено в общей сложности 6 стандартных алгоритмов машинного обучения, включая Decision Trees (DT), K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machines (SVM), eXtreme Gradient Boosting (XGboost) и Adaptive Boosting (AdaBoost), оптимальной моделью машинного обучения для всего учебного периода был Random Forest (AUC = 0,752) [26].

Исследование X. Yang и соавт. представляет модель прогнозирования близорукости на основе больших данных, которая позволяет предсказывать ситуацию с близорукостью у учащихся 6 класса на основе их клинических данных и образа жизни. Данные для этого исследования собраны среди учеников начальной школы в провинции Хэнань, охватывают множество факторов, таких как активность обучающихся, состояние глаз, наследственность, индивидуальная физиология, зрительные привычки, окружающая среда, диета и т.д. Согласно полученным результатам, многие факторы имеют статистическую значимость ($p < 0,05$). Модель прогнозирования на основе SVM сравнивали с другими методами, такими как Logistic Regression, Naive Bayes, KNN, Random Forest и BP Neural Network. Согласно полученным результатам были определены факторы, имеющие положительную корреляцию с близорукостью, такие как отсутствие близорукости у родителей ($p = 0,042$), количество школьных предметов ($p = 0,035$), количество мероприятий на свежем воздухе ($p = 0,048$), аксиальная длина глаза ($p = 0,003$), кривизна роговицы левого глаза ($p = 0,046$), кривизна роговицы правого глаза ($p = 0,036$), количество употребление белого мяса ($p = 0,040$), количество употребление красного мяса ($p = 0,044$), ближайшая точка аккомодации правого глаза ($p = 0,005$), дальняя точка аккомодации правого глаза ($p = 0,000$), данные тонографии ($p = 0,008$), частота употребления газированных напитков ($p = 0,007$) [27].

В крупномасштабном ретроспективном исследовании H. Lin и соавт. разработан алгоритм для прогнозирования сферического эквивалента и наличия высокой близорукости в последующие 10 лет. Для этого были использованы данные из электронных медицинских карт 129 242 человек из 8 офтальмологических центров за период с 2005 по 2015 г. Предикторы включали возраст при исследовании, сферический эквивалент и годовой темп прогрессирования близорукости. Алгоритм продемонстрировал высокую точность в прогнозируемой будущей черте, т.е. диоптрийное значение в возрасте 18 лет. Полученные данные свидетельствуют о

том, что это прогнозирование может быть выполнено уже за 8 лет до того, как человеку исполнится 18 лет [28].

Группа американских ученых исследовала данные 7033 посетителей NHANES с 2001 по 2006 г. в возрасте 12–25 лет. В общей сложности было учтено 74 фактора, включая демографические, физическое обследование, пищевые и серологические, иммунологические и информацию о перенесенных заболеваниях. После корректировки по возрасту, полу, этнической принадлежности, использованию телевизора/компьютера, уровню витамина D в сыворотке крови и уровню образования было определено, что высокий уровень витамина А в сыворотке крови был связан с высокой степенью близорукости. Каждый прирост витамина А в сыворотке крови в 1 ммоль/л был связан с большей распространенностью высокой степени близорукости. Но добавление концентрации витамина А в многомерную логистическую регрессию незначительно улучшило точность прогнозирования (AUC от 0,640 до 0,643, $p > 0,10$). Ученые подчеркнули, что близорукость является полиэтиологическим заболеванием, и для того, чтобы получить желаемую точность прогнозирования прогрессирования близорукости, необходимы многомерные модели, сочетающие генетические, экологические и социально-экономические факторы [29].

Разработка системы глубокого машинного обучения на основе данных 998 детей в возрасте от 6 до 12 лет проводилась в Сингапуре, где исследователи вывели три различных алгоритма – изображения (фундус фото), клинические (базовый сферический эквивалент, аксиальная длина глаза, возраст, пол, раса, 1 год прогрессии сферического эквивалента) и смешанные (изображение + клинические) модели. Для каждого из алгоритмов ИИ для обнаружения высокой близорукости был установлен порог классификации для достижения заранее определенной чувствительности и специфичности не менее 75% [30].

T. Tang и соавт. проанализировали данные 1016 пациентов в возрасте 6–18 лет, прошедших офтальмологическое обследование с 2017 по 2018 г. Исследование учитывало аксиальную длину глаза, топографию роговицы, возраст, пол, сферический эквивалент, кривизну роговицы, пахиметрию и диаметр роговицы. Несмотря на небольшую выборку, выявлена высокая точность прогнозирования прогрессирования аксиальной длины глаза с помощью надежной модели линейной регрессии. Эта модель имеет более высокую скорость моделирования и не требует больших выборок или сложных расчетов. Исследование также показало связь между скоростью удлинения аксиальной длины глаза и кривизной роговицы. Предполагается, что небольшое удлинение аксиальной длины глаза, приводящее к прогрессированию близорукости у пациента с крутой роговицей, может не вызвать изменения сферического

эквивалента у пациента с плоской роговицей, у которого гораздо лучшая толерантность к удлинению аксиальной длины глаз. [31].

Целью другого исследования была разработка алгоритма для прогнозирования прогрессирования сферического эквивалента с использованием меньшего количества входных данных без ущерба для приемлемой производительности. Хотя все имеющиеся данные имеют значение для прогнозирования прогрессирования близорукости, выбранными переменными обучения были возраст, сферический эквивалент, пол, аксиальная длина глаза и кривизна роговицы. Кроме того, полученный алгоритм позволил использовать только возраст, сферический эквивалент и пол в качестве входных данных без потери производительности, что, несомненно, упрощает этап машинного обучения без необходимости применения вседоступных биометрических параметров глаза [32].

J. Fang и соавт. использовали модель машинного обучения для предсказания эффекта ортокератологического лечения. Из 119 пациентов, начавших лечение с 2019 по 2022 г., 91 пациент соответствовал критериям и был включен в модель. Логистическая регрессионная модель была использована для выбора факторов, связанных с эффективностью лечения. После анализа методом LASSO было отобрано 9 предикторов, имеющих значимость для оценки эффективности ортокератологического лечения, таких как возраст, базовая аксиальная длина глаза, диаметр зрачка, время ношения линз, время на открытом воздухе, время зрительной нагрузки вблизи, WTW роговицы, передняя кривизна роговицы и задняя кривизна роговицы [33].

В Южной Корее исследовали факторы риска прогрессирования близорукости у 2740 детей начальной школы с 1 по 6 класс и создавали модели прогнозирования путем применения машинного обучения на основе данных 5-летнего контроля. Устойчивыми переменными на протяжении 5 лет с общим весом 77% и точностью прогнозирования более 80% являлись: некорректированная острота зрения вдаль, сферический эквивалент, аксиальная длина глаза, кривизна роговицы, пол, наличие близорукости у родителей. Еженедельное время, проведенное за чтением, расстояние до чтения, чтение в постели и частота употребления мяса и еще 64 других дополнительных переменных были также включены в качестве переменных, но в разные годы исследования. Модели продемонстрировали хорошую точность для прогнозирования прогрессирования близорукости и показали взаимодействие между различными факторами. Офтальмологические параметры имели больший вес, чем экологические и генетические факторы. Факторы окружающей среды могут быть изменены для борьбы с близорукостью у детей, что заслуживает дальнейшего

изучения для оценки их эффекта взаимодействия и целесообразности в различных группах населения и отдельных лиц [34].

J. Guan и соавт. в своей работе оценили влияние факторов риска на развитие высокой близорукости с использованием машинного обучения на юге Китая. Возраст, некорректируемая острота зрения вдаль и сферический эквивалент были выявлены как прогностические факторы для развития высокой близорукости у школьников. Уровень близорукости, как отметили авторы, коррелирует с экономическим развитием района проживания и обучения детей, где каждое 100% увеличение валового внутреннего продукта связано с увеличением на 20% относительного риска прогрессирования умеренного и тяжелого нарушения зрения [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав ряд вышеупомянутых статей, можно выделить изучаемые критерии, которые встречались в каждом исследовании, касающемся машинного обучения, а именно: возраст, пол ребенка, этническая принадлежность, наличие у одного или двух родителей близорукости, аксиальная длина глаза, сферический эквивалент, острота зрения вдаль, передняя и задняя кривизна роговицы, время зрительной нагрузки вблизи, количество часов, проведенное на свежем воздухе. Универсального набора факторов для прогнозирования прогрессирования близорукости однозначно нет, но есть те, которые закрепили себя как устойчивые критерии. Учитывая полифакторную природу близорукости, можно выделить множество второстепенных параметров, влияющих на скорость прогрессирования, которые до сих пор изучаются, а их значимость еще вызывает сомнения. Учитывая размер, особенно для сложного заболевания, такого как близорукость, где многочисленные созависимые факторы участвуют в причинах, эпидемиологии, диагностике и прогрессировании, практически невозможно вручную проанализировать клинические данные. Машинное обучение часто использует гораздо больше переменных в своих моделях прогнозирования, потому что акцент делается не на значимости отдельных переменных, а на способности модели машинного обучения предсказывать независимую переменную из комбинации факторов. Внедрение платформ ИИ требует комплексного подхода для достижения целей вмешательства, особенно в случае сложных заболеваний, где анализ больших объемов данных вручную практически невозможен. Методы машинного обучения позволяют прогнозировать развитие высокой степени близорукости у подростков, что может быть полезным для раннего выявления детей в группе риска и проведения своевременного вмешательства.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Fricke TR, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, Naduvilath TJ, Ho SM, Wong TY, Resnikoff S. Global prevalence of visual impairment associated with myopic macular degeneration and temporal trends from 2000 through 2050: systematic review, meta-analysis and modelling. *Br J Ophthalmol*. 2018 Jul;102(7):855–862. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311266
2. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, Wong TY, Naduvilath TJ, 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
3. Либман Е.С., Шахова Е.В. Слепота и инвалидность вследствие патологии органа зрения в России. *Вестник офтальмологии*. 2006;1: 78–79. [Libman ES, Shakhova EV. Blindness and disability due to pathology of the organ of vision in Russia. *Bulletin of ophthalmology*. 2006;1: 78–79. (In Russ.)]
4. Аветисов Э.С., Тарутта Е.П. Трехфакторная теория происхождения миопии и ее практическое значение. *Актуальные вопросы офтальмологии: тр. науч.-практ. конф., посвящ. памяти Германа фон Гельмгольца. М., 1995: 101.* [Avetisov ES, Tarutta EP. The three-factor theory of the origin of myopia and its practical significance. *Topical issues of ophthalmology: tr. scientific-practical conf., dedicated. in memory of Hermann von Helmholtz. M., 1995: 101.* (In Russ.)]
5. Cai XB, Shen SR, Chen DF, Zhang Q, Jin ZB. An overview of myopia genetics. *Exp Eye Res*. 2019 Nov;188: 107778. doi: 10.1016/j.exer.2019.107778
6. Walker TW, Mutti DO. The effect of accommodation on ocular shape. *Optom Vis Sci*. 2002 Jul;79(7): 424–430. doi: 10.1097/00006324-200207000-00010
7. He JC, Gwiazda J, Thorn F, Held R, Vera-Diaz FA. The association of wavefront aberration and accommodative lag in myopes. *Vision Res*. 2005;45(3): 285–290. doi: 10.1016/j.visres.2004.08.027
8. Sreenivasan V, Irving EL, Bobier WR. Can current models of accommodation and vergence predict accommodative behavior in myopic children? *Vision Res*. 2014 Aug;101: 51–61. doi: 10.1016/j.visres.2014.05.008
9. Hung GK, Ciuffreda KJ. An incremental retinal defocus theory of the development of myopia. *Comments on Theoretical Biology*. 2003;8: 511–538.
10. Hung GK, Ciuffreda KJ. Differential retinal-defocus magnitude during eye growth provides the appropriate direction signal. *Med Sci Monit*. 2000;6(4): 791–795.
11. Hung GK, Ciuffreda KJ. Incremental retinal defocus theory predicts experimental effect of under-correction on myopic progression. *JBO*. 2004;3: 59–63.
12. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, Mitchell P. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology*. 2008 Aug;115(8): 1279–1285. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.12.019
13. Gimbel HV. The control of myopia with atropine. *Can J Ophthalmol*. 1973;8: 527–532.
14. Kelly TS, Chatfield C, Tustin G. Clinical assessment of the arrest of myopia. *Br J Ophthalmol* 1975;59: 529–538.
15. Dyer JA. Role of cyclopegics in progressive myopia. *Ophthalmology*. 1979;86: 692–694.

16. Sampson WG. Role of cycloplegia in the management of functional myopia. *Ophthalmology*. 1979;86: 695–697.
17. Chiang MF, Kouzis A, Pointer RW, et al. Treatment of childhood myopia with atropine eyedrops and bifocal spectacles. *Binocul Vis Strabismus Q*. 2001;16: 209–215.
18. Chua WH, Balakrishnan V, Chan YH, Tong L, Ling Y, Quah BL, Tan D. Atropine for the treatment of childhood myopia. *Ophthalmology*. 2006 Dec;113(12): 2285–2291. doi: 10.1016/j.ophtha.2006.05.062
19. Chung K, Mohidin N, O’Leary DJ. 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
20. Li SY, Li SM, Zhou YH, Liu LR, Li H, Kang MT, Zhan SY, Wang N, Millodot M. Effect of undercorrection on myopia progression in 12-year-old children. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2015 Aug;253(8): 1363–1368. doi: 10.1007/s00417-015-3053-8
21. Koomson NY, Amedo AO, Opoku-Baah C, Ampem PB, 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
22. Hiraoka T. Myopia Control With Orthokeratology: A Review. *Eye Contact Lens*. 2022;48(3): 100–104. doi: 10.1097/ICL.0000000000000867
23. Федеральные клинические рекомендации «Миопия» (одобрены Минздравом России) 2020 г. [Federal clinical guidelines «Myopia» (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation) 2020 г. (In Russ.)]
24. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Кружкова Г.В., Маркосян Г.А. Отдаленные результаты склерореконструктивного лечения прогрессирующей миопии. *Российский офтальмологический журнал*. 2011;4(1): 71–75. [Tarutta EP, Iomdina EN, Kruzhkova GV, Markosyan GA. Long-term results of scleroreconstructive treatment of progressive myopia. *Russian Ophthalmological Journal*. 2011;4(1): 71–75. (In Russ.)]
25. 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. [Markova EYu, Isabekov RS, Avakyants GV, Yakhyayeva MM. Myopia: prevalence, pathogenesis and modern control methods. Literature review. *Ophthalmology*. 2022;19(1): 149–155. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2022-1-149-155
26. Tong HJ, Huang ZM, Li YL, Chen YM, Tian B, Ding LL, Zhu LL. Machine learning to analyze the factors influencing myopia in students of different school periods. *Front Public Health*. 2023;11: 1169128. doi: 10.3389/fpubh.2023.1169128
27. Yang X, Chen G, Qian Y, Wang Y, Zhai Y, Fan D, Xu Y. Prediction of Myopia in Adolescents through Machine Learning Methods. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(2): 463. doi: 10.3390/ijerph17020463
28. Lin H, Long E, Ding X, Diao H, Chen Z, Liu R, Huang J, Cai J, Xu S, Zhang X, Wang D, Chen K, Yu T, Wu D, Zhao X, Liu Z, Wu X, Jiang Y, Yang X, Cui D, Liu W, Zheng Y, Luo L, Wang H, Chan CC, Morgan IG, He M, Liu Y. Prediction of myopia development among Chinese school-aged children using refraction data from electronic medical records: A retrospective, multicentre machine learning study. *PLoS Med*. 2018;15(11): e1002674. doi: 10.1371/journal.pmed.1002674
29. Zhang R, Dong L, Yang Q, Zhou W, Wu H, Li Y, Li H, Wei W. Screening for novel risk factors related to high myopia using machine learning. *BMC Ophthalmol*. 2022;22(1): 405. doi: 10.1186/s12886-022-02627-0
30. Foo LL, Lim GYS, Lanca C, Wong CW, Hoang QV, Zhang XJ, Yam JC, Schmetterer L, Chia A, Wong TY, Ting DSW, Saw SM, Ang M. Deep learning system to predict the 5-year risk of high myopia using fundus imaging in children. *NPJ Digit Med*. 2023;6(1): 10. doi: 10.1038/s41746-023-00752-8
31. Tang T, Yu Z, Xu Q, Peng Z, Fan Y, Wang K, Ren Q, Qu J, Zhao M. A machine learning-based algorithm used to estimate the physiological elongation of ocular axial length in myopic children. *Eye Vis (Lond)*. 2020;7: 50. doi: 10.1186/s40662-020-00214-2
32. Barraza-Bernal MJ, Ohlendorf A, Sanz Diez P, Feng X, Yang LH, Lu MX, Wahl S, Kratzer T. Prediction of refractive error and its progression: a machine learning-based algorithm. *BMJ Open Ophthalmol*. 2023;8(1): e001298. doi: 10.1136/bmjophth-2023-001298
33. Fang J, Zheng Y, Mou H, Shi M, Yu W, Du C. Machine learning for predicting the treatment effect of orthokeratology in children. *Front Pediatr*. 2023;10: 1057863. doi: 10.3389/fped.2022.1057863
34. Li SM, Ren MY, Gan J, Zhang SG, Kang MT, Li H, Atchison DA, Rozema J, Grzybowski A, Wang N; Anyang Childhood Eye Study Group. Machine Learning to Determine Risk Factors for Myopia Progression in Primary School Children: The Anyang Childhood Eye Study. *Ophthalmol Ther*. 2022;11(2): 573–585. doi: 10.1007/s40123-021-00450-2
35. Guan J, Zhu Y, Hu Q, Ma S, Mu J, Li Z, Fang D, Zhuo X, Guan H, Sun Q, An L, Zhang S, Qin P, Zhuo Y. Prevalence Patterns and Onset Prediction of High Myopia for Children and Adolescents in Southern China via Real-World Screening Data: Retrospective School-Based Study. *J Med Internet Res*. 2023;25: e39507. doi: 10.2196/39507

Информация об авторах

Елена Юрьевна Маркова, д.м.н., зав. отделом микрохирургии и функциональной реабилитации глаза у детей, markova_ej@mail.ru, <https://orcid.org/0000000249810755>

Татьяна Витальевна Беликова, к.м.н., заместитель главного врача по контролю качества и организационно-методической работе, beltatyana1@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0283-9809>

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

Эльвира Абдулжалиловна Шихалиева, врач-офтальмолог, аспирант, mellifluous.el@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1139-0731>

Анна Алексеевна Постольник, врач-ординатор первого года обучения, golubitskikh.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2609-1726>

Анастасия Евгеньевна Никитина, врач-ординатор второго года обучения, anastasianik2403@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0925-3146>

Джанета Якубовна Наврузалиева, врач-ординатор первого года обучения, ndzhaneta99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1667-6115>

Information about the authors

Elena Yu. Markova, MD, Doctor of Science in Medicine, Head of the Department of Microsurgery and Functional Rehabilitation of the Eye in Children, markova_ej@mail.ru, <https://orcid.org/0000000249810755>

Tatyana V. Belikova, PhD in Medicine, Deputy Chief for Organizational and Methodological Work, beltatyana1@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0283-9809>

Evgeny V. Kechin, PhD in Medicine, Head of the Department for the Implementation of Innovative Programs, Transfer and Commercialization of Technologies; Associate Professor of the Department of General Medical Practice and Polyclinic Therapy, Evgeny.kechin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6732-1226>

Elvira A. Shikhalieva, Ophthalmologist, PhD Student, mellifluous.el@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1139-0731>

Anna A. Postolnik, Clinical Resident, golubitskikh.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2609-1726>

Anastasia E. Nikitina, Clinical Resident, anastasianik2403@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0925-3146>

Janeta Ya. Navruzalievа, Clinical Resident, ndzhaneta99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1667-6115>

Вклад авторов в работу:

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

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

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

Э.А. Шихалиева: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

А.А. Постольник: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

А.Е. Никитина: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Д.Я. Наврузалиева: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Author's contribution:

E.Y. Markova: significant contribution to the concept and design of works, editing, final version support, publication support.

T.V. Belikova: significant contribution to the concept and design of works, editing, final disposal of versions, publication support.

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

E.A. Shikhalieva: a significant contribution to the concept and design of works, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, text writing.

A.A. Postolnik: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing text.

A.E. Nikitina: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing text.

D.Ya. Navruzalievа: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing text.

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

Авторство: Все авторы подтверждают, что они соответствуют действующим критериям авторства ICMJE.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Authorship: All authors confirm that they meet the current ICMJE authorship criteria.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 11.04.2024

Переработана: 28.05.2024

Принята к печати: 25.06.2024

Originally received: 11.04.2024

Final revision: 28.05.2024

Accepted: 25.06.2024