



Рытик А.П.<sup>1</sup>, Рытик Т.П.<sup>2</sup>, Рытик Н.П.<sup>3</sup> ✉

<sup>1</sup> Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

<sup>2</sup> Центральная поликлиника № 2 МВД России, Москва, Россия

<sup>3</sup> Лечебно-реабилитационный центр Минэкономразвития России, Москва, Россия

## Нейросетевые алгоритмы, цифровые сервисы оценки и предупреждения близорукости

**Конфликт интересов:** не заявлен.

Подана: 03.10.2022

Принята: 10.05.2023

Контакты: ga4csz@ya.ru

### Резюме

В связи с увеличением числа пациентов, страдающих миопией, и широким распространением использования различных гаджетов в настоящее время актуальной является оценка необходимости разработки и дальнейшего применения разного рода методик, направленных на прогнозирование и лечение или профилактику прогрессирования данного заболевания. Цель работы – выполнить обзор современных (на 2022 г.) научных методов прогнозирования развития миопии, а также проанализировать аспект новых методов диагностики и профилактики. В работе рассмотрены исследования по диагностике, в основе которых лежат методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения, а также способы коррективки и лечения прогрессирующей миопии, в число которых входят специальные устройства-тренажеры и различные цифровые сервисы, анализ которых показал, что на настоящий момент не разработан тренажер, совмещающий одновременно диагностику близорукости и коррекцию процесса тренинга. Однако существуют все технологические решения для реализации подобного рода цифрового сервиса для офтальмологической помощи. Таким образом, создание программного обеспечения, объединяющего персональные диагностические большие данные и процесс тренинга зрения, имеет высокую востребованность в офтальмологической помощи.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, машинное обучение, глубокое обучение, нейронные сети, офтальмология, прогрессирующая миопия

Andrey P. Rytik<sup>1</sup>, Tatiana P. Rytik<sup>2</sup>, Nina P. Rytik<sup>3</sup> ✉

<sup>1</sup> Saratov National Research State University, Saratov, Russia

<sup>2</sup> Federal Medical Institution of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal State Budgetary Institution of the Ministry of Economic Development of Russia, Moscow, Russia

## Neural Network Algorithms, Digital Services for Assessing and Preventing Myopia

**Conflict of interest:** nothing to declare.

Submitted: 03.10.2022

Accepted: 10.05.2023

Contacts: ra4csz@ya.ru

### Abstract

Due to the increase in the number of patients suffering from myopia and the widespread use of various gadgets, it is currently urgent to assess the need for the development and further application of various methods aimed at predicting and treating or preventing the progression of this disease. The purpose of this work is to review modern (for 2022) scientific methods for predicting the development of myopia, as well as to analyze the aspect of new methods of diagnosis and prevention. The paper considers diagnostic studies based on methods of data mining and machine learning, as well as ways to correct and treat progressive myopia, which include special devices-simulators and various digital services. An analysis of the latter was carried out, which showed that at the moment no simulator has been developed that combines the diagnosis of myopia and correction of the training process at the same time. However, there are all technological solutions for the implementation of this kind of digital service for ophthalmic care. Thus, the creation of software that combines personal diagnostic big data and the process of vision training is in high demand in ophthalmic care.

**Keywords:** artificial intelligence, machine learning, deep learning, neural networks, ophthalmology, progressive myopia

### ■ ВВЕДЕНИЕ

Близорукость (миопия, от древнегреч.  $\mu\acute{\iota}\omega$  – щурюсь и  $\acute{\omicron}\psi\iota\varsigma$  – взгляд, зрение) – дефект зрения, при котором изображение падает не на сетчатку глаза, а перед ней и человек вблизи видит хорошо, а вдаль – плохо. Фактически это дефект зрения, характеризующийся ослабленной способностью глаза фокусироваться на дальних объектах, при этом не влияющий на возможность четкого фокусирования на объектах, находящихся на близком расстоянии. Для получения четкого изображения перед роговицей нужно расположить вогнутую корригирующую линзу, преломляющая сила которой измеряется в диоптриях. Существует два метода определения остроты зрения и степени отклонения рефракции. Объективный метод – скиаскопия и рефрактометрия, субъективный – основанный на ответах, ощущениях пациента. Однако исторически принято определять степень близорукости без комплексного

учета самочувствия испытуемого, уровня артериального давления, степени сухости поверхности глаза, предшествующей зрительной нагрузки, щурится ли пациент во время проверки зрения, освещения в кабинетах офтальмолога и ряда других факторов, влияющих на качество зрения при диагностике [1]. При проверке зрения у детей тоже существует ряд проблем – картинки, использующиеся в проекторах знаков, грубо не соответствуют принципу Снеллена, грешат излишней детализацией и плохо узнаются детьми [1].

Различают стационарную близорукость, то есть показатель зрения остается стабильным на протяжении какого-либо временного промежутка; при ухудшении зрительных показателей со временем близорукость принято считать прогрессирующей. Прогрессирующая близорукость может влиять на зрение не слишком заметно, однако посещение офтальмолога раз в 6 месяцев позволяет отслеживать ситуацию в динамике. Если близорукость прогрессирует на 1 диоптрию в год или больше, такая близорукость называется быстро прогрессирующей; если менее 1 диоптрии в год – медленно прогрессирующей [2, 3].

Список причин возникновения прогрессирующей близорукости довольно обширен. На сегодняшний день общепринятой и обоснованной большим количеством исследований следует считать трехфакторную теорию происхождения миопии, которая была сформулирована Э.С. Аветисовым [4]. Согласно этой теории можно выделить два звена: первое – несоответствие между возможностями ослабленного аккомодационного аппарата глаз и зрительной нагрузкой; второе – ослабление прочностных свойств склеры и ее растяжение под влиянием внутриглазного давления при конвергенции. Также отводится ведущая роль в развитии миопии сопутствующим общим заболеваниям организма, нарушению обмена в системе соединительной ткани и другим факторам. Также Э.С. Аветисов в происхождении миопии существенное значение уделяет генетическим факторам. Все это происходит при чрезмерных и длительных нагрузках зрительной системы при фокусировке на близких расстояниях, а также, например, при использовании различных электронных гаджетов [4]. В большинстве случаев при прогрессирующей миопии без своевременной диагностики и соответствующего медицинского вмешательства возможно развитие необратимых изменений глазного дна (миопическая дегенерация макулы, миопическая хориоретинальная неоваскуляризация, отслойка сетчатки и др.), что приводит к существенному снижению зрения в молодом трудоспособном возрасте и даже инвалидизации.

В настоящее время прогрессирующая миопия имеет сильное распространение повсеместно. Приблизительно 1,6 млрд человек во всем мире страдают аномалиями рефракции. По данным ВОЗ, число людей, страдающих миопией в развитых странах, может варьировать от 10 до 90%. В России же население с близорукостью составляет более 10%. В странах Европы и США количество людей с данной патологией около 25%, в странах Азии этот показатель распространен сильнее всего – около 80% населения. С каждым годом количество пациентов с аметропией увеличивается, на миопию приходится подавляющее большинство случаев. В 2005 г. распространенность миопии составила 49,5%; в 2010 г. – 56,8%; 2,6 млрд человек (интервал 1,97–3,43) всех возрастов с миопией в 2020 г. [1, 6]. Развитие миопии, как правило, совпадает с периодом школьного обучения, что обеспечивает ее высокую распространенность как среди детского, так и среди взрослого населения. Предполагается, что к 2050 г.



число близоруких в мире составит 5 млрд человек и около половины жителей Земли станут близорукими, а в Европе этот показатель достигнет 56,2% [2], что повлечет за собой значительные клинические и экономические последствия. При этом возраст начала заболевания уменьшается, что делает изучение причин, методов лечения и последствий наиболее актуальным [6–10].

В связи с вышеупомянутым широким распространением использования различных гаджетов прогрессирующая миопия все чаще стала диагностироваться у подростков. Все больше доказательств свидетельствуют о том, что интенсивность работы на близком расстоянии, то есть длительное чтение на расстоянии менее 30 см с меньшим количеством перерывов, может быть более важным, чем в общие часы работы на близком расстоянии. Общеизвестным считается, что активный отдых на улице (1–3 часа в день), перерывы в зрительной нагрузке являются защитными факторами в вопросе развития близорукости, а длительная работа с портативными электронными устройствами – фактором риска близорукости у подростков [6].

Все вышеперечисленные факты, касающиеся распространения и влияния рассматриваемой проблемы, позволяют оценить необходимость разработки и дальнейшего применения различных методик, направленных на прогнозирование и дальнейшее лечение или профилактику прогрессирующей миопии. Цель настоящей работы – выполнить обзор современных (на 2022 год) научных методов прогнозирования развития миопии, а также рассмотреть аспект новых методов диагностики и профилактики.

Современные подходы к контролю прогрессирования близорукости (контроль над миопией) эффективны, но имеют значительные побочные эффекты. Поэтому выявление лиц, подверженных наибольшему риску, которые должны пройти тот или иной вид терапии, имеет большое клиническое значение. С помощью использования больших данных медицинских записей и карт, а также технологий машинного обучения появляется возможность разработки определенных алгоритмов, предсказывающих начало близорукости в определенные моменты времени в будущем. В большом количестве рассмотренных исследований установлена необходимость применения нейросетей и машинного обучения в узконаправленных задачах, связанных с диагностикой и лечением офтальмологических заболеваний, в том числе прогрессирующей миопии [6–10].

Упомянутые выше электронные медицинские записи предоставляют крупномасштабные детальные клинические данные для использования при разработке систем принятия клинических решений. Однако для обработки крупномасштабных наборов данных, необходимых для оптимизации точности прогнозирования, требуются сложная методология и аналитические навыки.

Машинное обучение – класс методов искусственного интеллекта (ИИ), используемых для анализа сложных данных и нахождения паттернов и взаимосвязей без их явного программирования [11].

Глубокое обучение – метод машинного обучения, который использует каскад из множества нелинейных фильтров для извлечения и преобразования признаков, где каждый слой использует выходные данные предыдущего слоя как входные, обучается с учителем и/или без учителя и использует множество уровней представлений [12].

Искусственные нейронные сети имеют потенциал для использования в автоматизированном скрининге, при определении стадии заболеваний, прогнозировании

терапевтического эффекта лечения и исхода заболеваний [12]. Вместе с тем идея симбиоза технологии раннего обнаружения заболевания и рационального алгоритма диагностики не нова. Это понятие возникло много лет назад при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы [13].

Более того, использование результатов традиционных методов диагностики, которые стали основой для баз данных технологии ИИ, по-прежнему востребовано. Специфика современных ИИ – новый технологический уровень вследствие введения новых алгоритмов для автоматизации диагностики заболеваний глаз, включая скрининг глаукомы на основе цветных изображений глазного дна, данных оптической когерентной томографии и периметрии. Автоматическое извлечение элементов позволяет сети ИИ учиться сложным функциям достижения финального результата напрямую, независимо от субъективного мнения клинициста. Способность к самостоятельному извлечению элементов становится особенно важной с ростом объемов данных и появлением новых сфер применения машинного обучения [9–13].

В области прогнозирования исхода лечения миопии применяются также и другие способы, основанные на различных математических методах. В рамках изучения вопроса повышения клинической эффективности лечения пациентов с миопией различной степени с помощью построения моделей, прогнозирующих исход лечения, было обследовано 206 пациентов. Все вычисления, а также параметры модели были найдены с помощью модуля «Дискриминантный анализ», входящего в статистический пакет Statistica 8.0 фирмы StatSoft. Предложенные в данном исследовании алгоритм применения рефлексотерапевтических методик, основанный на математическом методе, дискриминантный анализ дают высокие оценки качества прогнозирования исходов лечения, что может использоваться в практике лечения пациентов с миопией разной степени [16]. Существует исследование с использованием программы Statistica 8, где применяется метод дисперсионного однофакторного и дискриминантного анализа [17]. В анализ были включены все изученные параметры обследованных ранее детей с приобретенной миопией. Исходя из результатов исследования удалось выяснить, что при приобретенной миопии наиболее значимыми для прогрессирующей ее формы являются сила рефракции, длина переднезадней оси глаза и толщина слоя нервных волокон в 3-миллиметровой зоне сетчатки; разработана математическая модель, позволяющая с точностью до 80,6% проводить дифференциальную диагностику прогрессирующей и стабильной миопии у детей с приобретенной миопией [17].

В другом исследовании была разработана комплексная технология клинко-функциональной диагностики, мониторинга детей с прогрессирующей миопией, включающая в себя диагностический алгоритм оценки значений биометрических показателей и состояния биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки, определение нарушения аккомодации во взаимосвязи с уровнем офтальмотонуса, позволяющая на основании разработанной математической модели осуществлять прогнозирование течения миопии. Метод выбора признаков, основанный как на одномерном корреляционном анализе, так и на многомерном корреляционном анализе, используется для лучшего построения подмножества признаков для обучения модели [18, 19].

Для исследований в работе [20] в области прогнозирования результатов лечения на основе интеллектуального анализа данных были отобраны 50 пациентов



с близорукостью, а для анализа результатов лечения и влияния поведенческих факторов использовался интеллектуальный анализ данных. Кластерный анализ был использован для разделения пациентов с миопией на две категории до и после лечения. Алгоритм искусственной нейронной сети был принят для анализа роли различных факторов в изменении диоптрий. Сбор данных от пациентов с помощью интеллектуального анализа данных может извлечь скрытые потенциальные правила и знания из полученных данных. Поддержка принятия решений может быть предоставлена для улучшения результатов клинического лечения [20]. Таким образом, можно подчеркнуть, что использование поддержки принятия решений врача-офтальмолога на основе нейроалгоритмов может давать новую информацию о процессе лечения. Существуют исследования, где были построены и оценены модели прогнозирования близорукости на основе различных наборов данных, включая исходные данные о рефракции или биометрические данные, данные об образе жизни, генетические данные и интеграцию данных [21]. Внедрение подобных технологий в рутинную клиническую практику повысит диагностические, терапевтические и профессиональные возможности врача-специалиста.

### **Современные научные методы коррекции и лечения прогрессирующей миопии**

Множеством исследований доказано, что развитие миопии можно скорректировать без хирургического вмешательства, в частности, используя различные специализированные офтальмологические линзы; специальные устройства-тренажеры и упражнения для глаз; цифровые сервисы.

**Различные специализированные офтальмологические линзы.** В современной офтальмологии в целях предотвращения прогрессирования миопии используются бифокальные контактные линзы, которые имеют два сегмента мощности, с четкой линией разделения между коррекцией зрения на дальнем и ближнем расстоянии. При ношении данных линз с центральной зоной для дали и аддидацией в 4,0 дптр на периферии обеспечивается «наведение» миопического периферического дефокуса, нормализация исходно сниженной аккомодационной функции происходит в более короткие сроки, чем при ношении сферических мягких контактных линз [22].

Одним из самых распространенных методов корректировки развития близорукости и улучшения состояния зрительной системы является применение ортокератологических контактных линз, являющихся специальными жесткими контактными линзами обратной геометрии для ночного ношения [23]. Они используются для временного изменения формы роговицы глаза. Полученный результат коррекции зрения позволяет ребенку обходиться без очков и линз весь день. Согласно результатам множества современных исследований, связанных с ортокератологией, были получены следующие выводы: у детей и подростков с миопией в результате ношения линз происходит увеличение запаса относительной аккомодации до уровня возрастной нормы, кроме того, повышается объем абсолютной аккомодации и достигает максимальных значений в срок до 3 месяцев; у детей с миопией, пользующихся линзами, тормозится удлинение передне-задней оси глаза, но рост горизонтального диаметра продолжается; в области зрачка может формироваться бифокальная оптическая зона. Близкая к эмметропии рефракция оптического центра обеспечивает высокую

остроту зрения вдаль, в то время как слабомыопическая рефракция облегчает зрительную работу вблизи; после проведения эксперимента у пациентов данной группы были отмечены нормальные объективные показатели аккомодационного ответа, что позволяет говорить о повышении зрительной работоспособности у пациентов с миопией, пользующихся ортокератологическими линзами в ночном режиме. После проведения различных исследовательских работ отмечено положительное влияние на аккомодацию методов лечения, использующих ортокератологические линзы и аппаратное и физиотерапевтическое лечение на фоне очковой коррекции миопии. Показано быстрое улучшение аккомодации и постепенное снижение эффекта от аппаратного лечения и постепенное улучшение при ношении ортокератологических линз. Установлено, что ношение линз может иметь и некоторые негативные стороны, обычно выделяют высокую стоимость, риск инфицирования, возможный дискомфорт, проблемы, связанные с надеванием и снятием, а также относительно более низкую остроту зрения по сравнению с таковой при очковой коррекции и дневном ношении контактных линз. На сегодняшний день прогноз степени замедления прогрессирования миопии у конкретного пациента остается затруднительным. Необходимы дальнейшие исследования для ответа на данный вопрос. Можно заключить, что ортокератология является весьма ценным методом лечения прогрессирующей миопии и изучения ее патогенеза. Однако необходимо продолжать дальнейшие исследования, касающиеся безопасности данного метода для глазных структур [24].

**Специальные устройства-тренажеры и упражнения для глаз.** Одной из самых передовых разработок в области офтальмологической коррекции близорукости являются «Умные контактные линзы» от компании Kubota Pharmaceutical Holdings (2021 г.) [25]. Устройство Kubota Glasses «Умные очки», которые помогают корректировать зрение, проецирует изображение с линзы на сетчатку пользователя, чтобы исправить ошибку рефракции, которая вызывает близорукость. Миопия часто возникает из-за слишком большого расстояния между роговицей и сетчаткой глаза, которое препятствует правильной фокусировке света при попадании в глаз и размывает удаленные объекты. Японская компания утверждает, что Kubota Glasses достаточно носить от 60 до 90 мин. в день, чтобы исправить близорукость. В ходе дальнейших клинических испытаний производитель попытается определить, как долго длится эффект после использования устройства и сколько дней его нужно носить, чтобы добиться постоянного эффекта [25].

Отдельно следует отметить персонифицированные заднекамерные хрусталиковые интраокулярные линзы. Имплантация персонифицированных заднекамерных хрусталиковых интраокулярных линз – эффективный, безопасный и прогнозируемый способ хирургической коррекции аметропии высокой степени. В послеоперационном периоде отмечали увеличение показателей не только остроты зрения, но и, самое главное, максимальную остроту зрения с коррекцией, стабильность внутриглазного давления и средних показателей плотности эндотелиальных клеток роговицы до и после оперативного лечения, стабильное положение линзы [26].

К устройствам для коррекции близорукости следует отнести устройство «Визотроник МЗ» – офтальмомиотренажер-релаксатор, предназначенный для лечения и предупреждения развития синдрома хронической зрительной усталости, компьютерного зрительного синдрома, приобретенной близорукости детей, спазма аккомодации у людей, подвергающихся интенсивной зрительной нагрузке (чтение, письмо,



работа с компьютером) [27]. Нужный эффект достигается вследствие стойкого рефлекторного расслабления цилиарной мышцы, повышения тренированности мышц глаза, улучшения гемодинамики, ускорения процессов восстановления, повышения работоспособности, активации адаптационных резервов зрительной системы. Основные принципы действия этого тренажера обусловлены использованием ведущих адаптогенных для человека факторов, таких как свет и движение. Проводимые тренировки «учат» цилиарную мышцу рефлекторно расслабляться (воздействие микрозатуманиванием или «стеклянным атропином» посредством положительных сферических, а также цилиндрических линз плюс эффект дивергентной дезаккомодации, вызываемый призмами с основаниями, направленными друг к другу).

У детей с прогрессирующей миопией с целью оптимизации рефрактогенеза, профилактики прогрессирования миопии относительно широкое использование получил метод оптико-рефлекторных тренировок – микрозатуманивание [28]. Микроутман работает так: на зрительный аппарат выдается нагрузка, имеющая конкретный диапазон. Именно эта величина настроена на рефлекторную автофокусировку глаза. Метод оптического микрозатуманивания по А.И. Дашевскому проводят для каждого глаза в отдельности. Длительность одной тренировки не более 15 мин. для каждого глаза. Курс лечения – 10 тренировок.

Конечно, в направлении использования различных устройств и техник остаются классические рекомендации – упражнения для глаз [29, 30], а также целые техники по восстановлению зрения [31].

**Цифровые сервисы.** Современные программные средства предлагают пользователям возможности не только по диагностике, но и по профилактике снижения качества зрения. Интересно посмотреть существующие современные методы коррекции и лечения прогрессирующей миопии. Выделим самые распространенные из существующих цифровых сервисов.

Eyes Relaxing and Focusing [32] является программой-тренажером для глаз, созданной для защиты и разработки зрения компьютерных пользователей, предназначенной для тех компьютерных пользователей, которые проводят возле компьютера более двух часов. Когда мы работаем за компьютером с различными программами, играми, дизайном или программированием, то часто теряем чувство времени, особенно если процесс увлекательный и трудоемкий. Желательно после длительного периода работы делать перерыв, чтобы глаза отдохнули. Программа Eyes Relaxing and Focusing будет показывать специальные изображения во время перерыва, своего рода тренинг зрения, изображения будут появляться прямо на экране, вы можете следить за ними, просто смотря на экран компьютера. Вам не обязательно наблюдать за изображениями на экране, вы можете отойти в сторону и посмотреть в окно, выпить кофе или просто закрыть глаза. Перерыв благоприятно скажется на зрении. Программа обладает широким набором настроек, с помощью которых можно установить длительность упражнений и время их появления. Включить дополнительные уведомления о необходимости сделать перерыв в работе и многое другое. В программе также присутствует модуль script maker, позволяющий самому создавать собственные упражнения для глаз. Программа бесплатная [32].

Существует разработка под названием Eye-Corrector [33]. Программа «Корректор зрения» предназначена для восстановления и улучшения зрения, профилактики заболеваний и отдыха глаз и отлично подходит всем, кто хочет всегда иметь хорошее

зрение. Уникальная методика программы «Корректор зрения» – это синтез эффекта SIRDS-картинок и элементов укрепляющей глаз гимнастики по методу М.С. Норбекова, а именно упражнений на расслабление глаз, улучшение кровообращения, укрепление глазных мышц и уникального упражнения на развитие аккомодативной способности глаз, способствующих улучшению питания глазного нерва, снятию спазма аккомодации, повышению остроты зрения. Ежедневная работа с программой «Корректор зрения» дома или на работе способствует восстановлению и улучшению зрения, препятствует развитию миопии (близорукости) и гиперметропии (дальнозоркости), астигматизма и пресбиопии (утрата способности к фокусировке). Программа не имеет противопоказаний и особенно полезна будет учащимся и тем, кто много времени проводит за компьютером, ввиду повышенной нагрузки на зрение [33].

Еще одной утилитой для расслабления зрения является программа Relaxation [34]. Релаксация происходит за счет специальных заставок и нескольких режимов работы, которые можно настроить. Программа является отличной профилактикой утомления органов зрения и развития зрительных заболеваний [34].

Особенность программы Workrave состоит в том, что сначала она просто предлагает сделать перерыв, затем упорно рекомендует отдохнуть. И только после этого, если пользователь проигнорировал все просьбы, она блокирует клавиатуру и компьютерную мышь через заданные промежутки времени. В дополнение к основной функции утилита показывает упражнения для расслабления [35].

Разработка ChronoControl [36] внимательно следит за режимом работы пользователя и заставляет его своевременно делать небольшие перерывы, необходимые для физического и психологического здоровья. При этом ChronoControl поступает наиболее радикальным и эффективным методом – на время перерыва программа блокирует монитор, клавиатуру и мышь. Как показывает практика, строгое соблюдение режима работы, приводит не только к улучшению состояния здоровья пользователя, но и помогает сохранить тонус работы сознания и значительно повысить плодотворность работы [36].

Идея утилиты EyeLeo [38] состоит в том, чтобы она напоминала пользователю гаджета делать регулярные перерывы от компьютера. Использование программы помогает снизить напряжение глаз, тем самым способствуя улучшению зрения. Помимо большого перерыва, можно задавать короткие перерывы с упражнениями для глаз [37].

Цифровой реклинатор осанки RelaxEye's использует размытие экрана при приближении головы пользователя к экрану менее, чем расстояние вытянутой руки или зафиксированного пользователем расстояния. Такой подход позволяет предотвратить прогрессирование близорукости и скорректировать осанку пользователя, поскольку экран гаджета становится нечитабельным в случае нарушения установок [38, 39].

Кроме ограничения времени, расстояний до изображения, множество тренажеров построено на принципе расслабления глазодвигательных мышц [40–43]. Однако найти тренажеры, совмещающие одновременно диагностику близорукости и коррекцию процесса тренинга, не удалось. Тем временем существуют все технологические решения для реализации такого цифрового сервиса для офтальмологической помощи.

**Современные офтальмологические тренажеры  
Modern Ophthalmic Simulators**

Программа	Упражнение для расслабления глаз	Контроль времени перерыва	Контроль расстояния до монитора	Контроль ежедневного лимита экранного времени
Eye Corrector Full RUS	✓			
Relaxation	✓			
ChronoContro		✓		
EyeLeo	✓	✓		
Eyes Relaxing and Focusing [32]	✓	✓		
Workrave	✓	✓		✓
RELAXEYES	✓	✓	✓	

Следующим шагом в развитии цифровых сервисов в офтальмологической помощи является включение в процесс диагностики зрения нейроалгоритмов, включая скрининг глаукомы на основе цветных изображений глазного дна [44, 45]. Для качественной работы таких алгоритмов необходимы прежде всего качественные наборы большого количества данных и математические алгоритмы работы с данными [46], что обуславливает невысокую скорость внедрения алгоритмов в практику. Тем не менее уже сегодня использование цифровых сервисов на основе нейроалгоритмов позволяет выполнять автоматизированный скрининг и распознавание глаукомы по характерным паттернам [47]. Фактически в ближайшее будущее следует ожидать появления цифровых сервисов, способных определять паттерны других заболеваний глаз при помощи обычной веб-камеры.

**■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Прогнозирование зрительной патологии представлено множеством методик, основанных на самых разных областях анализа данных, включая машинное обучение и нейронные сети. Внедрение систем искусственного интеллекта в медицине – это один из важнейших трендов в мировом здравоохранении. Очевидно, что использование нейроалгоритмов позволяет ожидать в ближайшее время выход на качественно новый уровень офтальмологической помощи. Одним из главных сегментов рынка будет персональное использование таких сервисов. Рассмотренные цифровые сервисы – офталмотренажеры – реализуются с использованием подходов: расслабления зрения, предотвращения бесконтрольного использования электронных гаджетов во времени, предотвращения приближения головы пользователя к экрану. Следует заключить, что цифровые сервисы, которые будут комплексно объединять персональные диагностические данные, учитывать зрительную нагрузку и процесс тренинга зрения, способные анализировать, просчитывать возможные риски возникновения или прогрессирования близорукости, будут иметь высокую востребованность.

## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Federal clinical guidelines for the diagnosis and treatment of myopia in children. Year of approval (frequency of revision): 2020.
2. World report on vision. Geneva: World Health Organization; 2020. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/328717/9789240017207-rus.pdf>
3. Iomdina E.N., Tarutta E.P. Modern directions of fundamental research on the pathogenesis of progressive myopia. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2014;69(3–4):44–49. DOI 10.15690/vramn.v69i3-4.994 (in Russ.)
4. Razumovsky M.I. Assessment of visual capabilities in the labor process of visually impaired. *Ophthalmology*, 2014;11(1):58–61. (in Russ.)
5. Yurieva T.N., Grigorieva A.V., Petrova Yu.S. Myopia and its complications. *Acta Biomedica Scientifica*, 2015;6(106). (in Russ.)
6. Aprelev A.E., Pashinina R.V., Karaulova E.S. Assessment of the prevalence of myopia and the quality of life of patients with myopia. *Medical Bulletin of Bashkortostan*, 2015;10, 2(56):169–171. (in Russ.)
7. Hansen M.H., Laigaard P.P., Olsen E.M., Skovgaard A.M., Larsen M., Kessel L., Munch I.C. Low physical activity and higher use of screen devices are associated with myopia at the age of 16–17 years in the CCC2000 Eye Study. doi:10.1111/aos.14242
8. Tarutta E.P. Criteria for the diagnosis of habitual excessive stress of accommodation on the basis of subjective and objective parameters of accommodation. *Russian pediatric ophthalmology*, 2013;1:34–38. (in Russ.)
9. Trufanova L.P. Varieties of habitual excessive tension of accommodation, weakness of accommodation and intraocular pressure in myopia. *Ophthalmology*, 2018;15(52):179–182. DOI 10.18008/1816-5095-2018-25-179-182. (in Russ.)
10. Fabrikantov O.L. Comparative evaluation of the effectiveness of various methods of treatment of myopia. *Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences*, 2014;19(4):1223–1225. (in Russ.)
11. Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Markosyan G.A. Analysis of risk factors for the development of myopia in preschool and early school age. *Analiz riska zdorov'yu*, 2019;3:26–33. DOI 10.21668/health.risk/2019.3.03. (in Russ.)
12. Glaznitsa P.V., Takhchidi H.P., Svetozarsky S.N. et al. Machine learning in the diagnosis and treatment of ophthalmic diseases. Head and Neck/Head and neck. *Russian edition. Journal of the All-Russian Public Organization Federation of Specialists in the Treatment of head and Neck Diseases*, 2022;10(1):83–90. DOI 10.25792/HN.2022.10.1.83-90. (in Russ.)
13. Han Xiaotong, Liu Chi, Chen Yanxian, He Mingguang (2021) Myopia prediction: a systematic review. *Eye*, 36:1–9. 10.1038/s41433-021-01805-6.
14. Kuroedov A.V., Ostapenko G.A., Mitroshina K.V., Movsisyan A.B. Modern diagnostics of glaucoma: neural networks and artificial intelligence. *RZM. Clinical ophthalmology*, 2019;19(4):230–237. (in Russ.)
15. Garry D.D., Sahakyan S.V., Khoroshilova-Maslova I.P. et al. Machine learning methods in ophthalmology. Literature review. *Ophthalmology*, 2020;17(1):20–31. DOI 10.18008/1816-5095-2020-1-20-31. (in Russ.)
16. Tarutta E.P., Iomdina E.N., Tarasova N.A. et al. An integrated approach to the prevention and treatment of progressive myopia in schoolchildren. *RMZH. Clinical ophthalmology*, 2018;18(2):70–76. (in Russ.)
17. Boychuk I.M. et al. Assessment of the probability of myopia progression according to morphometric and functional studies in children with acquired myopia. *Ophthalmological Journal*, 2012;5(448):35–38. (in Russ.)
18. Ekimov A.K. et al. Application of mathematical methods for predicting the results of treatment of patients with acquired myopia. *Bulletin of the Orenburg State University*, 2010;12(118):64–67. (in Russ.)
19. Balalin S.V. et al. Analysis of a mathematical model of progressive myopia in children. *Modern technologies in ophthalmology*, 2019;5:171–177. DOI 10.25276/2312-4911-2019-5-171-177. (in Russ.)
20. Yang Xu, Chen Guo, Qian Yunchong, Wang Yuhan, Zhai Yisong, Fan Debao, Xu Yang (2020) Prediction of Myopia in Adolescents through Machine Learning Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17:463. 10.3390/ijerph17020463.
21. Xuming Yang, Xu Lingyu, Zhong Fei, Zhu Ying (2012) Data mining-based detection of acupuncture treatment on juvenile myopia. *Journal of traditional Chinese medicine*. Sponsored by All-China Association of Traditional Chinese Medicine, Academy of Traditional Chinese Medicine, 32:372–6. 10.1016/S0254-6272(13)60040-0.
22. Lin Haotian, Long Erping, Ding Xiaohu et al. (2018) Prediction of myopia development among Chinese school-aged children using refraction data from electronic medical records: A retrospective, multicentre machine learning study. *PLOS Medicine*, 15:e1002674. 10.1371/journal.pmed.1002674.
23. Avetisov S.E. et al. Correction of progressive myopia with bifocal contact lenses with a central zone for distance: changes in accommodation and anteroposterior axis (preliminary report). *Bulletin of Ophthalmology*, 2019;135(1):42–46. DOI 10.17116/oftalma201913501142. (in Russ.)
24. Stabilizing effect of orthokeratological correction of myopia (results of ten-year dynamic observation). *Bulletin of Ophthalmology*, 2017;133(1):49–54. DOI 10.17116/oftalma2017133149-54. (in Russ.)
25. Tarutta E.P. et al. Possible mechanisms of the inhibitory effect of orthokeratological lenses on the progression of myopia. *Russian Ophthalmological Journal*, 2008;1(2):26–30. (in Russ.)
26. Kubota Vision Provides Update on Kubota Glasses – Wearable Device for Myopia Control [https://www.kubotaholdings.co.jp/en/ir/docs/20201216\\_EN\\_eSpec\\_wearableprototype\\_final%20%282%29.pdf](https://www.kubotaholdings.co.jp/en/ir/docs/20201216_EN_eSpec_wearableprototype_final%20%282%29.pdf)
27. Boyko E.V. et al. Possibilities of correction of high-grade myopia, including those with an asthmatic component with personalized posterior chamber lens contact lenses. *Modern technologies in ophthalmology*, 2019;5:178–183. DOI 10.25276/2312-4911-2019-5-178-183. (in Russ.)
28. Mykolnikova E.S., Egorova A.V., Lyalin A.N. Application of the Visotronik m3 device in the treatment of computer vision syndrome. *Bulletin of OSU*. 2011. No. 14 (133). (Electronic resource). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-apparata-vizotronik-m3-v-lechenie-kompyuternogo-zritel'nogo-sindroma> (access date: 05.18.2022) (in Russ.)
29. Fedorov Yu.V. Rehabilitation of vision by computer emulation methods. Instrumentation. 2021. No. 2. (Electronic resource) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/reabilitatsiya-zreniya-metodami-kompyuternoy-emulyatsii> (access date: 05.18.2022). (in Russ.)
30. Kuznetsova G.A. Physical exercises as a means of correcting myopia. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 1998. No. 3. (Electronic resource). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/fizicheskie-uprazhneniya-kak-sredstvo-korreksii-blizorukosti> (access date: 05.18.2022). (in Russ.)
31. Patrusheva L.V. *Therapeutic physical culture in diseases of the visual organs. Educational and methodical manual*. Blagoveshchensk: Amur State University, 2018. (in Russ.)
32. Bates W. *Treatment of myopia without glasses*. M., 1995. (in Russ.)
33. Eyes Relaxing and Focusing visual eye simulator. Available at: <http://www.litemanager.ru/produkts/EyesRelaxingAndFocusing>
34. Eye Corrector Full RUS – free Download Eye Corrector Full RUS (sibnet.ru)
35. Relaxation «Relaxation» is a program for relaxing vision.
36. Workrave <http://gearmobile.github.io/linux/workrave>

37. ChronoControl <https://zreni.ru/download/pc/505-chronocontrol-31-zaschita-zdorovya-i-zreniya.html>
38. EyeLeo <https://zreni.ru/download/pc/1481-eyeleo-snimaet-napryazhenie.html>
39. Igonin S.V., Rytik A.P. Certificate of state registration of the computer program No. 2012618463 dated September 18, 2012. A program for monitoring the distance from the screen to the eyes and evaluating the correctness of the computer user's posture. The copyright holder is LLC "Interest-24".
40. Patent for invention No. 2522968 dated March 25, 2013 is a method for investigating and evaluating eye fatigue of a personal computer user. Rytik A.P. Patent holder Limited Liability Company INTEREST-24. Application 2013113244/14 IPC A61B.
41. Altynbayeva G.R., Azamatova G.A., Akhtyamova D.K. et al. Analysis of the results of hardware treatment of patients with myopia and accommodation disorders. *Medical Bulletin of Bashkortostan*, 2016;11, 1(61):81–84. (in Russ.)
42. Tarutta E.P., Kiseleva T.N., Tarasova N.A., Epishina M.V. Changes in accommodation parameters and hemodynamic parameters in the vessels of the eye against the background of hardware treatment of myopia. *Russian pediatric ophthalmology*, 2014;9(1):42–45. (in Russ.)
43. Esaulenko I.E., Bogacheva E.V., Avdeev R.V., Gladskikh N.A. Algorithmic and software for choosing the scheme of diagnosis and treatment of ophthalmic diseases. *System analysis and management in biomedical systems*, 2014;13(4):887–890. (in Russ.)
44. Tarutta E.P., Iomdina E.N., Tarasova N.A. Nonsurgical treatment of progressive myopia. *RMZH. Clinical ophthalmology*, 2016;16(4):204–210. (in Russ.)
45. Fauw J.De., Ledsam J.R., Romera-Paredes B. et al. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. *Nature Medicine*. 2018;24(9):1342–1350. DOI: 10.1038/s41591-018-0107-6.
46. Kuroedov A.V., Ostapenko G.A., Mitroshina K.V., Movsisyan A.B. Modern diagnostics of glaucoma: neural networks and artificial intelligence. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2019;19(4):230–237. DOI: 10.32364/2311-7729-2019-19-4-230-237. (in Russ.)
47. Balalin S.V., Bessarabov A.N., Trufanova L.P. Analysis of a mathematical model of progressive myopia in children. *Modern technologies in ophthalmology*, 2019;5:171–177. DOI: <https://doi.org/10.25276/2312-4911-2019-5-171-177> (in Russ.)
48. Mookiah M.R., Acharya U.R., Fujita H. et al. Local configuration pattern features for age-related macular degeneration characterization and classification. *Comput Biol Med*. 2015;63:208–18. doi: 10.1016/j.compbiomed.2015.05.019. Epub 2015 Jun 4. PMID: 26093788.
49. Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A. et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 2016;123(5):1036–1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006. Epub 2016 Feb 11.