

Оценка аберраций волнового фронта у детей с миопией на фоне нарушения состояния глазной поверхности в сочетании с компьютерным зрительным синдромом и цифровым напряжением глаз

И.Л. Плисов¹Е.М. Наумова²А.И. Смолева²

¹ Новосибирский филиал ФГАУ «НМИЦ МНТК “Микрохирургия глаза” им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Колхидская, 10, Новосибирск, 630096, Российская Федерация

² Екатеринбургский центр «МНТК “Микрохирургия глаза”»
ул. Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2024;21(2):332–340

Цель: исследовать состояние волнового фронта у детей с миопией, имеющих различные проявления компьютерного зрительного синдрома (КЗС) и цифрового напряжения глаз и симптомы нарушения состояния глазной поверхности, выявить диагностическую значимость критериев показателей аберраций глаза для оценки состояния глазной поверхности. **Пациенты и методы.** Обследованы 76 детей (152 глаза) с миопией в возрасте от 8 до 18 лет. В группу исследования были отобраны пациенты, применяющие гаджеты и компьютер суммарно более 2 часов в день. Все пациенты использовали в качестве метода оптической коррекции очки в режиме постоянного ношения. Пациенты были разделены на 2 группы: с симптомами нарушения состояния глазной поверхности и без таких симптомов. Выраженность субъективных признаков нарушения состояния системы глазной поверхности, наличие признаков компьютерного зрительного синдрома и состояние зрительного комфорта оценивали с помощью анализа результатов заполнения пациентами онлайн-опросника «Состояние глазной поверхности», с помощью кератографа измеряли неинвазивное время разрыва слезной пленки (NTBR), проводили мейбографию и исследование липидного слоя слезной пленки. Всем пациентам проводили aberromетрию волнового фронта в затемненной комнате без циклоплегии. **Результаты.** Установлено, что в группе пациентов с наличием субъективных признаков нарушения состояния глазной поверхности, выявленным с помощью онлайн-опросника «Состояние глазной поверхности», общие роговичные аберрации были статистически достоверно выше, чем в группе сравнения. Корреляционный анализ между показателями состояния глазной поверхности и параметрами волнового фронта в группе детей с нарушением состояния глазной поверхности показал, что более высокому уровню роговичных аберраций соответствует большее количество баллов по опроснику нарушений глазной поверхности и состояния зрительного комфорта. При сравнении данных неинвазивного времени разрыва слезной пленки была установлена отрицательная корреляционная связь, это означает, что при большем количестве баллов по опроснику, а следовательно, при более значительной степени выраженности нарушений состояния глазной поверхности время разрыва слезной пленки было меньше. **Заключение.** Структура волнового фронта у детей с миопией на фоне нарушения состояния глазной поверхности в сочетании с КЗС и цифровым напряжением глаз достоверно отличается от структуры волнового фронта в группе сравнения.

Ключевые слова: глазная поверхность, миопия, волновой фронт, компьютерный зрительный синдром (КЗС), цифровое напряжение глаз

Для цитирования: Плисов И.Л., Наумова Е.М., Смолева А.И. Оценка аберраций волнового фронта у детей с миопией на фоне нарушения состояния глазной поверхности в сочетании с компьютерным зрительным синдромом и цифровым напряжением глаз. *Офтальмология*. 2024;21(2):332–340. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-2-332-340>

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

Конфликт интересов отсутствует.



Assessment of Wavefront Aberrations in Children with Myopia Against the Background of Ocular Surface Disorders in Combination with Computer Vision Syndrome Digital and Eye Strain

I.L. Plisov¹, E.M. Naumova², A.I. Smoleva²

² The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Novosibirsk Branch
Kolkhidskaya str., 10, Novosibirsk, 630096, Russian Federation

² Eye Microsurgery Center
Bardina str., 4a, Ekaterinburg, 620149, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2024;21(2):332–340

Purpose: to assess the state of the wavefront in children with myopia, who have various manifestations of digital eye strain and symptoms of ocular surface disorders, and to evaluate the diagnostic significance of wavefront criteria for assessing the state of the ocular surface. **Patients and methods.** The study involved 76 children (152 eyes) with myopia aged 8 to 18 years who used gadgets and computers for more than 2 hours a day. All patients used glasses as a method of optical correction and were constantly worn. The patients were divided into 2 groups: 1st with symptoms of ocular surface disorder; 2nd — comparison group. Subjective signs were studied using the online questionnaire "State of the ocular surface". Using the "Keratograph 5M Oculus" the following parameters were assessed: non-invasive tear film breakup time (NTBR), including the first tear film breakup time, average tear film breakup time, breakup time gradient and maximum tear film breakup zone, the same device was used to perform infrared meibography and study of the lipid layer of the tear film. All patients underwent wavefront aberrometry in a darkened room without cycloplegia. **Results.** It was found that in the group of patients with the presence of subjective phenomena of disturbance of the state of the ocular surface, identified using the online questionnaire "State of the ocular surface", rotor aberrations were statistically significantly higher than in the comparison group. At the same time, the indicators of higher-order corneal aberrations have comparable values. Correlation analysis between indicators of the state of the ocular surface and parameters of the wavefront in the group of children with disturbances of the state of the ocular surface showed that a higher level of corneal aberrations corresponds to a higher number of points on the questionnaire of disturbances of the ocular surface and the state of visual comfort, in turn, when comparing data on non-invasive tear film breakup time, a negative correlation was established, which means that with a higher number of points on the questionnaire, and therefore, with a more significant degree of impairment of the ocular surface, the tear film breakup time was shorter. **Conclusion.** The structure of the wavefront in children with myopia against the background of a disorder of the ocular surface in combination with CVS and digital eye strain is significantly different from the structure of the wavefront in the comparison group.

Keywords: ocular surface, myopia, aberrations, wavefront, Computer Vision Syndrome (CVS), digital eye strain

For citation: Plisov I.L., Naumova E.M., Smoleva A.I. Assessment of Wavefront Aberrations in Children with Myopia Against the Background of Ocular Surface Disorders in Combination with Computer Vision Syndrome Digital and Eye Strain. *Ophthalmology in Russia*. 2024;21(2):332–340. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-2-332-340>

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

There is no conflict of interest.

АКТУАЛЬНОСТЬ

За последние десятилетия частота развития миопии среди детского населения не только в нашей стране, но и в мире неуклонно растет [1]. При этом миопия, манифестирующая в раннем школьном возрасте, имеет достоверную тенденцию к более стремительному прогрессированию из-за активного рефрактогенеза у детей данного периода жизни [2].

Большая роль в патогенезе миопии отводится активной зрительной нагрузке на близком расстоянии, использованию цифровых устройств, малой физической активности и недостаточному времени пребывания на свежем воздухе в светлое время суток [3], что приобрело особую значимость в период пандемии COVID-19 [4]. Вынужденный переход на дистанционное обучение, широкое применение смартфонов,

компьютеров, планшетов в качестве учебных пособий для выполнения домашних заданий, для участия в процессе обучения в режиме онлайн, а также для проведения досуга в свободное от учебы время, в условиях невозможности посещения спортивных секций и других общественных мест на период карантина, привели к быстрому прогрессированию миопии, особенно в группе детей в возрасте 6–8 лет [5].

Многими авторами исследовано негативное влияние так называемой «цифровой» зрительной нагрузки на орган зрения как у взрослых [6–8], так и у детей [9, 10]. При продолжительном использовании экранов мониторов различного размера на среднем (45–60 см) и близком (менее 25 см) расстоянии от глаз возникают характерные симптомы зрительного напряжения: затуманивание зрения, усталость глаз, раздражение и покраснение

I.L. Plisov, E.M. Naumova, A.I. Smoleva

Contact information: Naumova Ekaterina M. naumova100@inbox.ru

Assessment of Wavefront Aberrations in Children with Myopia Against the Background of Ocular...

глаз, нечеткость зрения, двоение, зрительный дискомфорт, чувство инородного тела, слезотечение и другие. Возникающий симптомокомплекс объединяет признаки астенопии и синдрома сухого глаза, в развитии которого играют роль два самостоятельных звена, которые связаны единым «пусковым» механизмом (длительной напряженной работой за монитором компьютера, планшета, смартфона или другого гаджета), они развиваются одновременно, влияют друг на друга, усиливая негативное действие каждого из них [11]. Данное состояние называют компьютерным зрительным синдромом (КЗС) или цифровым напряжением глаз (digital eye strain). Триггерным фактором развития КЗС служит наличие уже имеющихся у пользователя расстройств аккомодации (слабости, перенапряжения или лабильности). Процесс фокусировки для рассматривания объектов, находящихся на различных расстояниях от глаз, осуществляется с помощью аккомодации, при этом важной является локализация преломляющихся световых лучей, проникающих в глаз, в области центральной зоны сетчатки — фовеолы [12]. Физиологичность и достаточность работы аккомодации определяют качество зрения и жизни человека.

Немаловажным является состояние бинокулярного баланса, наличие гетерофорий в различной степени компенсации и других нарушений бинокулярного зрения, в том числе недостаточности конвергенции или эксцесса дивергенции, что способствует более быстрому развитию утомляемости глаз при использовании гаджетов.

Снижение числа мигательных движений век связано как с напряженностью зрительного труда [13], так и со снижением тактильной чувствительности роговицы на фоне деионизации воздуха. Нормальным считается число морганий от 10 до 15 в минуту продолжительностью 0,3–0,4 секунды и интервалом между мигательными движениями 3–4 секунды [14]. При цифровом зрительном напряжении и использовании мониторов происходит снижение частоты мигательных движений в среднем с 12–15 до 4–5 в минуту. В свою очередь, широкое раскрытие глазной щели во время использования цифровых мониторов и экранов телефонов с увеличением площади экспонируемой глазной поверхности (при несоблюдении рекомендаций эргономики организации учебного места и неправильном положении монитора компьютера), вызывают повышение испаряемости слезной пленки (СП) и увеличение показателя осмолярности слезной жидкости (СЖ). Осмолярность СЖ рассматривают как параметр оценки состава СП с учетом интенсивности испарения ее водной фазы. Гиперосмолярность слезы является свидетельством повышения молярной концентрации входящих в ее состав веществ и служит важным патогенетическим фактором развития воспалительного процесса в тканях глазной поверхности, а также является самостоятельным повреждающим фактором, который становится причиной осмотического стресса в клетках

эпителия конъюнктивы и роговицы [15, 16]. В результате нарушается слаженность работы системы глазной поверхности, в которую, помимо непосредственно слезной пленки, включают эпителий, покрывающий роговицу, конъюнктиву, протоки и ацинусы мейбомиевых желез и назолакримальной системы, а также веки.

Таким образом, при наличии признаков КЗС и/или цифрового напряжения глаз у детей чаще всего развивается так называемая «эвапоративная» форма синдрома сухого глаза. Характерным фактором, сопровождающим повышенную испаряемость слезы в данном случае, является неполноценность поверхностного липидного слоя слезной пленки, поскольку этот слой препятствует испарению слезы с поверхности глаза. Снижение толщины липидного слоя обычно связано с сопутствующей дисфункцией мейбомиевых желез (МЖ), например с частичной облитерацией их выводных протоков [17].

Для оценки субъективных признаков нарушения состояния глазной поверхности у детей разработана и применяется в практике адаптированная для детского возраста анкета (онлайн-опросник) «Состояние глазной поверхности», которая содержит вопросы для оценки степени проявления не только характерных симптомов синдрома сухого глаза, но и состояния зрительного комфорта [18].

Доказано наличие взаимосвязи между степенью выраженности симптомов синдрома сухого глаза и изменениями аберраций волнового фронта глаза [19–21]. Увеличение моды общих аберраций (за счет роговичных) демонстрирует клиническую значимость этих параметров и определяет их влияние на зрительную функцию. У взрослых пациентов, в отличие от детей, корреляционная взаимосвязь этих параметров изучена достаточно детально. Данные изучения изменений волнового фронта на фоне субъективных и объективных признаков нарушений состояний глазной поверхности должны учитываться при выборе тактики лечения симптомов нарушений состояния глазной поверхности, при выборе способа оптической коррекции аномалий рефракции, в рекомендациях по оптимизации факторов окружающей среды (соблюдение времени использования гаджетов и их расстояния от глаз, увлажненность помещений и др.), влияющих на зрительный комфорт, что определило цель настоящего исследования.

Цель: исследовать состояние волнового фронта у детей с миопией, имеющих различные проявления цифрового напряжения глаз, и симптомы нарушения состояния глазной поверхности, выявить диагностическую значимость критериев показателей аберраций глаза для оценки состояния глазной поверхности.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Исследование было проведено на добровольной основе в соответствии с этическими принципами проведения медицинских исследований согласно Хельсинкской

декларации Всемирной медицинской ассоциации [22], после получения информированного согласия родителей или законных представителей.

Критерии включения пациентов в группу исследования: наличие миопии слабой и средней степени, использование очковой коррекции, отсутствие сопутствующей глазной и общесоматической патологии.

Критерии не включения в группы исследования: применение любых глазных капель (слезозаменителей, бета-адреноблокаторов, гипотензивных капель и др.), любые виды офтальмологических оперативных вмешательств в анамнезе, наличие системных заболеваний (ревматоидный артрит, сахарный диабет и др.), любые виды глаукомы (врожденная, ювенильная, вторичная), врожденная или приобретенная патология назолакримальной системы (атрезия слезных точек, алакримия, стеноз слезно-носового канала, дакриоцистит и др.), нарушение тонуса нижнего века, выворот нижнего века, неполное смыкание век во время бодрствования.

Обследованы 76 детей (152 глаза) с миопией в возрасте от 8 до 18 лет (средний возраст $13,1 \pm 2,32$ года). Миопия 1-й степени — 33 пациента (43,4 %), 2-й степени — 39 (51,3 %), 3-й степени — 4 (5,3 %). Среди них 38 мальчиков (50 %), 38 девочек (50 %). В группу исследования были отобраны пациенты, использующие гаджеты и компьютер суммарно более 2 часов в день. Все пациенты использовали в качестве метода оптической коррекции очки в режиме постоянного ношения. Пациенты были разделены на 2 группы: 1-я — 30 пациентов (39,5 %) с симптомами (субъективными и/или объективными) нарушения состояния глазной поверхности, 2-я — 46 пациентов (60 %) группа сравнения — без симптомов нарушения состояния глазной поверхности. Всем пациентам проводилось стандартное офтальмологическое обследование, которое включало визометрию, авторефрактометрию, тонометрию, периметрию (детям старше 12 лет), биометрию, офтальмоскопию, биомикроскопию.

Выраженность субъективных признаков нарушения состояния системы глазной поверхности, наличие признаков компьютерного зрительного синдрома и состояние зрительного комфорта оценивали с помощью анализа результатов заполнения пациентами онлайн-опросника «Состояние глазной поверхности» (рис. 1),

размещенного в сети интернет (заявка на промышленный образец № 2023503278 от 05.07.2023).

Пациент самостоятельно или с помощью родителей отвечал на 23 вопроса анкеты. Опросник содержит три группы вопросов, касающихся наличия симптомов раздражения глазной поверхности, ощущения дискомфорта в различных условиях окружающей среды, зрительного напряжения при чтении и использовании гаджетов на близком расстоянии и др. Ответы оценивались в баллах от 0 до 4 в зависимости от частоты возникновения признака. Производилась интегральная оценка результатов в виде суммы баллов по определенным группам вопросов.

Полученные результаты по первой группе вопросов для выявления симптомов изменений системы глазной поверхности интерпретировались следующим образом: от 1 до 6 баллов — незначительные нарушения, от 7 до 15 — умеренные нарушения, от 16 до 26 — выраженные нарушения, от 27 до 36 — значительно выраженные нарушения. По второй группе вопросов о зрительном комфорте: от 1 до 12 баллов — умеренные нарушения, от 13 до 24 — выраженные нарушения. Выявленные факторы риска развития синдрома сухого глаза фиксировали в карте обследования пациента, в последующем пациентам и их родителям давали рекомендации по способам коррекции факторов, предрасполагающих к развитию синдрома сухого глаза.

С помощью кератографа «Oculus 5M» (Германия) оценивались следующие параметры: неинвазивное время разрыва слезной пленки (НВРСП), в том числе время первого разрыва слезной пленки, среднее время разрыва слезной пленки, градиент времени разрыва (процент зон разрыва в секунду) и максимальная зона разрыва слезной пленки (количество зон разрыва за 10,5 сек) (рис. 2).

Мейбография и оценка состояния протоков МЖ производилась с помощью фотографирования нижнего века в инфракрасном свете. В зависимости от количества облитерированных протоков определяли степень нарушения: 0 степень — норма (нет потери желез),



Рис. 1. QR-код для перехода на интернет-страницу онлайн-опросника

Fig. 1. QR code to go to the website of the online questionnaire

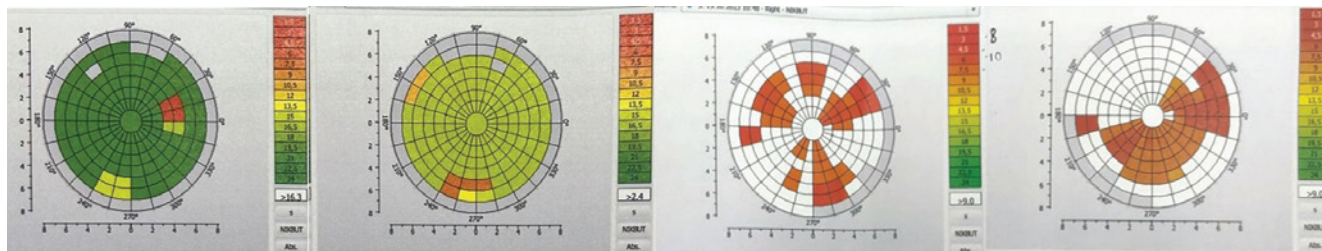


Рис. 2. Диагностическая карта НВРСП на приборе кератограф 5M Oculus

Fig. 2. The Non-Invasive Tear Breakup Time (NITBUT) diagnostic map by the Keratograph 5M Oculus

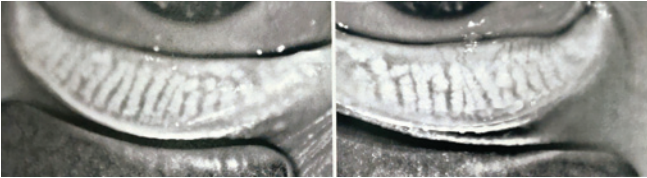


Рис. 3. Мейбография нижнего века на приборе кератограф 5M Oculus

Fig. 3. Meibography of the lower eyelid by the Heratograph 5M Oculus

1-я степень — умеренная потеря желез (1/3 от нормы), 2-я степень — значительная потеря желез (1/3–2/3 от нормы), 3-я степень — потеря желез более 2/3 от нормы (рис.3).

Оценка толщины липидного слоя производилась по классификации Гиллона путем анализа изменения световых узоров на поверхности роговицы. Шкала соответствия и описание видов изображения приведены в таблице 1.

Аберрометрию волнового фронта проводили в затемненной комнате (мидриаз достигался путем размещения пациента в затемненных условиях с закрытыми глазами на 10 минут, аберрометрию выполняли в кабинете с выключенным светом) без применения медикаментозной

циклоплегии в целях приближения данных к естественным условиям состояния работы аккомодационной системы глаза. Исследование проведено с помощью анализатора оптических сред глаза OPD-Scan III (Nidek, Япония) (рис. 3). Аберрации анализировали при ширине зрачка 6 мм, коэффициенты Цернике до 9-го порядка включительно: вертикальный и горизонтальный наклон (tilt 1, tilt 2), вертикальный и горизонтальный трефойл (trefoil 6, trefoil 9), вертикальную и горизонтальную кому (coma 7, coma 8), сферические аберрации (СА), средне-квадратичное отклонение от идеального волнового фронта (RMS).

Статистический анализ полученных данных осуществлялся с помощью программного обеспечения MS Excel 2016 (Microsoft Inc., США), Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Использовались традиционные показатели описательной статистики: число наблюдений (*n*), *M* — среднее арифметическое значение, σ — стандартное отклонение. Поскольку распределение значений не отличалось от нормального, данные представлены в виде $M \pm \sigma$. Для сравнения двух независимых выборок применяли непарный *t*-критерий Стьюдента. Критический уровень значимости (*p*) при проверке статистических гипотез принимали менее 0,05.

Таблица 1. Классификация липидного профиля и клиническая интерпретация (по Гиллон и соавт., адаптировано) [23]

Table 1. Lipid profile classification and clinical interpretation (Adapted and taken from Gillon et al.) [23]

Пример изображения / Sample image	Примеры 10 изображений / Sample from 10 different images	Внешний вид, описание / Appearance	Толщина липидного слоя / Thickness of lipid layer
		Открытые петли, серый фон с слабовыраженным отражением рисунка, трудно заметный сетчатый узор / Open loops, gray background with a faint reflection of the pattern, hardly noticeable mesh pattern	~13–15 нм / nm
		Более компактный сетчатый рисунок с серым цветом средней отражательной способности и большим количеством липидов, чем в открытой сетке / A more compact grid pattern with a gray color of medium reflectivity and a large amount of lipids than in an open grid	~30–50 нм / nm
		Вертикальные и горизонтальные серые волны хорошей вязкости / Vertical and horizontal gray waves of good viscosity	~50–80 нм / nm
		Дискретные коричневые и синие хорошо выраженные интерференционные каймы липидного слоя, наложенные на беловатую основу / Discrete brown and blue well-defined interference fringes of the lipid layer superimposed on a whitish base	~90–140 нм / nm

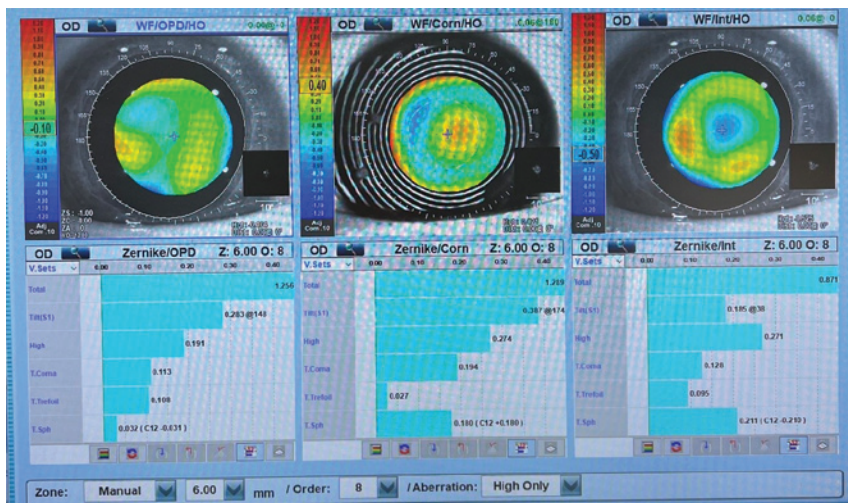


Рис. 4. Аберрометрия на приборе OPD-Scan III

Fig. 4. Aberrometry using the OPD-Scan III device

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлено количество пациентов в группах, распределение по полу, возрасту, а также результаты, полученные при анализе данных ответов на онлайн-опросник «Состояние глазной поверхности» в группе исследования и группе сравнения.

Таблица 2. Распределение по полу, возрасту и частота выявления субъективных признаков, распределение по степени выраженности в группе с симптомами нарушения глазной поверхности и группе сравнения

Table 2. Distribution by sex, age, and ocular surface condition characteristics in the group with ocular surface symptoms and the comparison group and the frequency of detection of subjective signs, distribution by severity

Параметры / Parameters	Группа с нарушением состояния глазной поверхности / Group with ocular surface disorder	Группа сравнения / Group of compare
Число пациентов / количество глаз / Number of patients / number of eyes	30/60	46/92
Пол (м/ж), число пациентов / Gender (m/w), number of patients	13/17	20/26
Возраст (лет) / Age (years)	14,4 ± 2,8	13,9 ± 3,1
Опросник: симптомы синдрома сухого глаза (% / количество пациентов) / Questionnaire: symptoms of dry eye syndrome (% / number of patients)	Незначительные 56,6/17 Умеренные 23,4/7 Выраженные 20/6 Значительно выраженные – Minor 56,6/17 Moderate 23,4/7 Severe 20/6 Significantly severe –	Незначительные 4/8,7 Умеренные – Выраженные – Значительно выраженные – Minor 4/8,7 Moderate – Severe – Significantly severe –
Опросник: состояние зрительного комфорта (% / количество пациентов) / Questionnaire: state of visual comfort (% / number of patients)	Умеренные нарушения 80/24 Выраженные нарушения 20/6 Moderate impairment 80 /24 Severe impairment 20 /6	Умеренные нарушения 26/12 Выраженные нарушения – Moderate impairment 26/12 Severe impairment –

Анализ результатов анкетирования показал, что из 76 пациентов у 30 были выявлены нарушения состояния системы глазной поверхности. Эти пациенты составили группу исследования, остальные 46 пациентов были включены в группу сравнения.

В группе исследования преобладала незначительная степень выраженности субъективных симптомов нарушения состояния глазной поверхности (17 пациентов), а умеренные и выраженные изменения были выявлены у 7 и 6 пациентов соответственно. Распределение критериев в процентах внутри групп по степени выраженности, а также данные по полученным

ответам на вопросы, касающиеся состояния зрительного комфорта, представлены в таблице 2.

В таблице 3 представлены значения среднеквадратичного отклонения параметров волнового фронта в исследуемой группе и группе сравнения. Приведенные в данной таблице данные показывают, что в группе пациентов с наличием субъективных признаков нарушения состояния глазной поверхности общие роговичные аберрации были статистически достоверно выше, чем в группе сравнения ($p < 0,001$). При этом показатели роговичных аберраций высшего порядка, в том числе трефоила, имеют сопоставимые значения. Роговичные сферические аберрации и кома в исследуемой группе были выше, чем в группе сравнения ($p < 0,001$).

Таблица 3. Структура волнового фронта в группе с симптомами нарушения глазной поверхности и в группе сравнения ($M \pm \sigma$)

Table 3. Wavefront structure in the group with ocular surface symptoms and in the comparison group ($M \pm \sigma$)

Среднеквадратичное значение ошибок (RMS) / RMS value of errors	Группа с нарушением состояния глазной поверхности / Group with ocular surface disorder	Группа сравнения / Group of compare	p Mean ± SD
Общие роговичные аберрации / Total corneal aberrations	2,60 ± 2,90	0,73 ± 0,99	<0,001
Роговичные аберрации высшего порядка / Higher order corneal aberrations	0,30 ± 0,80	0,35 ± 0,87	<0,001
Роговичные аберрации: кома / Corneal aberrations: coma	0,20 ± 0,60	0,12 ± 0,09	<0,001
Роговичные аберрации: трефоил / Corneal aberrations: trefoil	0,10 ± 0,40	0,09 ± 0,03	<0,001
Роговичные сферические аберрации / Corneal spherical aberrations	0,10 ± 0,14	0,06 ± 0,09	<0,001

В таблице 4 представлены данные исследования неинвазивного времени разрыва слезной пленки (НВРСП). Считается, что показатели НВРСП у детей и взрослых сопоставимы и составляют в норме от 30 секунд и более, время разрыва слезной пленки от 10 до 30 секунд считается пограничным показателем. В группе исследования этот показатель времени первого разрыва в среднем составил 8,22 секунды, что соответствует резкому снижению стабильности слезной пленки. В группе этот показатель был в среднем выше (17,1 сек), чем в группе исследования, хотя и не достигал нормальных критериев. Из-за отсутствия нормативной базы по параметрам среднего времени разрыва слезной пленки, градиента

времени разрыва и максимальной зоны разрыва слезной пленки было оценено различие данных между группами. Данные по вышеупомянутым показателям приведены в таблице 4. Анализ состояния МЖ в группе исследования показал, что первая степень потери протоков имела в 33 глазах, а в группе сравнения лишь в 5 глазах. Ориентировочная оценка толщины липидного слоя слезной пленки и распределение показателей в количественном и процентном отношении внутри обеих групп также отражено в таблице 4. В таблице 5 представлены результаты корреляционного анализа параметров исследования слезной пленки и данных опросника «состояние глазной поверхности».

Таблица 4. Характеристики состояния глазной поверхности
Table 4. Characteristics of the ocular surface condition

Параметры единицы измерения / Parameters (units)	Группа с нарушением состояния глазной поверхности / Group with ocular surface disorder	Группа сравнения / Comparison group	P Mean ± SD
Неинвазивное время разрыва слезной пленки (НВРСП): время первого разрыва (сек.) / Non-invasive keratograph tear breakup time (NIKBT): first breakup time (sec.)	8,22 ± 4,20 (2,55–15,5)	17,1 ± 2,8 (14,4–24,1)	<0,001
Неинвазивное время разрыва слезной пленки (НВРСП): среднее время разрыва (сек.) / Non-invasive keratograph tear breakup time (NIKBT): average breakup time (sec.)	11,44 ± 4,44 (4,97–18,93)	19,2 ± 3,1 (16,1–25,3)	<0,001
Неинвазивное время разрыва слезной пленки (НВРСП): градиент времени разрыва (% зон разрыва в секунду) / Non-invasive keratograph tear breakup time (NIKBT): breakup time gradient (% area/s)	8,3 % (3–20 %)	6,1 % (3–10 %)	<0,001
Неинвазивное время разрыва слезной пленки (НВРСП): максимальная зона разрыва слезной пленки (количество зон разрыва <10,5 сек.) / Non-invasive keratograph tear breakup time (NIKBT): maximum breakup area (count of zones <10,5 sec.)	7,5 (2–37)	4,5 (0–8)	<0,001
Мейбоскопия (выраженность потерь протоков, % / количество глаз) / Meiboscopy (severity of ductal loss % / number of eyes)	Степень 0 — 40,3/27 Степень 1 — 51,6/33 Степень 2 — 3,4/2 Степени 3, 4 — 0 Grade 0 — 40.3/27 Grade 1 — 51.6/33 Grade 2 — 3.4/2 Grades 3, 4 — 0	Степень 0 — 94,5/87 Степень 1 — 5,5/5 Степени 2–4 — 0 Grade 0 — 94.5/87 Grade 1 — 5.5/5 Grades 2–4 — 0	<0,001
Липидный слой (нм) — количество глаз (%) / Lipid layer (nm) — number of eyes (%)	~90–140 — 24 (40) ~50–80 — 32 (53) ~30–50 — 4 (6,6) ~13–15 — 0	~90–140 — 71 (77,2) ~50–80 — 21 (22,8) ~30–50 — 0 ~13–15 — 0	

Таблица 5. Корреляционный анализ между показателями состояния глазной поверхности и параметрами волнового фронта
Table 5. Correlation analysis between ocular surface condition parameters and wavefront parameters

Параметры / Parameters	Опросник: симптомы синдрома сухого глаза / Questionnaire: symptoms of dry eye syndrome	Неинвазивное время разрыва слезной пленки (НВРСП) / Non-invasive tear film rupture time
Общие роговичные aberrации / Common corneal aberrations	r = 0,542 P < 0,001	r = -0,063 P < 0,001
Роговичные aberrации высшего порядка / Higher order corneal aberrations	r = 0,420 P = 0,001	r = -0,206 P = 0,001
Роговичные aberrации: кома / Corneal aberrations: coma	r = 0,612 P < 0,001	r = -0,261 P < 0,001
Роговичные aberrации: трейлойд / Corneal aberrations: trefoil	r = 0,550 P < 0,001	r = -0,185 P < 0,001
Роговичные сферические aberrации / Corneal spherical aberrations	r = 0,530 P < 0,001	r = -0,039 P < 0,001

Корреляционный анализ между показателями состояния глазной поверхности и параметрами волнового фронта в группе детей с нарушением состояния глазной поверхности показал, что более высокому уровню роговичных аберраций соответствует большее количество баллов по опроснику «Состояние глазной поверхности», установлена положительная корреляционная связь между этими параметрами. При сравнении суммы баллов по опроснику и данных неинвазивного времени разрыва слезной пленки была установлена отрицательная корреляционная связь, а это означает, что при большем количестве баллов по опроснику, а следовательно, при более значительной степени выраженности нарушений состояния глазной поверхности время разрыва слезной пленки было меньше.

ВЫВОДЫ

1. Структура волнового фронта у детей с признаками нарушения состояния глазной поверхности на фоне КЗС и цифрового зрительного напряжения достоверно отличается от структуры волнового фронта у детей, не имеющих симптомов нарушения состояния глазной поверхности.

2. Сравнение параметров волнового фронта в исследуемых группах показало более высокие показатели общих роговичных аберраций, роговичных аберраций высшего порядка (комы, трейлоа, сферических аберраций) в группе с симптомами нарушения состояния глазной поверхности.

3. Выявлена положительная корреляционная связь между более высокими показателями роговичных абер-

раций и выраженностью субъективных симптомов нарушения состояния глазной поверхности у детей с длительным использованием гаджетов и состоянием цифрового напряжения глаз.

4. Выявлена отрицательная корреляционная связь между параметрами состояния волнового фронта и показателями стабильности слезной пленки у детей с миопией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленная в результате проведенного исследования взаимосвязь параметров стабильности слезной пленки, толщины ее липидного слоя и состояния протоков МЖ со степенью выраженности субъективных жалоб доказывает актуальность проведения расширенного детального опроса и сбора анамнеза у детей, в том числе с помощью современных удобных к заполнению онлайн-опросников. Изучение структуры волнового фронта у детей с нарушениями состояния глазной поверхности, связанными с КЗС, цифровым напряжением или синдромом сухого глаза, является актуальным в плане подбора средств оптической коррекции миопии, а также для дальнейшего динамического наблюдения, в том числе после проведенной консервативной терапии или аппаратного лечения.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Плисов И.Л. — редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации;

Наумова Е.М. — концепция и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, написание текста;

Смолева А.И. — сбор материала, статистическая обработка данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 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. Epub 2016 Feb 11. PMID: 26875007.
- Проскурина О.В., Маркова Е.Ю., Бржеский В.В., Ефимова Е.Л., Ефимова М.Н., Хватова Н.В., Слышалова Н.Н., Егорова А.В. Распространенность миопии у школьников некоторых регионов России. *Офтальмология*. 2018;15(3):348–353. doi: 10.18008/1816-5095-2018-3-348-353.
- Proskurina OV, Markova EYu, Brzheshkiy VV, Efimova EL, Efimova MN, Chvatova NN, Slyshalova NN, Egorova AV. The Prevalence of Myopia in Schoolchildren in Some Regions of Russia. *Ophthalmology in Russia*. 2018;15(3):348–353 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2018-3-348-353.
- Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Ибатулин Р.А., Ковычев А.С. Предикторы миопии как отправная точка для начала активных мер по предупреждению ее развития. *Российский офтальмологический журнал*. 2018;11(3):107–112.
- Tarutta EP, Proskurina OV, Tarasova NA, Ibatulin RA, Kovychev AS. Myopia predictors as a starting point for active prevention of myopia development. *Russian Ophthalmological Journal*. 2018;11(3):107–112 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-3-107-112.
- Wong CW, Tsai A, Jonas JB, Ohno-Matsui K, Chen J, Ang M, Ting DSW. Digital Screen Time During the COVID-19 Pandemic: Risk for a Further Myopia Boom? *Am J Ophthalmol*. 2021 Mar;223:333–337. doi: 10.1016/j.ajo.2020.07.034.
- Маркова Е.Ю., Исабеков Р.С., Венедиктова Л.В. Прогрессирование миопии у детей школьного возраста после домашнего карантина в связи с COVID-19. *Офтальмология*. 2021;18(4):922–925.
- Markova EYu, Isabekov RS, Venediktova LV. The Myopia Progression in School-Age Children after Home Quarantine Due to COVID-19. *Ophthalmology in Russia*. 2021;18(4):922–925 (In Russ.). doi: 10.18008/1816-5095-2021-4-922-925.
- Wolffsohn JS, Lingham G, Downie LE, Huntjens B, Inomata T, Jivraj S, Kobias-Acquah E, Muntz A, Mohamed-Noriega K, Plainis S, Read M, Sayegh RR, Singh S, Utheim TP, Craig JP. TFOS Lifestyle: Impact of the digital environment on the ocular surface. *Ocul Surf*. 2023 Apr;28:213–252. doi: 10.1016/j.jtos.2023.04.004.
- Овечкин И.Г., Коновалов М.Е., Лексун О.Г., Ковригина Е.И., Юдин В.Е. Основные субъективные проявления компьютерного зрительного синдрома. *Российский офтальмологический журнал*. 2021;14(3):83–87.
- Ovechkin IG, Konovalov ME, Leksunov OG, Kovrigina EI, Yudin VE. The main subjective manifestations of computer vision syndrome. *Russian Ophthalmological Journal*. 2021;14(3):83–87 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2021-14-3-83-87.
- Jaiswal S, Asper L, Long J, Lee A, Harrison K, Golebiowski B. Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. *Clin Exp Optom*. 2019 Sep;102(5):463–477. doi: 10.1111/cxo.12851.
- Ефимова Е.Л., Бржеский В.В., Александрова А.С. Характеристика зрительных расстройств при использовании электронных учебников и возможности их коррекции. *Российский офтальмологический журнал*. 2015;8(2):27–33.
- Efimova EL, Brzheshkiy VV, Alexandrova AS. Characteristics of visual disorders when using electronic textbooks and the possibility of their correction. *Russian Ophthalmological Journal*. 2015;(2):27–33 (In Russ.).
- Muntz A, Turnbull PR, Kim AD, Gokul A, Wong D, Tsay TS, Zhao K, Zhang S, Kingsnorth A, Wolffsohn JS, Craig JP. Extended screen time and dry eye in youth. *Cont Lens Anterior Eye*. 2022 Oct;45(5):101541. doi: 10.1016/j.clae.2021.101541.
- Wallin JA, Jacobsen JL, Jacobsen SD. A preliminary study of the effects of computer glasses on reported VDT user symptoms: a field study. *Journal of Safety Research*. 1994;25(2):67–76.
- Предигер В.М. Особенности аккомодационного ответа у школьников с различной клинической рефракцией. *Глаз*. 2013;4:8–11.
- Prediger VM. Features of the accommodative reaction in schoolchildren with different clinical refraction. *Eye*. 2013;4:8–11 (In Russ.).
- Ziemschen F, Freudenthaler N, Regnery K, Schlote T. Lidschlagaktivität während der Bildschirmarbeit. Teil 1: Okuläre Beschwerden und pathophysiologische Grundlagen [Blinking activity during visual display terminal work. Part 1: Ocular discomfort and pathophysiological principles]. *Ophthalmologie*. 2005 Aug;102(8):805–811. German. doi: 10.1007/s00347-004-1071-8.
- Zhao H, Wu SN, Cheng Z, Xiao D, Shu HY, Ge QM, Tian T, Shao Y. Mean Tear-Film Lipid Layer Thickness and Video Display Terminal Time as Risk Factors for Abnormal Blinking in Children. *Front Med (Lausanne)*. 2021 Dec 6;8:785901. doi: 10.3389/fmed.2021.785901.
- Chan C. Dry Eye: A Practical Approach, edition:1. Berlin: Springer Verlag; 2015: 1–19. doi: 10.1007/978-3-662-44106-0.

16. Schwartz L, Guais A, Pooya M, Abolhassani M. Is inflammation a consequence of extracellular hyperosmolarity? *J Inflamm (Lond)*. 2009 Jun 23;6:21. doi: 10.1186/1476-9255-6-21.
17. Полунин Г.С., Сафонова Т.Н., Полунина Е.Г. Особенности клинического течения различных форм синдрома сухого глаза — основа для разработки адекватных методов лечения. *Вестник офтальмологии*. 2006;102(5):17–20.
Polunin GS, Safonova TN, Polunina EG. Features of clinical course of various forms of dry eye syndrome — the basis for the development of adequate methods of treatment. *Annals of Ophthalmology*. 2006;102(5):17–20 (In Russ).
18. Плисов И.Л., Наумова Е.М. Состояние системы глазной поверхности у детей с аномалиями рефракции. *Российская детская офтальмология*. 2023;2:22–32. doi: 10.25276/2307-6658-2023-2-22-32.
Plisov IL, Naumova EM. Condition of the ocular surface system in children with refractive errors. *Russian ophthalmology of children*. 2023;2:22–32. doi: 10.25276/2307-6658-2023-2-22-32.
19. Lu N, Lin F, Huang Z, He Q, Han W. Changes of Corneal Wavefront Aberrations in Dry Eye Patients after Treatment with Artificial Lubricant Drops. *J Ophthalmol*. 2016;2016:1342056. doi: 10.1155/2016/1342056. Epub 2016 Mar 14.
20. Koh S. Irregular Astigmatism and Higher-Order Aberrations in Eyes With Dry Eye Disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2018 Nov 1;59(14):DES36–DES40. doi: 10.1167/iops.17-23500.
21. Liu RJ, Ma BK, Gao YF, Liu YY, Qi H. Evaluations of wavefront aberrations and corneal surface regularity in dry eye patients measured with OPD Scan III. *Int J Ophthalmol*. 2022 Mar 18;15(3):407–412. doi: 10.18240/ijo.2022.03.06.
22. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013 Nov 27;310(20):2191–2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053.
23. Guillon JP, Guillon M. The role of tears in contact lens performance and its measurement. *Contact Lens Practice*. London: Chapman & Hall; 1994:452–483.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Новосибирский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Плисов Игорь Леонидович

доктор медицинских наук, врач-офтальмохирург, заведующий 3-м офтальмологическим отделением

ул. Колхидская, 10, Новосибирск, 630096, Российская Федерация

<https://orcid.org/0000-0001-5120-8360>

Екатеринбургский центр «МНТК «Микрохирургия глаза»

Наумова Екатерина Михайловна

врач-офтальмолог, заведующая отделением охраны детского зрения № 1, руководитель учебного центра

ул. Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация

<https://orcid.org/0000-0001-8022-0553>

Екатеринбургский центр «МНТК «Микрохирургия глаза»

Смолева Александра Игоревна

врач-ординатор

ул. Бардина, 4а, Екатеринбург, 620149, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Novosibirsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery

Federal State Institution,

Plisov Igor L.

MD, ophthalmic surgeon, head of the 3rd Ophthalmological Department

Kolkhidskaya str., 10, Novosibirsk, 630096, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0001-5120-8360>

Eye Microsurgery Center

Naumova Ekaterina M.

ophthalmologist, head of the Department of Pediatric Ophthalmology;

Head of the Education Center

Bardina str., 4A, Ekaterinburg, 620149, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0001-8022-0553>

Eye Microsurgery Center

Smoleva Alexandra I.

resident

Bardina str., 4A, Ekaterinburg, 620149, Russian Federation