

ОФТАЛЬМОЛОГИЯ OPHTHALMOLOGY

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА В ДИАГНОСТИКЕ СИНДРОМА «СУХОГО ГЛАЗА»

Таскина Е.С.,
Соловьёва А.А.,
Мудров В.А.,
Харинцева С.В.

ФГБОУ ВО «Читинская государственная
медицинская академия» Минздрава
России (672000, г. Чита, ул. Горького, 39а,
Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Таскина Елизавета Сергеевна,
e-mail: taskins@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Распространённость синдрома «сухого глаза» варьирует от 6,5 до 95 %. Диагностические критерии основываются на разных методах и/или их сочетаниях и характеризуются неоднородностью.

Цель исследования. Выявление факторов риска развития синдрома «сухого глаза» для создания технологии ранней диагностики степени данного заболевания у лиц молодого возраста без сопутствующей глазной и общей соматической патологии.

Материалы и методы. Обследовано 50 пациентов в возрасте 24 [22; 27] лет. Проведено офтальмологическое обследование, включающее авторефрактометрию, визометрию, биомикроскопию, проведение пробы Норна, анкетирование по авторскому опроснику и оценку степени синдрома «сухого глаза» по тесту Ocular Surface Disease Index (OSDI). Сформировано три группы исследования: группа контроля (OSDI = 0–13 баллов); первая группа – пациенты, имеющие OSDI = 14–22 балла; вторая группа – пациенты, имеющие OSDI > 22 баллов.

Результаты. При изучении представленных независимых переменных наибольшую нормализованную важность имеет значение экранного времени (100 %), далее следуют время разрыва слёзной плёнки (58,4 %), курение (24,3 %), ночные смены (22,5 %) и ношение мягких контактных линз (11,1 %). Технология ранней диагностики степени синдрома «сухого глаза» реализована на базе многослойного персептрона, процент неверных предсказаний в процессе обучения которого составил 8,0 %. Структура обучаемой нейронной сети включала 8 входных нейронов (значение экранного времени и времени разрыва слёзной плёнки, наличие или отсутствие факта курения, ночные смены и/или использование мягких контактных линз), два скрытых слоя, содержащих 3 и 2 единицы соответственно, и 3 выходных нейрона.

Заключение. Предложенная нейросеть не испытывает затруднений в оценке ранней диагностики тяжести синдрома «сухого глаза» и может быть использована в клинической практике.

Ключевые слова: синдром «сухого глаза», время разрыва слёзной плёнки, экранное время, OSDI, факторы риска, технология диагностики, нейросетевой анализ

Статья поступила: 22.06.2023

Статья принята: 01.03.2024

Статья опубликована: 31.05.2024

Для цитирования: Таскина Е.С., Соловьёва А.А., Мудров В.А., Харинцева С.В. Возможности применения нейросетевого анализа в диагностике синдрома «сухого глаза». *Acta biomedica scientifica*. 2024; 9(2): 161–171. doi: 10.29413/ABS.2024-9.2.16

POSSIBILITIES OF USING NEURAL NETWORK ANALYSIS IN THE DIAGNOSIS OF DRY EYE SYNDROME

Taskina E.S.,
Solovyova A.A.,
Mudrov V.A.,
Kharintseva S.V.

Chita State Medical Academy
(Gorkiy str., 39a, Chita, 672000,
Russian Federation)

Corresponding author:
Elizaveta S. Taskina,
e-mail: taskins@yandex.ru

ABSTRACT

The prevalence rate of dry eye syndrome varies from 6.5 to 95 %. Diagnostic criteria are based on different methods and/or their combinations and are characterized by heterogeneity.

The aim of the study. To identify the risk factors for the development of dry eye syndrome in order to create a technology for early diagnosis of the degree of the disease in young people without concomitant ocular and general somatic pathology.

Materials and methods. Fifty patients aged 24 [22; 27] years were examined. We carried out an ophthalmological examination, including autorefractometry, visometry, biomicroscopy, the Norn test, a survey using the author's questionnaire, and an assessment of the degree of dry eye syndrome using the Ocular Surface Disease Index (OSDI). Three study groups were formed: control group (OSDI = 0–13 points); group 1 – patients with OSDI = 14–22 points; group 2 – patients with OSDI > 22 points.

Results. When examining presented independent variables, screen time had the highest normalized importance (100 %), followed by tear film breakup time (58.4 %), smoking (24.3 %), night shifts (22.5 %) and using soft contact lenses (11.1 %). The technology for early diagnosis of the degree of dry eye syndrome is implemented on the basis of a multilayer perceptron, the percentage of incorrect predictions during its training process was 8.0 %. The structure of the trained neural network included 8 input neurons (the value of screen time and tear film breakup time, the presence or absence of smoking, night shifts and/or the use of soft contact lenses), two hidden layers containing 3 and 2 units, respectively, and 3 output neurons.

Conclusion. The proposed neural network has no difficulties in assessing the early diagnosis of the severity of dry eye syndrome and can be used in clinical practice.

Key words: dry eye syndrome, tear film breakup time, screen time, OSDI, risk factors, diagnostic technology, neural network analysis

Received: 22.06.2023
Accepted: 01.03.2024
Published: 31.05.2024

For citation: Taskina E.S., Solovyova A.A., Mudrov V.A., Kharintseva S.V. Possibilities of using neural network analysis in the diagnosis of dry eye syndrome. *Acta biomedica scientifica*. 2024; 9(2): 161-171. doi: 10.29413/ABS.2024-9.2.16

АКТУАЛЬНОСТЬ

Под термином синдром «сухого глаза» (ССГ) (сухой кератоконъюнктивит), согласно Рекомендациям Международной рабочей группы по исследованию ССГ DEWS-II (2017), понимают многофакторное заболевание глазной поверхности, характеризующееся потерей гомеостаза слёзной плёнки и сопровождающееся глазными симптомами на фоне нестабильности слёзной плёнки, гиперосмолярности, воспаления, повреждения тканей глазной поверхности и нейросенсорных нарушений. Отмечается значительное влияние данного синдрома на зрительные функции, психологическое и физическое состояние пациентов, что приводит к ухудшению качества жизни и несёт значительные экономические потери из-за снижения производительности труда [1].

Согласно данным проведённого метаанализа, распространённость ССГ в мире варьирует от 6,5 до 95 %. Более того, этот показатель каждый год только увеличивается, и за последние 30 лет данный синдром стал встречаться в 4,5 раза чаще [2].

Проблема развития ССГ актуальна в любом возрасте [3]. В исследовании А.Д. Чупрова и соавт. показано, что данный синдром диагностирован у 50 % здоровых детей и у 94% использующих различные типы оптической коррекции [4]. По результатам исследования Д.А. Останиной и соавт., 25 % обследованных студентов в возрасте $23,3 \pm 0,7$ года имели субклинические значения проб Ширмера и Норна, при этом фактическая распространённость ССГ составила 90 % [5]. В пожилом и старческом возрасте отмечается тенденция к увеличению частоты ССГ, зачастую ассоциированного с возрастными заболеваниями дистрофического характера и офтальмологическими хирургическими вмешательствами [6, 7].

Этот синдром всё чаще встречается у молодых людей в связи с широким использованием электронных устройств (цифровизация образовательного процесса, социальные сети, компьютерные игры и т. д.), совершенствованием средств контактной коррекции зрения и кераторефракционных хирургических вмешательств, регулярным применением лекарственных препаратов (комбинированных оральных контрацептивов, антидепрессантов, антигистаминных препаратов, анксиолитиков и т. д.), ростом системных заболеваний (заболевания щитовидной железы, сахарный диабет, гиповитаминоз А и т. д.), а также патологии со стороны переднего отрезка глаза (дисфункция мейбомиевых желез, блефарит, мейбомииит, конъюнктивит, кератит) [8–10]. К наиболее доказанным демографическим факторам риска ССГ относят возраст пациентов, азиатскую расу, а также женский пол. Также влияние оказывают неблагоприятные факторы окружающей среды (сухой климат, кондиционируемый воздух, ветер, дым, пыль, высокая температура, низкая влажность и т. д.), наличие вредных привычек (курение, злоупотребление алкоголем) [11]. Нуждается в дальнейшем изучении распространённость ССГ в разных популяциях с оценкой потенциальных факторов риска [2].

При развитии ССГ одними из первых появляются субъективные симптомы заболевания. К ним относят-

ся жалобы на жжение, зуд, ощущение песка, инородного тела, светобоязнь, боль, трудности с самопроизвольным открытием глаз по утрам, снижение чёткости и ухудшение зрения. Объективные же признаки ксероза, как правило, слабо выражены и нередко не замечаются офтальмологом при осмотре. Вместе с тем некоторые такие симптомы довольно характерны для ксеротического процесса, их следует непременно учитывать при дифференциальной диагностике ССГ от схожих с ним воспалительных заболеваний конъюнктивы [12, 13].

Критерии установления диагноза ССГ и степени его тяжести вариabельны и основываются на комплексе разных методов обследования и их сочетаниях, включающих проведение опросов и анкетирования (социологический опрос, тест OSDI (Ocular Surface Disease Index, индекс патологии глазной поверхности), анонимное анкетирование), офтальмологических обследований (биомикроскопия конъюнктивальных складок LIPCOF (lid-parallel conjunctival fold, параллельная веку конъюнктивальная складка), проба Норна, тест Ширмера 1 и 2, интерферометрия слёзной плёнки, определение осмолярности слёзной плёнки, InflammDry тест (тест на определение наличия воспаления с определением концентрации матриксная металлопротеиназа-9 (MMP-9, matrix metalloproteinase-9), мейбография [14–16]. Также для диагностики ССГ некоторые авторы использовали такие нестандартные методы, как эстезиометрию, генетические исследования, импрессионную цитологию, лазерную доплеровскую флоуметрию, лазерную сканирующую конфокальную микроскопию, терагерцовую рефлектометрию [15, 16]. Подобная вариabельность диагностических подходов создаёт трудности в сопоставлении полученных результатов и объясняет значительный разброс в распространённости заболеваемости ССГ [3]. Более того, многие методы диагностики недоступны для широкого применения в рутинной клинической практике.

Важно понимать, что ССГ приводит не только к появлению дискомфорта в глазах, но также снижает работоспособность и резко ухудшает качество жизни пациентов; более того, он способствует развитию вторичных заболеваний глаз. Поэтому необходимо оценивать факторы риска развития данной патологии и проводить комплексы лечебно-профилактических мероприятий на самых ранних этапах.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявить некоторые факторы риска развития синдром «сухого глаза» и создать технологию ранней диагностики степени синдром «сухого глаза» у лиц молодого возраста без сопутствующей глазной и общей соматической патологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели обследовано 50 пациентов (студенты 5-го и 6-го курсов ФГБОУ ВО

«Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России) в возрасте 24 [22; 27] лет. Из них 36 % (18/50) мужчин и 64 % (32/50) женщин. Всем пациентам проведено офтальмологическое обследование, включающее авторефрактометрию, визометрию, биомикроскопию, проведение пробы Норна [17] (оценка времени разрыва слёзной плёнки (ВРСП) путём окрашивания глазной поверхности тест-полосками с флюоресцеином). Кроме офтальмологического обследования, производили анкетирование по опроснику и оценку степени ССГ по тесту OSDI [18], который включает 12 вопросов (3 блока А–С), из которых блок А (вопросы 1–5) направлен на выявление субъективных жалоб, блок В (вопросы 6–9) оценивает субъективное снижение зрения, а блок С (вопросы 10–12) выявляет наличие зрительного дискомфорта при различных условиях. Для ответа пациент должен указать один из предложенных вариантов к каждому вопросу. Оценку результатов теста OSDI проводят при суммировании полученных баллов: норма (от 0 до 13 баллов), ССГ лёгкой или умеренной степени (от 14 до 22 баллов), ССГ высокой или тяжёлой степени (более 22 баллов).

Исследования у всех пациентов выполнены с их согласия и соответствовали этическим принципам, предъявляемым Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki, 2000). Исследование одобрено на заседании локального этического комитета при ФГБОУ ВО ЧГМА Минздрава России (протокол № 81 от 28.10.2016).

Офтальмологическое обследование проводилось в отделении офтальмологии клинко-диагностического подразделения диагностической поликлиники клинической ФГБОУ ВО ЧГМА Минздрава России. В исследование включались пациенты старше 18 лет. Критериями исключения из исследования стали: воспалительные заболевания переднего отрезка глаза (мейбомит, конъюнктивит, кератит, блефарит); приём лекарственных препаратов (оральные контрацептивы, антидепрессанты, анксиолитики, антихолинергические средства, диуретики, бета-адреноблокаторы); инфекционные заболевания (туберкулёз, ВИЧ-инфекция, вирусные гепатиты, острые респираторные вирусные инфекции, грипп); системные аутоиммунные заболевания (системная красная волчанка, склеродермия, дерматомиозит, ревматоидный артрит, узелковый периартрит, болезнь Бехтерева); сахарный диабет; онкологические заболевания; тяжёлая соматическая патология, препятствующая проведению исследования; беременность и лактация.

Перед началом анализа вариационные ряды тестировали на нормальность при помощи W-критерия Шапиро – Уилка. Поскольку в исследуемых группах признаки имели распределение, отличное от нормального, для каждого показателя вычисляли медиану, нижний и верхний квартили (Me [Q25; Q75]). Для сравнения независимых групп по одному количественному признаку использовался H-критерий Краскела – Уоллиса; при наличии статистической значимости различий проводили попарное сравнение с помощью U-критерия Ман-

на – Уитни с учётом поправки Бонферрони ($p < 0,0125$). Для оценки характера и силы корреляционных взаимосвязей между показателями рассчитывали r -коэффициент корреляции Спирмена. Силу связи между исследуемыми параметрами определяли по шкале Чеддока. Показатели анализировали при помощи критерия хи-квадрат (χ^2) с поправкой на правдоподобие. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Для оценки силы связи между фактором риска и исходом использовался V-критерий Крамера. Учитывая проспективный анализ результативных и факторных признаков, оценка статистической значимости различий проводилась за счёт определения относительного риска прогрессии ССГ. Статистическая значимость оценивалась исходя из значений 95%-го доверительного интервала (95% ДИ). Статистически значимые параметры включены в базу данных, которая легла в основу обучения многослойного перцептрона. Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась с помощью пакета программ IBM SPSS Statistics version 25.0 (IBM Corp., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки факторов риска сформированы три группы исследования: контрольная группа (OSDI = 0–13 баллов); первая группа – пациенты, имеющие OSDI = 14–22 балла, что соответствует лёгкой или умеренной степени ССГ; вторая группа – пациенты, имеющие OSDI > 22 баллов, что соответствует высокой или тяжёлой степени ССГ (табл. 1). Возраст лиц в группах исследования был сопоставим ($p > 0,05$).

Значение экранного времени (ЭВ) в контрольной группе было ниже, чем в первой, в 1,67 [1,42; 1,86] раза ($U = 26,0$; $p < 0,001$) и чем во второй – в 1,67 [1,45; 1,86] раза ($U = 25,0$; $p < 0,001$). Между тем значение ЭВ между 1-й и 2-й группами статистически значимо не различалось ($U = 89,5$; $p = 0,39$).

В контрольной группе ВРСП было длиннее в 1,87 [1,5; 1,59] раза, чем в первой ($U = 57,5$; $p < 0,001$), и длиннее в 2,57 [2,14; 1,97] раза, чем во второй ($U = 19,5$; $p < 0,001$). При этом ВРСП в первой группе было в 1,42 [1,42; 1,25] раза длиннее, чем во второй ($U = 52,0$; $p < 0,001$).

В ходе исследования выявлена прямая высокая по силе связь между баллами OSDI и ЭВ ($r = 0,73$; $p < 0,001$) (рис. 1).

Частота встречаемости пациентов с ССГ различной степени и ЭВ ≥ 8 ч составила 50 % (25/50) ($\chi^2 = 17,01$; $p < 0,001$). Относительный риск развития ССГ при значении ЭВ ≥ 8 ч составило 3,33 (95% ДИ: 1,53–7,24).

Также отмечена обратная высокая по силе связь между баллами OSDI и ВРСП ($r = -0,73$; $p < 0,001$) (рис. 2).

Частота встречаемости студентов с ССГ различной степени и ВРСП ≤ 10 с составила 30,7 % (16/50) ($\chi^2 = 9,07$; $p = 0,026$). Относительный риск развития ССГ при значении ВРСП ≤ 10 с составило 1,82 (95% ДИ: 1,28–2,59).

В ходе корреляционного анализа было установлено наличие обратной заметной связи между ВРСП и ЭВ ($r = -0,69$; $p < 0,001$) (рис. 3).

ТАБЛИЦА 1
ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ РАЗЛИЧИЙ
ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИССЛЕДУЕМЫХ
ГРУППАХ, МЕ [Q25; Q75]

TABLE 1
ASSESSMENT OF THE STATISTICAL SIGNIFICANCE
OF PARAMETERS DIFFERENCES IN THE STUDY GROUPS,
ME [Q25; Q75]

Параметры		Контрольная группа (n = 20)	Клиническая группа (n = 30)		Тестовая статистика
			1-я группа (n = 17)	2-я группа (n = 13)	
Возраст, лет		24,0 [23,9; 24,6]	24,0 [23,6; 24,1]	24,0 [23,7; 24,1]	H = 0,84 df = 2 p = 0,06
Экранное время, ч		6,0 [5,6; 6,7]	10,0 [4,5; 10,4]	10,0 [9,7; 10,4]	H = 25,32 df = 2 p < 0,001
OSDI, баллы		8,0 [6,8; 8,4]	15,0 [14,8; 16,4]	24,0 [22,0; 24,1]	H = 41,39 df = 2 p < 0,001
Время разрыва слёзной плёнки, с		18,0 [15,0; 18,0]	10,0 [10,0; 11,3]	7,0 [7,0; 9,1]	H = 23,02 df = 2 p < 0,001
Мужской пол, %		25,0 % (5/20)	41,2 % (7/17)	46,2 % (6/13)	$\chi^2 = 1,87$ df = 2 p = 0,39
Тип рефракции	Миопия	30,0 % (6/20)	35,3 % (6/17)	30,8 % (4/13)	$\chi^2 = 0,13$ df = 2 p = 0,94
	Эмметропия	70,0 % (14/20)	64,7 % (11/17)	69,2 % (9/13)	
Очковая коррекция		35 % (7/20)	41,2 % (7/17)	53,8 % (7/13)	$\chi^2 = 1,15$ df = 2 p = 0,56
Мягкие контактные линзы		10 % (2/20)	41,2 % (7/17)	30,8 % (4/13)	$\chi^2 = 5,22$ df = 2 p = 0,07
Увлажняющие капли		25 % (5/20)	70,6 % (12/17)	69,2 % (9/13)	$\chi^2 = 9,74$ df = 2 p = 0,007
Ночные смены		40 % (8/20)	58 % (10/17)	84,6 % (11/13)	$\chi^2 = 6,91$ df = 2 p = 0,043
Курение		5 % (1/20)	35,3 % (6/17)	61,5 % (8/13)	$\chi^2 = 13,75$ df = 2 p < 0,001

Частота встречаемости пациентов с ВРСП ≤ 10 с и значением ЭВ ≥ 8 ч составила 40 % (20/50) ($\chi^2 = 6,17$; $p = 0,013$). Относительный риск снижения ВРСП ≤ 10 с при значении ЭВ ≥ 8 ч составил 1,66 (95% ДИ: 1,09–2,54).

В контрольной группе только 10 % (2/20) студентов использовали мягкие контактные линзы (МКЛ), в то время как в первой и во второй группах число таких пациентов было выше и составило 41,2 % (7/17) и 30,8 % (4/13) соответственно. Между тем в ходе сравнения не были определены статистически значимые различия исследуемых групп, вероятно, вследствие их низкой численности ($\chi^2 = 5,22$; $df = 2$; $p = 0,07$). Также не выявлены статистически значимые связи между степенью ССГ по OSDI и ношением МКЛ ($p > 0,05$).

В ходе исследования отмечено, что 25 % (5/20) студентов контрольной группы использовали увлажняющие капли, а в первой и во второй группах число лиц, у которых была необходимость в закапывании увлажняющих капель, составило 70,6 % (12/17) и 69,2 % (9/13) соответственно ($\chi^2 = 9,74$; $df = 2$; $p = 0,007$). Отмечена заметная связь между необходимостью в закапывании увлажняющих капель и ношением МКЛ (критерий Крамера $V = 0,54$; $p < 0,001$).

В ходе исследования отмечено, что 25 % (5/20) студентов контрольной группы использовали увлажняющие капли, а в первой и во второй группах число лиц, у которых была необходимость в закапывании увлажняющих капель, составило 70,6 % (12/17) и 69,2 % (9/13) соответственно ($\chi^2 = 9,74$; $df = 2$; $p = 0,007$). Отмечена заметная связь между необходимостью в закапывании увлажняющих капель и ношением МКЛ (критерий Крамера $V = 0,54$; $p < 0,001$).

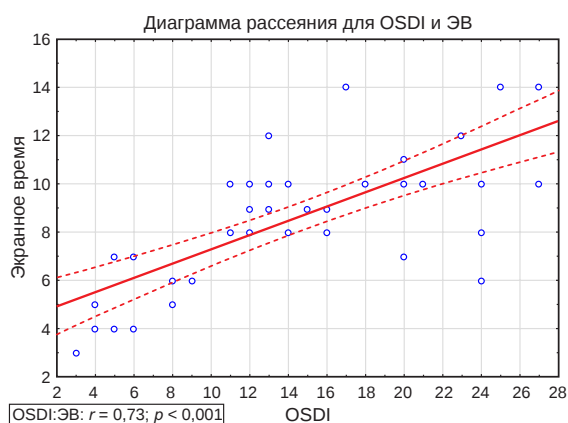


РИС. 1.

Диаграмма рассеяния для экранного времени и OSDI в группах исследования. Здесь и далее на рисунках 2, 3: r – коэффициент корреляции Спирмена; p – статистическая значимость

FIG. 1.

Scatterplot for screen time and OSDI in study groups. Hereinafter in figures 2, 3: r – Spearman correlation coefficient; p – statistical significance

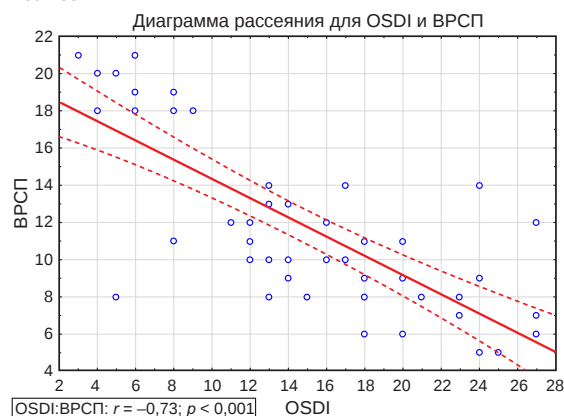


РИС. 2.

Диаграмма рассеяния для времени разрыва слёзной плёнки и OSDI в группах исследования

FIG. 2.

Scatterplot for tear film breakup time and OSDI in study groups

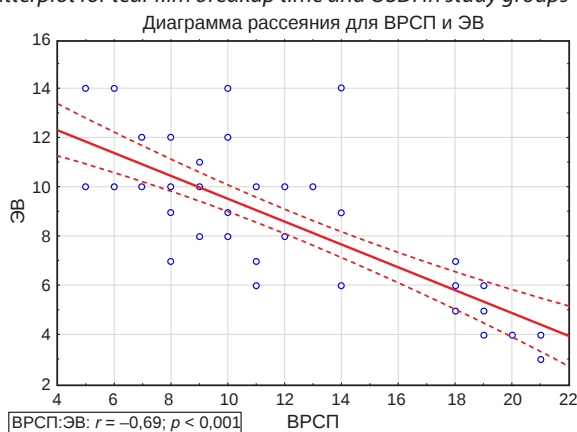


РИС. 3.

Диаграмма рассеяния для экранного времени и времени разрыва слёзной плёнки в группах исследования

FIG. 3.

Scattering diagram for screen time and tear film breakup time in study groups

Дополнительным фактором риска возникновения ССГ являются ночные дежурства. В группе контроля 40 % (8/20) пациентов имеют ночные дежурства, в первой группе дежурят 58 % (10/17), а во второй их число достигает максимальных значений и составляет 84,6 % (11/13) ($\chi^2 = 6,91$; $df = 2$; $p = 0,043$). Выявлена умеренная по силе связь между степенью ССГ по OSDI и работой в ночную смену (критерий Крамера $V = 0,36$; $p = 0,01$).

При оценке фактора курения в развитии ССГ было определено, что в контрольной группе был самый низкий процент курящих, который составил 5 % (1/20), в то время как в первой группе курящих составляет 35,3 % (6/17), а во второй группе отмечено максимальное число курящих – 61,5 % (8/13) ($\chi^2 = 13,75$; $df = 2$; $p < 0,001$). Обнаружена умеренная по силе связь между стадией ССГ по OSDI и курением (критерий Крамера $V = 0,50$; $p < 0,001$). При этом отмечено, что 18 % пациентов (9/50) имели ВРСП ≤ 10 с на фоне курения, в то время как у 52 % (26/50) лиц ВРСП было более 10 с при отсутствии курения ($\chi^2 = 5,7$; $p = 0,017$). Относительный риск снижения ВРСП ≤ 10 с на фоне курения составил 2,31 (95% ДИ: 1,20–4,45).

Технология прогнозирования степени ССГ реализована на базе многослойного персептрона, процент неверных предсказаний в процессе обучения которого составил 8,0 %. Структура обучаемой нейронной сети включала 8 входных нейронов (значения ЭВ и ВРСП, наличие или отсутствие факта курения, ночных смен и/или использования МКЛ), 2 скрытых слоя, содержащих 3 и 2 единицы соответственно, и 3 выходных нейрона (рис. 4).

В качестве функции активации в скрытом слое выступал гиперболический тангенс, в выходном слое – Softmax, в качестве функции ошибки – перекрестная энтропия. Разработанная нейросеть не испытывает затруднений в оценке степени ССГ.

Между тем обращает на себя внимание тот факт, что полученная нейронная сеть обладает высокой ценностью для диагностики степени ССГ (табл. 2).

В нормированном пространстве площадь под ROC-кривой эквивалентна вероятности, что нейронная сеть присвоит больший вес случайно выбранной положительной сущности, чем случайно выбранной отрицательной, поэтому наглядная оценка площади под соответствующими ROC-кривыми также представляет практический интерес (рис. 5) [19].

Из всех представленных параметров наибольшую нормализованную важность имеет значение ЭВ (100 %), далее следуют ВРСП (58,4 %), курение (24,3 %), ночные смены (22,5 %) и ношение МКЛ (11,1 %). Распределение независимых переменных, включённых в нейронную сеть, по важности представлено на рисунке 6.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе исследования результаты согласуются с данными М. Iqbal и соавт., которые обнаружи-

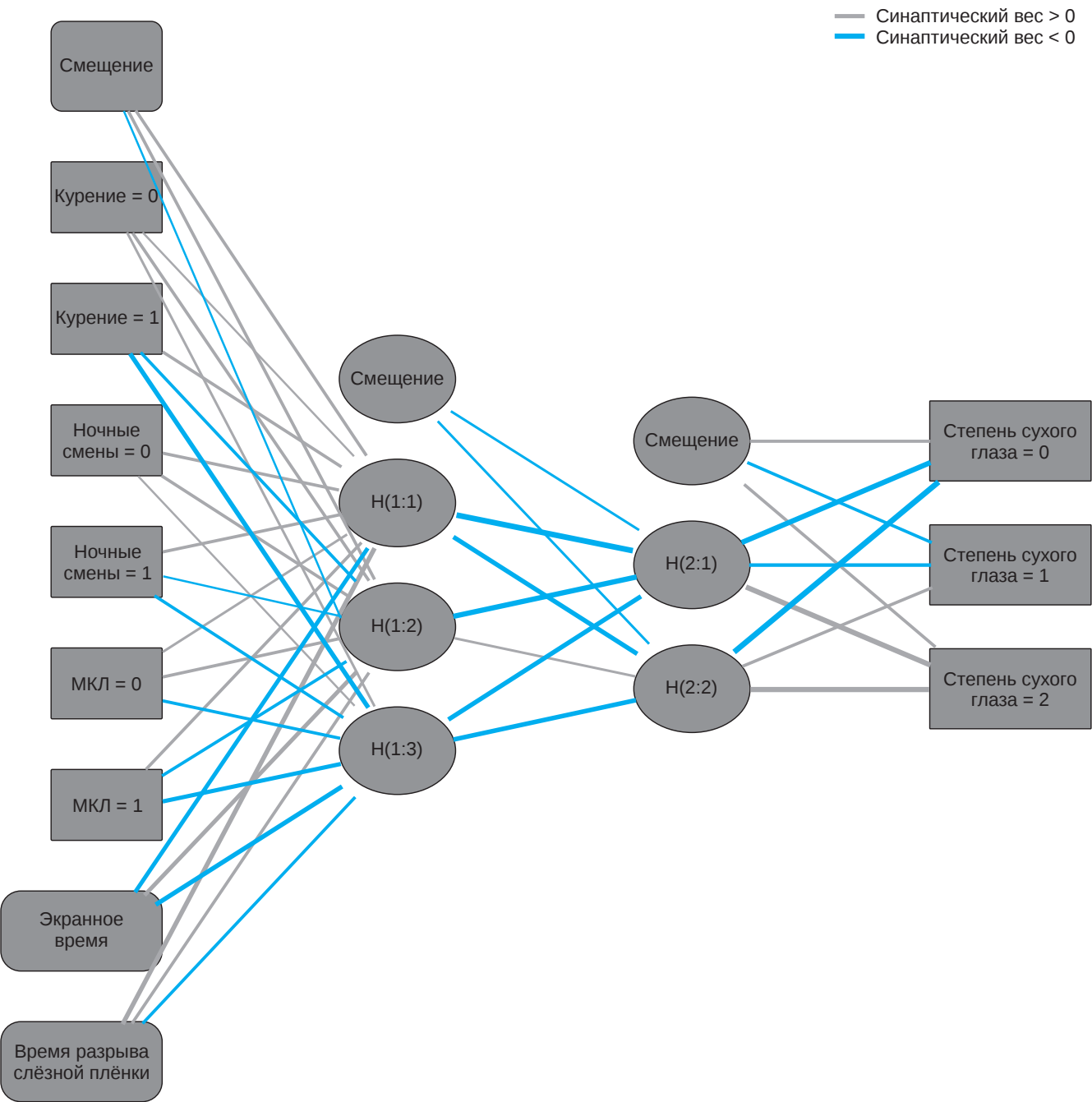


РИС. 4.
Конфигурация многослойного персептрона

FIG. 4.
Multilayer perceptron configuration

ТАБЛИЦА 2
ИНФОРМАТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИНДРОМА «СУХОГО ГЛАЗА»

TABLE 2
INFORMATION VALUE OF THE DEVELOPED FORECASTING
TECHNOLOGY FOR DRY EYE SYNDROME

Степень ССГ	AUC	Статистическая значимость	Чувствительность	Специфичность
0-я степень	0,97	$p < 0,001$	0,85	1,0
1-я степень	0,95	$p < 0,001$	1,0	0,89
2-я степень	0,98	$p < 0,001$	0,92	1,0

Примечание. AUC – площадь под кривой (area under curve)

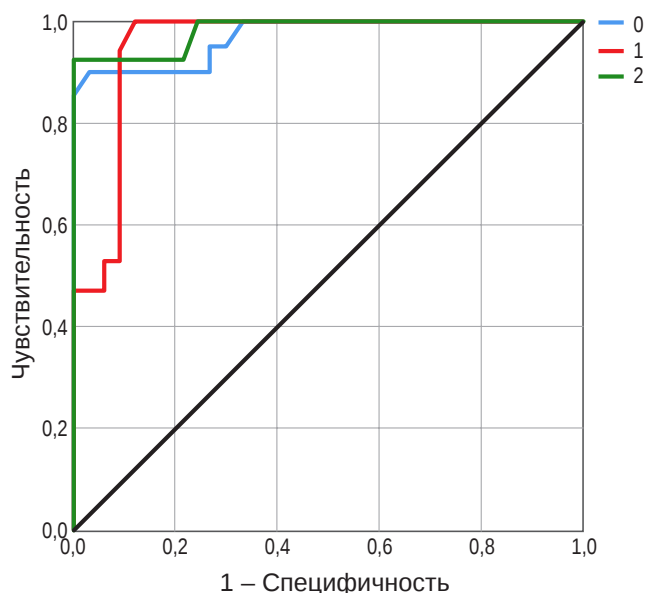
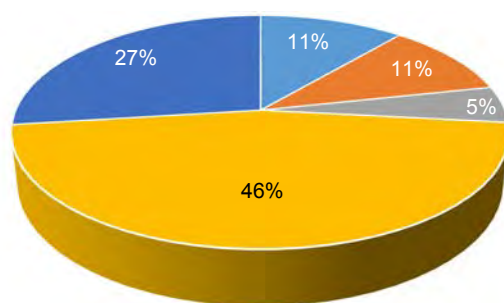


РИС. 5. Площадь под ROC-кривыми

FIG. 5. Area under the ROC curves



■ Курение
■ МКЛ
■ Время разрыва слезной пленки
■ Ночные смены
■ Экранное время

РИС. 6.

Важность независимых переменных

FIG. 6.

Importance of independent variables

ли, что увеличение ЭВ более чем на 3 часа связано с повышенным риском развития ССГ [20]. S. Munshi и соавт. также выявили, что электронные устройства были одним из факторов, предрасполагающих к развитию ССГ [21]. Проспективное исследование, проведенное N.H. Lulla и соавт. среди 271 студента-медиков при дистанционном обучении во время пандемии COVID-19, показало, что у 67 % учащихся, проводивших более 5 часов за электронными гаджетами, развился ССГ ($p < 0,001$) [22]. Длительное время перед экраном вызывает нестабильность слезной пленки из-за снижения частоты моргания, что увеличивает её испарение. Не только редкое, но и неполное моргание способствует ССГ, влияя на обновление слезной пленки и секрецию мейбомиевых желёз. Окружающая среда также играет важную роль в нестабильности слезной пленки, так как закрытое про-

странство с низкой влажностью, помещение с кондиционером изменяют липидный слой слезной пленки [23]. Воздействие синего света от смартфона перед сном влияет на качество сна и способствует развитию данного синдрома [24].

Результаты исследования Д.А. Останиной и соавт. продемонстрировали наличие обратной корреляции между выраженностью субъективных симптомов с пробой Норна ($r = -0,53$; $p < 0,05$), тем не менее, не выявлены статистически значимые корреляционные связи с полом, слезопродукцией, приёмом оральных контрацептивов и антигистаминных препаратов, а также с ношением МКЛ ($p > 0,05$) [5]. Е.Л. Ефимова и соавт. провели офтальмологическое обследование 52 пациентов в возрасте $22,3 \pm 2,7$ года с компьютерным зрительным синдромом на фоне миопии слабой и средней степени, которое включало проведение пробы Норна, теста OSDI, оценку слезного мениска, окрашивание конъюнктивы бенгальским розовым и эпителия роговицы флюоресцеином. Признаки ССГ выявлены в 76,9 % случаев [25].

У.И. Расстригой проведён опрос с использованием теста OSDI у 243 студентов для оценки наличия ССГ при различных типах оптической коррекции. При очковой коррекции данный синдром выявлен в 67 % случаев, а при контактной коррекции – в 69,6 % [26]. Схожие данные получены Н.В. Бирюковой и соавт., которые, проведя опрос с использованием теста OSDI у 38 студентов на дистанционном обучении, выявили ССГ в 73,7 % случаев [27].

Анкетирование 253 студентов, проведенное Е.А. Жуковой и соавт., продемонстрировало широкое применение контактной коррекции зрения – у 75 % опрошенных. В ходе исследования было отмечено, что длительное использование МКЛ приводило к выраженному снижению результатов теста Ширмера и повышению значений по тесту OSDI; более того, у 13 % на поверхности МКЛ обнаружен *Staphylococcus epidermidis* [28]. Аналогичные результаты получены С.Ю. Астаховым и соавт. при обследовании 30 пациентов в возрасте $25,5 \pm 3,4$ года с субклиническим ССГ, проявляющимся увеличением значения теста LIPCOF и укорочением ВРСР по пробе Норна [29].

Д.Ю. Майчук, обследовав 400 пациентов с миопией, планирующих кераторефракционное хирургическое вмешательство методом LASIK, не выявил статистически значимой взаимосвязи значений теста Ширмера/ВРСР, а также показателей окрашивания лиссаминовым зелёным/OSDI. Превалировали пациенты с лёгким/транзиторным ССГ, тяжесть которого устанавливалась на основании клинических признаков и симптомов [30].

Из-за противоречивых данных ещё не достигнут консенсус относительно влияния курения на риск ССГ. Данные проведенного метаанализа, в который включены 22 исследования с участием 160 217 человек, опубликованные в период с 2000 по 2021 г., показали, что нынешние и бывшие курильщики не имеют повышенного риска ССГ [31]. Однако при детальном анали-

зе проведённого исследования выявлены некоторые факты, которые, возможно, могли привести к некорректным выводам: включение только опубликованных статей на английском языке, неоднородная классификация статуса курения, различия исследований по методологии и дизайну. N. Mohidin и соавт., оценивая ВРСРП как показатель стабильности слёзной плёнки у некурящих и курящих, выявили значительно более низкие значения пробы Нормана у последних, что свидетельствует о нестабильности у них слёзной плёнки [32]. Прямой контакт с табачным дымом вызывает перекисное окисление липидов внешнего слоя прекарнеальной слёзной плёнки, что приводит к нарушению её стабильности с увеличением скорости испарения и способствует появлению симптомов сухости глаз. Необходимы дальнейшие исследования, выясняющие причинно-следственную связь между курением и развитием ССГ [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными факторами риска развития ССГ у молодых лиц без сопутствующей офтальмологической и общей соматической патологии являются экранное время, снижение значений пробы Нормана, курение, ночные слёзы, а также контактная коррекция зрения.

Однако в развитии ССГ зачастую может играть роль только один фактор. По результатам проведённого исследования можно заключить, что ССГ возникает вследствие комплексного воздействия повреждающего фактора на глазную поверхность. Таким образом, применение нейросетевого анализа позволяет с высокой эффективностью диагностировать не только само заболевание, но и его степень на основании доступного широкому кругу лиц клинико-анамнестического обследования по офтальмологическому профилю. В дальнейшем возможна разработка калькулятора или мобильного приложения на базе данной нейросети для удобства применения предложенной диагностической технологии.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Прозрачность финансовой деятельности

Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Jones L, Downie LE, Korb D, Benitez-Del-Castillo JM, Dana R, Deng SX, et al. TFOS DEWS II management and therapy report. *Ocul Surf*. 2017; 15(3): 575-628. doi: 10.1016/j.jtos.2017.05.006
2. Stapleton F, Alves M, Bunya VY, Jalbert I, Lekhanont K, Malet F, et al. TFOS DEWS II epidemiology report. *Ocul Surf*. 2017; 15(3): 334-365. doi: 10.1016/j.jtos.2017.05.003
3. Онуфрийчук О.Н., Куроедов А.В. Распространенность синдрома «сухого глаза» в России. *Клиническая офтальмология*. 2021; 21(2): 96-102. [Onufriichuk ON, Kuroedov AV. Prevalence of dry eye disease in Russia. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2021; 21(2): 96-102. (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2021-21-2-96-102
4. Чупров А.Д., Воронина А.Е., Петросян Э.А. Профилактика снижения зрения школьников младшего возраста. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2018; 4(216): 95-100. [Chuprov AD, Voronina AE, Petrosyan EA. Primary school age: Prevention of visual deterioration. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2018; 4(216): 95-100. (In Russ.)]. doi: 10.25198/1814-6457-216-95
5. Останина Д.А., Коробинцева К.Н. Распространенность синдрома «сухого глаза» среди лиц молодого возраста. *Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области*. 2018; 1(1): 38-41. [Ostanina DA, Korobintseva KN. Prevalence of dry eye syndrome among young persons. *Bulletin of the Council of Young Scientists and Specialists of the Chelyabinsk Region*. 2018; 1(1): 38-41. (In Russ.)]
6. Швайликова И.Е., Беликова Е.И. Оценка состояния глазной поверхности и пациентов с отягощенным общесоматическим анамнезом. Ранняя диагностика, способы лечения и профилактики. *Офтальмохирургия*. 2020; 4: 56-62. [Shvailikova IE, Belikova EI. Evaluation of the condition of the eye surface in patients with burdened general somatic history. Early diagnosis, treatment and prevention methods. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2020; 4: 56-62. (In Russ.)]. doi: 10.25276/0235-4160-2020-4-56-62
7. Тонконогий С.В., Коленко О.В., Васильев А.В. Изучение субъективного восприятия пациентом состояния структур глазной поверхности в зависимости от исходного уровня слёзопродукции после фактоэмульсификации возрастной катаракты. *Современные технологии в офтальмологии*. 2019; 5: 148-151. [Tonkonog SV, Kolenko OV, Vasiliev AV. The study of the patient's subjective perception of the state of the ocular surface structures, depending on the initial level of tear production after phacoemulsification of age-related cataract. *Modern Technologies in Ophthalmology*. 2019; 5: 148-151. (In Russ.)]. doi: 10.25276/2312-4911-2019-5-148-151
8. Yoo TK, Oh E. Diabetes mellitus is associated with dry eye syndrome: A meta-analysis. *Int Ophthalmol*. 2019; 39(11): 2611-2620. doi: 10.1007/s10792-019-01110-y
9. Nair S, Kaur M, Sharma N, Titiyal JS. Refractive surgery and dry eye – An update. *Indian J Ophthalmol*. 2023; 71(4): 1105-1114. doi: 10.4103/IJO.IJO_3406_22
10. Chan TCY, Chow SSW, Wan KHN, Yuen HKL. Update on the association between dry eye disease and meibomian gland dysfunction. *Hong Kong Med J*. 2019; 25(1): 38-47. doi: 10.12809/hkmj187331
11. Huang R, Su C, Fang L, Lu J, Chen J, Ding Y. Dry eye syndrome: Comprehensive etiologies and recent clinical trials. *Int Ophthalmol*. 2022; 42(10): 3253-3272. doi: 10.1007/s10792-022-02320-7
12. Бржеский В.В. Современные возможности патогенетически ориентированной терапии синдрома «сухого глаза». *Вестник офтальмологии*. 2023; 139(2): 95-103. [Brzheskiy VV. Modern possibilities of pathogenetically oriented therapy for dry eye syndrome. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2023; 139(2): 95-103. (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma202313902195

13. Tsubota K, Pflugfelder SC, Liu Z, Baudouin C, Kim HM, Messmer EM, et al. Defining dry eye from a clinical perspective. *Int J Mol Sci*. 2020; 21(23): 9271. doi: 10.3390/ijms21239271
14. Watson S. Automated dry eye diagnostics: Are they ready for the clinic? *Clin Exp Ophthalmol*. 2022; 50(6): 585-586. doi: 10.1111/ceo.14133
15. Сафонова Т.Н., Зайцева Г.В., Кинтяхина Н.П. Эволюция методов диагностики синдрома сухого глаза. *Вестник офтальмологии*. 2023; 139(3-2): 81-89. [Safonova TN, Zaitseva GV, Kintyukhina NP. Evolution of dry eye disease diagnostics. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2023; 139(3-2): 81-89. (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma202313903281
16. Мальцев Д.С., Кудряшова Е.В. Цианокобаламин-содержащий лубрикант в составе местной терапии LASIK-ассоциированного синдрома «сухого глаза». *Вестник офтальмологии*. 2016; 132(1): 68-75. [Maltsev DS, Kudryashova EV. Cyanocobalamin-containing lubricant for topical therapy of LASIK-associated dry eye. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2016; 132(1): 68-75. (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma2016132168-75
17. Norn MS. Tear secretion in normal eyes. Estimated by a new method: The lacrimal streak dilution test. *Acta Ophthalmol*. 1965; 43(4): 567-573. doi: 10.1111/j.1755-3768.1965.tb03693.x
18. Schiffman RM, Christianson MD, Jacobsen G, Hirsch JD, Reis BL. Reliability and validity of the Ocular Surface Disease Index. *Arch Ophthalmol*. 2000; 118(5): 615-621. doi: 10.1001/archophth.118.5.615
19. Мудров В.А. Алгоритм применения ROC-анализа в биомедицинских исследованиях с помощью пакета программ SPSS. *Забайкальский медицинский вестник*. 2021; (1): 148-153. [Mudrov VA. ROC curve analysis algorithm in biomedical research using SPSS software package. *The Transbaikal Medical Bulletin*. 2021(1): 148-153. (In Russ.).] doi: 10.52485/19986173_2021_1_148
20. Iqbal M, El-Massry A, Elagouz M, Elzembely H. Computer vision syndrome survey among the medical students in Sohag University Hospital, Egypt. *Ophthalmol Res An Int J*. 2018; 8: 1-8.
21. Munshi S, Varghese A, Dhar-Munshi S. Computer vision syndrome – A common cause of unexplained visual symptoms in the modern era. *Int J Clin Pract*. 2017; 71(7). doi: 10.1111/ijcp.12962
22. Lulla NH, Loganathan M, Balan VGM, Swathi S. Dry eye among medical students before and during COVID-19. *Indian J Ophthalmol*. 2023; 71(4): 1468-1471. doi: 10.4103/IJO.IJO_2786_22
23. Tangmonkongvoragul C, Chokesuwattanaskul S, Khan-kaeo C, Punyaseevee R, Nakkara L, Moolsan S, et al. Prevalence of symptomatic dry eye disease with associated risk factors among medical students at Chiang Mai University due to increased screen time and stress during COVID-19 pandemic. *PLoS One*. 2022; 17: e0265733. doi: 10.1371/journal.pone.0265733
24. Pavithra S, Sundar MD. Assessment of dry eye symptoms and quality of sleep in engineering students during the COVID-19 pandemic. *Int J Res Pharm Sci*. 2020; 11: 1202-1207.
25. Ефимова Е.Л., Бржеский В.В., Панова И.Е., Александрова А.С., Зерцалова М.А., Порогер Я.М. Эффективность препаратов Ирифрин 2,5 % и Ирифрин-БК в лечении компьютерного зрительного синдрома. *Российский офтальмологический журнал*. 2017; 10(1): 74-79. [Efimova EL, Brzhesky VV, Panova IE, Aleksandrova AS, Zercalova MA, Poroger YaM. The effectiveness of Irifrin 2.5 % and Irifrin-BK 2.5 % drugs in the treatment of computer vision syndrome. *Russian Ophthalmological Journal*. 2017; 10(1): 74-79. (In Russ.).] doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-1-74-79
26. Расстрига У.И. Исследование синдрома «сухого глаза» среди различных возрастных групп населения. *Scientist*. 2020; 3(13): 13. [Rasstriga UI. Dry eye syndrome study among various age groups of the population. *Scientist*. 2020; 3(13): 13. (In Russ.).]
27. Бирюкова Н.В., Нестерова Н.В., Уваров А.А. Влияние дистанционного обучения на здоровье учителей, школьников и студентов. *Сборник статей V Международной научно-практической конференции «Инновационная траектория развития современной науки: становление, развитие, прогнозы»*. Петрозаводск; 2021: 149-154. [Biryukova NV, Nesterova NV, Uvarov AA The impact of distance learning on the health of teachers, schoolchildren and students. *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Innovative trajectory of modern science: Formation, development, forecasts"*. Petrozavodsk; 2021: 149-154 (In Russ.).] doi: 10.46916/14012021-1-978-5-00174-110-7
28. Жукова Е.А., Шитова О.В., Колеватых Е.П. Изменение показателей слёзопродукции и наличие воспалительных реакций у пациентов с контактной коррекцией зрения. *Вятский медицинский вестник*. 2017; 4(56): 67-70. [Zhukova EA, Shitova OV, Kolevatykh EP. Changes in indicators of tears production. Inflammatory response in patients with contact lenses. *Medical Newsletter of Vyatka*. 2017; 4(56): 67-70. (In Russ.).]
29. Астахов С.Ю., Рикс И.А. Опыт применения глазных капель Гилан Комфорт у пациентов после эксимерной хирургии. *Офтальмологические ведомости*. 2017; 10(4): 57-60. [Astakhov SY, Riks IA. Experience in Gilan Comfort eye drops use of in patients after excimer laser surgery. *Ophthalmology Reports*. 2017; 10(4): 57-60 (In Russ.).] doi: 10.17816/OV10457-60
30. Майчук Д.Ю. Распространенность и тяжесть синдрома «сухого глаза» у пациентов с миопией, планирующих лечение методом LASIK. *Вестник офтальмологии*. 2019; 135(1): 74-83. [Maychuk DYU. Prevalence and severity of dry eye syndrome in myopic candidates for laser *in situ* keratomileusis. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2019; 135(1): 74-83. (In Russ.).] doi: 10.17116/oftalma201913501174
31. Tariq MA, Amin H, Ahmed B, Ali U, Mohiuddin A. Association of dry eye disease with smoking: A systematic review and meta-analysis. *Indian J Ophthalmol*. 2022; 70(6): 1892-1904. doi: 10.4103/ijo.IJO_2193_21
32. Mohidin N, Jaafar AB. Effect of smoking on tear stability and corneal surface. *J Curr Ophthalmol*. 2020; 32: 232-237. doi: 10.4103/JOCO.JOCO_70_20

Сведения об авторах

Таскина Елизавета Сергеевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: taskins@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6223-8888>

Соловьёва Алина Андреевна – студентка 6-го курса, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: candywhj@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3919-2479>

Мудров Виктор Андреевич – доктор медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии лечебного и стоматологического факультетов, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: mudrov_viktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5961-5400>

Харинцева Светлана Владимировна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой офтальмологии, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: s.v.19.28@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8899-5465>

Information about the authors

Elizaveta S. Taskina – Cand. Sc. (Med.), Associate Professor at the Department of Ophthalmology, Chita State Medical Academy, e-mail: taskins@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6223-8888>

Alina A. Solovyova – Sixth-Year Student, Chita State Medical Academy, e-mail: candywhj@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3919-2479>

Victor A. Mudrov – Dr. Sc. (Med.), Associate Professor at the Department of Obstetrics and Gynecology of the Faculties of Medicine and Dentistry, Chita State Medical Academy, e-mail: mudrov_viktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5961-5400>

Svetlana V. Kharinseva – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Ophthalmology, Chita State Medical Academy, e-mail: s.v.19.28@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8899-5465>