

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-4-7-16>



Стратегически ориентированная концепция оптической профилактики возникновения и прогрессирования миопии

Е.П. Тарутта, О.В. Проскурина[✉], Г.А. Маркосян, С.В. Милаш, Н.А. Тарасова, Н.В. Ходжабекян

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрязская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Представлено теоретическое и клиническое обоснование применения оптических средств профилактики миопии. Аккомодация, аберрации волнового фронта, периферическая рефракция и качество ретинального изображения рассматриваются как связанные между собой факторы, влияющие на постнатальный рефрактогенез. Проведен подробный анализ способов коррекции миопии и состояний, предшествующих ее развитию, и их влияния на динамику рефракции и рост глаза. Предложена стратегия оптической коррекции миопии, включающая: 1) для детей группы риска в возрасте 4–7 лет — постоянное ношение дефокусирующих плюсовых очков в бинокулярном формате или (в случае эзофории) — очков Perifocal-P; 2) при миопии от 0,5 до 2,75 дптр, орто- или эзофории, умеренно сниженных запасах относительной аккомодации (ЗОА), периферической миопии или эметропии — постоянную альтернирующую слабомиопическую дефокусировку, при ЗОА менее 1,0 дптр — прогрессивные очки, в случае сочетания сниженных ЗОА и эзофории — очки Perifocal-Msa; 3) при миопии любой степени с уже имеющимся гиперметропическим периферическим дефокусом — очки Perifocal-M, при ЗОА менее 1,0 дптр в сочетании с эзофорией — прогрессивные очки, в сочетании с эзофорией — очки Perifocal-Msa; 4) при отказе от очковой коррекции — контактную коррекцию бифокальными мягкими контактными линзами (МКЛ) или ортокератологическими контактными линзами (ОКЛ), при миопии средней и высокой степени предпочтительны ОКЛ; 5) при миопии свыше 8,0 дптр, миопии с астигматизмом — биоптическую коррекцию: сочетание монофокальных МКЛ и очков Perifocal-M для исправления периферического дефокуса и остаточного астигматизма.

Ключевые слова: миопия у детей; контроль миопии; коррекция миопии; прогрессирующая миопия; периферическая рефракция; миопический дефокус

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Маркосян Г.А., Милаш С.В., Тарасова Н.А., Ходжабекян Н.В. Стратегически ориентированная концепция оптической профилактики возникновения и прогрессирования миопии. Российский офтальмологический журнал. 2020; 13 (4): 7–16. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-4-7-16>

A strategically oriented conception of optical prevention of myopia onset and progression

Elena P. Tarutta, Olga V. Proskurina[✉], Gayane A. Markossian, Sergey V. Milash, Natal'ya A. Tarasova, Narine V. Khodzhbekyan

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
proskourina@mail.ru

The article presents a theoretical and clinical justification for optical techniques used for the prevention of myopia. Accommodation, wavefront aberrations, peripheral refraction, and retinal image quality are considered as interrelated factors affecting postnatal refractogenesis. A detailed analysis of myopia correction methods, conditions preceding its development and their impact on the dynamics of refraction and eye growth is given. A strategy of optical correction of myopia was proposed, which includes: 1) constant wearing of defocusing binocular positive spectacle lens or Perifocal-P spectacle lens (in case of exophoria) for children at risk aged 4–7 years; 2) constant alternating weak myopic defocusing in case of myopia from 0.5 to 2.75 D, ortho- or esophoria, positive relative accommodation (PRA), peripheral myopia or

emmetropia; progressive addition spectacle lens in case of PRA less than 1.0 D; Perifocal-Msa spectacle lens in the case of a combination of reduced PRA and exophoria; 3) Perifocal-M spectacle lens in case of myopia of any degree with already existing hyperopic peripheral defocus; progressive addition spectacle lens in case of PRA less than 1.0 D in combination with esophoria or Perifocal-Msa spectacle lens in combination with exophoria; 4) contact correction with bifocal soft contact lenses or orthokeratological contact lenses (Ortho-K) in case of refusal from spectacle correction. Ortho-K is preferable with moderate and high myopia; 5) bioptic correction: a combination of monofocal soft contact lenses and Perifocal-M spectacle lens to correct peripheral defocus and residual astigmatism is preferable for myopia over 8.0 D and myopia with astigmatism.

Keywords: childhood myopia; myopia control; myopia correction; myopia progression; peripheral refraction; myopic defocus

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Tarutta E.P., Proskurina O.V., Markossian G.A., Milash S.V., Tarasova N.A., Khodzhabekyan N.V. A strategically oriented conception of optical prevention of myopia onset and progression. Russian ophthalmological journal. 2020; 13 (4): 7-16 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-4-7-16>

Близорукость — самое распространенное заболевание глаз и одна из ведущих причин слепоты и слабовидения в мире [1–4]. Миопия является фактором риска для других глазных патологий, таких как катаракта, глаукома, регматогенная отслойка сетчатки, миопическая макулопатия [1, 5]. Всемирная организация здравоохранения определила близорукость как одну из пяти основных причин предотвратимой слепоты в мире. Снижение темпов прогрессирования миопии даже на 1,0 дптр может снизить риск развития патологической миопии в будущем [6].

Распространенность миопии в мире широко варьирует в зависимости от географического района и этнической группы. В урбанизированных и экономически развитых странах Восточной и Юго-Восточной Азии (Сингапур, Китай, Тайвань, Гонконг, Япония и Южная Корея) распространенность миопии за последние десятилетия резко увеличилась: 80–90 % выпускников школ имеют миопию, из них 10–20 % — миопию высокой степени [2, 7, 8]. Аналогичные, хотя и не столь стремительные, тенденции отмечаются в Северной Америке, Европе, Австралии и развитых странах Латинской Америки. В России близорукостью страдают почти 40 % выпускников общеобразовательных школ и свыше 50 % — лицеев и гимназий [9].

Быстрые темпы распространения миопии в последние десятилетия в различных частях мира нельзя объяснить только с позиции наследственности, генетические изменения происходят слишком медленно, чтобы стать причиной «бума миопии» [10]. Фундаментальные экспериментальные исследования на животных показали важную роль зрительной среды, в частности характера оптической фокусировки изображения относительно сетчатки, в регуляции роста глаза и формировании рефракции [11, 12].

Оптический дефокус различного знака индуцирует биохимические сигнальные каскады, вызывающие изменения в сетчатке, пигментном эпителии, хориоиде и в конечном итоге — в склеральном матриксе [12–15]. Гиперметропический дефокус в фовеа (когда плоскость фокуса находится за сетчаткой) ускоряет рост глаза, а миопический дефокус (когда фокусная плоскость находится перед сетчаткой), напротив, действует как сигнал к замедлению его роста. Кроме того, исследования на животных предоставили убедительные данные, что не только центральный, но и периферический дефокус может влиять на развитие рефракции. Периферия сетчатки в отдельности от фовеа может реагировать на оптические сигналы, изменяя характер роста глаза в зависимости от знака дефокуса, в том числе и на ограниченном участке [16–18].

Обобщая данные экспериментальных исследований, J. Wallman и J. Winawer [13] подчеркивают: зрительно управ-

ляемый рост глаза контролируется каскадом локально вырабатываемых химических веществ — нейротрансмиттеров и нейромодуляторов, выделяемых сетчаткой и обеспечивающих изменения в склеральном матриксе в зависимости от знака дефокуса, ускоряя или тормозя рост глаза. Локальный характер этой саморегуляции был доказан классическими работами D. Troilo и соавт. (1987) и E. Raviola, T.N. Wiesel (1990), показавшими, что характерные изменения роста глаза наступают даже при перерезке зрительных нервов, исключая участие ядер Вестфала — Эдингера [19, 20]. То есть роль аккомодации в передаче сигналов к росту глаза была, таким образом, отвергнута. Однако следует вспомнить, что роль аккомодации заключается в обеспечении четкого видения разноудаленных объектов. Фокусировка вблизи полностью зависит от работы аккомодации. Слабость последней, не соответствующая аккомодационной задаче (т. е. динамической рефракции, индуцируемой глазом при работе вблизи) величина аккомодационного ответа и является источником гиперметропического дефокуса, запускающего, очевидно, весь каскад сигналов к росту глаза. Таким образом, представление о роли аккомодации, а именно ее слабости в развитии приобретенной миопии остается неизменным [21–26].

По многим данным, нормальные показатели объективного аккомодационного ответа (ОАО) согласуются с наименьшими темпами прогрессирования близорукости, и наоборот, низкие показатели ОАО характерны для пациентов с наибольшими значениями годичного градиента прогрессирования [21, 27].

Хорошо известными расстройствами аккомодации являются ее спазм, привычно-избыточное напряжение аккомодации (ПИНА), псевдомиопия. Псевдомиопия — один из наиболее достоверных предикторов возникновения приобретенной близорукости. У детей с псевдомиопией истинная близорукость развивается в течение года в 70–80 % случаев [28, 29]. Спазм аккомодации, псевдомиопия, ПИНА приводят к миопизации манифестной рефракции. Однако это состояние в большей мере касается рефракции вдаль. Динамическая рефракция вблизи может оказаться гиперметропической из-за резко сниженной аккомодационной способности и отставания аккомодационного ответа. Э.С. Аветисов [21] подчеркивал, что спазм аккомодации является частным проявлением ее слабости. Как показали недавние исследования, у пациентов со спазмом аккомодации запасы относительной аккомодации (ЗОА) и объем абсолютной аккомодации (ОАА) снижены, а объективные параметры аккомодации значительно варьируют: от резко сниженных, вплоть до нуля, значений до завышенных, превышающих вдвое аккомодационную задачу. При ПИНА и субъективные параметры, и объективный

аккомодационный ответ также снижены, повышен только привычный тонус аккомодации, что вовсе не является благоприятным признаком [30]. J. Gwiazda и соавт. [31] показали, что отставание аккомодации появляется за несколько лет до возникновения миопии и способствует ее развитию посредством индукции гиперметропической расфокусировки изображения на сетчатке во время работы на близком расстоянии. Это коррелирует с работами прошлого века, в которых неоднократно подчеркивалась связь низких ЗОА с развитием и прогрессированием миопии и был предложен прогностический критерий возникновения приобретенной близорукости — сниженный ЗОА [21, 32–35].

Помимо этого, постоянный гипертонус цилиарной мышцы и напряжение аккомодации могут ускорять рост глаза и через изменения волнового фронта. При напряжении аккомодации, а в данном случае имеется постоянное избыточное ее напряжение, хрусталик, как известно, изменяет свою форму, становится более выпуклым, преломляющая сила его центральных отделов усиливается. То есть возникает отрицательная сферическая аберрация (СА), когда центр оптической системы преломляет сильнее, чем периферия. Работы последних лет показали, что отрицательная СА ускоряет рост глаза и миопизацию рефракции, в то время как положительная, напротив, замедляет. Кроме того, известно, что отрицательная СА индуцирует на периферии сетчатки гиперметропический дефокус, также стимулирующий в свою очередь рост глаза и рефрактогенез. Сообщается о высоких значениях аберраций 4-го, 5-го и более высоких порядков у лиц с миопией по сравнению с эметропами [36]. Изменение СА при близорукости связывают с изменением хрусталика во время роста глаза [37, 38]. Более высокий уровень аберраций, снижающих качество ретинального изображения, может играть роль в развитии миопии [39–41]. Согласно полученным нами ранее данным, в естественных условиях при ширине зрачка 3 мм уровень аберраций tilt1, горизонтальный трейфойл и вертикальная кома достоверно выше при миопии, чем при гиперметропии, а их изменения в ответ на циклоплегию существенно ниже или отсутствуют [42]. Нам представляется, что эти особенности можно связать с состоянием связочного аппарата хрусталика и цилиарной мышцы. Повышенный уровень аберраций, связанных с наклоном хрусталика, его смещением, децентрацией оптических элементов глаза, может свидетельствовать о слабом натяжении связок (возможно, связанном с избыточным тонусом цилиарной мышцы) [43].

Нельзя исключить и еще один механизм влияния избыточного напряжения аккомодации на рефрактогенез. Согласно сложившимся в последние годы воззрениям, механическое напряжение цилиарного тела и хрусталика во время аккомодации вызывает натяжение и сдвиг хориоидеи, ограничивает рост глаза в экваториальном направлении и ускоряет его аксиальный рост [44–47]. С этой точки зрения любые оптические средства, снижающие нагрузку на аккомодацию и индуцирующие псевдоаккомодацию, как то: прогрессивные очки, очки с поддержкой аккомодации, мультифокальные контактные линзы (КЛ), КЛ с наведенной положительной СА, повышающей глубину фокусной области, будут устранять это избыточное напряжение и замедлять прогрессирование миопии.

Таким образом, аккомодация, аберрации волнового фронта, периферическая рефракция и качество ретинального изображения тесно связаны между собой и оказывают влияние на постнатальный рефрактогенез. После длительных дискуссий о сравнительной роли центрального или периферического дефокуса в развитии миопии несколькими

авторами была высказана уравнивающая (и, на наш взгляд, справедливая) точка зрения: развитие центральной рефракции отражает интеграцию сигналов из фовеа и с периферии, причем вклад ближней периферии превалирует над дальней [18, 48]. И центральный, и периферический гиперметропический дефокус может играть роль в развитии близорукости [49].

G. Hung и K. Ciuffreda [50, 51] предложили теорию ретинального дефокуса как механизма управления ростом глаза у человека. На основе результатов экспериментальных исследований в последние годы разработано множество оптических стратегий, направленных на замедление роста миопии с помощью манипулирования как центральным, так и периферическим дефокусом.

В настоящее время известны следующие основные оптические методы и стратегии профилактики возникновения и прогрессирования миопии:

1. Постоянная слабомиопическая дефокусировка изображения в бинокулярном и монокулярном альтернирующем очковом формате.

2. Поддержка аккомодации для устранения центрального (и отчасти периферического) гиперметропического дефокуса: прогрессивные очки, мультифокальные, мульти-сегментные КЛ.

3. Коррекция периферического дефокуса: перифокальные очки, ортокератологическое воздействие, бифокальные дефокусные мягкие КЛ (МКЛ).

4. Перифокальные очки с поддержкой аккомодации Perifocal-Msa — с аддидацией по вертикали +1,25 дптр и по горизонтали +2,5...+3,0 дптр.

5. Сочетание центральной и периферической дефокусировки изображения — очки Perifocal-P, -Ps (профилактические) со слабoplусовой рефракцией в центре (+0,25...+0,5 дптр) и аддидацией по горизонтали от +2,0 до +3,0 дптр или Perifocal-Psa — еще и с аддидацией вниз в +1,25 дптр.

Постоянная слабомиопическая дефокусировка изображения в бинокулярном очковом формате проводилась детям 4–7 лет с предикторами — псевдомиопией, слабым «запасом» дальнорукости и близорукими родителями. Им назначали постоянное ношение плюсовых очков, индуцирующих в глазу миопию порядка 1,0 дптр. Сила стекол колебалась от +0,5 до +1,5 дптр в зависимости от исходной циклопегической рефракции. В условиях постоянной бинокулярной слабомиопической дефокусировки уже через месяц у всех пациентов происходил сдвиг манифестной рефракции в сторону гиперметропии, устранение псевдомиопии. Ультразвуковая биометрия показала, что этот сдвиг рефракции был обусловлен достоверным увеличением глубины передней камеры (на $0,29 \pm 0,05$ мм) и уплощением хрусталика (на $0,32 \pm 0,05$ мм). Эти изменения сохранялись в течение всего периода наблюдения [52–54]. Очевидно, в этом и заключается механизм отрицательной аккомодации, направленной на ослабление рефракции. В конце наблюдения рефракция оставалась слабометропической, а острота зрения без коррекции повысилась до 1,0. Ни в одном случае не отмечено возникновения миопии в прослеженный период до 10 лет. За весь период отмечено увеличение аксиальной длины глаза, в среднем на $0,34 \pm 0,04$ мм, и значительное увеличение его поперечного размера, в среднем на $1,20 \pm 0,08$ мм. Таким образом, постоянное ношение слабopоложительных сферических линз в бинокулярном формате устраняет псевдомиопию и предотвращает ее переход в истинную близорукость за счет торможения аксиального роста глаза, при этом отмечается активный экваториальный

рост, способствующий уплощению хрусталика и углублению передней камеры. Как показано в работе D. Mutti и соавт. [44], на начальных этапах развития приобретенной миопии у детей эметропизирующие факторы в виде уплощения хрусталика и углубления передней камеры компенсируют какое-то время удлинение передне-задней оси (ПЗО) глаза и сдерживают клиническую манифестацию близорукости. Последняя наступает, очевидно, когда возможности данного эметропизирующего механизма исчерпываются.

Бинокулярная альтернирующая дефокусировка назначалась детям 7–11 лет со слабой миопией. Им подбирали две пары очков для постоянного ношения таким образом, чтобы рефракция с очковой линзой на одном глазу составляла $-0,5$ дптр, а на другом $-1,50$ дптр. Например, при миопии в $1,0$ дптр на обоих глазах на один глаз назначали линзу $(-)$ $0,5$ дптр, на другой $(+)$ $0,5$ дптр. Дети носили очки поочередно: один день — правый глаз в режиме миопической дефокусировки, другой день — левый [52–54].

Длительные (до 10 лет) динамические наблюдения показали, что у $81,8\%$ детей рефракция оставалась стабильной (усилилась не более чем на $0,5$ дптр за весь период наблюдения). Ультразвуковая биометрия показала незначительное увеличение ПЗО — на $0,08 \pm 0,06$ мм и достоверное увеличение поперечного диаметра (ПД) глазного яблока на $0,75 \pm 0,14$ мм. Однако у 2 детей с исходной эзофорией более 10 пр. дптр было отмечено ее усиление и даже появление непостоянной экзодевии, что потребовало отмены альтернирующей анизокоррекции. Авторы указали, что эзофория свыше 10 пр. дптр является противопоказанием к данному оптическому воздействию [52–54].

Для устранения центрального гиперметропического дефокуса при работе вблизи применяют оптические средства, поддерживающие аккомодацию, а точнее говоря, возмещающие ее дефицит. К таким средствам относятся бифокальные, мультифокальные (прогрессивные) очки, мультифокальные, бифокальные (дефокусные) КЛ. Постоянное ношение прогрессивных очков способствует торможению прогрессирования миопии, повышению ЗОА, нормализации соотношения аккомодативной конвергенции к аккомодации (АК/А) [55–61]. Аккомодационный ответ у детей, носивших прогрессивные очки, не изменился, ЗОА увеличились на $0,53$ дптр, отмечалось увеличение числа случаев ортофории и тенденция к приближению АК/А к средним нормальным значениям. Однако у двоих детей с исходной эзофорией, носивших прогрессивные очки, отмечено развитие экзотропии. Это наблюдение позволяет считать выраженную эзофорию противопоказанием к назначению прогрессивных очков как оптического средства, увеличивающего диссоциацию между аккомодацией и конвергенцией. Напротив, эзофория, наряду со сниженной аккомодационной способностью, является основным показанием к назначению прогрессивных очков [56, 62].

J. Gwiazda и соавт. [63] обнаружили, что дети с эзофорией имеют большее отставание аккомодационного ответа и, соответственно, больший ретикулярный гиперметропический дефокус, чем в норме, и, возможно, более сильный стимул для прогрессирования миопии. Знаменитое многоцентровое исследование COMET STUDY показало, что именно в группе детей со сниженным аккомодационным ответом и эзофорией для близи увеличение миопии при ношении прогрессивных очков было на $0,64$ дптр меньше по сравнению с монофокальными.

Исследования последних лет показали, что прогрессивные очки не только возмещают дефицит аккомодационного ответа, но и формируют миопический дефокус в вертикаль-

ных меридианах поля зрения [64]. То же следует сказать и о мультифокальных (бифокальных) МКЛ. В отличие от монофокальных очковых и КЛ, сохраняющих или даже усиливающих гиперметропический дефокус практически по всему полю зрения при любом направлении взгляда [57, 64–67], а также формирующих в глазах с миопией отрицательную СА [68], мультифокальные линзы любой конструкции, имеющие положительную аддидацию в парацентральной зоне, должны наводить слабомиопический дефокус на соответствующие проекции средней периферии сетчатки [69].

По нашим данным, в прогрессивных очках при любом направлении взгляда в большинстве зон горизонтальных меридианов сохраняется или усиливается гиперметропический дефокус. Только при взгляде вверх и особенно вниз формируется миопический дефокус (рис. 1, 2) [64]. D. Verntsen и соавт. [57] при исследовании на модельном, а не живом глазу обнаружили, что прогрессивные стекла наводили миопический дефокус в носовой, височной и особенно верхней периферии, а в нижней, напротив, усиливали гиперметропический. Помимо разных условий эксперимента, эти различия могут быть связаны с силой центрального преломления самих стекол. Авторы отмечали, что как монофокальные очки наводили тем больший гиперметропический дефокус, чем сильнее была линза, так и прогрессивные стекла по мере усиления наводили все меньший миопический дефокус по горизонтали [57].

Новое объяснение тормозящего эффекта мультифокальных линз с позиций наведения миопического дефокуса по вертикали применимо и к бифокальным очкам, причем отмечено, что наибольший по площади миопический дефокус наводят так называемые executive бифокалы, или «очки Франклина». Имеются также сообщения о несколько большей их эффективности в контроле миопии по сравнению с ординарными бифокалами [57].

Для целенаправленной коррекции периферического дефокуса разработаны различные виды очковых линз, призванных обеспечить формирование периферического миопического дефокуса за счет особой конструкции со стабильным центральным преломлением и селективным радиальным прогрессивным изменением рефракции в горизонтальном меридиане линзы от центра к периферии [64, 70–72]. В нашей стране они доступны под брендом Perifocal.

Перифокальные очки назначают для постоянного ношения. Коррекцию подбирают, близкую к полной, допустимо на $0,25$ дптр слабее объективной циклоплегической рефракции. Перифокальные очки с нулевой или слабоплюсовой центральной рефракцией могут применяться в группе риска — при псевдомиопии у детей [70–74].

Как показали исследования, очки с перифокальным усилением преломления формируют миопический (или уменьшают гиперметропический) периферический дефокус в глазах с миопией [64, 70, 75].

В перифокальных очках, особенно при взгляде прямо, почти во всех зонах формируется миопический или в 3–4 раза уменьшается гиперметропический дефокус и возникает положительная СА, в то время как монофокальные очки, напротив, формируют гиперметропический дефокус и отрицательную СА (рис. 1) [64, 65, 70]. Аккомодационный ответ у детей, носивших перифокальные очки, незначительно увеличивается, ЗОА увеличиваются достоверно. После ношения очков отмечалось увеличение числа случаев ортофории и приближение значений АК/А к средним нормальным [62].

На фоне постоянного ношения перифокальных очков темп прогрессирования миопии у детей снижается в 1,6 раза (на 60%) по сравнению с контрольной группой

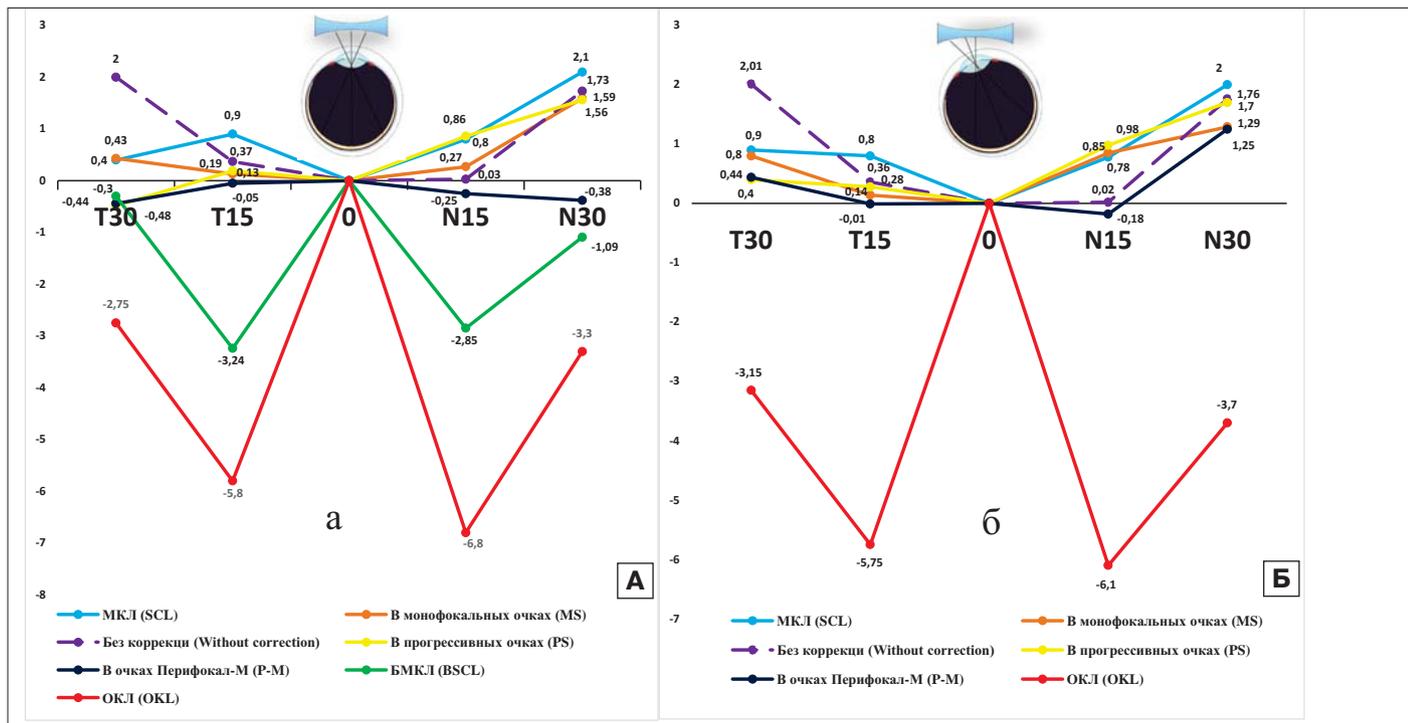


Рис. 1. Профиль относительной периферической рефракции в горизонтальном меридиане в различных средствах коррекции А — при взгляде прямо, Б — при отклонении взгляда. По оси абсцисс — исследуемая зона сетчатки в 15 и 30 градусах к виску (Т) и к носу (N) от центра фовеа. По оси ординат — значения относительной периферической рефракции в диоптриях

Fig. 1. Profile of relative peripheral refraction in the horizontal meridian in various means of correction. А — when looking straight ahead, Б — when looking away. X-axis — shows the studied area of the retina at 15 and 30 degrees to the temple (Т) and to the nose (N) from the center of the fovea. Y-axis - values of relative peripheral refraction (D). SCL — soft contact lenses, P-M — perifocal-M spectacles, OKL — orthokeratological contact lenses, MS — monofocal spectacles, PS — progressive spectacles, BSCL — bifocal soft contact lenses

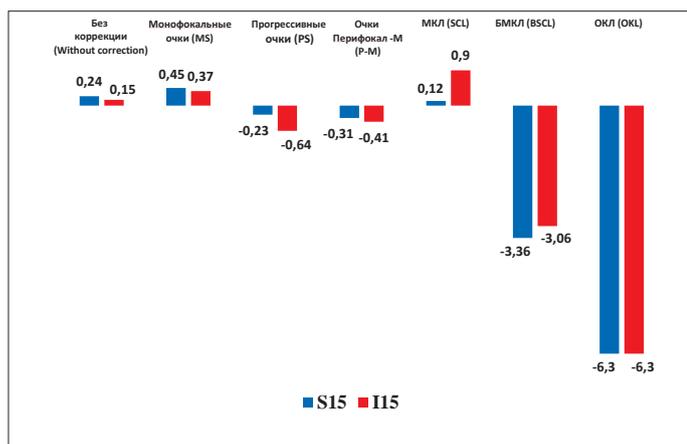


Рис. 2. Относительная периферическая рефракция в вертикальном меридиане в различных средствах коррекции в 15 градусах сверху (S15) и книзу (I15) от центра фовеа. По оси абсцисс — средства коррекции. По оси ординат — значения относительной периферической рефракции (дптр)

Fig. 2. Relative peripheral refraction in the vertical meridian at different correction means 15 degrees superior (S15) and inferior (I15) from the fovea center. X-axis shows the correction means, Y-axis — values of relative peripheral refraction (D). SCL — soft contact lenses, P-M — perifocal-M spectacles, OKL — orthokeratological contact lenses, MS — monofocal spectacles, PS — progressive spectacles, BSCL — bifocal soft contact lenses

и в несколько раз по сравнению с исходным. Полная стабилизация миопии (включая случаи ее ослабления) на фоне ношения перифокальных очков у детей 8–13 лет отмечена в 62,5 % случаев в течение 12–18 мес, в 50 % случаев — в течение 2 лет, в 41,1 % случаев — в течение 4–5 лет. В кон-

трольной группе аналогичные показатели составили 26,9 % случаев в течение 12–18 мес, 7,7 % случаев в течение 2 лет; в отдаленные сроки ни одного случая стабилизации не отмечено [76].

Рекомендуется отдавать предпочтение перифокальным очкам при коррекции прогрессирующей миопии, сопровождающейся эзофорией. При использовании перифокальных очков не формируется декомпенсированной эзофории, которая может возникать при использовании прогрессивных очков [62, 70]. При эзофории и резко сниженных (менее 1,0 дптр) ЗОА предпочтение, как уже было сказано, следует отдавать прогрессивным очкам.

Наибольшую сложность представляет сочетание резко сниженных ЗОА, затрудняющих работу вблизи в условиях свойственной перифокальным очкам полной коррекции вдаль, и эзофории, препятствующей назначению прогрессивных очков. В этих случаях показаны очки Perifocal-Msa, обеспечивающие и наведение миопического периферического дефокуса, и поддержку аккомодации за счет аддидации для близи в +1,25 дптр.

В последние десятилетия все большее распространение не только в коррекции, но и в лечении прогрессирующей близорукости у детей получает ортокератология — способ временного устранения миопической рефракции с помощью жестких газопроницаемых контактных линз так называемой обратной геометрии, изменяющих форму и преломляющую силу передней поверхности роговицы.

Рефракционный эффект ортокератологических КЛ (ОКЛ) связан с изменением толщины роговичного эпителия в центре и на средней периферии, что приводит к изменениям топографии передней поверхности роговицы с уплощением ее центральной части и кольцевидным выпячиванием

(и усилением преломления) парацентральных отделов. Во всех периферических зонах формируется миопический периферический дефокус, максимальные значения которого приходятся на среднюю периферию (-5,0...-6,0 дптр), так называемую зону накопления, и уменьшаются к 30° в зоне выравнивания (-3,0...-3,5 дптр) (см. рис. 1). Инверсия периферической рефракции происходит уже после первой ночи ношения ОКЛ. Чем больше исходная степень миопии, тем большее изменение претерпевает кривизна роговицы на средней периферии и тем больше индуцируемый миопический периферический дефокус.

Помимо наведения миопического дефокуса на периферию сетчатки, ОКЛ существенно изменяют волновой фронт глаза. Уменьшая дефокус, они в то же время резко увеличивают уровень aberrаций высшего порядка, особенно СА. Формируется положительная СА, оптический центр роговицы преломляет слабее среднепериферической зоны [77, 78].

В некоторых работах последних лет повышению СА и комы после ОК-коррекции отводят самостоятельную роль в тормозящем прогрессирующем эффекте данного воздействия [79, 80]. Но прежде всего повышенный уровень aberrаций увеличивает глубину фокусной области, снижая нагрузку на аккомодацию за счет повышения псевдоаккомодации. Последняя определяется как способность четкого видения разнородных объектов без изменения динамической рефракции глаза, за счет глубины фокуса [81]. Исследования показали, что после воздействия ОКЛ на фоне резкого повышения aberrаций высших порядков в 2 раза и более повышается глубина фокусной области вдаль и вблизи, в 1,6 раза повышается объем псевдоаккомодации [82]. Одновременно с этим установлено, что использование ОКЛ приводит и к повышению собственно аккомодации: субъективный параметр ЗОА повышается на 85 %, а ОАО — на 58 %, достигая значений нормы: 4,3 и 2,6 дптр соответственно. В результате повышается зрительная работоспособность: скорость чтения — на 19 %, пропускная способность зрительного анализатора — на 38 %, зрительная продуктивность — на 17 % [83].

На данный момент ортокератология считается одной из наиболее эффективных оптических стратегий стабилизации миопии у детей и подростков. В исследованиях разных авторов показано преимущество ОКЛ в профилактике прогрессирования миопии по сравнению с группой контроля в монофокальных очках или КЛ: темп прогрессирования (по ПЗО) снижался на 0,26 мм за 2 года по сравнению с контролем [84]. По нашим данным, годовое удлинение ПЗО за 10-летний период варьировало в диапазоне от 0,01 до 0,2 мм со средним значением 0,076 мм [85]. В 10-летнем исследовании 2018 г. Т. Нигаока и соавт. [86] показали, что прогрессирование близорукости в группе ОК-линз было на 30 % более медленным, чем в группе МКЛ. На сегодняшний день максимальный период наблюдения составляет 12 лет в ретроспективном когортном исследовании Y. Lee и соавт., где средняя скорость прогрессирования в год составила от 0,2 до 0,3 дптр в группе ночных линз против 0,4–0,5 дптр в группе монофокальных очков [87].

В последнее время с целью уменьшения относительно гиперметропического дефокуса на периферии сетчатки или создания миопической расфокусировки, аналогичной ОКЛ, предложено использовать мультифокальные МКЛ, как специально разработанные для торможения (контроля) прогрессирования миопии, например бифокальные дефокусные МКЛ, так и изначально созданные для коррекции пресбиопии (за счет создания положительной СА

и увеличения глубины фокуса). Мультифокальные МКЛ индуцируют более высокий уровень aberrаций высшего порядка, который может влиять на периферическую оптику глаза и аккомодацию [88], а также псевдоаккомодацию. Проведенные исследования показали, по аналогии с ОКЛ, повышение уровня aberrаций высших порядков и СА, в частности псевдоаккомодации и зрительной работоспособности в бифокальных МКЛ (БМКЛ) по сравнению с очковой коррекцией. Меньшая оптическая зона и параметры самой линзы позволяют наводить постоянный, не зависящий от исходной степени миопии у пациента миопический дефокус в зоне 15° от центра фовеа, резко убывающий в зоне 30°. Однако эта близость дефокусирующей аддидации к оптической зоне имеет и отрицательные последствия в виде чрезмерно, в 5000 раз, повышенной СА, создающей зрительные помехи. Это особенно проявляется в условиях пониженной освещенности.

Проведенные нами исследования на приборе Mesotest II (Oculus, Германия) показали, что контрастная чувствительность в БМКЛ в условиях сумеречного зрения резко уменьшалась по сравнению с очковой коррекцией, как без бликов, так и в условиях глэр-эффекта: с $3,80 \pm 0,39$ пройденных тестов в очках до $2,20 \pm 0,57$ в линзах ($p < 0,01$) и с $2,90 \pm 0,99$ до $1,70 \pm 0,65$ ($p < 0,01$) соответственно. Низкий порог контрастной чувствительности (КЧ) на фоне коррекции БМКЛ связан с рассеиванием света периферической концентрической зоной аддидации, которое мешает восприятию объекта наблюдения (колец Ландольта). Снижение КЧ напрямую связано с повышением aberrаций высшего порядка и диаметром оптической зоны. Чем меньше оптическая зона БМКЛ, тем больше ухудшается качество зрения, поскольку индуцированные aberrации располагаются ближе к зрительной линии.

Профиль периферической рефракции в БМКЛ не зависит от рефракции в центре, в отличие от ОКЛ, и при миопии слабой степени, до 2,0 дптр, возможно, индуцированный периферический дефокус будет больше, чем в ОКЛ, однако это требует дальнейшего изучения.

В крупном метаанализе 2017 г. показано, что мультифокальные МКЛ различного дизайна замедляют прогрессирование миопии у детей школьного возраста по сравнению с группой контроля на 30–50 % [89]. Отмечен больший эффект торможения близорукости у линз с бифокальным дизайном. Период наблюдения в работах, включенных в метаанализ, не превышал 1–2 лет. Результатом более длительных исследований влияния мультифокальных и бифокальных МКЛ на течение близорукости в литературе пока единичны.

По результатам экспертного исследования среди 1336 офтальмологов и оптометристов из 13 стран Европы, Азии, Америки и Австралии монофокальные очки, монофокальные КЛ, а также рефракционная хирургия признаны наименее эффективными методами контроля миопии [90].

Описанные выше методы оптической коррекции, создающие условия для стабилизации или замедления прогрессирования миопии, имеют ограничения в использовании при высокой близорукости из-за предельно возможных значений производимой оптики:

- перифокальные очки по сумме сферического и астигматического компонентов не должны превышать -11,0 дптр;
- ОКЛ подбираются при миопии не более 8,0 дптр;
- БМКЛ при близорукости — не более 5,0 дптр и без астигматического компонента.

Следовательно, для устранения гиперметропического дефокуса и создания условий для торможения прогрессирования миопии, характеризующейся высокими значениями

сферического (более 11,0 дптр) компонента, а также при ее сочетании с астигматизмом необходим принципиально новый подход, направленный на коррекцию и центрального, и периферического дефокуса.

Существует метод биоптической коррекции для пациентов с врожденной миопией и астигматизмом, который был разработан и внедрен в клиническую практику 10 лет назад. Метод заключался в назначении монофокальных МКЛ с докоррекцией астигматизма монофокальными очками. Применение данной методики позволило повысить остроту зрения с переносимой коррекцией с $0,30 \pm 0,04$ до $0,70 \pm 0,06$ у пациентов с близорукостью выше 10,0–11,0 дптр и значительным миопическим астигматизмом и снизить частоту амблиопии высокой степени на 70 % [91].

Однако исследования последних лет показали, что МКЛ, несомненно, являющиеся предпочтительным видом коррекции высокой миопии, усиливают или сохраняют гиперметропический дефокус на периферии сетчатки [92] (см. рис. 1, 2). Очевидно, этим объясняется недостаточная эффективность МКЛ (так же, как и монофокальных очков) в торможении прогрессирования близорукости [93]. В связи с этим для оптимизации тактики и стратегии коррекции с учетом новых возможностей оптических средств был разработан новый метод биоптической коррекции высокой миопии, который заключается в следующем. Подбирают монофокальные МКЛ, полностью корригирующие сферический компонент рефракции, и на остаточный в линзах астигматизм подбирают дополнительные цилиндрические очки с перифокальным усилением преломления (Perifocal-M), которые исправляют и гиперметропический дефокус на периферии. Это позволяет не только произвести оптимальную коррекцию высокой и сложной погрешности рефракции для развития зрительных функций, профилактики и лечения амблиопии, но и обеспечить контроль прогрессирования миопии за счет наведения периферического миопического дефокуса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом всего изложенного является предлагаемая нами стратегическая концепция оптической профилактики возникновения и прогрессирования миопии.

1. Для детей группы риска в возрасте 4–7 лет с основными предикторами возникновения приобретенной миопии: близорукие родители, псевдомиопия, эзофория, слабый запас возрастной дальновидности — постоянное ношение дефокусирующих плюсовых очков в бинокулярном формате или (в случае эзофории) очков Perifocal-P.

2. При миопии слабой степени — от 0,5 до 2,75 дптр, ортоили эзофории, умеренно сниженных ЗОА (не ниже 1,0 дптр), периферической миопии или эметропии — постоянная альтернирующая слабомиопическая дефокусировка (2 пары анизокорригирующих очков); в случае всего перечисленного и резко сниженных ЗОА (менее 1,0 дптр) — прогрессивные очки. В случае сочетания резко сниженных ЗОА и эзофории — очки Perifocal-Msa.

3. При слабой, средней и высокой миопии с уже имеющимся гиперметропическим периферическим дефокусом — очки Perifocal-M для постоянного ношения. В случае резко сниженных или отсутствующих ЗОА в сочетании с эзофорией — прогрессивные очки. При ЗОА менее 1,0 дптр и эзофории — очки Perifocal-Msa.

4. При отказе или неэффективности очковой коррекции — контактная коррекция дефокусными БМКЛ или ОКЛ. При средней и высокой миопии, а также при активных занятиях спортом, танцами и т. п. преимущество имеют ОКЛ.

5. При высокой, свыше 8,0 дптр, миопии с астигматизмом, как приобретенной, так и врожденной, — биоптическая коррекция сочетанием монофокальных МКЛ и очков Perifocal-M для исправления периферического дефокуса и в случае необходимости — остаточного астигматизма. При отсутствии остаточной аметропии в МКЛ перифокальные очки назначаются с бездиоптрийной центральной рефракцией.

Литература/References

1. Fricke T.R., Jong M., Naidoo K.S., et al. Global prevalence of visual impairment associated with myopic ocular degeneration and temporal trends from 2000 through 2050: systematic review, meta-analysis and modelling. *Br. J. Ophthalmol.* 2018; 102 (7): 855–62. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2017-311266>
2. 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): 1036–42. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
3. Нероев В.В. Организация офтальмологической помощи населению Российской Федерации. *Вестник офтальмологии.* 2014; 130 (6): 8–12. [Neroev V.V. Eye care management in Russian Federation. *Vestnik oftal'mologii.* 2014; 130 (6): 8–12 (In Russian)].
4. Катаргина Л.А., Михайлова Л.А. Состояние детской офтальмологической службы Российской Федерации (2012–2013 гг.). *Российская педиатрическая офтальмология.* 2015; 1: 5–10. [Katargina L.A., Mihajlova L.A. State of children's ophthalmological service of the Russian Federation (2012–2013). *Rossijskaya pediatricheskaya oftal'mologiya.* 2015; 1: 5–10 (In Russian)].
5. Ikuno Y. Overview of the complications of high myopia. *Retina.* 2017; 37 (12): 2347–2351. <https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001489>
6. Bullimore M.A., Brennan N.A. Myopia control: why each diopter matters. *Optom. Vis. Sci.* 2019; 96 (6): 463–5. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001367>
7. Morgan I.G., French A.N., Ashby R.S., et al. The epidemics of myopia: aetiology and prevention. *Progress in retinal and eye research.* 2018; 62: 134–49. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.09.004>
8. Grzybowski A., Kanclerz P., Tsubota K., et al. A review on the epidemiology of myopia in school children worldwide. *BMC Ophthalmol.* 2020; 20 (1): 27. <https://doi.org/10.1186/s12886-019-1220-0>
9. Проскурина О.В., Маркова Е.Ю., Брзхеский В.В. и др. Распространенность миопии у школьников некоторых регионов России. *Офтальмология.* 2018; 15 (3): 348–53. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-3-348-353> [Proskurina O.V., Markova E.Y., Brzheskij V.V., et al. The Prevalence of myopia in schoolchildren in some regions of Russia. *Oftal'mologiya.* 2018; 15 (3): 348–53 (In Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-3-348-353>]
10. Dolgin E. The myopia boom. *Nature.* 2015; 519 (7543): 276–8. <https://doi.org/10.1038/519276a>
11. Schaeffel F., Feldkaemper M. Animal models in myopia research. *Clinical and Experimental Optometry.* 2015; 98 (6): 507–7. <https://doi.org/10.1111/cxo.12312>
12. Troilo D., Smith E.L. 3rd, Nickla D.L., et al. IMI — Report on experimental models of emmetropization and myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019; 60 (3): M31–M88. <https://doi.org/10.1167/iovs.18-25967>
13. Wallman J., Wawser J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron.* 2004; 43 (4): 447–68. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.08.008>
14. Nickla D.L., Wallman J. The multifunctional choroid. *Progress in retinal and eye research.* 2010; 29 (2): 144–68. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2009.12.002>
15. Harper A.R., Summers J.A. The dynamic sclera: extracellular matrix remodeling in normal ocular growth and myopia development. *Exp. Eye Res.* 2015; 133: 100–11. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2014.07.015>
16. Smith E.L., Huang J., Hung L.-F., et al. Hemi-retinal form deprivation: evidence for local control of eye growth and refractive development in infant monkeys. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2009; 50 (11): 5057–69. <http://doi.org/10.1167/iovs.08-3232>
17. Smith E.L., Hung L.-F., Huang J., et al. Effects of optical defocus on refractive development in monkeys: evidence for local, regionally selective mechanisms. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2010; 51 (8): 3864–73. <http://doi.org/10.1167/iovs.09-4969>
18. Smith E.L. 3rd. Prentice award lecture 2010: A case for peripheral optical treatment strategies for myopia. *Optom. Vis. Sci.* 2011; 88 (9): 1029–44. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3182279cfa>
19. Troilo D., Gottlieb M.D., Wallman J. Visual deprivation causes myopia in chicks with optic nerve section. *Curr. Eye Res.* 1987; 6: 993–9.
20. Raviola E., Wiesel T.N. Neural control of eye growth and experimental myopia in primates. *Ciba Found Symp.* 1990; 155: 22–44.
21. Аветишов Э.С. Близорукость. Москва: Медицина; 1986, 1999. [Avetisov E.S. Myopia. Moscow: Meditsina; 1986, 1999 (In Russian)].
22. Аветишов Э.С. Современное состояние исследований этиологии и патогенеза миопии. *Вестник офтальмологии.* 1967; 80 (5): 38–45. [Avetisov E.S.

- Current trends in the study of the etiology and pathogenesis of myopia. *Vestnik oftal'mologii*. 1967; 80 (5): 38–45 (In Russian).
23. Davies L.N., Mallen E.A. Influence of accommodation and refractive status on the peripheral refractive profile. *The British journal of ophthalmology*. 2009; 93 (9): 1186–90. <https://doi.org/10.1136/bjo.2009.159053>
 24. Lundström L., Mira-Agudelo A., Artal P. Peripheral optical errors and their change with accommodation differ between emmetropic and myopic eyes. *Journal of vision*. 2009; 9 (6): 1–11. <https://doi.org/10.1167/9.6.17>
 25. Whatham A., Zimmermann F., Martínez A., et al. Influence of accommodation on off-axis refractive errors in myopic eyes. *Journal of Vision*. 2009; 9 (3): 14, 1–13. <https://doi.org/10.1167/9.3.14>
 26. Charman W.N., Radhakrishnan H. Peripheral refraction and the development of refractive error: a review. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2010; 30 (4): 321–38. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2010.00746.x>
 27. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Комплексное исследование аккомодации при ее недостаточности. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2013; 2: 38–40. [Tarutta E.P., Tarasova N.A. Comprehensive study of accommodation in its insufficiency. *Rossijskaya pediatricheskaya oftal'mologiya*. 2013; 2: 38–40 (In Russian)].
 28. Дашевский А.И. Ложная близорукость. Москва: Медицина; 1973. [Dashevskij A.I. Pseudomyopia. Moscow: Meditsina; 1973 (In Russian)].
 29. Онуфричук О.Н., Розенблюм Ю.З. Закономерности рефрактогенеза и критерии прогнозирования школьной миопии. *Вестник офтальмологии*. 2007; 123 (1): 22–4. [Onufriyuchuk O.N., Rozenblum Yu.Z. Regularities of the refractogenesis of school myopia and criteria for its prediction. *Vestnik Oftal'mologii*. 2007; 123 (1): 22–4 (In Russian)].
 30. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Дифференциально-диагностические критерии различных расстройств аккомодации: аккомодационной недостаточности, привычно-избыточного напряжения и спазма аккомодации. *Вестник офтальмологии*. 2013; 129 (6): 28–33. [Tarutta E.P., Tarasova N.A. Differential diagnostic criteria of accommodative disorders. *Vestnik oftal'mologii*. 2013; 129 (6): 28–32 (In Russian)].
 31. Gwiazda J., Thorn F., Held R. Accommodation, accommodative convergence, and response AC/A ratios before and at the onset of myopia in children. *Optom. Vis. Sci.* 2005; 82 (4): 273–8. doi:10.1097/01.OPX.0000159363.07082.7D
 32. Grosvenor T.P. Primary care optometry: a clinical manual. Chicago: The Professional Press, Inc; 1982.
 33. Goss D.A. Clinical accommodation and heterophoria findings preceding juvenile onset of myopia. *Optom. Vis. Sci.* 1991; 68 (2): 110–6. <https://doi.org/10.1097/00006324-199102000-00005>
 34. Медвецкая Г.А. Профилактика близорукости и ее прогрессирования с помощью воздействия на аккомодационный аппарат глаза. *Вестник офтальмологии*. 1981; 5: 47–9. [Medvetskaya G.A. Prevention of myopia and its progression by affecting the eye's accommodation apparatus. *Vestnik oftal'mologii*. 1981; 5: 47–9 (In Russian)].
 35. Югай Л.В. Влияние тренировочных упражнений по Э.С. Аветисову, К.А. Матз на рефрактогенез у школьников группы риска по миопии. *Вестник офтальмологии*. 1983; 5: 58–60. [Yugaj L.V. The influence of training exercises by E.S. Avetisov and K.A. Matz on refractogenesis of pupils who are at risk of myopia. *Vestnik oftal'mologii*. 1983; 5: 58–60 (In Russian)].
 36. Collins M.J., Wildsoet C.F. Optical treatment method. Australia: Queensland University of technology. Brisbane (Australia); 2000.
 37. Kirwan C., O'Keffe M., Soeldner H. Higher-order aberrations in children. *Am. J. Ophthalmol.* 2006; 141 (1): 67–70. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2005.08.031>
 38. Philip K., Sankaridurg P., Holden B., et al. Influence of higher-order aberrations and retinal image quality in myopization of emmetropic eyes. *Vision Research*. 2014; 105: 233–43. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.10.003>
 39. Zhang N., Yang X., Zhang W., et al. Relationship between higher-order aberrations and myopia progression in schoolchildren. A retrospective study. *Int. J. Ophthalmol.* 2013 18; 6 (3): 295–9. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2013.03.07>
 40. Hartwig A., Atchison D.A., Radhakrishnan H. Higher-order aberrations and anisometropia. *Curr. Eye Res.* 2013; 38 (1): 215–29. <https://doi.org/10.3341/kjo.2014.28.1.66>
 41. Paquin M.P., Hamam H., Simonet P. Objective measurement of optical aberrations in myopic eyes. *Optom. Vis. Sci.* 2002; 79 (5): 285–91. <https://doi.org/10.1097/00006324-200205000-00007>
 42. Нероев В.В., Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г. и др. Параметры волнового фронта и аккомодации в разных условиях коррекции при миопии и гиперметропии. *Вестник офтальмологии*. 2018; 134 (5): 15–20. <https://dx.doi.org/10.17116/oftalma201813405115> [Neroev V.V., Tarutta E.P., Arutyunyan S.G., et al. Wavefront and accommodation parameters under different conditions of correction in myopia and hyperopia. *Vestnik oftal'mologii*. 2018; 134 (5): 15–20 (In Russian). <http://dx.doi.org/10.17116/oftalma201813405115>]
 43. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А., Маркосян Г.А. и др. Состояние и динамика волнового фронта глаза у детей с различной рефракцией на фоне регулярных занятий спортом (бадминтоном). *Российский офтальмологический журнал*. 2019; 12 (2): 49–58. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-2-49-58> [Tarutta E.P., Tarasova N.A., Markossian G.A., et al. The state and dynamics of the wavefront of the eye in children with different refractions engaged in regular sport activities (badminton). *Russian ophthalmological journal*. 2019; 12 (2): 49–58 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-2-49-58>]
 44. Mutti D.O., Zadnik K., Fusaro R.E., et al. Optical and structural development of the crystalline lens in childhood. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 1998; 39 (1): 120–33.
 45. Drexler W., Findl O., Schmetterer L., Hitzinger C.K., Fercher A.F. Eye elongation during accommodation in humans: differences between emmetropes and myopes. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 1998; 39 (11): 2140–7.
 46. Croft M.A., Nork T.M., McDonald J.P., et al. Accommodative movements of the vitreous membrane, choroid, and sclera in young and presbyopic human and nonhuman primate eyes. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013; 54 (7): 5049–68. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3726242/>
 47. Berntsen D.A., Mutti D.O., Zadnik K. Study of theories about myopia progression (STAMP) design and baseline data. *Optom. Vis. Sci.* 2010; 87 (11): 823–32. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181f6f776>
 48. Smith E.L. 3rd. Optical treatment strategies to slow myopia progression: effects of the visual extent of the optical treatment zone. *Exp. Eye Res.* 2013; 114: 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2012.11.019>
 49. He J.C. A Model of the effect of lens development on refraction in schoolchildren. *Optom. Vis. Sci.* 2017; 94 (12): 1129–37. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001146>
 50. Hung G.K., Ciuffreda K.J. Model of human refractive error development. *Curr. Eye Res.* 1999; 19 (1): 41–52. <https://doi.org/10.1076/ceyr.19.1.41.5343>
 51. Hung G.K., Ciuffreda K.J. A unifying theory of refractive error development. *Bull. Math. Biol.* 2000; 62 (6): 1087–108. <https://doi.org/10.1006/bulm.2000.0199>
 52. Тарутта Е.П., Ходжабекян Н.В., Филинова О.Б., Кружкова Г.В. Влияние постоянной дозированной слабомиопической дефокусировки на постнатальный рефрактогенез. *Вестник офтальмологии*. 2008; 124 (6): 21–4. [Tarutta E.P., Khodzhabekyan N.V., Filinova O.B., Kruzhkova G.V. Impact of continuous graduated slight myopic defocusing on postnatal refractogenesis. *Vestnik oftal'mologii*. 2008; 124 (6): 21–4 (In Russian)].
 53. Tarutta E., Khodzhabekyan N., Filinova O., Milash S., Kruzhkova G. Long-term effects of optical defocus on eye growth and refractogenesis. *Pomeranian J. Life Sci.* 2016; 62 (1): 25–30.
 54. Ходжабекян Н.В., Тарутта Е.П., Филинова О.Б., Тарасова Н.А. Бинокулярные функции, соотношение сенсорного и моторного глазного доминирования, объективный аккомодационный ответ у пациентов с приобретенной, врожденной и индуцированной анизометропической миопией. *Российский офтальмологический журнал*. 2012; 5 (1): 80–2. [Khodzhabekyan N.V., Tarutta E.P., Filinova O.B., Tarasova N.A. Binocular functions, sensory and motor eye dominance ratio, and objective accommodation response in patients with acquired, congenital and induced anisometropic myopia. *Russian ophthalmological journal*. 2012; 5 (1): 80–2 (In Russian)].
 55. Gwiazda J., Hyman L., Hussein M., et al. A randomized clinical trial of progressive addition lenses versus single vision lenses on the progression of myopia in children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2003; 44 (4): 1492–500. <https://doi.org/10.1167/iovs.02-0816>
 56. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Сравнительная оценка эффективности субъективного и объективного способа подбора адидации при назначении прогрессивных очков детям. *Современная оптометрия*. 2011; 49 (9): 40–4. [Tarutta E.P., Tarasova N.A. Comparative efficiency evaluation of subjective and objective methods of ADD power selection in prescribing progressive lenses to children. *Sovremennaya optometriya*. 2011; 49 (9): 40–4 (In Russian)].
 57. Berntsen D.A., Barr C.D., Mutti D.O., Zadnik K. Peripheral defocus and myopia progression in myopic children randomly assigned to wear single vision and progressive addition lenses. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013; 54 (8): 5761–70. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-11904>
 58. Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group. Progressive-addition lenses versus single-vision lenses for slowing progression of myopia in children with high accommodative lag and near esophoria. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011; 52 (5): 2749–57. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-6631>
 59. Hasebe S., Ohtsuki H., Nonaka T., et al. Effect of progressive addition lenses on myopia progression in Japanese children: a prospective, randomized, double-masked, crossover trial. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2008; 49 (7): 2781–9. <https://doi.org/10.1167/iovs.07-0385>
 60. Yang Z., Lan W., Ge J., et al. The effectiveness of progressive addition lenses on the progression of myopia in Chinese children. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2009; 29 (1): 41–8. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00608.x>
 61. Berntsen D.A., Sinnott L.T., Mutti D.O., Zadnik K. A randomized trial using progressive addition lenses to evaluate theories of myopia progression in children with a high lag of accommodation. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2012; 53 (2): 640–9. <https://doi.org/10.1167/iovs.11-7769>
 62. Проксупина О.В., Тарасова Н.А. Влияние прогрессивных и перифокальных очков на рефракцию, аккомодацию и мышечный баланс у детей с про-

- грессирующей миопией. Современная оптометрия. 2019; 122 (2): 41–8. [Proskurina O.V., Tarasova N.A. Influence of progressive and perifocal glasses on refraction, accommodation and muscle balance in children with progressive myopia. *Sovremennaya optometriya*. 2019; 122 (2): 41–8 (In Russian)].
63. Gwiadzda J., Hyman L., Norton T.T., et al. Accommodation and related risk factors associated with myopia progression and their interaction with treatment in COMET children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2004; 45 (7): 2143–51. <https://doi.org/10.1167/iov.03-1306>
 64. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А., Милаш С.В., Проскурина О.В., Маркосян Г.А. Влияние различных средств коррекции миопии на периферическую рефракцию в зависимости от направления взгляда. Вестник офтальмологии. 2019; 135 (4): 60–9. <https://doi.org/10.17116/oftalma201913504160> [Tarutta E.P., Tarasova N.A., Milash S.V., Proskurina O.V., Markossian G.A. The influence of different means of myopia correction on peripheral refraction depending on the direction of gaze. *Vestnik oftal'mologii*. 2019; 135 (4): 60–9 (In Russian). <https://doi.org/10.17116/oftalma201913504160>]
 65. Lin Z., Martinez A., Chen X., et al. Peripheral defocus with single-vision spectacle lenses in myopic children. *Optom. Vis. Sci.* 2010; 87 (1): 4–9. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318c078f1>
 66. Backhouse S., Fox S., Ibrahim B., Phillips J.R. Peripheral refraction in myopia corrected with spectacles versus contact lenses. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2012; 32 (4): 294–303. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2012.00912.x>
 67. Taberner J., Vazquez D., Seidemann A., Utenweiler D., Schaeffel F. Effects of myopic spectacle correction and radial refractive gradient spectacles on peripheral refraction. *Vision Res.* 2009; 49 (17): 2176–86. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.06.008>
 68. Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г., Милаш С.В. Коррекция волнового фронта глаза с помощью контактных линз и их влияние на аккомодационный ответ. Российский офтальмологический журнал. 2016; 9 (2): 102–7. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-2-102-107> [Tarutta E.P., Arutyunyan S.G., Milash S.V. The Correction of eye wavefront using contact lenses and their impact on the accommodative response. *Russian ophthalmological journal*. 2016; 9 (2): 102–7 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2016-9-2-102-107>]
 69. Fedtke C., Ehrmann K., Bakaraju R.C. Peripheral refraction and spherical aberration profiles with single vision, bifocal and multifocal soft contact lenses. *J. Optom.* 2020; 13 (1): 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2018.11.002>
 70. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Милаш С.В. и др. Индуцированный очками Perifocal-M периферический дефокус и прогрессирование миопии у детей. Российская педиатрическая офтальмология. 2015; 10 (2): 33–7. [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Milash S.V., et al. Peripheral defocus induced by Perifocal-M spectacles and myopia progression in children. *Rossijskaya pediatričeskaya oftal'mologiya*. 2015; 10 (2): 33–7 (In Russian)].
 71. Ибатуллин Р.А., Проскурина О.В., Тарутта Е.П. Многофакторные механизмы терапевтического воздействия перифокальных очков (Perifocal-M) на прогрессирование миопии у детей. Офтальмология. 2018; 15 (4): 433–8. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-433-438> [Ibatulin R.A., Proskurina O.V., Tarutta E.P. Multi-factoral mechanisms of therapeutic effect of perifocal spectacles (Perifocal-M) on progressive myopia in children. *Oftal'mologiya*. 2018; 15 (4): 433–8 (In Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-4-433-438>]
 72. Proskurina O.V., Tarutta E.P., Ibatulin R.A. Mechanism of Perifocal – M therapeutic impact and long-term date in children with progressive myopia. *ES Ophthalmology*. 2019; 10 (12): 63–9.
 73. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Ибатуллин Р.А., Ковычев А.С. Предикторы миопии как отправная точка для начала активных мер по предупреждению ее развития. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (3): 107–12. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-107-112> [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Ibatulin R.A., Kovychev A.S. Myopia predictors as a starting point for active prevention of myopia development. *Russian ophthalmological journal*. 2018; 11 (3): 107–12 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-107-112>]
 74. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Маркосян Г.А. Анализ факторов риска развития близорукости в дошкольном и раннем школьном возрасте. Анализ риска здоровью. 2019; 3: 26–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.03> [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Markossian G.A. Analysis of risk factors that cause myopia in pre-school children and primary school students. *Health Risk Analysis*. 2019; 3: 26–33 (In Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.03>]
 75. Atchison D.A., Mathur A., Varnas S.R. Visual performance with lenses correcting peripheral refractive errors. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90 (11): 1304–11. <https://doi.org/10.1097/OPX.000000000000033>
 76. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Милаш С.В., Маркосян Г.А. Отдаленные результаты очковой коррекции с перифокальным дефокусом у детей с прогрессирующей миопией. Вестник офтальмологии. 2019; 135 (5): 46–53. [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Milash S.V., Markossian G.A. Long-term results of perifocal defocus spectacle lens correction in children with progressive myopia. *Vestnik Oftal'mologii*. 2019; 135 (5): 46–53 (In Russian). <http://dx.doi.org/10.17116/oftalma201913505146>]
 77. Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г. Влияние ортокератологических линз на сферическую абберацию оптической системы глаза. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (2): 17–21. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-2-17-21> [Tarutta E.P., Arutyunyan S.G. The impact of orthokeratology contact lenses on spherical aberration of the optical system of the eye. *Russian ophthalmological journal*. 2018; 11 (2): 17–21 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-2-17-21>]
 78. Hiraoka T., Matsumoto Y., Okamoto F., et al. Corneal higher-order aberrations induced by overnight orthokeratology. *Am. J. Ophthalmol.* 2005; 139 (3): 429–36. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2004.10.006>
 79. Lau J.K., Vincent S.J., Cheung S.W., Cho P. Higher-order aberrations and axial elongation in myopic children treated with orthokeratology. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2020; 61 (2): 22. <https://doi.org/10.1167/iov.61.2.22>
 80. Yoo Y.S., Kim D.Y., Byun Y.S., et al. Impact of peripheral optical properties induced by orthokeratology lens use on myopia progression. *Heliyon*. 2020; 6 (4): e03642. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03642>
 81. Катаргина Л.А., ред. Аккомодация: руководство для врачей. Москва: Апрель; 2012. [Katargina L.A., ed. *Accommodation: doctor's guide*. Moscow: April; 2012 (In Russian)].
 82. Тарутта Е.П., Аляева О.О., Егорова Т.С. Способ оценки объема псевдоаккомодации до и после ортокератологической коррекции миопии. Патент РФ № 2500339; 2013. [Tarutta E.P., Alyaeva O.O., Egorova T.S. Method for estimating the volume of pseudo-accommodation before and after orthokeratological myopia correction. Patent RF №2500339; 2013 (In Russian)].
 83. Тарутта Е.П., Аляева О.О., Егорова Т.С. Оценка аккомодации и псевдоаккомодации на фоне ортокератологической коррекции миопии. Российский офтальмологический журнал. 2014; 7 (2): 68–71. [Tarutta E.P., Alyaeva O.O., Egorova T.S. Assessment of accommodation and pseudo accommodation of myopic patients in orthokeratology. *Russian ophthalmological journal*. 2014; 7 (2): 68–71 (In Russian)].
 84. Si J.K., Tang K., Bi H.S., Guo D.D., Guo J.G., Wang X.R. Orthokeratology for myopia control: a meta-analysis. *Optom. Vis. Sci.* 2015; 92 (3): 252–7. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000505>
 85. Тарутта Е.П., Вержанская Т.Ю. Стабилизирующий эффект ортокератологической коррекции миопии (результаты десятилетнего динамического наблюдения). Вестник офтальмологии. 2017; 133 (1): 49–54. [Tarutta E.P., Verzhanskaya T.Yu. Stabilizing effect of orthokeratology lenses (ten-year follow-up results). *Vestnik Oftal'mologii*. 2017; 133 (1): 49–54 (In Russian). <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133149-54>]
 86. Hiraoka T., Sekine Y., Okamoto F., Mihashi T., Oshika T. Safety and efficacy following 10-years of overnight orthokeratology for myopia control. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2018; 38 (3): 281–9. <https://doi.org/10.1111/opo.12460>
 87. Lee Y., Wang, J., Chiu C. Effect of orthokeratology on myopia progression: twelve-year results of a retrospective cohort study. *BMC Ophthalmol.* 2017; 17 (1): 243. <https://doi.org/10.1186/s12886-017-0639-4>
 88. Ruiz-Alcocer J., Madrid-Costa D., Radhakrishnan H., et al. Changes in accommodation and ocular aberration with simultaneous vision multifocal contact lenses. *Eye Contact. Lens.* 2012; 38 (5): 288–94. <https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e3182654994>
 89. Li S.M., Kang M.T., Wu S.S., et al. Studies using concentric ring bifocal and peripheral add multifocal contact lenses to slow myopia progression in school-aged children: a meta-analysis. *Ophthalmic. Physiol. Opt.* 2017; 37 (1): 51–9. <https://doi.org/10.1111/opo.12332>
 90. Wolffsohn J.S., Calossi A., Cho P., et al. Global trends in myopia management attitudes and strategies in clinical practice — 2019 Update. *Cont. Lens. Anterior Eye.* 2020; 43 (1): 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2019.11.002>
 91. Маркосян Г.А., Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н. и др. Клинико-функциональные и биомеханические аспекты патогенеза, диагностики и лечения врожденной миопии: обзор литературы и анализ собственных данных. Российская педиатрическая офтальмология. 2016; 3: 149–57. [Markossian G.A., Tarutta E.P., Iomdina E.N., et al. The clinico-functional and biomechanical aspects of pathogenesis, diagnostics and treatment of congenital myopia: the review of the literature and the analysis of the native data. *Rossijskaya pediatričeskaya oftal'mologiya*. 2016; 3: 149–57 (In Russian)].
 92. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А., Проскурина О.В. и др. Периферический дефокус миопических глаз при коррекции перифокальными, монофокальными очками и мягкими контактными линзами. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (4): 36–42. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-4-36-41> [Tarutta E.P., Tarasova N.A., Proskurina O.V., et al. Peripheral defocus of myopic eyes corrected with Perifocal-M glasses, monofocal glasses, and soft contact lenses. *Russian ophthalmological journal*. 2018; 11 (4): 36–42 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-4-36-41>]
 93. Сутка М.М., Бодрова С.Г., Поздеева Н.А. Эффективность различных способов оптической коррекции прогрессирующей миопии у детей

и подростков на основе сравнительной оценки исследования аккомодации и длины глаза. Офтальмология. 2018; 15 (2S): 65–72. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-2S-65-72> [Sitka M.M., Bodrova S.G., Pozdeyeva N.A. The effectiveness of different optical correction methods in

children and adolescents with progressive myopia based on a comparative evaluation of the accommodation and axial length of eyes. Ophthalmologia. 2018; 15 (2S): 65–72 (In Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-2S-65-72>

Вклад авторов в работу: Е.П. Тарутта — замысел и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования; О.В. Проскурина — сбор данных, подготовка статьи к публикации; Г.А. Маркосян — сбор данных; С.В. Милаш — сбор данных, подготовка статьи к публикации; Н.А. Тарасова — сбор данных, подготовка статьи к публикации; Н.В. Ходжабекян — сбор данных.

Authors' contribution: E.P. Tarutta — development of research concept and design, analysis and data interpretation, critical revision in terms of meaningful intellectual content, final approval of the version of the article for publication; O.V. Proskurina — data collection, preparation of the article for publication; G.A. Markossian — data collection; S.V. Milash — data collection, preparation of the article for publication; N.A. Tarasova — data collection, preparation of the article for publication; N.V. Khodzhabekyan — data collection.

Поступила: 24.04.2020

Переработана: 29.04.2020

Принята к печати: 12.05.2020

Originally received: 24.04.2020

Final revision: 29.04.2020

Accepted: 12.05.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногызская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Ольга Владимировна Проскурина — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Гаяне Айказовна Маркосян — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Сергей Викторович Милаш — научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Наталья Алексеевна Тарасова — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Нарине Володяевна Ходжабекян — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Для контактов: Ольга Владимировна Проскурина,
proskourina@mail.ru

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryzskaya st., Moscow, 105062, Russia

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Olga V. Proskurina — Dr. of Med. Sci., leading researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Gayane A. Markossian — Dr. of Med. Sci., leading researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Sergey V. Milash — researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Natal'ya A. Tarasova — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Narine V. Khodzhabekyan — Cand. of Med. Sci., leading researcher of the department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Contact information: Olga V. Proskurina,
proskourina@mail.ru