<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-4-92-98>

Современные оптические методы коррекции периферического дефокуса

С.В. Милаш, М.В. Епишина, Р.Р. Толорая

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

Экспериментальные исследования на животных представили убедительные доказательства возможности — посредством манипуляции с дефокусом различного знака — замедлять или ускорять рост глаза. Ведущим механизмом в ряде современных оптических стратегий профилактики прогрессирования миопии является наведение (индукция) миопического дефокуса на периферию сетчатки или уменьшение гиперметропического дефокуса. В обзоре проанализированы сведения о периферической рефракции при ортокератологической, мультифокальной контактной и мультифокальной очковой коррекции. Показана эффективность данных методов коррекции в контроле прогрессии миопии у детей и подростков.

Ключевые слова: миопия; периферическая рефракция; ортокератология; мультифокальные мягкие контактные линзы; мультифокальные очки; очки «Перифокал»

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Милаш С.В., Епишина М.В., Толорая Р.Р. Современные оптические методы коррекции периферического дефокуса. Российский офтальмологический журнал. 2019; 12 (4): 92–8. doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-4-92-98

Modern optical methods of peripheral defocus correction

Sergei V. Milash, Marina V. Epishina, Rusudan R. Toloraya

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
sergey_milash@yahoo.com

Experimental animal studies proved that by manipulating with the defocus one can slow down or speed up the eye growth. The leading mechanism among modern optical strategies of myopia progression treatment is to induce myopic defocus to retinal periphery or decrease the hyperopic defocus. This review sums up the data on peripheral refraction in orthokeratological, multifocal contact, and multifocal spectacle correction. The effectiveness of these methods in myopia control in children and teenagers is shown.

Keywords: myopia; peripheral refraction; orthokeratology; multifocal soft contact lenses; multifocal spectacle lens; Perifocal spectacles

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: Milash S.V., Epishina M.V., Toloraya R.R. Modern optical methods of peripheral defocus correction. Russian ophthalmological journal. 2019; 12 (4): 92–8 (In Russian). doi: 10.21516/2072-0076-2019-12-4-92-98

В России заболеваемость детей и подростков близорукостью за последние 20 лет выросла в 1,5 раза. Близорукость занимает первое место в структуре детской и взрослой глазной патологии [1, 2]. По результатам обследования 1557 школьников в Москве доля пациентов с миопией среди учащихся 1-х классов составляет всего 2 %, к 5-му классу — 10 %, в 11-м классе — 23 %, т. е. увеличивается более чем в 10 раз [3]. В работе, проведенной по инициативе Экспертного совета по аккомодации и рефракции, в некоторых регионах России обнаружено 16-кратное увеличение распространенности близорукости за период школьного обучения: с 2,4 % в 1-м классе до 38,6% в 11-м классе [4]. У выпускников гимназий и лицеев показатели распространенности еще выше и составляют 50,7 % [4].

Согласно метаобзору В. Holden и соавт. [5], в 2000 г. в мире было 22,9 % близоруких, из них 2,7 % имели близорукость высокой степени. По прогнозу уже к 2050 году эти цифры увеличатся до 49,7 % ($\approx 4,8$ млрд человек) и 9,8 % соответственно, что станет серьезной глобальной медико-социальной проблемой общественного здравоохранения.

Эпидемиологические исследования показывают, что миопия имеет большее распространение в городах среди пользователей гаджетов (компьютеров), студентов вузов и у людей с высоким уровнем образования [5–7]. Современные теории патогенеза миопии предполагают, что не только наследственность играет решающую роль в развитии и прогрессировании миопии, но и факторы окружающей среды (интенсивная работа на близком расстоянии, сниженная физическая активность, особенно на открытом воздухе, и некоторые другие) [7, 8]. Эти факторы реализуются посредством механизма зрительной обратной связи. Другими словами, характер дефокусировки на сетчатке отдельно или во взаимодействии с наследственной предрасположенностью может определять развитие рефракции.

В последние годы в исследованиях миопии у детей большое значение придают периферической рефракции (ПР). Под этим понятием подразумевают преломление лучей, проецирующихся на парacentральные и периферические участки сетчатки. Если рефракция на периферии сильнее, чем в центре, то говорят о миопическом периферическом дефокусе, если, напротив, периферическое преломление слабее центрального, то о гиперметропическом.

Многочисленные экспериментальные исследования на моделях животных (в том числе на

человекообразных обезьянах) продемонстрировали возможность компенсаторно изменять рефракцию в ответ на линсинуцированный дефокус различного знака [9, 10]. Эксперименты с частичной депривацией [11] и гемидефокусировкой [12], когда часть поля зрения экранировалась или подвергалась дефокусировке различного знака, показали возможность регионально изменять форму глаза при манипуляциях с периферическим зрением. В работе E. Smith и соавт. [13] с помощью лазерной фотоабляции ($10\text{--}12^\circ$ центральной сетчатки) разрушали фовеа у детенышей макаки и инициировали миопию с помощью периферической зрительной депривации, которая развивалась аналогично группе контроля (без удаления фовеа). Был сделан вывод, что периферия в отдельности может реагировать на аномальный зрительный стимул, изменяя аксиальный рост глаза, а сигналы из фовеа не являются доминирующими для процесса рефрактогенеза.

Связь между периферической и центральной рефракцией хорошо изучена, начиная с работ С. Ferrer и соавт. [14]. В процессе рефрактогенеза усиление клинической рефракции и удлинение глаза сопровождаются сменой периферического дефокуса [15]. В горизонтальной плоскости по мере усиления клинической рефракции от высокой гиперметропии к высокой миопии частота и величина периферического миопического дефокуса убывают и нарастают частота и величина гиперметропического периферического дефокуса [15, 16]. Многие авторы высказывали мнение, что периферический гиперметропический дефокус может являться потенциальным стимулом к прогрессии миопии [17–19]. Была выдвинута гипотеза, согласно которой относительный гиперметропический дефокус на периферии сетчатки может быть фактором риска развития миопии, дающим триггерный стимул для компенсаторного роста глазного яблока, а миопический дефокус на периферии сетчатки может замедлить или остановить осевое удлинение, следовательно — развитие или прогрессирование миопии [20]. Вместе с тем ряд продольных и поперечных исследований не подтвердили прогностическую роль естественного периферического дефокуса [15, 21–23]. Исходный знак и величина периферического дефокуса не предсказывали начало миопии и ее прогрессирование. Е.П. Тарутта и соавт. [15] подчеркивают, что тормозить или ускорять рост глаза способен только индуцированный (наведенный различными устройствами, воздействиями, оптически-

ми методами) дефокус нужного знака и величины. D. Atchison, R. Rosen [24] выдвинули альтернативную теорию, согласно которой замедлить или остановить прогрессирование миопии может состояние ПР, близкое к эметропии. В свою очередь J. He [25] считает, что и центральный, и периферический гиперметропический дефокус, обусловленный растущим хрусталиком, может стимулировать развитие миопии.

Интерес к изучению ПР у пациентов с прогрессирующей близорукостью в последние годы поддерживается результатами клинических наблюдений за детьми, пользующимися современными оптическими средствами коррекции миопии, способными модифицировать периферический дефокус (уменьшая периферическую дальность зрения или индуцируя периферическую миопию), как в формате очков, так и в формате контактных линз.

На данный момент ортокератология считается одной из наиболее эффективных оптических стратегий профилактики миопии у детей и подростков. Рефракционный эффект ортокератологических линз (ОКЛ) связан с ремоделированием толщины роговичного эпителия в центре и на средней периферии, что приводит к изменениям топографии передней поверхности роговицы с уплощением ее центральной части и выпячиванием (и усилением преломления) парацентральных отделов [26, 27]. Формируется положительная сферическая аберрация (SA), оптический центр роговицы преломляет слабее среднепериферической зоны. После воздействия ОКЛ во всех периферических зонах в горизонтальном, вертикальном и косых меридианах по данным периферической рефрактометрии выявляется значительный миопический периферический дефокус [28–32]. Наибольшие изменения в периферическом преломлении происходят уже после первой ночи ношения ОКЛ, в дальнейшем изменения менее выражены [30]. Обращает на себя внимание то, что исходная степень аксиальной миопии коррелирует с максимальным значением индуцированной периферической близорукости [31]. Разные модели ночных линз минимально отличаются по степени влияния на профиль ПР, что предполагает схожие результаты контроля прогрессирования миопии [32].

В исследованиях разных авторов было показано преимущество ОКЛ в профилактике прогрессирования миопии по сравнению с группой контроля в монофокальных очках или контактных линзах. Тормозящий эффект ортокератологии варьируется в различных исследованиях в зависимости от срока наблюдения, возраста пациентов, этнической принадлежности, методик измерения и способа коррекции в группе контроля. В метаанализе Y. Sun и соавт. [33] (546 пациентов, период наблюдения в анализируемых исследованиях не превышал 24 мес) миопическая прогрессия была снижена на 45 % (по динамике длины передне-задней оси глаза,

ПЗО) в группе ОКЛ по сравнению с группой контроля в монофокальных очках. S. Li и соавт. [34] в 2016 г. в своем метаанализе на основе 3 рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) и 6 когортных исследований показали, что средняя разница удлинения ПЗО глаза между группой ночных линз и группой контроля через 6 мес, 1 год, 1,5 и 2 года составила 0,13, 0,19, 0,23 и 0,27 мм ($p < 0,01$) соответственно. J. Si и соавт. [35] после проведения метаанализа делают убедительный вывод, что ортокератология может замедлять темпы аксиального роста глаза у детей. Средневзвешенная разница между группой ОКЛ (218 человек) и группой контроля (217 человек) составила 0,26 мм. Большинство продольных исследований ОКЛ имеют период наблюдения до 5 лет. Первое долгосрочное (10 лет) исследование влияния ОКЛ на динамику ПЗО у пациентов с близорукостью было проведено в МНИИ ГБ им. Гельмгольца Е.П. Таруттой и Т.Ю. Вержанской в 2017 г. [36]. Годовое удлинение ПЗО за 10-летний период варьировалось в диапазоне от 0,01 до 0,2 мм со средним значением 0,076 мм. В 10-летнем исследовании 2018 г. Т. Hiraoka и соавт. [37] сравнили показатели прогрессии близорукости в группе ОКЛ и мягких контактных линз (МКЛ). Прогрессирование миопии в группе ОКЛ ($1,26 \pm 0,98$ дптр) было на 30 % более медленным, чем в группе МКЛ ($1,79 \pm 1,24$ дптр). На сегодняшний день максимальный период наблюдения составляет 12 лет в ретроспективном когортном исследовании Y. Lee и соавт. [38], где средняя динамика прогрессирования за год составила от 0,2 до 0,3 дптр в группе ночных линз против 0,4–0,5 дптр в группе монофокальных очков.

Определен ряд факторов, влияющих на замедление роста глаза на фоне ношения линз обратной геометрии. Наибольшую корреляцию с торможением удлинения ПЗО после ношения ОКЛ у лиц с миопией слабой и средней степени показали исходно более старший возраст в начале ношения линз и исходно более высокий сферозэквивалент рефракции [39]. Обнаружена количественная связь между изменениями периферической рефракции на кератотопограмме после ОКЛ и скоростью роста глаза [40]. Недавно разработан новый метод анализа относительной рефракции роговицы по кератотопограмме у детей, использующих ОКЛ, и показана его связь с контролем миопии. Значение максимальной относительной рефракции роговицы больше 4,5 дптр продемонстрировало высокую вероятность эффекта замедления прогрессирования близорукости (80 %) [41]. M. Faria-Ribeiro и соавт. [42] делают вывод, что эффект снижения темпа прогрессирования близорукости на фоне коррекции ОКЛ может зависеть от размера зрачка, что также связано с ПР и уровнем аберраций. В попытке увеличить площадь и величину миопического дефокуса на сетчатке и тем самым увеличить эффект торможения прогрессирования миопии были

разработаны новые конструкции ОКЛ с меньшей оптической зоной, способные создавать более крутое среднепериферическое кольцо на кератотопограмме в зоне зрачка [43]. Однако данных о повышении эффективности профилактики прогрессирования миопии при использовании новых конструкций ОКЛ в настоящий момент нет, необходимы дополнительные исследования.

В последнее время с целью уменьшения носительного гиперметропического дефокуса на периферии сетчатки или создания миопической расфокусировки, аналогичной ОКЛ, было предложено использовать мультифокальные МКЛ (МФ МКЛ), как специально разработанные для торможения (контроля) прогрессии миопии, так и изначально созданные для коррекции пресбиопии (за счет создания положительной SA и увеличения глубины фокуса). МФ МКЛ индуцируют более высокий уровень аберраций высшего порядка, который может влиять на периферическую оптику глаза и аккомодацию [44]. МФ МКЛ, используемые для целей управления прогрессированием миопии, представлены в двух различных дизайнах: с бифокальными кольцевыми зонами и с постепенным увеличением аддидации от центра к периферии. Различные модели МФ МКЛ вызывали миопический сдвиг ПР и изменение структуры аберраций волнового фронта, отличавшиеся в зависимости от дизайна линзы и аддидации [45]. В работе Р. Kang и соавт. [46] миопический сдвиг в профиле ПР у пациентов с миопией слабой и средней степени был обнаружен в МФ МКЛ, в отличие от обычных МКЛ. D. Lopes-Ferreira и соавт. [47] сравнивали профиль ПР у эметропов без коррекции и в МФ МКЛ с различной аддидацией от +1 до +4 дптр. Аддидация +3,00 и +4,00 дптр приводит к значительному изменению ПР в сторону миопических значений, а +1 и +2 дптр не оказывает практического воздействия на периферическую рефракцию по сравнению с исходным уровнем. Разные модели МФ МКЛ с одинаковой аддидацией влияли на ПР по-разному в зависимости от дизайна линзы (диаметра оптической зоны, ширины зоны аддидации, степени изменения аддидации от центра к периферии). При исследовании осевой рефракции глаз с коррекцией МФ МКЛ часто обнаруживают миопию [47, 48] (особенно в линзах с большой аддидацией), которая может влиять на вычисление относительной ПР. Подобный артефакт связан с диаметром оптической зоны линзы, а также с диаметром измерительного луча авторефрактометра открытого поля (2,3–2,5 мм), который может перекрывать зону аддидации линзы, показывая миопию и астигматизм. При этом острота зрения не соответствует выявленной рефракции. A. Ticak, J. Walline [48] сравнили влияние на ПР МФ МКЛ с аддидацией +2,0 дптр и ОКЛ. ОКЛ наводила больший миопический периферический дефокус, чем МФ МКЛ, при эксцентриситете 20° и 30° (кроме

20° нижнего зрительного поля), и обе линзы одинаково воздействовали на ПР при 10° эксцентриситета. Профиль ПР в МФ МКЛ не зависит от рефракции в центре, в отличие от ОКЛ, и при миопии слабой степени возможно индуцировать периферический дефокус большего значения, чем в ОКЛ.

В диссертационном исследовании М. Ситка (2018) «Сравнительный анализ различных способов долгосрочной оптической коррекции прогрессирующей миопии у детей и подростков», основные результаты которой опубликованы в работе [49], показаны сопоставимые результаты профилактики прогрессирования миопии у детей с использованием ОКЛ и бифокальных МКЛ с кольцевой зоной аддидации +4,0 дптр. Среднегодовое увеличение аксиальной длины глаза составило $0,093 \pm 0,064$ мм для группы ОКЛ и $0,107 \pm 0,080$ мм для группы бифокальных МКЛ, при этом группы с коррекцией монофокальными МКЛ и очками показали значительно больший рост: $0,137 \pm 0,070$ и $0,248 \pm 0,070$ мм соответственно. В предварительном сообщении С.Э. Аветисова и соавт. 2019 г. [50] показан схожий результат среднегодового увеличения ПЗО — 0,11 мм на фоне ношения аналогичной линзы.

Двухлетнее РКИ 2018 г. MiSight Assessment Study Spain (MASS) продемонстрировало, что ношение МФ МКЛ MiSight (Cooper Vision, Pleasanton, CA, USA) (аддидация +2,0 дптр, центральная зона диаметром 3,36 мм) детьми в возрасте $11,01 \pm 1,23$ года уменьшает осевое удлинение глаза по сравнению с контрольной группой в монофокальных очках на 36,4 % ($0,28$ мм vs $0,44$ мм, $p < 0,001$). Важной особенностью исследования MASS является включение большого количества европейских детей (Caucasian), в отличие от других исследований [51].

Самый сильный эффект контроля прогрессии миопии у детей с использованием МФ МКЛ (более 70 % разницы роста ПЗО глаза с группой монофокальных МКЛ) отмечен в 12-месячном исследовании CONTROL. Авторы связали такие результаты с персонализированным подходом к выбору аддидации бифокальной линзы [52].

В крупном метаанализе 2017 г. на основе 5 рандомизированных контролируемых исследований и 3 когортных исследований показано, что МФ МКЛ различного дизайна замедляют прогрессию миопии у детей школьного возраста по сравнению с группой контроля на 30–50 % [53]. Отмечен больший эффект торможения близорукости у линз с бифокальным дизайном. Период наблюдения в работах, включенных в метаанализ, не превышал 1–2 лет. Результатов многолетних исследований влияния МФ МКЛ на близорукость в литературе нет.

Несмотря на то, что формат контактных линз идеально подходит для создания 360° периферической миопической дефокусировки и является эффективным в контроле прогрессирования миопии, вопросы безопасности в педиатрической практике

все еще актуальны [54, 55]. В отличие от контактных линз, очки безопасны (неинвазивны), просты в подборе и доступны всем слоям населения. По аналогии с МФ МКЛ и ОКЛ было предложено использовать очковые линзы специального дизайна, призванные создать относительную миопию на периферии сетчатки. Впервые с целью воздействия на ПР в очковом формате были предложены линзы с прогрессивной аддидацией (PAL). PAL вызывали сдвиг ПР в сторону миопии в коридоре прогрессии, в отличие от обычных очковых линз, которые индуцируют периферический гиперметропический дефокус [56]. В 3-летнем РКИ «COMET» (Correction of Myopia Evaluation Trial) прогрессивные очковые линзы статистически достоверно замедляли прогрессирование миопии по сравнению с обычными монофокальными очками, но тем не менее эффект торможения был клинически малозначим (разница между группами — 0,11 мм, $p = 0,0002$) [57]. Были разработаны очковые линзы целенаправленного воздействия на периферическое преломление. В работе J. Tabernero и соавт. [58] показана способность данных очковых линз создавать периферическую миопию. В Азии широко используется линза с радиальной прогрессией под названием MyoVision (Carl Zeiss Vision). Конструктивной особенностью данной линзы является центральная апертура стабильной рефракции диаметром 20 мм с дополнительной положительной рефракцией в 1,9 дптр на периферии в 25 мм от оптического центра. Конструкция линзы асимметрична, с разделением линз для правого и левого глаза. В клиническом исследовании P. Sankaridurg и соавт. [59] показана эффективность очков Myo Vision в группе детей младшего возраста (6–12 лет), у которых родители близорукое (на 30 % по сравнению с группой контроля в монофокальных очках), однако в остальных группах не обнаружено статистически достоверной разницы с группой контроля; срок наблюдения составил 12 мес. В последующем крупномасштабном многоцентровом проспективном РКИ, включавшем японских детей, не подтверждено тормозящего влияния очков Myo Vision на прогрессирование миопии [60]. В основной группе рефракция увеличилась на $-1,43 \pm 0,10$ дптр, что существенно не отличалось от таковой в контрольной группе $-1,39 \pm 0,07$ дптр, носящей монофокальные очки; срок наблюдения составил 24 мес. Возможно, отсутствие антимииопического эффекта данной очковой конструкции может быть связано с недостаточной аддидацией на периферии линзы, большой оптической зоной, а также с постоянным изменением положения глаз относительно линзы.

В Политехническом университете Гонконга разработана мультисегментная очковая линза — The Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) (патент CN104678572A). Особенность конструкции линзы заключается в создании прогрессии от границы оптической зоны диаметром 9 мм (зона

коррекции осевой рефракции) за счет многочисленных микросегментов (около 400) с положительной силой рефракции +3,5 дптр. Диаметр кольцевой зоны микросегментов — 33 мм, диаметр каждого сегмента — 1,03 мм. В двухлетнем РКИ отмечено, что китайские дети, носившие очки с линзой DIMS, имели на 52 % ($p < 0,0001$) меньшую прогрессию по данным рефрактометрии и на 62 % ($p < 0,0001$) меньшее осевое удлинение по сравнению с контрольной группой, использовавшей монофокальные очки. У 21,5 % детей, которые носили линзы DIMS, не отмечено прогрессирования миопии в течение 2 лет, в то время как в группе контроля — только у 7,4 % [61]. В России очковые линзы, создающие периферический дефокус нужного знака и величины, представлены под брендом Perifocal-M. Они позволяют дифференцированно производить коррекцию центральной и периферической рефракции глаза по горизонтальному меридиану. Усиление рефракции для каждой из сторон очковой линзы имеет несимметричное начало относительно геометрического центра. Аддидация в носовой части линзы начинается в 6 мм, а в височной — в 4 мм от оптического центра и достигает своей максимальной величины в 25 мм; последняя в носовой половине равна 2,0 дптр, в височной — 2,5 дптр. Рефракция вдоль вертикального меридиана имеет сопоставимые величины с рефракцией в геометрическом центре. Проведенное в МНИИ ГБ им. Гельмгольца продольное исследование большой группы детей показало, что очки «Перифокал-М» индуцируют миопический периферический дефокус или значительно снижают гиперметропический в большинстве периферических зон сетчатки при любом направлении взгляда, а также существенно тормозят прогрессирование миопии [62, 63].

Среди нехирургических методов борьбы с близорукостью оптические воздействия, направленные на коррекцию ПР, уступают по своей результативности только методам, основанным на применении антагонистов мускариновых рецепторов (атропин, пирензепин) различной концентрации [64]. С учетом отсутствия готовых лекарственных форм и юридических основ для применения М-холиноблокаторов для целей контроля миопии у детей оптические стратегии управления прогрессирующей близорукостью выходят на первое место в повседневной офтальмопедиатрической практике. Теория периферического дефокуса позволяет разрабатывать новые оптические методы лечения прогрессирующей близорукости у детей в формате очков и контактных линз, показавшие уже сегодня свою эффективность.

Литература/References

1. Нероев В.В. Организация офтальмологической помощи населению Российской Федерации. Вестник офтальмологии. 2014; 6: 8–12.
Neroev V.V. Eye care management in Russian Federation. Vestnik oftal'mologii. 2014; 6: 8–12 (in Russian).

2. Катарегина Л.А., Михайлова Л.А. Состояние детской офтальмологической службы Российской Федерации. Российская педиатрическая офтальмология 2015; 1: 5–10.
Katargina L.A., Mikhailova L.A. The current stage of the ophthalmological care service in the Russian Federation. Rossijskaya pediatričeskaya oftal'mologija. 2015; 1: 5–10 (in Russian).
3. Маркова Е.Ю., Пронько Н.А., Безмельницкая Л.Ю., Аминулл Л.В., Венедиктова Л.В. К вопросу о школьной близорукости. Офтальмология. 2018; 15 (1): 87–91. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-1-87-91>
Markova E.Y., Pron'ko N.A., Bezmel'nitsyna L.Y., Aminulla L.V., Venediktova L.V. To the question of school myopia. Ophthalmology in Russia. 2018; 15 (1): 87–91 (in Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-1-87-91>
4. Проскурина О.В., Маркова Е.Ю., Бржецкий 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.Yu., Brzheskij V.V., et al. The prevalence of myopia in schoolchildren in some regions of Russia. Ophthalmology in Russia. 2018; 15 (3): 348–53 (in Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-3-348-353>
5. 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: 1036–42. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
6. Morgan I.G., French A.N., Ashby R.S., et al. The epidemics of myopia: Aetiology and prevention. Prog. Retin. Eye Res. 2018; 62: 134–49. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.09.004>
7. Morgan I.G., Rose K.A. Myopia: is the nature nurture debate finally over? Clin. Exp. Optom. 2019; 102: 3–17. <https://doi.org/10.1111/cxo.12845>
8. Cooper J., Tkatchenko A.V. A Review of current concepts of the etiology and treatment of myopia. Eye Contact Lens. 2018; 44 (4): 231–47. <https://doi.org/10.1097/ICL.0000000000000499>
9. Schaeffel F., Feldkaemper M. Animal models in myopia research. Clinical and Experimental Optometry. 2015; 98 (6): 507–17. <https://doi.org/10.1111/cxo.12312>
10. Troilo D., Smith E.L., 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/iov.18-25967>
11. 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/iov.08-3232>
12. 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/iov.09-4969>
13. Smith E.L., Ramamirtham R., Qiao-Grider Y., et al. Effects of foveal ablation on emmetropization and form-deprivation myopia. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2007; 48 (9): 3914–22. <http://doi.org/10.1167/iov.06-1264>
14. Ferree C.E., Rand G., Hardy C. Refraction for the peripheral field of vision. Archives of Ophthalmology. 1931; 5: 717–31.
15. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Кварацхелия Н.Г., Милаш С.В., Кружкова Г.В. Периферическая рефракция и рефрактогенез: причина или следствие? Вестник офтальмологии. 2017; 1: 70–4. <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133170-74>
Tarutta E.P., Iom'dina E.N., Kvarachkelija N.G., Milash S.V., Kruzhkova G.V. Peripheral refraction: cause or effect of refraction development? Vestnik oftal'mologii. 2017; 1: 70–4 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133170-74>
16. Mutti D.O., Sholtz R.I., Friedman N.E., Zadnik K. Peripheral refraction and ocular shape in children. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2000; 5: 1022–30. PMID: 10752937
17. Hoogerheide J., Rempt F., Hoogenboom W.P. Acquired myopia in young pilots. Ophthalmologica. 1971; 163: 209–15. <https://doi.org/10.1159/000306646>
18. Mutti D.O., Hayes J.R., Mitchell G.L., et al. Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. The CLEERE Study Group. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2007; 48: 2510–9. <http://doi.org/10.1167/iov.06-0562>
19. Faria-Ribeiro M., Queirós A., Lopes-Ferreira D., Jorge J., González-Méjome J. Peripheral refraction and retinal contour in stable and progressive myopia. Optom. Vis. Sci. 2013; 90 (1): 9–15. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318278153c>
20. Hung G.K., Ciuffreda K.J. Incremental retinal-defocus theory of myopia development—schematic analysis and computer simulation. Computers in biology and medicine. 2007; 37 (7): 930–46. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2006.10.004>
21. Sng C.C., Lin X.Y., Gazzard G., et al. Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2011; 52 (11): 7880–7. <https://doi.org/10.1167/iov.11-7290>
22. Lee T.T., Cho P. Relative peripheral refraction in children: twelve month changes in eyes with different ametropias. Ophthalmic and Physiological Optics. 2013; 33 (3): 283–93. <https://doi.org/10.1111/opo.12057>
23. Atchison D.A., Li S.M., Li H., et al. Relative peripheral hyperopia does not predict development and progression of myopia in children. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2015; 56 (10): 6162–70. <https://doi.org/10.1167/iov.15-17200>
24. Atchison D.A., Rosen R. The possible role of peripheral refraction in development of myopia. Optom. Vis. Sci. 2016; 93 (9): 1042–4. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000979>
25. He J.C. A model of the effect of lens development on refraction in schoolchildren. Optom. Vis. Sci. 2017; 12: 1129–37. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001146>
26. Милаш С.В., Тарутта Е.П. Изменения толщины корнеального эпителия в ранние сроки после ортокератологической коррекции по данным спектральной оптической когерентной томографии. Российский офтальмологический журнал. 2017; 10 (3): 49–54. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-3-49-54>
Milash S.V., Tarutta E.P. Changes of corneal epithelial thickness at an early stage after orthokeratology lens correction according to Spectral Domain Optical Coherence Tomography. Russian ophthalmological journal. 2017; 10 (3): 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-3-49-54>
27. Нагорский П.Г., Белкина В.В., Глок М.А., Черных В.В. Состояние эпителия и стромы роговицы детей с миопией, использующих ортокератологические линзы (по данным оптической когерентной томографии). Современная оптометрия. 2012; 2: 18–27.
Nagorsky P.G., Belkina V.V., Glok M.A., Chernykh V.V. The state of epithelium and corneal stroma in children with myopia using orthokeratology lenses (according to data from optical coherence tomography). Sovremennaja optometrija. 2012; 2: 18–27 (in Russian).
28. Тарутта Е.П., Милаш С.В., Тарасова Н.А. и др. Индуцированный периферический дефокус и форма заднего полюса глаза на фоне ортокератологической коррекции миопии. Российский офтальмологический журнал. 2015; 8 (3): 52–6.
Tarutta E.P., Milash S.V., Tarasova N.A., et al. Induced peripheral defocus and the shape of the posterior eye pole in orthokeratological myopia correction. Russian ophthalmological journal. 2015; 8 (3): 52–6 (in Russian).
29. Queirós A., Amorim-de-Sousa A., Lopes-Ferreira D., et al. Relative peripheral refraction across 4 meridians after orthokeratology and LASIK surgery. Eye Vis. (Lond). 2018; 5: 12. <https://doi.org/10.1186/s40662-018-0106-1>
30. Kang P., Swarbrick H. Time course of the effects of orthokeratology on peripheral refraction and corneal topography. Ophthalmic Physiol. Opt. 2013; 33: 277–82. <https://doi.org/10.1111/opo.12027>
31. González-Méjome J.M., Faria-Ribeiro M.A., Lopes-Ferreira D.P., Fernandes P., Carracedo G., Queiros A. Changes in peripheral refractive profile after orthokeratology for different degrees of myopia. Current eye research. 2016; 2: 199–207. <https://doi.org/10.3109/02713683.2015.1009634>
32. Kang P., Swarbrick H. The influence of different OK lens designs on peripheral refraction. Optom. Vis. Sci. 2016; 9: 1112–9. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000889>
33. Sun Y., Xu F., Zhang T., et al. Orthokeratology to control myopia progression: a meta-analysis. Al-Ghoul K.J., ed. PLoS ONE. 2015; 10 (4): e0124535. doi: 10.1371/journal.pone.0124535
34. Li S.M., Kang M.T., Wu S.S., et al. Efficacy, safety and acceptability of orthokeratology on slowing axial elongation in myopic children by meta-analysis. Curr. Eye Res. 2016; 41: 600–8. doi: 10.3109/02713683.2015.1050743
35. Si J.K., Tang K., Bi H.S., et al. Orthokeratology for myopia control: a meta-analysis. Optom. Vis. Sci. 2015; 92: 252–7.
36. Тарутта Е.П., Вержанская Т.Ю. Стабилизирующий эффект ортокератологической коррекции миопии (результаты десятилетнего наблюдения). Вестник офтальмологии. 2017; 1: 49–54. <http://doi.org/10.17116/engoftalma20171331-3>
Tarutta E.P., Verzhanskaya T.Yu. Stabilizing effect of orthokeratology lenses (ten-year follow-up results). Vestnik oftal'mologii. 2017; 1: 49–54 (in Russian). <http://doi.org/10.17116/engoftalma20171331-3>
37. 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: 281–9. <https://doi.org/10.1111/opo.12460>
38. Lee Y.C., Wang J.H., Chiu C.J. 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>
39. Wang B., Naidu R.K., Qu X. Factors related to axial length elongation and myopia progression in orthokeratology practice. PLoS ONE. 2017; 12 (4): e0175913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175913>
40. Lee E.J., Lim D.H., Chung T.Y., Hyun J., Han J. Association of axial length growth and topographic change in orthokeratology. Eye Contact Lens. 2018; 44: 292–8.
41. Jinghui Wang, Dan Yang, Hua Bi., et al. A new method to analyze the relative corneal refractive power and its association to myopic progression control with orthokeratology. Trans. Vis. Sci. Tech. 2018; 7 (6): 17. <https://doi.org/10.1167/tvst.7.6.17>
42. Faria-Ribeiro M., Navarro R., González-Méjome J. Effect of pupil size on wavefront refraction during orthokeratology. Optom. Vis. Sci. 2016; 93 (11): 1399–408. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000989>

43. Carracedo G., Espinosa-Vidal T.M., Martínez-Alberquilla I., Batres L. The topographical effect of optical zone diameter in orthokeratology contact lenses in high myopes. *J. Ophthalmol.* 2019; 2019: 1082472. <https://doi.org/10.1155/2019/1082472>
44. 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: 288–94. <https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e3182654994>
45. Fedtke C., Ehrmann K., Thomas V., Bakaraju R.C. Peripheral refraction and aberration profiles with multifocal lenses. *Optom Vis Sci.* 2017; 94: 876–85. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001112>
46. Kang P., Fan Y., Oh K., et al. The Effect of multifocal soft contact lenses on peripheral refraction. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90: 658–66. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3182990878>
47. Lopes-Ferreira D., Ribeiro C., Maia R., et al. Peripheral myopization using a dominant design multifocal contact lens. *J. Optom.* 2011; 4: 14–21. [https://dx.doi.org/10.1016%2FS1888-4296\(11\)70035-8](https://dx.doi.org/10.1016%2FS1888-4296(11)70035-8)
48. Ticak A., Walline J.J. Peripheral optics with bifocal soft and corneal reshaping contact lenses. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90 (1): 3–8. <https://dx.doi.org/10.1097/OPX.0b013e3182781868>
49. Ситка 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>
50. 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. *Ophthalmology in Russia.* 2018; 15 (2S): 65–72 (in Russian). <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2018-2S-65-72>
51. Аветисов С.Э., Мягков А.В., Егорова А.В. Коррекция прогрессирующей миопии бифокальными контактными линзами с центральной зоной для дали: изменения аккомодации и передне-задней оси (предварительное сообщение). *Вестник офтальмологии.* 2019; 135(1): 42–6. <https://doi.org/10.17116/oftalma201913501142>
52. Avetisov S.E., Myagkov A.V., Egorova A.V. Correcting progressive myopia with bifocal contact lenses with central zone for distant vision: changes in accommodation and axial length (a preliminary report). *Vestnik oftalmologii.* 2019; 135 (1): 42–6 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/oftalma201913501142>
53. Ruiz-Pomeda A., Perez-Sanchez B., Valls I., et al. MiSight Assessment Study Spain (MASS). A 2-year randomized clinical trial. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 2018; 256: 1011–21. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-3906-z>
54. Aller T.A., Liu M., Wildsoet C.F. Myopia control with bifocal contact lenses: a randomized clinical trial. *Optom. Vis. Sci.* 2016; 93: 344–52. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000808>
55. 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: 51–9. <https://doi.org/10.1111/opo.12332>
56. Sankaridurg P., Chen X., Naduvilath T., et al. Adverse events during 2 years of daily wear of silicone hydrogels in children. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90 (9): 961–9. <https://doi.org/10.1097/OPX.000000000000017>
57. Bullimore M.A., Sinnott L.T., Jones-Jordan L.A. The risk of microbial keratitis with overnight corneal reshaping lenses. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 9: 937–44. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31829cac92>
58. 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>
59. 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>
60. Tabernero J., Vazquez D., Seidemann A., Uittenweiler D., Schaeffel F. Effects of myopic spectacle correction and radial refractive gradient spectacles on peripheral refraction. *Vision research.* 2009; 49 (17): 2176–86. doi: 10.1016/j.visres.2009.06.008
61. Sankaridurg P., Donovan L., Varnas S., et al. Spectacle lenses designed to reduce progression of myopia: 12-month results. *Optom. Vis. Sci.* 2010; 87 (9): 631–41. <https://dx.doi.org/10.1097%2FOPX.0b013e3181ea19c7>
62. Kanda H., Oshika T., Hiraoka T., et al. Effect of spectacle lenses designed to reduce relative peripheral hyperopia on myopia progression in Japanese children: a 2-year multicenter randomized controlled trial. *Jpn. J. Ophthalmol.* 2018; 62: 537–43. <https://doi.org/10.1007/s10384-018-0616-3>
63. Lam C.S.Y., Tang W.C., Tse D.Y., et al. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomized clinical trial. *Br. J. Ophthalmol.* 2019; 0: 1–6. doi:10.1136/bjophthalmol-2018-313739
64. 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): 36–41. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-4-36-41>
65. 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): 36–41 (in Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-4-36-41>
66. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Милаш С.В. и др. Индуцированный очками Перифокал-М периферический дефокус и прогрессирование миопии у детей. *Российская педиатрическая офтальмология.* 2015; 2: 33–7.
67. Tarutta E.P., Proskurina O.V., Milash S.V., et al. Peripheral defocus induced by Perifocal-M spectacle and myopia progression in children. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftalmologiya.* 2015; 2: 33–7 (in Russian).
68. Huang J., Wen D., Wang Q., et al. Efficacy comparison of 16 interventions for myopia control in children: a network meta-analysis. *Ophthalmology.* 2016; 123: 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.11.010>

Поступила: 11.06.2019

Переработана: 23.07.2019

Принята к печати: 07.10.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

Марина Викторовна Епишина, канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Русудан Руслановна Толорая, канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники

Для контактов: Сергей Викторович Милаш,

sergey_milash@yahoo.com

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3553-9896>

Originally received: 11.06.2019

Final revision: 23.07.2019

Accepted: 07.10.2019

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

Sergei V. Milash, researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics
Marina V. Epishina, Cand. of Med. Sci., researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Rusudan R. Toloraya, Cand. of Med. Sci., researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics

Contact information: Sergei V. Milash,

sergey_milash@yahoo.com

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3553-9896>