

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 617

*Милаш С.В.***ПЕРИФЕРИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ И ПРОГРЕССИРОВАНИЕ  
МИОПИИ**

ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, Москва, 105062, РФ

Предположение о возможной связи между развитием близорукости и периферической рефракцией обуславливает повышенный интерес к всестороннему изучению периферического преломления и влиянию на него различных средств коррекции. В данном литературном обзоре обобщены экспериментальные и клинические данные, свидетельствующие о важной роли периферической рефракции в регуляции роста глаза. Показано, что оптические стратегии коррекции миопии с возможностью индукции миопического периферического дефокуса оказываются более эффективными в профилактике прогрессирования близорукости по сравнению с монофокальными очками и контактными линзами.

**Ключевые слова:** *миопия; периферическая рефракция; дефокус; ортокератология; мультифокальные контактные линзы; мультифокальные очки*

**Для цитирования:** Милаш С.В. Периферическая рефракция и прогрессирование миопии. Обзор литературы. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2018; 13(3): 143-148. DOI: [http:// dx.doi.org/10.18821-1859-2018-13-3-143-148](http://dx.doi.org/10.18821-1859-2018-13-3-143-148)

**Для корреспонденции:** *Милаш Сергей Викторович*, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики. E-mail: [sergey\\_milash@yahoo.com](mailto:sergey_milash@yahoo.com)

*Milash S.V.***PERIPHERAL REFRACTION AND MYOPIA PROGRESSION**

The Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, Russian Ministry of Health, Moscow, 105062, Russian Federation

The hypothesis of possible connection between the development of myopia and peripheral refraction determines high interest to thorough examination of peripheral defocus and the influence of different means of correction on it. Experimental and clinical data, showing the important role of peripheral refraction in the regulation of eye growth, are collected in this review. The review proves that optical strategies of myopia correction with possible induction of peripheral myopic defocus are more effective in myopia progression prevention compared to single vision spectacle lenses and contact lenses.

**Keywords:** *myopia; peripheral refraction; defocus; orthokeratology; multifocal contact lenses; multifocal spectacles.*

**For citation:** Milash S.V. Peripheral refraction and myopia progression. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya (Russian pediatric ophthalmology)*. 2018; 13(3): 143-148. DOI: [http:// dx.doi.org/10.18821-1859-2018-13-3-143-148](http://dx.doi.org/10.18821-1859-2018-13-3-143-148)

**For correspondence:** *Sergey Milash* researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoergonomics. The Helmholtz Moscow research Institute of Eye Diseases. E-mail: [sergey\\_milash@yahoo.com](mailto:sergey_milash@yahoo.com)

**Information about authors:** Milash S.V.: <https://orcid.org/0000-0002-3553-9896>

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received 18 October 2018

Accepted 30 October 2018

В последние годы в исследованиях постнатального рефрактогенеза у детей большое значение придают периферической рефракции (ПР) [1–3]. Под этим понятием подразумевают преломление лучей, проецирующихся на парацентральные и периферические участки сетчатки.

Hoogerheide J. и соавт. [4] в 1971 г. впервые связали профиль скиаграммы ПР с прогрессией близорукости. Свои исследования авторы проводили в аэромедицинском госпитале с целью выявления факторов риска развития миопии у пилотов эмме-

тропов и гиперметропов. Было обнаружено, что у гиперметропов и эметропов, у которых впоследствии развилась близорукость, скиаграмма ПР соответствовала в основном гиперметропическому дефокусу и отличалась от таковой у эметропов и гиперметропов, у которых рефракция оставалась стабильной. Другими словами, дефокус в периферических отделах сетчатки мог влиять на развитие аксиальной миопии. Интерес к работе Hoogerheide J. и соавт. значительно вырос в последние десятилетия после появления многочисленных сообщений

(полученных в экспериментальных исследования на животных) о том, что зрительная среда и ПР, в частности, посредством механизма зрительной обратной связи может участвовать в процессе рефрактогенеза. Многими авторами данное исследование было интерпретировано как продольное, а выводы послужили одним из доказательств возможного влияния естественного (следствие формы глаза) периферического дефокуса на прогрессирование миопии.

В действительности, как установил Rosén R. и соавт. [5] в 2012 году, свои измерения ПР Hoogerheide J. и соавт. проводили после развития или неразвития миопии, а данные о центральной рефракции первоначального обследования были получены из медицинских архивных данных. Таким образом, это исследование не дает доказательств существования причинно-следственной связи между исходной ПР и развитием близорукости.

Как и Hoogerheide J., Mutti D. и соавт. [6] в своей работе 2007 года также отметили, что быстрое изменение ПР в гиперметропическом направлении у детей за 2–4 года до начала миопии может служить предиктором прогрессии миопии наряду с более негативной ошибкой рефракции и более длинной ПЗО. В то же время, как было отмечено Charman W. и Radhakrishnan H. осевая миопизация начинается до развития относительной гиперметропической ПР. [7], В своей последующей статье Mutti D. и соавт. [8] были менее категоричны, чем в работе 2007 года, и сообщили, что относительная периферическая дальность зрения не оказывает большого влияния на риск развития близорукости со средним ежегодным ее прогрессированием всего лишь на  $-0,024$  дптр на диоптрию относительной периферической дальности. Faria-Ribeiro M. и соавт. [9], показали различия профиля ПР между прогрессирующей и не прогрессирующей близорукостью одинаковой степени. Schmidt G. [10] нашел слабую, но значимую корреляцию между базовой относительной периферической длиной глаза и развитием рефракции у детей. Автор предполагает, что контур сетчатки представляет собой один из факторов риска возникновения и прогрессирования близорукости, возможно, посредством стимула к росту глаза, вызванного гиперметропической расфокусировкой, которой подвергаются сетчатки с крутыми контурами. Несомненно, что относительная периферическая гиперметропия ассоциируется с миопией, и даже с прогрессирующей миопией, однако причинная и прогностическая роль периферического дефокуса в возникновении приобретенной миопии пока не подтверждена.

Была выдвинута гипотеза, согласно которой наведенный относительный гиперметропический дефокус на периферии сетчатки может быть фак-

тором 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 [11]. Данная гипотеза опирается на результаты экспериментальных исследований на моделях животных с линз индуцированным дефокусом и зрительной депривацией, показавших важную роль зрительной среды и ПР в процессе рефрактогенеза (эмметропизации).

Глаза молодых животных различных видов, включая приматов, компенсаторно (для совмещения фокальной плоскости с сетчаткой) меняли рефракционное состояние в ответ на линз-индуцированный дефокус [12]. Отрицательные линзы наводили гиперметропический дефокус и ускоряли естественный осевой рост глаза, инициируя близорукость (линз-индуцированная близорукость). Напротив, собирательные линзы наводили миопический дефокус и замедляли естественный рост глаза (рефрактогенез), оставляя глаза дальнорукими. Степень изменения осевого роста глаз хорошо коррелировала с оптической силой линзы, индуцирующей дефокус [13,14]. Лишение форменного зрения (депривация) с помощью сшивания век или использование полупрозрачного окклюдера приводило к неконтролируемому осевому удлинению глаза - депривационной миопии [15]. Депривационная и линз-индуцированная близорукость продолжали развиваться даже при хирургической (пересечение) [16] и фармакологической блокаде проводимости зрительного нерва [17], симпатической и парасимпатической иннервации [18]. Это говорит о том, что основной механизм управления ростом глаза, возможно, находится локально внутри глаза. Эксперименты с частичной депривацией [19] и геми-дефокусировкой [20], когда часть поля зрения экранировалась или подвергалась дефокусировке различного знака, показали возможность регионально изменять форму глаза при манипуляциях с периферическим зрением. В работе Earl Smith 3-го и соавт. [21] с помощью лазерной фотоабляции ( $10-12^\circ$  центральной сетчатки) удаляли фовеа у детенышей макаки и инициировали миопию с помощью зрительной депривации, которая развивалась аналогично с группой 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.

Если в эксперименте индуцированный различными оптическими средствами гиперметропический периферический дефокус, несомненно, приводит к удлинению (и даже неравномерному локальному удлинению) глазного яблока, то

в клинике попытки прогнозировать дальнейший рефрактогенез по характеру имеющегося у детей естественного, природного, дефокуса не столь успешны.

Для подтверждения прогностической роли относительной ПР в прогрессии миопии был проведен ряд продольных клинических исследований у детей. Sng C. и соавт. [22] провели динамическое исследование ПР у 187 детей в возрасте  $7,2 \pm 3,0$  лет. Было показано, что дети с эметропией, которые не стали миопами, имели периферический миопический дефокус при первоначальном обследовании и при последующем визите (срок наблюдения 1,26 года), тогда как группа детей с эметропией, которые стали близорукими, в начале имели периферическую миопию, а при последующем визите гиперметропический периферический дефокус. Авторы приходят к выводу, что исходная степень ПР не предсказывает начало миопии и не влияет на прогрессирование миопии. Lee T. и Cho P. [23] для оценки взаимосвязи ПР и центральной рефракции проводят 12 - месячное исследование у детей в возрасте 6–9 лет и делают вывод, что паттерн ПР и его изменение не может предсказать изменение осевой рефракции с течением времени. Atchison D. и соавт. [24] провели крупномасштабное продольное исследование ПР у более 1700 7-летних и более 1000 14-летних детей из Китая, сообщив, что линейная регрессия центральной рефракции в зависимости от относительной ПР не позволила прогнозировать прогрессирование миопии у детей. К аналогичным выводам приходит Rotolo M. и соавт. [25], проводившие продольное исследование на европейцах.

Тарутта Е.П. и соавт. [26] в поперечном исследовании пациентов с различными аметропиями также констатируют, что естественный периферический дефокус является не причиной, а следствием рефрактогенеза, то есть изменение ПР вторично по отношению к изменению формы глаза. По их мнению, это предположение подтверждается простой логикой: «в противном случае постнатальный рост глаза (рефрактогенез) останавливался бы на стадии гиперметропии» (которой соответствует миопический периферический дефокус).

Было высказано мнение, что гиперметропический дефокус является фактором риска прогрессирования миопии только в глазах с отрицательной сферической аберрацией, поскольку такая комбинация приводит к относительно низкому контрасту дефокусированного ретинального образа. Ситуация ухудшается при аккомодации, усиливающей негативную сферическую аберрацию (центр оптической системы преломляет сильнее ее периферии) [27].

Наряду с естественным гиперметропическим дефокусом у миопов еще одним аналогичным источником гиперметропической расфокусировки

может быть отставание аккомодационного ответа при работе вблизи. Недостаточная аккомодативная реакция при работе на близком расстоянии переводит плоскость фокуса за сетчатку. Gwiazda J. и соавт. [28] показали, что отставание аккомодации появляется за несколько лет до развития миопии и способствует миопогенезу посредством индукции гиперметропической расфокусировки на сетчатку во время работы на близком расстоянии. Во многих исследованиях было показано, что близорукие дети и дети с быстро прогрессирующей миопией проводят больше времени за работой на близком расстоянии (то есть подвергаются большей по времени и количеству дальнорукостью расфокусировке), чем эметропы или дети с медленно прогрессирующей близорукостью. Множеством авторов с помощью субъективных и объективных методик была найдена связь отставания аккомодации и прогрессирования близорукости. У пациентов с близким к норме объективным аккомодационным ответом наблюдаются наименьшие значения годичного градиента прогрессии миопии и наоборот. Предложено использовать объективный аккомодационный ответ в качестве прогностического критерия при прогрессировании миопии [29].

Тарутта Е.П. и соавт. [26] подчеркивают, что тормозить или ускорять рост глаза способен только индуцированный (наведенный различными устройствами, воздействиями, оптическими методами) дефокус нужного знака и величины. Atchison D. [30], выдвигает альтернативную теорию, согласно которой замедлить или остановить прогрессирование миопии может состояние ПР, близкое к эметропии.

Интерес к изучению ПР у пациентов с прогрессирующей близорукостью в последние годы поддерживается результатами клинических наблюдений за детьми, пользующимися ортокератологическими линзами (ОК-линзы) и мультифокальными мягкими контактными линзами (МФ МКЛ). Данные методики позволяют модифицировать ПР, уменьшая периферический гиперметропический дефокус и индуцируя периферическую миопию. Именно индукции периферической миопии отводят главную роль в снижении темпов роста глаза на фоне ортокератологической и мультифокальной контактной коррекции.

В настоящее время ортокератология считается одной из наиболее эффективных оптических стратегий профилактики миопии у детей и подростков. В исследованиях различных авторов было показано преимущество ОК – линз 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 испытуемых, этнической принадлежности, методик

измерения и способа коррекции в группе контроля. В мета-анализе Sun Y. и соавт. [31] 2015 года (546 пациентов, период наблюдения в анализируемых исследованиях не превышал 24-х месяцев) миопическая прогрессия была снижена на 45% (по данным ПЗО) в группе ОК – линз по сравнению с группой контроля в монофокальных очках [31]. Li S.M. и соавт. [32] в 2016 г. в своем мета-анализе на основе 3-х рандомизированных контролируемых исследований и 6-ти когортных исследований показали, что средняя разница удлинения ПЗО глаза между группой ночных линз и группой контроля через 6 месяцев, 1 год, 1,5 года и 2 года составила 0,13 мм, 0,19 мм, 0,23 мм и 0,27 мм ( $p < 0,01$ ), соответственно. Большинство продольных исследований в ортокератологии имеют период наблюдения до 5 лет. Первое долгосрочное исследование (10 лет) влияния ОК – линз на динамику ПЗО у пациентов с близорукостью было проведено в Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца Тарутгой Е.П. и Вержанской Т.Ю. [33] в 2017 году. 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 года Hiraoko T. и соавт. [34] сравнили показатели прогрессии близорукости в группе ОК – линз и МКЛ. Прогрессирование миопии в группе ОК – линз ( $1,26 \pm 0,98$  дптр) было на 30% медленнее, чем в группе МКЛ ( $1,79 \pm 1,24$  дптр). На сегодняшний день максимальный период наблюдения составляет 12 лет в ретроспективном когортном исследовании Lee Y.C. и соавт. [35], 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.

Был определен ряд факторов, влияющих на замедление роста глаза на фоне ортокератологии. Наибольшую корреляцию с уменьшением удлинения ПЗО после ношения ОК – линз у лиц с миопией слабой и средней степени показали исходно более старший возраст в начале ношения линз и исходно более высокий сферозквивалент рефракции [36]. Чем больше степень миопии, тем больше изменяется (увеличивается) кривизна средней периферии роговицы, индуцируя при этом более значительный периферический миопический дефокус. Faria-Ribeiro M и соавт. [37] делают вывод, что эффект снижения темпов прогрессирования близорукости на фоне коррекции ОК – линзами может зависеть от размера зрачка, что также связано с ПР и с уровнем aberrаций. С увеличением диаметра зрачка увеличивается область сетчатки, подвергающаяся периферической миопической дефокусировке, увеличивается положительная сферическая aberrация.

МФ МКЛ, подобно ортокератологии, позволяют обеспечить четкое зрение в центре и одновременно индуцировать периферическую миопию за

счет постепенного увеличения аддидации от центра к периферии или с помощью различных по силе концентрических зон. В недавнем крупном мета-анализе [38] на основе 5 рандомизированных контролируемых исследований и 3-х когортных исследований было показано, что МФ МКЛ различного дизайна замедляют прогрессию миопии у детей школьного возраста по сравнению с группой контроля на 30 – 50%. Однако, период наблюдения в большинстве работ не превышал 1–2 лет.

Выделяют две основные теории механизма торможения прогрессирования миопии на фоне коррекции ОК – линзами и МФ МКЛ. *Первая* – теория периферического близорукого дефокуса. Оба воздействия индуцируют миопический дефокус или уменьшают гиперметропический. *Вторая* теория – улучшение аккомодационного ответа и, как следствие этого, уменьшение гиперметропической расфокусировки при работе вблизи.

По аналогии с мультифокальными контактными и ортокератологическими линзами разрабатываются очковые линзы специального дизайна, призванные создать относительную миопию на периферии. В клиническом исследовании Sankaridurg P. и соавт. [39] была показана эффективность таких очков (производство Carl Zeiss Vision) в группе детей, у которых родители были близорукими, со сроком наблюдения 12 месяцев (30% по сравнению с группой контроля в монофокальных очках). В Гонконге проведено двухлетнее рандомизированное клиническое исследование мультисегментной очковой линзы, способной индуцировать периферический миопический дефокус. Отмечено, что дети, носившие очки с мультисегментной линзой, имели на 59% ( $p < 0,0001$ ) меньшую прогрессию (по данным рефрактометрии) и на 60% ( $p < 0,0001$ ) меньшее осевое удлинение по сравнению с контрольной группой, где использовались монофокальные очки. На данный момент результаты этого исследования опубликованы только в виде тезисов (Carly Siu Yin Lam et al. Myopia control with multi segment myopic defocus (MSMD) spectacle lenses; a randomized clinical trial. The 16 International myopia conference, 14-17 Sept. 2017, Birmingham UK. Program summary. Abstract № 0017, P 14.). В России подобные очковые линзы представлены под брэндом «Perifocal-M» и позволяют дифференцированно производить коррекцию центральной и ПР 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 мери-

диана имеет сопоставимые величины с рефракцией в геометрическом центре. Проведенное в Московском НИИ глазных болезней им. Гельмгольца пилотное исследование показало, возможность индуцировать миопический периферический дефокус или значительно снижать периферический гиперметропический дефокус, а также тормозить прогрессию близорукости. Через 12–18 месяцев ношения очков «Perifocal-M» отмечается уменьшение роста глаза на 0,07 мм по сравнению с контрольной группой (в монофокальных очках) [40].

Фундаментальные исследования на моделях животных предоставили убедительные доказательства важной роли периферии сетчатки в рефрактогенезе. В то же время, идея о том, что естественный периферический дефокус может прогнозировать развитие рефракции по оси (возникшая отчасти из-за неправильной интерпретации работы Ноогерхеиде J. и соавт.), не подтвердилась. Продольные и поперечные исследования ПР показали, что паттерн периферического преломления является следствием роста глаза, а не его причиной. В противоположность естественному дефокусу, индуцируемый с помощью различных устройств миопический периферический дефокус значительно снижал темпы роста ПЗО у пациентов с прогрессирующей миопией. Таким образом, ожидается, что методы с возможностью коррекции как центральной, так и периферической рефракционных ошибок будут более эффективными в замедлении прогрессирования миопии по сравнению с традиционными средствами коррекции, учитывающими только преломление на оси.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Atchison D. A. The Glenn A. Fry Award Lecture 2011: peripheral optics of the human eye. *Optom. Vis. Sci.* 2012.; 89 (7): E954-E966. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31825c3454>
- Тарутта Е.П., Милаш С.В., Тарасова Н.А., Романова Л.И., Маркосян Г.А., Епишина М.В. Периферическая рефракция и контур сетчатки у детей с миопией по результатам рефрактометрии и частично когерентной интерферометрии. *Вестник офтальмологии.* 2014; 6: 44-9.
- Mutti D.O., Sholtz R.I., Friedman N.E., Zadnik K. Peripheral refraction and ocular shape in children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2000; 41:1022-30.
- Hoogerheide J, Rempert F & Hoogenboom WP. Acquired myopia in young pilots. *Ophthalmologica.* 1971; 163: 209–15. <https://doi.org/10.1159/000306646>
- Rosén R. et al. Have we misinterpreted the study of Hoogerheide et al. (1971)? *Optom. and Vis. Sci.* 2012; 89 (8): 1235-7. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318264f2d1>
- Mutti D.O., Hayes J.R., Mitchell G.L., Jones L.A., Moeschberger M.L., Cotter S.A., Kleinstein R.N., Manny R.E., Twelker J.D., Zadnik K. 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/iovs.06-0562>
- Charman W.N., & Radhakrishnan H. Peripheral refraction and the development of refractive error: a review. *Ophthalmic. Physiol. Opt.* 2010; 30: 321–38. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2010.00746.x>
- Mutti DO, Sinnott LT, Mitchell GL, et al. Relative peripheral refractive error and the risk of onset and progression of myopia in children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011; 52:199–205. <https://doi.org/10.1167/iovs.09-4826>
- Faria-Ribeiro M. et al. Peripheral refraction and retinal contour in stable and progressive myopia. *Optom. and Vis. Sci.* 2013; 90 (1): 9-15. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318278153c>
- Schmid G. F. Association between retinal steepness and central myopic shift in children. *Optom. Vis. Sci.* 2011; 88(6): 684-90. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3182152646>
- 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.compbimed.2006.10.004>
- Schaeffel F., Feldkaemper M. Animal models in myopia research. *Clinical and Experimental Optometry.* 2015; 98(6): 507-517. <https://doi.org/10.1111/cxo.12312>
- Wildsoet C, Wallman J. Choroidal and scleral mechanisms of compensation for spectacle lenses in chicks. *Vision Res.* 1995; 35:1175–94. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00233-C](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00233-C)
- Hung L. F., Crawford M. L. J., Smith E. L. Spectacle lenses alter eye growth and the refractive status of young monkeys. *Nature medicine.* 1995; 1(8): 761-5.
- Morgan I. G., Ashby R. S., Nickla D. L. Form deprivation and lens induced myopia: are they different? *Ophthalmic and Physiological Optics.* 2013; 33 (3): 355-61. <https://doi.org/10.1111/opo.12059>
- Troilo D., Gottlieb M.D., Wallman J. Visual deprivation causes myopia in chicks with optic nerve section. *Curr. Eye Res.* 1987; 6: 993–9.
- Norton T.T., Essinger J.A., McBrien N.A. Lid-suture myopia in tree shrews with retinal ganglion cell blockade. *Vis. Neurosci.* 1994; 11: 143–53.
- Schaeffel F., Troilo D., Wallman J., Howland H.C. Developing eyes that lack accommodation grow to compensate for imposed defocus. *Vis. Neurosci.* 1990; 4:177–83.
- 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>
- 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>
- 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/iovs.06-1264>
- Sng C. C. A. 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/iovs.11-7290>
- 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>
- Atchison D. A. 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/iovs.15-17200>
- Rotolo M., Montani G., Martin R. Myopia onset and role of peripheral refraction. *Clinical optometry.* 2017; 9: 105-11. <https://dx.doi.org/10.2147%2FOPTO.S134985>
- 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>
- Thibos L.N, Bradley A, Liu T, Lopez-Gil N. Spherical aberration and the sign of defocus. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90: 1284–92. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000040>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1097/01.OPX.0000159363.07082.7D>
- Тарутта Е. П., Тарасова Н. А. Прогностическое и диагностическое значение объективного аккомодационного ответа. *Российская педиатрическая офтальмология.* 2015; 10 (1): 27-9.
- 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>
- Sun Y., Xu F., Zhang T., et al. Orthokeratology to Control Myopia Progression: A Meta-Analysis. *PLoS ONE.* 2015; 10 (4): e0124535. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0124535>
- Li S. M. et al. Efficacy, safety and acceptability of orthokeratology on slowing axial elongation in myopic children by meta-analysis. *Current eye research.* 2016; 41(5): 600-8. <https://doi.org/10.3109/02713683.2015.1050743>
- 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>
- 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>

35. 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>
  36. 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>
  37. Faria-Ribeiro M, et al. Effect of Pupil Size on Wavefront Refraction during Orthokeratology. *Optom. Vis. Sci.* 2016; 93(11): 1399-1408. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000989>
  38. 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>
  39. 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>
  40. Тарутта Е.П., Проскурин О.В., Милаш С.В., Ибатлин Р.А., Тарасова Н.А., Ковычев А.С., Смирнова Т.С., Маркосян Г.А., Ходжабекян Н.В., Максимова М.В. Индуцированный очками «Perifocal-M» периферический дефокус и прогрессирование миопии у детей. *Российская педиатрическая офтальмология.* 2015; 2: 33–7.
- ## REFERENCES
1. Atchison D. A. The Glenn A. Fry Award Lecture 2011: peripheral optics of the human eye. *Optom. Vis. Sci.* 2012.; 89 (7): E954-E966. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31825c3454>
  2. Tarutta E.P., Milash S.V., Tarasova N.A., Romanova L.I., Markosyan G.A., Epishina M.V. Peripheral refraction and retinal contour in children with myopia by results of refractometry and partial coherence interferometry. *Vestnik oftal'mologii.* 2014; 6: 44-9. (in Russian).
  3. Mutti D.O., Sholtz R.L., Friedman N.E., Zadnik K. Peripheral refraction and ocular shape in children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2000; 41: 1022-30.
  4. Hoogerheide J., Rempt F. & Hoogenboom W.P. Acquired myopia in young pilots. *Ophthalmologica.* 1971; 163: 209–15. <https://doi.org/10.1159/000306646>
  5. Rosén R. et al. Have we misinterpreted the study of Hoogerheide et al. (1971)? *Optom. and Vis. Sci.* 2012; 89 (8): 1235-7. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318264f2d1>
  6. Mutti D.O., Hayes J.R., Mitchell G.L., Jones L.A., Moeschberger M.L., Cotter S.A., Kleinstein R.N., Manny R.E., Twelker J.D., Zadnik K. 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. <https://doi.org/10.1167/iovs.06-0562>
  7. Charman W.N. & Radhakrishnan H. Peripheral refraction and the development of refractive error: a review. *Ophthalmic. Physiol. Opt.* 2010; 30: 321–38. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2010.00746.x>
  8. Mutti DO, Sinnott LT, Mitchell GL, et al. Relative peripheral refractive error and the risk of onset and progression of myopia in children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011; 52: 199–205. <https://doi.org/10.1167/iovs.09-4826>
  9. Faria-Ribeiro M. et al. Peripheral refraction and retinal contour in stable and progressive myopia. *Optom. and Vis. Sci.* 2013; 90 (1): 9-15. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318278153c>
  10. Schmid G. F. Association between retinal steepness and central myopic shift in children. *Optom. Vis. Sci.* 2011; 88(6): 684-90. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3182152646>
  11. 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.compbiomed.2006.10.004>
  12. 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>
  13. Wildsoet C., Wallman J. Choroidal and scleral mechanisms of compensation for spectacle lenses in chicks. *Vision. Res.* 1995; 35: 1175–94. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00233-C](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00233-C)
  14. Hung L. F., Crawford M. L. J., Smith E. L. Spectacle lenses alter eye growth and the refractive status of young monkeys. *Nature medicine.* 1995; 1(8): 761-5.
  15. Morgan I. G., Ashby R. S., Nickla D. L. Form deprivation and lens induced myopia: are they different? *Ophthalmic and Physiological Optics.* 2013; 33 (3): 355-61. <https://doi.org/10.1111/opo.12059>
  16. Troilo D., Gottlieb M.D., Wallman J. Visual deprivation causes myopia in chicks with optic nerve section. *Curr. Eye Res.* 1987; 6: 993–9.
  17. Norton T.T., Essinger J.A., McBrien N.A. Lid-suture myopia in tree shrews with retinal ganglion cell blockade. *Vis. Neurosci.* 1994; 11: 143–53.
  18. Schaeffel F., Troilo D., Wallman J., Howland H.C. Developing eyes that lack accommodation grow to compensate for imposed defocus. *Vis. Neurosci.* 1990; 4:177–83.
  19. 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>
  20. 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>
  21. 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): 3914–3922. <http://doi.org/10.1167/iovs.06-1264>
  22. Sng C. C. A. 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/iovs.11-7290>
  23. 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): 283-293. <https://doi.org/10.1111/opo.12057>
  24. Atchison D. A. 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/iovs.15-17200>
  25. Rotolo M., Montani G., Martin R. Myopia onset and role of peripheral refraction. *Clinical optometry.* 2017; 9: 105-111. <https://dx.doi.org/10.2147%2FOPTO.S134985>
  26. Tarutta E. P., Iomdina E. N., Kvarachelija 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>
  27. Thibos L.N, Bradley A, Liu T, Lopez-Gil N. Spherical aberration and the sign of defocus. *Optom. Vis. Sci.* 2013; 90: 1284–92. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000040>
  28. 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): 273-278. <http://dx.doi.org/10.1097/01.OPX.0000159363.07082.7D>
  29. Tarutta E.P., Tarasova N.A. The prognostic and diagnostic significance of the objective accommodation response. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftalmologiya.* 2015; 10 (1): 27-9 (In Russian).
  30. 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>
  31. Sun Y., Xu F., Zhang T., et al. Orthokeratology to Control Myopia Progression: A Meta-Analysis. *PLoS ONE.* 2015; 10 (4): e0124535. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0124535>
  32. Li S. M. et al. Efficacy, safety and acceptability of orthokeratology on slowing axial elongation in myopic children by meta-analysis. *Current eye research.* 2016; 41(5): 600-8. <https://doi.org/10.3109/02713683.2015.1050743>
  33. 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>
  34. 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>
  35. 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>
  36. 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>
  37. Faria-Ribeiro M, et al. Effect of Pupil Size on Wavefront Refraction during Orthokeratology. *Optom. Vis. Sci.* 2016; 93(11): 1399-1408. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000989>
  38. 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>
  39. 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>
  40. Tarutta E.P., Proskurina O.V., Milash S.V., Ibatulin R.A., Tarasova N.A., Kovychev A.S., Smirnova T.S., Markosyan G.A., Hodzhabekjan N.V., Maksimova M.V. Peripheral defocus induced by «Perifocal-M» spectacle and myopia progression in children. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftalmologiya.* 2015; 2: 33–7. (In Russian).