

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

© МИЛАШ С.В., ТОЛОРЯЯ Р.Р., 2020

Милаш С.В., Толорая Р.Р.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России,
Москва, 105062, Российская Федерация

Клинические и экспериментальные исследования последних лет демонстрируют важную роль периферической оптики глаза в процессе постнатального рефрактогенеза и формирования миопии. С учетом возросшего интереса к изучению периферической рефракции в данном литературном обзоре обобщены сведения о методах исследования периферической рефракции как за рубежом, так и в нашей стране.

Ключевые слова: периферическая рефракция; периферическая длина глаза.

Для цитирования: Милаш С.В., Толорая Р.Р. Методы исследования периферической рефракции. Обзор литературы // *Российская педиатрическая офтальмология*. 2020;15(1):24-29. DOI: <https://doi.org/10.17816/rpo2020-15-1-24-29>

Для корреспонденции: Милаш Сергей Викторович — научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики. ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России. E-mail: sergey_milash@yahoo.com

Milash S. V., Toloraya R. R.

TECHNIQUES IN PERIPHERAL REFRACTION RESEARCH. LITERATURE REVIEW

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases,
Moscow, Russian Federation, 105062

Recent clinical and experimental studies have demonstrated the importance of peripheral optics of the eye in postnatal refractogenesis and the development of myopia. Considering the increased interest in the study of peripheral refraction, this literature review summarizes information on the techniques of studying peripheral refraction both in Russia and internationally.

Key words: peripheral refraction; peripheral eye length.

For citation: Milash SV, Toloraya RR. Methods of peripheral refraction research. Literature review. *Russian pediatric ophthalmology*. 2020;15(1):24-29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/rpo2020-15-1-24-29>

For correspondence: Sergey V. Milash, MD. — researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics. Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases. E-mail: sergey_milash@yahoo.com

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received 10 March 2020

Accepted 17 March 2020

В научной литературе последних лет предметом активного изучения является роль периферического преломления в процессе постнатального рефрактогенеза и формирования миопии [1–4]. Целый ряд экспериментальных исследований показал, что внеосевая периферическая рефракция (ПР) влияет на рост глаза и развитие центральной (осевой) рефракции [4, 5]. ПР — это преломление лучей, проецирующихся на парacentральные и периферические отделы сетчатки.

Индукцированный в эксперименте гиперметропический периферический дефокус мог служить фактором, стимулирующим рост глаза, а введенный миопический периферический дефокус, наоборот, ингибировать рост глаза. Данные о взаимосвязи возникновения аномалий рефракции и периферического преломления противоречивы. Ранние исследования ПР предполагали, что естественный периферический гиперметропический дефокус человеческого глаза мог быть

триггером к развитию миопии по аналогии с экспериментальными исследованиями [6, 7]. Однако последующие масштабные продольные исследования не выявили корреляции между периферической дефокусировкой и развитием или неразвитием миопии у детей [8, 9]. В клинической практике оптические стратегии профилактики прогрессирования миопии в формате очков и контактных линз, нацеленные на создание миопического периферического дефокуса, показали эффективность в снижении темпов роста глаза [10]. Предположение о возможной связи между развитием близорукости и ПР стимулирует производителей к созданию новых средств коррекции прогрессирующей миопии, учитывающих периферическое преломление [11, 12]. Таким образом, значительное внимание фундаментальных и клинических исследований направлено на периферию сетчатки и обосновывает всесторонний анализ периферического преломления с помощью различных методов.

Изучение периферического преломления началось более 200 лет назад с работы Томаса Юнга «On the mechanism of the eye» 1801 года [13], в которой он впервые описал осевой и внеосевой (периферический) астигматизм человеческого глаза. Ранние исследования ПР в начале XX века были выполнены в контексте изучения физиологии зрения в фовеа и парафовеа [14].

Первое целенаправленное исследование ПР выполнено в серии работ Ferree, Rand и Hardy 1931, 1932 и 1933 гг. [15–17]. Впервые была установлена связь между ПР и формой глаза или «конформацией» сетчатки у 21 пациента по изменению сферического эквивалента рефракции от центральной оси (on-axis) к периферии (off-axis) при различных углах отклонения взора. ПР измерялась авторами мануально на специально модифицированном параллаксном рефрактометре фирмы Zeiss в горизонтальном меридиане, до 60° к носу и к виску от центра фиксации. Измерение проводилось с поворотом глаз и вращением прибора. Данная методика, по мнению Феррее и соавторов, «была разумно выполняема, удовлетворительна и точна» [16].

Измерение ПР в горизонтальной плоскости мануальным (ручным) рефрактометром с различным диапазоном отклонения взора (до 60°) проводили и другие авторы, используя для этого при измерении отклонение взора, отклонение прибора или комбинацию отклонения взора и прибора [18, 19]. Недостатком данной методики является субъективизм мануального измерения и трудности в интерпретации данных, полученных в крайнем положении взора, из-за aberrаций периферии оптической системы глаза (астигматизм косых пучков).

Rempt и соавторы в 1971 году [20] первыми предложили использовать для измерения ПР эксцентрическую ретиноскопию с помощью ретиноскопа «Hamblin». Методика ретиноскопии основана на свойстве глазного дна не только поглощать, но и отражать падающий на него свет [21]. Периферическую ретиноскопию (ПРС) проводили в затемненной комнате с узким зрачком. Обследуемый последовательно фиксировал метки, соответствующие углу отклонения взора, расположенные в 3 метрах от него в горизонтальной плоскости в пределах 60° эксцентриситета. Результаты ПРС авторы впервые связали с ошибкой рефракции в центре. Периферическая ретиноскопия в различных работах позволяла измерять ПР до 80° от центра фиксации, как это было продемонстрировано в работе Leibowitz и соавт. в 1972 году [22]. Главным преимуществом данного метода измерения ПР является простота исследования и малые габариты прибора в сравнении с мануальным и автоматическим рефрактометром. L.F. Hung и соавторы успешно провели измерение ПР даже у детенышей макаков с помощью периферической ретиноскопии с эксцентриситетом до 45° [23]. Недостатком данной методики остается субъективность в трактовке результатов (рефлекса) и трудности измерения в крайних положениях взора из-за появления феномена «раздвижной двустворчатой двери», который увеличивается пропорционально изменению эксцентриситета. Данный феномен описывается Rempt и соавт. [20] как два одновременных движения тени в разные стороны зрачка пациента, создающие впечатление открывающейся и закрывающейся раздвижной двухстворчатой двери; его появление, очевидно, связано с нарастанием aberrаций волнового фронта от центра фиксации к периферии.

Было предложено исследовать ПР по изменению волнового фронта от центра фиксации к периферии [3, 19, 24, 25]. В основном для этой цели использовали aberрометры с датчиком Hartmann-Shack. Принцип действия заключается в следующем [26]: с помощью диодного лазера (инфракрасного) с длиной волны 850 нм в глаз направляется коллимированный пучок излучения, который, пройдя через все среды глаза, отражается от сетчатки с учетом aberrаций и на выходе попадает на матрицу, состоящую из 1089 микролинз. Каждая микролинза собирает неаберрированные лучи в своей фокальной точке, а подверженные aberrации лучи фокусируются на некотором расстоянии от нее. Полученная информация обрабатывается компьютером и представляется в виде карты aberrаций. Преимуществом периферической aberрометрии в измерении ПР является способность оценивать

как данные рефракции, так и профиль аберраций высшего порядка.

Менее распространенные методики исследования ПР использовали метод фоторефрактометрии [19, 25, 27] и метод на основе технологии «двойного прохода» (Double-Pass) [19, 28]. Методика периферической фоторефрактометрии основана на использовании инфракрасного источника света для освещения сетчатки, преломляющая сила определяется по анализу наклона света в плоскости зрачка при эксцентричной фиксации. В клинической практике периферическая фоторефрактометрия может быть осуществлена при помощи прибора Plusoptix PowerRefractor (Plusoptix, Германия). В недавнем исследовании AM Morrison и DO Mutti сравнили достоверность и повторяемость трех приборов для исследования ПР [25]. Plusoptix PowerRefractor был наименее точным и воспроизводимым. Измерение ПР с помощью технологии «двойного прохода» основано на анализе изображения центральной и периферической функций рассеяния точки (PSF), используется несерийное оборудование.

В последние годы исследование ПР проводят в основном на авторефрактометрах [2, 7–9, 12, 19]. Это простой и объективный способ измерения рефракции, результаты измерения не зависят от оператора в отличие от мануальной рефрактометрии и эксцентрической ретиноскопии. Все авторефрактометры можно условно разделить на 2 типа: «закрытого поля», где мишень находится внутри прибора в виртуальном пространстве, и «открытого поля» — мишень для фиксации находится в реальном пространстве. В России первая методика измерения ПР была разработана в «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России (патент РФ №2367333 от 20.09.09) на основе авторефрактометра «закрытого поля» [29]. Для измерения рефракции в определенных периферических меридианах к экрану авторефрактометра «Торсон RM-A6500» прикладывали специально разработанную масштабную сетку с рассчитанной ценой деления. Под контролем оператора исследуемый отклонял взор влево и вправо до совмещения светового рефлекса с нужным делением сетки. Описанная методика позволяла проводить измерения в зонах до 10–12° к носу и к виску от центра фовеа, более периферические участки оставались недоступными.

В большинство современных методик измерения ПР используется для этого бинокулярный авторефрактометр «открытого поля» производства Grand Seiko и Shin-Nippon. «Открытое поле» позволяет измерять ПР на узкий и широкий зрачок в горизонтальной плоскости, в вертикальной и косой, в том числе в очках и контактных линзах [7–9, 12, 30]. Методика измерения заключается

в последовательной фиксации меток или световых диодов, находящихся на различном расстоянии в реальном пространстве с носовой, височной, верхней или нижней стороны от центра. Угол отклонения взора легко рассчитывается, исходя из известного расстояния до объекта фиксации в центре. Для фиксации меток используют 3 различных способа: 1) с дозированным отклонением взора, 2) с соответствующим поворотом головы так, чтобы фиксировать метку в прямом положении взора и 3) с поворотом прибора при неподвижности головы и глаз обследуемого.

В некоторых работах отмечалось, что при отклонении глаза, особенно до 40° и особенно при длительном наблюдении объекта, ПР из-за давления век и экстраокулярных мышц имеет сдвиг в сторону миопии по сравнению с измерением в условиях поворота головы или прибора [27].

В сравнительном исследовании Н. Radhakrishnan и W.N. Charman [31] не было обнаружено значительной разницы в измерении ПР при фиксации метки с поворотом глаз или с поворотом головы по крайней мере для угла отклонения 30° и длительности фиксации менее 2,5 минуты. Совсем иная ситуация может складываться при измерении в условиях оптической коррекции. Различные участки очковой линзы могут попадать в зону измерения в зависимости от выбранного способа, в свою очередь движения глаза могут вызывать смещение (децентрацию) контактной линзы. В работе Е.П. Тарутты и соавторов было показано, что профиль ПР при контактной (ортокератологические линзы, мягкие контактные линзы) коррекции и в интактных глазах не зависит от направления взора. При очковой коррекции величина относительного периферического дефокуса различна при взгляде прямо и при отклонении взора [12].

Была показана хорошая повторяемость результатов измерения ПР на авторефрактометрах «открытого поля» как в интактных глазах [32, 33], так и в глазах после решейпинга роговицы [33]. Однако с увеличением угла отклонения взора воспроизводимость результатов ухудшалась.

На формирование ПР глаз влияют не только оптические факторы (эксцентриситет роговицы, глубина передней камеры (ГПК), аберрации косого вхождения лучей при эксцентричном направлении взора, форма и кривизна поверхностей хрусталика, индекс преломления оптических сред), но и анатомические — форма глаза [34].

Поскольку во всех оптических методиках измерения ПР при отклонении взора значительно увеличивался астигматизм и сравнение получаемых сферических эквивалентов рефракции нельзя считать точным, более адекватным, очевидно, следует признать измерение длины глаза при различных

положениях зрения с получением контура сетчатки. Получаемая при этом относительно меньшая, чем в центре, длина глаза свидетельствует о периферической гиперметропии и вытянуто-эллипсоидной форме глазного яблока, а, напротив, большая, чем в центре — о периферической миопии и сжато-эллипсоидной форме глаза.

Впервые измерять контур («крутизну») сетчатки у детей с близорукостью предложил G.F. Schmid и соавторы на специально разработанной модельной установке — оптическом низкокогерентном лазерном рефлектометре, который позволял определять длину глаза по зрительной оси и в пределах 10° к периферии от центра фовеолы [35].

Современные методики для измерения периферической длины глаза (ПДГ) используют оптические биометры IOL Master (Carl-Zeiss Meditec AG, Jena, Германия) и Lenstar (Haag Streit, Bern, Швейцария), основанные на технологии частично когерентной интерферометрии и оптической низкокогерентной рефлектометрии, соответственно [36–39]. Пациент последовательно фиксирует эксцентрично расположенные метки. Угол отклонения зрения вычисляется с помощью известного расстояния от передней поверхности роговицы до прибора по оптической оси. Длину глаза в центре и в периферических отделах измеряют от передней поверхности роговицы (эпителий) до пигментного эпителия сетчатки. Метод бесконтактный, имеет высокую разрешающую способность [37, 40].

Очевидно, что для суждения о том, дает ли исследование ПР с помощью авторефрактометра и ПДГ с помощью оптической биометрии идентичную информацию о форме сетчатки, необходимы параллельные измерения обоими методами на одном и том же контингенте пациентов, однако такие работы единичны. В работе Е.П. Тарутты и соавторов у детей с миопией различной степени в среднем получено высокое совпадение результатов периферической рефрактометрии и частично когерентной интерферометрии в изучении контура сетчатки в зонах 15° к виску, 15° и 30° к носу от центра фовеа [36].

Проведенные параллельные исследования ПР и ПДГ явились, по сути, клинической моделью для сравнительной оценки диагностической ценности рефрактометрии и частично когерентной интерферометрии [38, 39]. Измененная под действием FS-LASIK и ОКЛ топография и преломляющая сила роговицы оказала значительное влияние на результаты периферической рефрактометрии и практически не сказалась на результатах частично когерентной интерферометрии. Очевидно, что первый метод позволяет определять периферический дефокус, в том числе индуцированный различными хирургическими или

нехирургическими воздействиями на роговицу. В то же время оптическая биометрия не выявила индуцированных FS-LASIK и ОКЛ изменений роговицы. Это позволяет считать, что данный метод в большей степени отражает анатомическую, а не оптическую составляющую и позволяет судить о контуре сетчатки даже в глазах с измененной различными воздействиями оптикой.

Основные исследования ПР проведены на взрослых и детях школьного возраста. На сегодняшний день нет ни одной действующей методики измерения ПР у младенцев, хотя получение такой информации будет полезным для понимания процесса рефрактогенеза.

С учетом возросшего интереса к изучению ПР и ее возможного влияния на прогрессирование миопии является актуальным внедрение в клиническую практику современных методик параллельных исследований ПР и ПДГ, отвечающих следующим критериям: простота исследования, возможность измерения на серийном оборудовании, воспроизводимость данных, диапазон отклонения угла не менее 30° , возможность фиксировать метки различными способами.

Дополнительная информация

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atchison D.A. The Glenn A. Fry Award Lecture 2011: peripheral optics of the human eye. *Optom. Vis. Sci.* 2012;89(7):E954–66. Doi: 10.1097/OPX.0b013e31825c3454.
2. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Кварашхелия Н.Г., Милаш С.В., Кружкова Г.В. Периферическая рефракция и рефрактогенез: причина или следствие? *Вестник офтальмологии*. 2017;133(1):70–4. Doi: 10.17116/oftalma2017133170-74.
3. Romashchenko D., Rosén R., Lundström L. Peripheral refraction and higher order aberrations. *Clin. Exp. Optom.* 2020;103(1):86–94. Doi: 10.1111/cxo.12943.
4. Chakraborty R., Ostrin L.A., Benavente-Perez A., Verkicharla P.K. Optical mechanisms regulating emmetropisation and refractive errors: evidence from animal models. *Clin. Exp. Optom.* 2020;103(1):55–67. Doi: 10.1111/cxo.12991.
5. Troilo D., Smith E.L. 3d, Nickla D.L., et al. IMI — report on experimental models of emmetropization and myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019;60(3):M31–88. Doi: 10.1167/iovs.18-25967.
6. Hoogerheide J., Rempt F., Hoogenboom W.P. Acquired myopia in young pilots. *Ophthalmologica*. 1971;163(4):209–15. Doi: 10.1159/000306646.
7. Mutti D.O., Hayes J.R., Mitchell G.L., Jones L.A., Moeschberger M.L., Cotter S.A. et al. Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2007;48(6):2510–9. Doi: 10.1167/iovs.06-0562.
8. Sng C.C., Lin X.Y., Gazzard G., Chang B., Dirani M., Lim L. et al. Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011;52(11):7880–7. Doi: 10.1167/iovs.11-7290.

9. Atchison D.A., Li S.M., Li H., Li S.Y., Liu L.R., Kang M.T., et al. Relative peripheral hyperopia does not predict development and progression of myopia in children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2015;56(10):6162-70. Doi: 10.1167/iov.15-17200.
10. Wildsoet C.F., Chia A., Cho P., Guggenheim J.A., Polling J.R., Read S. et al. IMI - interventions myopia institute: interventions for controlling myopia onset and progression report. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019;60(3):M106-31. Doi: 10.1167/iov.18-25958.
11. Lam C.S., Tang W.C., Tse D.Y., Lee R.P., Chun R.K., Hasegawa K. et al. Defocus incorporated multiple segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. *Br. J. Ophthalmol.* 2020;104(3):363-8. Doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313739.
12. 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. Doi: 10.17116/oftalma201913504160.
13. Young T. II. The Bakerian Lecture. On the mechanism of the eye. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* 1801;91:23-88. Doi: 10.1098/rstl.1801.0004.
14. Ogata D., Weymouth F.W. Refractive differences in foveal and parafoveal vision. *Am. J. Ophthalmol.* 1918;1(9):630-44.
15. Ferree C.E., Rand G., Hardy C. Refraction for the peripheral field of vision. *Arch. Ophthalmol.* 1931;5(5):717-31.
16. Ferree C.E., Rand G., Hardy C. Refractive asymmetry in the temporal and nasal halves of the visual field. *Am. J. Ophthalmol.* 1932;15(6):513-22.
17. Ferree C.E., Rand G. Interpretation of refractive conditions in the peripheral field of vision: a further study. *Arch. Ophthalmol.* 1933;9(6):925-38.
18. Millodot M. Effect of ametropia on peripheral refraction. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 1981;58(9):691-5. Doi: 10.1097/00006324-198109000-00001.
19. Fedtke C., Ehrmann K., Holden B.A. A review of peripheral refraction techniques. *Optom. Vis. Sci.* 2009;86(5):429-46. Doi: 10.1097/OPX.0b013e31819fa727.
20. Rempt F., Hoogerheide J., Hoogenboom W.P. Peripheral retinoscopy and the skigram. *Ophthalmologica.* 1971;162(1):1-10. Doi: 10.1159/000306229.
21. Проскурина О.В. Статическая и динамическая ретиноскопия (скиаскопия). *Вестник оптометрии.* 2012;(6):28-32.
22. Leibowitz H.W., Johnson C.A., Isabelle E. Peripheral motion detection and refractive error. *Science.* 1972;177(4055):1207-8. Doi: 10.1126/science.177.4055.1207.
23. Hung L.F., Ramamirtham R., Huang J., Qiao-Grider Y., Smith E.L. 3rd. Peripheral refraction in normal infant rhesus monkeys. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2008;49(9):3747-57. Doi: 10.1167/iov.07-1493.
24. Shen J., Spors F., Egan D., Liu C. Peripheral refraction and image blur in four meridians in emmetropes and myopes. *Clin. Ophthalmol.* 2018;12:345-58. Doi: 10.2147/OPTh.s151288.
25. Morrison A.M., Mutti D.O. Repeatability and validity of peripheral refraction with two different autorefractors. *Optom. Vis. Sci.* 2020;97(6):429-39. Doi: 10.1097/OPX.0000000000001520.
26. Thibos L.N. Principles of Hartmann-Shack aberrometry. *J. Refract. Surg.* 2000;16(5):S563-5.
27. Seidemann A., Schaeffel F., Guirao A., Lopez-Gil N., Artal P. Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects. *J. Opt. Soc. Am. (A).* 2002;19(23):63-73.
28. Yamaguchi T., Ohnuma K., Konomi K., Satake Y., Shimazaki J., Negishi K. Peripheral optical quality and myopia progression in children. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 2013; 251(10):2451-61. Doi: 10.1007/s00417-013-2398-0.
29. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Кварацхелия Н.Г. Способ исследования периферической рефракции. Патент РФ №2367333; 2009.
30. Queirós A., Amorim-de-Sousa A., Lopes-Ferreira D., Villacollar C., Gutiérrez Á.R., González-Méijome J.M. Relative peripheral refraction across 4 meridians after orthokeratology and LASIK surgery. *Eye Vis. (Lond).* 2018;(5):12.
31. Radhakrishnan H., Charman W.N. Peripheral refraction measurement: does it matter if one turns the eye or the head? *Ophthalmic. Physiol. Opt.* 2008;28(1):73-82. Doi: 10.1111/j.1475-1313.2007.00521.x.
32. Moore K.E., Berntsen D.A. Central and peripheral autorefraction repeatability in normal eyes. *Optom. Vis. Sci.* 2014; 91(9):1106-12. Doi: 10.1097/OPX.0000000000000351.
33. Lee T.T., Cho P. Repeatability of relative peripheral refraction in untreated and orthokeratology-treated eyes. *Optom. Vis. Sci.* 2012;89(10):1477-86. Doi: 10.1097/OPX.0b013e31826912cd.
34. He J.C. Theoretical model of the contributions of corneal asphericity and anterior chamber depth to peripheral wavefront aberrations. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2014;34(3):321-30. Doi: 10.1111/opo.12127.
35. Schmid G.F., Petrig B.L., Riva C.E., Logean E., Wälti R. Measurement of eye length and eye shape by optical low coherence reflectometry. *Int. Ophthalmol.* 2001;23(4-6):317-20. Doi: 10.1023/a:1014486126869.
36. 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.
37. Koumbo Mekountchou I.O., Conrad F., Sankaridurg P., Ehrmann K. Peripheral eye length measurement techniques: a review. *Clin. Exp. Optom.* 2020;103(2):138-47. Doi: 10.1111/cxo.12892.
38. Нероев, В.В., Тарутта, Е.П., Ханджян, А.Т., Ходжабекян Н.В., Милаш, С.В. Различия профиля периферического дефокуса после ортокератологической и эксимерлазерной коррекции миопии. *Российский офтальмологический журнал.* 2017;10(1):31-5.
39. 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.
40. Chen Y.A., Hirschschall N., Findl O. Evaluation of 2 new optical biometry devices and comparison with the current gold standard biometer. *J. Cataract. Refract. Surg.* 2011;37(3):513-7. Doi: 10.1016/j.jcrs.2010.10.041.

REFERENCES

1. Atchison DA. The Glenn A. Fry Award Lecture 2011: peripheral optics of the human eye. *Optom. Vis. Sci.* 2012;89(7): E954-66. Doi: 10.1097/OPX.0b013e31825c3454.
2. Tarutta EP, Iomdina EN, Kvarachelija NG, et al. Peripheral refraction: cause or effect of refraction development? *Vestnik oftal'mologii.* 2017;133(1):70-4. (in Russian) Doi: 10.17116/oftalma2017133170-74.
3. Romashchenko D, Rosén R, Lundström L. Peripheral refraction and higher order aberrations. *Clin. Exp. Optom.* 2020; 103(1):86-94. Doi: 10.1111/cxo.12943.
4. Chakraborty R, Ostrin LA, Benavente-Perez A, Verkicharla PK. Optical mechanisms regulating emmetropisation and refractive errors: evidence from animal models. *Clin. Exp. Optom.* 2020;103(1):55-67. Doi: 10.1111/cxo.12991.
5. Troilo D, Smith EL 3d, Nickla DL, et al. report on experimental models of emmetropization and myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019;60(3):M31-88. Doi: 10.1167/iov.18-25967.
6. Hoogerheide J, Rempt F, Hoogenboom WP. Acquired myopia in young pilots. *Ophthalmologica.* 1971;163(4):209-15. Doi: 10.1159/000306646.

7. Mutti DO, Hayes JR, Mitchell GL, et al. Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2007; 48(6):2510-9. Doi: 10.1167/iops.06-0562.
8. Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011;52(11):7880-7. Doi: 10.1167/iops.11-7290.
9. Atchison DA, Li SM, 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. Doi: 10.1167/iops.15-17200.
10. Wildsoet CF, Chia A, Cho P, et al. IMI - interventions myopia institute: interventions for controlling myopia onset and progression report. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2019;60(3):M106-31. Doi: 10.1167/iops.18-25958.
11. Lam CS, Tang WC, Tse DY, et al. Defocus incorporated multiple segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. *Br. J. Ophthalmol.* 2020;104(3):363-8. Doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313739.
12. Tarutta EP, Tarasova NA, Milash SV, et al. 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) Doi: 10.17116/oftalma201913504160.
13. Young T. II. The Bakerian Lecture. On the mechanism of the eye. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* 1801;91:23-88. Doi: 10.1098/rstl.1801.0004.
14. Ogata D, Weymouth FW. Refractive differences in foveal and parafoveal vision. *Am. J. Ophthalmol.* 1918;1(9):630-44.
15. Ferree CE, Rand G, Hardy C. Refraction for the peripheral field of vision. *Arch. Ophthalmol.* 1931;5(5):717-31.
16. Ferree CE, Rand G, Hardy C. Refractive asymmetry in the temporal and nasal halves of the visual field. *Am. J. Ophthalmol.* 1932;15(6):513-22.
17. Ferree CE, Rand G. Interpretation of refractive conditions in the peripheral field of vision: a further study. *Arch. Ophthalmol.* 1933;9(6):925-38.
18. Millodot M. Effect of ametropia on peripheral refraction. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 1981;58(9):691-5. Doi: 10.1097/00006324-198109000-00001.
19. Fedtke C, Ehrmann K, Holden BA. A review of peripheral refraction techniques. *Optom. Vis. Sci.* 2009;86(5):429-46. Doi: 10.1097/oxp.0b013e31819fa727.
20. Rempt F, Hoogerheide J, Hoogenboom WP. Peripheral retinoscopy and the skiascope. *Ophthalmologica.* 1971;162(1):1-10. Doi: 10.1159/000306229.
21. Proskurina OV. Static and dynamic retinoscopy (skiascopy). *Vestnik optometrii.* 2012;(6):28-32. (in Russian)
22. Leibowitz HW, Johnson CA, Isabelle E. Peripheral motion detection and refractive error. *Science.* 1972;177(4055):1207-8. Doi: 10.1126/science.177.4055.1207.
23. Hung LF, Ramamirtham R, Huang J, et al. Peripheral refraction in normal infant rhesus monkeys. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2008;49(9):3747-57. Doi: 10.1167/iops.07-1493.
24. Shen J, Spors F, Egan D, Liu C. Peripheral refraction and image blur in four meridians in emmetropes and myopes. *Clin. Ophthalmol.* 2018;12:345-58. Doi: 10.2147/ophth.s151288.
25. Morrison AM, Mutti DO. Repeatability and validity of peripheral refraction with two different autorefractors. *Optom. Vis. Sci.* 2020;97(6):429-39. Doi: 10.1097/oxp.0000000000001520.
26. Thibos LN. Principles of Hartmann-Shack aberrometry. *J. Refract. Surg.* 2000;16(5):S563-5.
27. Seidemann A, Schaeffel F, Guirao A, et al. Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects. *J. Opt. Soc. Am. (A).* 2002;19(23):63-73.
28. Yamaguchi T, Ohnuma K, Konomi K, et al. Peripheral optical quality and myopia progression in children. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 2013;251(10):2451-61. Doi: 10.1007/s00417-013-2398-0.
29. Tarutta EP, Iomdina EN, Kvaratskheliya NG. Method Studies of Peripheral Refraction. Patent RF №2367333; 2009. (in Russian)
30. 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.
31. Radhakrishnan H, Charman WN. Peripheral refraction measurement: does it matter if one turns the eye or the head? *Ophthalmic. Physiol. Opt.* 2008;28(1):73-82. Doi: 10.1111/j.1475-1313.2007.00521.x.
32. Moore KE, Berntsen DA. Central and peripheral autorefractive repeatability in normal eyes. *Optom. Vis. Sci.* 2014;91(9):1106-12. Doi: 10.1097/oxp.0000000000000351.
33. Lee TT, Cho P. Repeatability of relative peripheral refraction in untreated and orthokeratology-treated eyes. *Optom. Vis. Sci.* 2012;89(10):1477-86. Doi: 10.1097/oxp.0b013e31826912cd.
34. He JC. Theoretical model of the contributions of corneal asphericity and anterior chamber depth to peripheral wavefront aberrations. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2014;34(3):321-30. Doi: 10.1111/opo.12127.
35. Schmid GF, Petrig BL, Riva CE, et al. Measurement of eye length and eye shape by optical low coherence reflectometry. *Int. Ophthalmol.* 2001;23(4-6):317-20. Doi: 10.1023/a:1014486126869.
36. Tarutta EP, Milash SV, Tarasova NA, et al. Peripheral refraction and retinal contour in children with myopia by results of refractometry and partial coherence interferometry. *Vestnik oftal'mologii.* 2014;130(6):44-9. (in Russian)
37. Koumbo Mekountchou IO, Conrad F, Sankaridurg P, Ehrmann K. Peripheral eye length measurement techniques: a review. *Clin. Exp. Optom.* 2020;103(2):138-47. Doi: 10.1111/cxo.12892.
38. Neroev VV, Tarutta EP, Khandzhyan AT, et al. Difference in profile of peripheral defocus after orthokeratology and excimer laser correction of myopia. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal.* 2017;10(1):31-5. (in Russian)
39. Tarutta EP, Milash SV, Tarasova NA, et al. Induced peripheral defocus and the shape of the posterior eye pole in orthokeratological myopia correction. *Rossiiskii oftal'mologicheskii zhurnal.* 2015;8(3):52-6. (in Russian)
40. Chen YA, Hirnschall N, Findl O. Evaluation of 2 new optical biometry devices and comparison with the current gold standard biometer. *J. Cataract. Refract. Surg.* 2011;37(3):513-7. Doi: 10.1016/j.jcrs.2010.10.041.

Поступила 10.03.2020

Принята в печать 17.03.2020

Информация об авторах:

Милаш Сергей Викторович (Sergey V. Milash) — научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3553-9896>

Толорая Русудани Руслановна (Rusudani R. Toloraya, MD, PhD) — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7894-471X>