



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-47-53>

Анатомо-оптические параметры и аберрации оптической системы глаза при анизометропической миопии

В.В. Нероев, Е.П. Тарутта, Н.В. Ходжабекян, А.Т. Ханджян, С.Г. Арутюнян ✉

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

Цель работы — сравнение анатомо-оптических и абберометрических параметров парных глаз у пациентов с приобретенной и врожденной анизометропической миопией. **Материал и методы.** Двадцать два пациента (44 глаза) в возрасте 18–35 (в среднем 25,2 года) лет с анизометропической приобретенной и врожденной миопией обследованы на анализаторе оптической системы глаза Galilei G6 (Zieler, Швейцария). Общие, роговичные и внутренние аберрации глаза определяли на абберометре OPD-Scan III (Nidek). **Результаты.** Аксиальная длина глаза как в группе с приобретенной, так и с врожденной анизометропической миопией была выше на глазу с большей миопией. При врожденной миопии выявлена большая асферичность роговицы на более миопичном глазу и более высокий астигматизм, чем при приобретенной миопии. Общий RMS HOA при врожденной миопии был достоверно выше на худшем глазу, чем на лучшем (в среднем 1,07 и 0,68 дптр соответственно), и выше, чем при приобретенной миопии. Все общие аберрации высшего порядка при врожденной миопии оказались выше на худшем глазу, чем на парном, при приобретенной — только total coma была выше на худшем глазу. Роговичные аберрации при приобретенной анизометропической миопии не различались на парных глазах. При врожденной миопии total tilt был достоверно больше на худшем глазу, а total coma и сферическая аберрация — меньше, с переходом в отрицательные значения ($p < 0,05$). **Заключение.** Выявленные различия волнового фронта глаз с анизометропической врожденной и приобретенной миопией являются скорее следствием анатомо-оптических различий — длины глаза и топографии роговицы, чем причиной возникновения анизометропии.

Ключевые слова: анизометропия; аберрации; миопия; сферическая аберрация; длина передне-задней оси глаза

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Для цитирования: Нероев В.В., Тарутта Е. П., Ходжабекян Н. В., Ханджян А.Т., Арутюнян С.Г. Анатомо-оптические параметры и аберрации оптической системы глаза при анизометропической миопии. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16 (2): 47-53. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-47-53>

Anatomical and optical parameters and aberrations of the optical system of the eye in anisometric myopia

Vladimir V. Neroev, Elena P. Tarutta, Narine V. Khodzhabekyan, Anush T. Khandzhian, Sona G. Harutyunyan ✉

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

Purpose: to compare anatomical and optical parameters and aberrations of both eyes in patients with acquired and congenital anisometric myopia. **Material and methods.** 22 patients (44 eyes) aged 18–35 (averagely, 25.2) with acquired and congenital anisometric myopia were examined using the Galilei G6 optical eye system analyzer (Ziemer, Switzerland). The analysis of total, corneal and internal aberrations of the eye was carried out on an OPD-Scan III (Nidek) aberrometer. **Results.** In both groups with acquired and congenital anisometric myopia, the axial length of the higher myopic eye was greater than that of the fellow eye. A greater asphericity and higher astigmatism of the cornea were revealed in higher myopic eyes of patients with congenital myopia as compared to acquired myopia. The total RMS HOA in congenital myopia was significantly greater in the higher myopic eye compared to the fellow eye (1.07 D and 0.68 D, respectively) and greater than in cases of acquired myopia. All HOA were greater in higher myopic eyes as compared to the fellow ones in cases of congenital myopia. In case of acquired myopia only the total coma appeared to be greater in the higher myopic eye. Corneal aberrations in acquired anisometric myopia did not differ in the paired eyes. In case of congenital myopia, the total tilt was significantly greater in the higher myopic eye, and total coma and spherical aberration have lower values, even with a transition to negative ones ($p < 0.05$). **Conclusion.** The revealed differences of the wavefront of the eyes with anisometric congenital and acquired myopia are rather a consequence of anatomical and optical differences (the axial length of the eyes and the topography of the cornea), than the cause of anisometropia.

Keywords: anisometropia; aberrations, myopia; spherical aberration; axial length

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

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

For citation: Neroev V.V., Tarutta E.P., Khodzhabekyan N.V., Khandzhian A.T., Harutyunyan S.G. Anatomical and optical parameters and aberrations of the optical system of the eye in anisometric myopia. Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (2): 47-53 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-47-53>

Анизометропия — неравенство рефракции парных глаз — занимает особое место в структуре аметропий. Анизометропия представляет собой уникальный пример развития органа зрения, когда парные глаза одного и того же индивидуума с идентичным генетическим фоном и одинаковой подверженностью влияниям факторов окружающей среды могут расти асимметрично, вызывая существенные межочулярные различия в аномалиях рефракции [1].

В литературе обсуждаются различные этиопатогенетические механизмы, способствующие развитию анизометропической миопии: генетическая предрасположенность, роль относительно повышенного внутриглазного давления, зрительная нагрузка на близком расстоянии, роль глазного доминирования и потенциальные визуально управляемые механизмы неравномерного роста глазных яблок, включая влияние астигматизма, аккомодации, aberrаций высокого порядка и реакцию хориоидеи на изменение зрительного образа [2–10].

Представляется интересным исследовать у лиц с анизометропией парные глаза, которые, несмотря на то, что находятся в одинаковых генетических и средовых условиях, имеют разную рефракцию. По данным литературы, распространенность анизометропии увеличивается параллельно с прогрессированием миопии. Глубина передней камеры, асферичность роговицы и сферическая aberrация (СА) строго коррелируют с погрешностью сферической рефракции [11–14].

Одним из предикторов возникновения близорукости является СА [15]. СА оказывает физиологическое влияние на развитие глаза. Положительная СА ингибирует его рост, снижая тенденцию к развитию близорукости, а отрицательная СА, напротив, стимулирует рост глаза и миопизацию рефракции [16–25]. Логично предположить, что у пациентов с анизометропической миопией ожидается большая межочулярная разница в СА, чем при изометропии, и более высокая отрицательная СА в глазу с более высокой миопией. Если aberrации высоких порядков играют роль в развитии аномалий рефракции, то должны быть обнаружены межочулярные различия НОА при анизометропии.

Сравнительные исследования aberrаций оптической системы глаза у пациентов с изометропической и анизометропической миопией, проведенные разными авторами, не обнаружили достоверных межочулярных различий уровня СА. Y. Tian и соавт. [14] не обнаружили каких-либо значимых межочулярных различий общего уровня НОА ни при анизометропической, ни при изометропической миопии, при этом в глазах с более высокой близорукостью были более глубокие передняя и витреальная камеры, более крутая роговица и более высокие значения астигматизма и СА.

S. Vincent и соавт. [13] не обнаружили значимых межочулярных различий коэффициентов НОА между парными глазами у анизометропов, но обнаружили достоверные корреляции между межочулярными различиями СА и межочулярными различиями рефракции у пациентов с амблиопией.

W. Kwan и соавт. [26] обнаружили, что СА была менее позитивной в глазах с более высокой миопией в обследованной группе анизометропов. В то же время A. Hartwig и соавт. [27] не обнаружили достоверного увеличения значения НОА в более аметропичном глазу.

ЦЕЛЬ работы — сравнение анатомо-оптических и aberрометрических параметров парных глаз у пациентов с приобретенной и врожденной анизометропической миопией.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Клинический материал составили 22 пациента (44 глаза) в возрасте 18–35 лет (средний возраст — 25,2 года) с анизометропической миопией, среди них у 5 пациентов миопия была врожденной. Все пациенты проходили обследование на анализаторе оптической системы глаза Galilei G6 (Ziemer Ophthalmic Systems AG 6.0.6), позволяющей получать данные топографии роговицы, трехмерного анализа переднего отрезка и оптической биометрии (частично когерентной интерферометрии). Аберрации оптической системы глаза исследовали на aberрометре OPD-Scan III (Nidek) в естественных условиях при ширине зрачка 4,0 мм. Проведен анализ общих, роговичных и внутренних аберраций глаза у всех пациентов.

Статистический анализ полученных данных включал определение уровня достоверности различий по стандартному критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В группе пациентов с приобретенной анизометропической миопией средний сферический эквивалент рефракции (СЭР) лучшего (с меньшей миопией) глаза составил

$-2,32 \pm 0,38$ дптр (от $-0,5$ до $-5,5$ дптр), средний СЭР парного глаза составил $-6,56 \pm 0,37$ дптр (от $-3,25$ до $-9,25$ дптр). У пациентов с врожденной анизометропической миопией средний СЭР лучшего глаза составил $-6,7 \pm 0,31$ дптр (от $-4,75$ до $-13,5$ дптр), средний СЭР парного глаза составил $-16,4 \pm 0,4$ дптр (от $-11,25$ до $-20,25$ дптр) (табл. 1). Межокулярная разница рефракции при приобретенной и врожденной миопии составила в среднем 4,24 и 9,7 дптр соответственно. При приобретенной миопии средняя длина передне-задней оси (ПЗО) более миопичного глаза была статистически достоверно больше на 1,86 мм и составила 25,9 мм, а при врожденной миопии была статистически достоверно больше на 3,51 мм и составила 29,17 мм. Средняя величина глубины передней камеры (ГПК) лучшего и худшего глаза при приобретенной миопии составила 3,61 и 3,65 мм соответственно (разница — 0,04 мм), при врожденной миопии — 3,63 и 3,8 мм соответственно (разница — 0,17 мм). В обоих случаях различия недостоверны. Отмечена статистически недостоверная тенденция к уплощению хрусталика при приобретенной и врожденной миопии (на 0,05 и 0,09 мм соответственно) в глазах с большей миопией. Преломляющая сила роговицы у пациентов с приобретенной анизомиопией была одинаковой в парных глазах: 43,8 и 43,85 дптр на лучшем и худшем глазу соответственно. У пациентов с врожденной анизомиопией межюкулярная разница преломляющей силы роговицы составила 0,36 дптр (соответственно 43,84 дптр на лучшем и 44,2 дптр на худшем глазу), однако тоже была статистически недостоверна.

Общий астигматизм как при врожденной, так и при приобретенной миопии показал лишь незначительную тенденцию к более высоким значениям на худшем глазу,

Таблица 1. Анатомо-оптические параметры лучше (ЛВ) и хуже (ХВ) видящих глаз с приобретенной (ПМ) и врожденной (ВМ) анизометропической миопией (n = 44)

Table 1. Anatomical and optical parameters of the better seeing (BS) and worse seeing (WS) eyes with acquired (AM) and congenital (CM) anisometropic myopia (n = 44)

Возраст, лет Age, yrs	Глаз Eye	СЭР, дптр SER, D	ОА, дптр TA, D	К	РА, дптр CA, D	ЦТР, мкм CCT, μm	ГПК, мм ACD, mm	ТХ, мм LT, mm	ПЗО, мм AL, mm
25,20 \pm 0,31	ЛВ глаз с ПМ BS eyes with AM	-2,32 \pm 0,38*	-0,85 \pm 0,12*	43,8 \pm 0,3	-1,5 \pm 0,1	550,8 \pm 0,3	3,61 \pm 0,03	3,63 \pm 0,02	24,04 \pm 0,12*
	ХВ глаз с ПМ WS eyes with AM	-6,56 \pm 0,37	-1,25 \pm 0,13**	43,85 \pm 0,25	-1,58 \pm 0,12	545,9 \pm 0,3	3,65 \pm 0,05	3,58 \pm 0,02	25,90 \pm 0,15*
	Разница в параметрах Difference	4,24	0,4	0,05	0,08	4,9	0,04	0,05	1,86
	ЛВ глаз с ВМ BS eyes with CM	-6,70 \pm 0,31*	-2,2 \pm 0,1*	43,84 \pm 0,24	-1,67 \pm 0,09	543,1 \pm 0,5	3,63 \pm 0,04	3,59 \pm 0,03	25,66 \pm 0,16*
	ХВ глаз с ВМ WS eyes with CM	-16,4 \pm 0,4	-2,50 \pm 0,11**	44,20 \pm 0,28	-1,70 \pm 0,08	546,2 \pm 0,5	3,80 \pm 0,03	3,50 \pm 0,03	29,17 \pm 0,19*
	Разница в параметрах Difference	9,7	0,3	0,36	0,03	3,1	0,17	0,09	3,51

Примечание. СЭР — сферический эквивалент рефракции, ОА — общий астигматизм, К — кератометрия, РА — роговичный астигматизм, ЦТР — центральная толщина роговицы, ГПК — глубина передней камеры, ТХ — толщина хрусталика, ПЗО — передне-задняя ось глаза, * — разница между группами лучших глаз с приобретенной и врожденной миопией достоверна, $p < 0,05$, ** — разница между группами худших глаз с приобретенной и врожденной миопией достоверна, $p < 0,05$.

Note. SER — spherical equivalent refraction, TA — total astigmatism, K — keratometry, CA — corneal astigmatism, CCT — central corneal thickness, ACD — anterior chamber depth, LT — lens thickness, AL — axial length, * — difference between groups of better seeing eyes with acquired and congenital myopia is significant, $p < 0,05$, ** — difference between groups with worse seeing eyes with acquired and congenital myopia is significant, $p < 0,05$.

а роговичный имел одинаковые значения. Однако общий астигматизм достоверно различался в группах с врожденной и приобретенной миопией: в первом случае он был выше как на лучшем, так и на худшем глазу ($p < 0,05$). Обращает на себя внимание несоответствие роговичного и общего астигматизма: при приобретенной миопии роговичный был выше общего, а при врожденной — ниже. Это позволяет предположить вклад хрусталикового компонента в формирование большего астигматизма при врожденной миопии, например наклона или опущения хрусталика, а также изменения его формы. Возможно также влияние деформированного контура заднего полюса глаза при врожденной миопии на результаты измерения общего астигматизма [28].

Пахиметрия не выявила статистически достоверных различий центральной толщины роговицы (ЦТР). Коэффициент асферичности роговицы на лучше видящем глазу составил $-0,22$, а на худшем составил $-0,3$ ($p = 0,05$). При приобретенной миопии эти данные различались незначительно ($-0,2$ и $-0,27$, $p > 0,05$), а при врожденной разница была достоверна: $-0,25$ и $-0,38$ ($p < 0,05$) (табл. 2).

Исследование aberrаций показало, что общий RMS HOA достоверно выше на худшем глазу, чем на лучшем, и составляет $0,83$ и $0,58$ дптр соответственно (табл. 3). Эта тенденция была выявлена в группах как с приобретенной, так и с врожденной анизомиопией: соответственно, $0,51$ дптр на лучшем и $0,69$ дптр на худшем глазу при приобретенной анизометропической миопии ($p > 0,05$) и $0,68$ дптр на лучшем и $1,07$ дптр на худшем — при врожденной ($p < 0,05$). При этом RMS HOA на худшем глазу был достоверно выше при врожденной анизомиопии, чем при приобретенной. Эти факты указывают на связь данного показателя с длиной ПЗО.

Общие aberrации высшего порядка — Total HOA, Total Coma и SA (SA) — в целом по группе оказались выше в глазу с большей миопией, чем в парном. При этом при приобретенной анизометропической миопии достоверно различалась только Total Coma: она была выше на глазу с более высокой миопией ($0,10 \pm 0,01$ против $0,04 \pm 0,01$, $p < 0,05$). При врожденной анизомиопии все aberrации высшего порядка имели достоверно более высокие значения на худшем глазу. Исключение составил только Total Trefoil, обнаруживший такую же, но статистически недостоверную тенденцию.

Роговичные aberrации при приобретенной анизометропической миопии не различались на парных глазах. При врожденной миопии Total tilt был достоверно больше на худшем глазу, а Total Coma и SA — меньше ($p < 0,05$). Роговичная SA при врожденной миопии на худшем глазу была отрицательной, что полностью соответствует более «крутой» роговице, т. е. с большей преломляющей силой и асферичностью.

Таблица 2. Асферичность роговицы при анизомиопии
Table 2. Corneal asphericity in anisomyopia

Глаз Eye	Общая группа Total	Приобретенная анизомиопия Acquired anisomyopia	Врожденная анизомиопия Congenital anisomyopia
Лучше видящий Better seeing	$-0,22 \pm 0,02$	$-0,20 \pm 0,02$	$-0,25 \pm 0,01$
Хуже видящий Worse seeing	$-0,30 \pm 0,03$	$-0,27 \pm 0,03$	$-0,38 \pm 0,02^*$

Примечание. * — различие между группами глаз с большей и меньшей миопией достоверно, $p < 0,05$.

Note. * — difference between groups with more myopic and less myopic eyes is significant, $p < 0,05$.

Внутренние aberrации при приобретенной миопии достоверно не различались на парных глазах. Исключение составил Total tilt, величина которого на более миопичном глазу оказалась почти в 3 раза ниже, чем на лучшем, и эта разница была достоверна ($p < 0,05$).

При врожденной миопии, напротив, Total tilt был в 2,5 раза больше на худшем глазу ($p < 0,05$). При врожденной миопии достоверно выше также была внутренняя SA ($0,2$ против $0,03$ на парном глазу). Это позволило зрительной системе компенсировать отрицательную роговичную SA и привести в итоге к формированию большей положительной общей SA на глазах с высокой врожденной миопией, чем на парных слабомиопических.

При межгрупповом сравнении выявлены достоверно большие значения параметров Total tilt и Total Trefoil на худшем глазу с врожденной миопией по сравнению с приобретенной ($0,42 \pm 0,01$ и $0,07 \pm 0,03$ соответственно в первом случае и $0,14 \pm 0,01$ и $0,05 \pm 0,01$ соответственно — во втором, $p < 0,05$).

Общие aberrации: RMS HOA, Total HOA, Total tilt, Total Trefoil, Total Coma — были достоверно выше при врожденной миопии, чем при приобретенной. Общая SA также была значительно выше при врожденной близорукости, однако разница не достигла статистической значимости. Роговичные Total tilt и Total Coma также достоверно выше на худших глазах с врожденной миопией, чем с приобретенной, а SA — ниже и с переходом в отрицательные значения. Внутренние Total HOA, Total tilt, Total Trefoil также достоверно выше при врожденной миопии, а Total Coma на лучшем глазу оказалась достоверно ниже.

ОБСУЖДЕНИЕ

В этом исследовании мы сравнили оптические, биометрические и aberрометрические показатели парных глаз у пациентов с приобретенной и врожденной анизометропической миопией. Установлено, что как при врожденной, так и при приобретенной анизометропической миопии из изученных анатомо-оптических параметров достоверной оказалась разница в аксиальной длине глаза: в обоих случаях она была выше на глазу с большей миопией. При врожденной миопии выявлена несколько большая ГПК на худшем глазу (на $0,17$ мм), однако разница недостоверна ($p > 0,05$). Величина общего и роговичного астигматизма парных глаз не различалась ни при врожденной, ни при приобретенной миопии. В то же время выявлены достоверные различия общего астигматизма между группами: при врожденной миопии и на лучшем, и на худшем глазу он был выше, чем при приобретенной ($p < 0,05$). Роговичный астигматизм при этом не различался, что указывает на участие других компонентов рефракции — хрусталика и контура заднего полюса глаза в формировании более высокого общего астигматизма при врожденной миопии. Толщина и преломляющая сила роговицы не обнаружили достоверных различий ни в парных глазах, ни между группами с врожденной и приобретенной миопией. Достоверно более высоким оказался коэффициент асферичности роговицы на худшем глазу при врожденной миопии. ГПК и толщина хрусталика в парных глазах также не различались, однако выявилась недостоверная тенденция к уплощению хрусталика на глазах с большей миопией.

Общий RMS HOA был достоверно выше на худшем глазу, чем на лучшем, при врожденной анизомиопии и имел такую же, но статистически недостоверную тенденцию при приобретенной. RMS HOA на худшем глазу был достоверно выше при врожденной анизомиопии, чем при приобретен-

Таблица 3. Общие и роговичные aberrации оптической системы при анизомии
Table 3. Total and corneal aberrations of optical system in anisomyopia

Аберрации Aberrations	RMS		Total HOA		Total tilt		Total Trefoil		Total Coma		SA	
	ЛВ BS	XB WS	ЛВ BS	XB WS	ЛВ BS	XB WS	ЛВ BS	XB WS	ЛВ BS	XB WS	ЛВ BS	XB WS
Общие Total	0,58 ± 0,04*	0,83 ± 0,02*	0,16 ± 0,01*	0,30 ± 0,02*	0,14 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,06 ± 0,01*	0,17 ± 0,01*	0,02 ± 0,01*	0,07 ± 0,01*
Общие при ПМ Total in AM	0,51 ± 0,04	0,69 ± 0,02~	-0,17 ± 0,03	0,20 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,16 ± 0,01~	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,01*~	0,04 ± 0,01**	0,10 ± 0,01*~	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Общие при ВМ Total in SM	0,68 ± 0,04*	1,07 ± 0,02*~	0,19 ± 0,01*	0,39 ± 0,03*	0,17 ± 0,01*	0,3 ± 0,02*~	0,18 ± 0,01	0,22 ± 0,02*~	0,09 ± 0,01*	0,21 ± 0,03*~	0,03 ± 0,02*	0,11 ± 0,01*
РА СА			0,13 ± 0,02	0,18 ± 0,03	0,17 ± 0,01*	0,27 ± 0,02*	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,0~	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,01
РА при ПМ СА in AM			0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,2 ± 0,01~	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,01 ± 0,01~	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,01~
РА при ВМ СА in SM			0,17 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,2 ± 0,02*	0,35 ± 0,04*~	0,08 ± 0,01*	0,02 ± 0,02*	0,10 ± 0,01	0,07 ± 0,02~	0,03 ± 0,01*	-0,01 ± 0,01*~
Внутренние Internal			0,19 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,19 ± 0,02*	0,25 ± 0,01*	0,07 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,06 ± 0,02*	0,19 ± 0,01*
Внутренние при ПМ Internal in A			0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,01~	0,2 ± 0,01*	0,07 ± 0,03*~	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,01~	0,09 ± 0,02~	0,05 ± 0,01	0,1 ± 0,02	0,16 ± 0,01
Внутренние при ВМ Internal in SM			0,22 ± 0,02	0,3 ± 0,02~	0,18 ± 0,01*	0,42 ± 0,01*~	0,06 ± 0,02	0,14 ± 0,01~	0,03 ± 0,01~	-0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,02*	0,2 ± 0,01*

Примечание. * — различие между группами лучших и худших глаз достоверно, $p < 0,05$, ~ — различие между группами с врожденной и приобретенной миопией достоверно, $p < 0,05$.
Note. * — difference between groups with "better" and "worse" eyes is significant, $p < 0,05$, ~ — difference between groups with congenital and acquired myopia is significant, $p < 0,05$.

ной. В обоих случаях, очевидно, можно говорить о связи данного показателя с длиной ПЗО.

Общие aberrации высшего порядка — Total HOA, Tilt, Coma и SA — были достоверно выше при врожденной миопии, чем при приобретенной. При врожденной миопии все перечисленные aberrации оказались выше на худшем глазу по сравнению с парным, что указывает на их связь с большей аксиальной длиной. При приобретенной миопии, в соответствии с меньшей межкорулярной разницей в рефракции и длине ПЗО, различия перечисленных HOA не достигли достоверности, за исключением Total Coma. Последняя была достоверно выше на глазу с более высокой миопией. Как известно, данная aberrация свидетельствует о несогласовании оптических элементов глаза, когда центры роговицы, хрусталика и фовеа не находятся на одной линии. Возможно, более высокая Total Coma на худшем глазу при приобретенной анизомии обусловлена изменением положения хрусталика вследствие слабости его связочного аппарата [29].

При приобретенной миопии роговичные aberrации парных глаз с анизотропической рефракцией не различались, что полностью соответствует столь же симметричным показателям преломляющей силы и асферичности роговицы в этой группе. При врожденной анизотропической миопии роговичный Total tilt на худшем глазу оказался больше, а Total Coma и SA меньше, чем на парном. Роговичные aberrации Total tilt, Total Coma достоверно выше при врожденной миопии, чем при приобретенной, а SA достоверно меньше и переходит в отрицательные значения при врожденной миопии по сравнению с приобретенной, что согласуется с большей «крутизной» и асферичностью роговицы.

Внутренние aberrации, т. е. волновой фронт «за вычетом» роговицы, при приобретенной миопии не различались на парных глазах. Исключением явился наклон волнового фронта — Total tilt, величина которого была почти в 3 раза ниже на худшем глазу. Эта находка кажется нам парадоксальной, поскольку ранее возникновение данной aberrации связывали с опущением и наклоном хрусталика в результате ослабления связок хрусталика при миопии [29]. Слабое натяжение связок в покое аккомодации может быть вызвано избыточным привычным напряжением цилиарной мышцы. Возможно, такое привычно-избыточное напряжение аккомодации (ПИНА) при анизомии более выражено на лучшем глазу, или выявленному факту следует искать другое объяснение — этот вопрос требует дальнейшего изучения.

При врожденной миопии, напротив, внутренний Total tilt был в 2,5 раза больше на худшем глазу. Здесь, однако, помимо хрусталика, вероятно участие другого анатомического компонента — атипичного, измененного контура заднего полюса глаза, свойственного высокой врожденной миопии со стафиломой склеры [28]. При врожденной миопии достоверно выше также была внутренняя положительная СА. Как известно, аккомодационно-хрусталиковая сис-

тема нивелирует оптические погрешности изображения, вызываемые роговичными аберрациями, в частности астигматизмом. Общий (так называемый рефракционный) астигматизм, как правило, оказывается меньше в естественных условиях, чем под циклоплегией, и меньше роговичного. В нашем случае это позволило зрительной системе компенсировать отрицательную роговичную СА и привести в итоге к формированию большей положительной общей СА на глазах с высокой врожденной миопией по сравнению с парными слабомиопическими. С другой стороны, это подтверждает роль удлинения ПЗО в формировании положительной СА.

ВЫВОДЫ

1. И при врожденной, и при приобретенной анизометропической миопии из изученных анатомо-оптических параметров парных глаз достоверной оказалась только разница аксиальной длины глаза: в обоих случаях она была выше на глазу с большей миопией. Достоверно более высоким также оказался коэффициент асферичности роговицы на худшем глазу при врожденной миопии. Тенденция к углублению передней камеры, уплощению хрусталика и увеличению преломляющей силы роговицы на глазах с большей степенью миопии оказалась недостоверной.

2. Различий величины общего и роговичного астигматизма парных глаз при анизометропической врожденной и приобретенной миопии не обнаружено. При межгрупповом сравнении роговичный астигматизм в глазах с врожденной и приобретенной миопией не различался, в то же время общий астигматизм при врожденной миопии и на лучшем, и на худшем глазу был выше, чем при приобретенной.

3. Общие аберрации высшего порядка — RMS HOA, Total HOA, Tilt, Coma и SA — при врожденной миопии были достоверно выше, чем при приобретенной, и выше на глазу с более высокой миопией, чем парном. Это указывает на их связь с большей аксиальной длиной.

4. При приобретенной близорукости только Total Coma была достоверно выше на глазу с более высокой миопией, что, возможно, обусловлено изменением положения хрусталика вследствие слабости его связочного аппарата.

5. Роговичные аберрации парных анизометропических глаз достоверно различались только при врожденной миопии: роговичный Total tilt на худшем глазу оказался больше, а Total Coma и SA — меньше и с переходом в отрицательные значения, что согласуется с выявленной большей асферичностью роговицы при врожденной близорукости.

6. При врожденной миопии внутренняя СА имела положительные значения и была достоверно выше на более миопичном глазу, чем на парном. В результате отрицательная роговичная СА была компенсирована и сформировалась положительная общая СА.

7. Выявленные различия волнового фронта глаз с анизометропической врожденной и приобретенной миопией являются скорее следствием анатомо-оптических различий — длины глаза и топографии роговицы, чем причиной возникновения анизометропии.

8. Выявленные различия волнового фронта глаз с врожденной и приобретенной близорукостью указывают на необходимость четкого разделения данных форм миопии при проведении сравнительных исследований.

Литература/References

1. Vincent SJ, Collins MJ, Read SA, Carney L. G. Myopic anisometropia: ocular characteristics and aetiological considerations. *Clin Exp Optom.* 2014 Jul; 97 (4): 291–307. doi: 10.1111/cxo.12171

2. Goldschmidt E. On the etiology of myopia. An epidemiological study. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1968; 98 (Suppl): 11–137.

3. Dirani M, Chamberlain M, Shekar SN, et al. Heritability of refractive error and ocular biometrics: the Genes in Myopia (GEM) twin study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006 Nov; 47 (11): 4756–61. doi: 10.1167/iovs.06-0270

4. Ip JM, Saw SM, Rose KA, et al. Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008 Jul; 49 (7): 2903–10. doi: 10.1167/iovs.07-0804

5. Rose KA, Morgan IG, Ip J, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology.* 2008 Aug; 115 (8): 1279–85. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.12.019

6. Tong L, Chan YH, Gazzard G, Tan D, Saw SM. Longitudinal study of anisometropia in Singaporean school children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006; 47: 3247–52. doi: https://doi.org/10.1167/iovs.05-0906

7. Linke SJ, Baviera J, Munzer G, et al. Association between ocular dominance and spherical/astigmatic anisometropia, age, and sex: analysis of 10,264 myopic individuals. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011 Nov 25; 52 (12): 9166–73. doi: 10.1167/iovs.11-8131

8. Wojciechowski R, Hysi PG. Focusing in on the complex genetics of myopia. *PLoS Genet.* 2013 Apr; 9 (4): e1003442. doi: 10.1371/journal.pgen.1003442

9. Lee SM, Edwards MH. Intraocular pressure in anisometropic children. *Optom Vis Sci.* 2000 Dec; 77 (12): 675–9. doi: 10.1097/00006324-200012000-00015

10. Flitcroft DI. The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology. *Prog Ret Eye Res.* 2012 Nov; 31 (6): 622–60. doi: 10.1016/j.preteyeres.2012.06.004

11. Kim SY, Cho SY, Yang JW, Kim CS, Lee YC. The correlation of differences in the ocular component values with the degree of myopic anisometropia. *Korean J Ophthalmol.* 2013 Feb; 27 (1): 44–7. doi: 10.3341/kjo.2013.27.1.44

12. Gwiazda J, Grice K, Held R, McLellan J, Thorn F. Astigmatism and the development of myopia in children. *Vision Res.* 2000; 40 (8): 1019–26. doi: 10.1016/s0042-6989(99)00237-0

13. Vincent SJ, Collins MJ, Read SA, Carney LG, Yap MK. Corneal changes following near work in myopic anisometropia. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2013 Jan; 33 (1): 15–25. doi: 10.1111/oppo.12003

14. Tian Y, Tarrant J, Wildsoet CF. Optical and biometric characteristics of anisomyopia in human adults. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2011 Sep; 31 (5): 540–9. doi: 10.1111/j.1475-1313.2011.00858

15. Тарутта Е.П., Проскурина О.В., Тарасова Н.А., Ибатуллин Р.А., Ковычев А.С. Предикторы миопии как отправная точка для начала активных мер по предупреждению ее развития. *Российский офтальмологический журнал.* 2018; 11 (3): 107–12. [Tarutta E.P., Proskurina O.V., Tarasova N.A., Ibatulin R.A., Kovychev A.S. Myopia predictors as a starting point for active prevention of myopia development. *Russian ophthalmological journal.* 2018; 11 (3): 107–12 (In Russ.)]. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2018-11-3-107-112

16. Tarutta E., Harutyunyan S., Khandzhyan A., Khodzhabekyan N. Aberrations, accommodation and pseudoaccommodation in myopia and hyperopia. *Acta Ophthalmologica.* October 2016. 94 (S256). doi:10.1111/j.1755-3768.2016.0321

17. Hughes RP, Vincent SJ, Read SA, Collins MJ. Higher order aberrations, refractive error development and myopia control: a review. *Clin Exp Optom.* 2020 Jan; 103 (1): 68–85. doi: 10.1111/cxo.12960

18. Zhu X, Park TW, Winawer J, Wallman J. In a matter of minutes, the eye can know which way to grow. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005 Jul; 46 (7): 2238–41. doi: 10.1167/iovs.04-0956

19. Cheng X, Bradley A, Hong X, Thibos LN. Relationship between refractive error and monochromatic aberrations of the eye. *Optom Vis Sci.* 2003 Jan; 80 (1): 43–9. doi: 10.1097/00006324-200301000-00007

20. Llorente L, Barbero S, Cano D, Dorronsoro C, Marcos S. Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations. *J Vis.* 2004 Apr 22; 4 (4): 288–98. doi: 10.1167/4.4.5

21. Li T, Zhou X, Chen Z, Zhou X, Chu R, Hoffman MR. Relationship between ocular wavefront aberrations and refractive error in Chinese school children. *Clin Exp Optom.* 2012 Jul; 95 (4): 399–403. doi: 10.1111/j.1444-0938.2012.00739.x

22. Little JA, McCullough SJ, Breslin KM, Saunders KJ. Higher order ocular aberrations and their relation to refractive error and ocular biometry in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014 Jul 15; 55 (8): 4791–800. doi: 10.1167/iovs.13-13533

23. Philip K, Sankaridurg P, Holden B, Ho A, Mitchell P. Influence of higher order aberrations and retinal image quality in myopisation of emmetropic eyes. *Vision Res.* 2014; 105: 233–43. https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.10.003

24. Hiraoka T, Kotsuka J, Kakita T, et al. Relationship between higher-order wavefront aberrations and natural progression of myopia in schoolchildren. *Sci Rep.* 2017; 7, 7876. https://doi.org/10.1038/s41598-017-08177-6

25. Thibos LN, Bradley A, Liu T, López-Gil N. Spherical aberration and the sign of defocus. *Optom Vis Sci.* 2013 Nov; 90 (11): 1284–91. doi: 10.1097/OPX.0000000000000040

26. Kwan WC, Yip SP, Yap MK. Monochromatic aberrations of the human eye and myopia. *Clin Exp Optom*. 2009 May; 92 (3): 304–12. doi: 10.1111/j.1444-0938.2009.00378.x
27. Hartwig A., Atchison DA., Radhakrishnan H. Higher-order aberrations and anisometropia. *Curr Eye Res*. 2013 Jan; 38 (1): 215–9. doi: 10.3109/02713683.2012.738462
28. Тарутта Е.П., Маркосян Г.А., Милаш С.В. Периферическая рефракция и контур сетчатки при врожденной и приобретенной миопии высокой степени. *Вестник офтальмологии*. 2017; 133 (5): 38–42. [Tarutta E.P., Markosian G.A., Milash S.V. Peripheral refraction and retinal contour in congenital and acquired high myopia. *Vestnik oftal'mologii*. 2017; 133 (5): 38–42 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/oftalma2017133538-42>
29. Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г., Тарасова Н.А., Ханджян А.Т., Ходжабекян Н.В. Новый способ оценки состояния цинновых связок хрусталика. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2018; 13 (1): 38–41. [Tarutta E.P., Arutyunyan S.G., Tarasova N.A., Khandzhyan A.T., Khodzhabeqyan N.V. A new method of assessment zonular lens. *Russian pediatric ophthalmology*. 2018; 13 (1): 38–41 (In Russ.)]. doi: <http://dx.doi.org/10.18821/1993-1859-2018-13-1-38-41>

Вклад авторов в работу: В.В. Нероев — концепция и дизайн исследования; Е.П. Тарутта — концепция исследования, научное редактирование, формулировка выводов; Н.В. Ходжабекян — концепция исследования, научное редактирование, написание текста; А.Т. Ханджян — анализ и интерпретация результатов; С.Г. Арутюнян — сбор, обработка и анализ данных, написание текста.

Authors' contribution: V.V. Neroev — concept and design of the study; E.P. Tarutta — concept of the study, editing of the article, formulation of conclusions; N.V. Khodzhabeqyan — concept of the study, writing and editing of the article; A.T. Khandzhyan — data analysis and interpretation; S.G. Arutyunyan — data collection, processing and analysis, writing of the article.

Поступила: 15.12.2022. Переработана: 20.12.2022. Принята к печати: 25.12.2022
Originally received: 15.12.2022. Final revision: 20.12.2022. Accepted: 25.12.2022

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Владимир Владимирович Нероев — академик РАН, д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии сетчатки и зрительного нерва, директор, ORCID 0000-0002-8480-0894

Елена Петровна Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники, ORCID 0000-0002-8864-4518

Нарине Володяевна Ходжабекян — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники, ORCID 0000-0002-4998-7323

Ануш Тиграновна Ханджян — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отдела патологии сетчатки и зрительного нерва, ORCID 0000-0002-5674-2869

Сона Гришаевна Арутюнян — канд. мед. наук, научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргоники, ORCID 0000-0002-4711-3374

Для контактов: Сона Гришаевна Арутюнян, arutyunyansg@mail.ru

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

Vladimir V. Neroev — Academician of the RAS, Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of pathology of the retina and optic nerve, director, ORCID 0000-0002-8480-0894

Elena P. Tarutta — Dr. of Med. Sci., professor, head of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-8864-4518

Narine V. Khodzhabeqyan — Cand. of Med. Sci., leading researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-4998-7323

Anush T. Khandzhyan — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of pathology of the retina and optic nerve, ORCID 0000-0002-5674-2869

Sona G. Harutyunyan — Cand. of Med. Sci., researcher of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoeconomics, ORCID 0000-0002-4711-3374

Contact information: Sona G. Harutyunyan, arutyunyansg@mail.ru