

# Влияние ортокератологических линз на сферическую аберрацию оптической системы глаза

Е.П. Тарутта — д-р мед. наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики

С.Г. Арутюнян — аспирант отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики

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

*Целью настоящей работы было измерение сферических аббераций (СА) роговицы и оптической системы глаза до и после ношения ортокератологических (ОК) линз. **Материал и методы.** Обследовано 22 пациента (44 глаза) в возрасте от 11 до 18 лет с миопией слабой и средней степени. Суммарную СА определяли после медикаментозной циклоплегии на абберометре OPD-Scan III, Nidek. Для анализа значений СА до и после ношения ОК-линз были выбраны зоны зрачка от 3 до 7,5 мм с шагом 0,5–0,1 мм. **Результаты.** СА в интактных глазах с миопией — слабоположительная и по мере увеличения диаметра зрачка нарастает. После ОК-коррекции СА изменяется: от 3- до 6-мм зрачковой зоны положительная СА увеличивается на 50–130 %, в 6,3-мм зоне резко падает и далее становится отрицательной, нарастая к периферии зрачковой зоны. **Заключение.** Изменения топографии роговицы после ОК-коррекции приводят к специфическим изменениям волнового фронта миопических глаз, приводящим к повышению зрительной работоспособности и устранению гиперметропического дефокуса на периферии сетчатки.*

**Ключевые слова:** сферическая аберрация, ортокератология, миопия.

**Для цитирования:** Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г. Влияние ортокератологических линз на сферическую аберрацию оптической системы глаза. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (2): 17-21. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-2-17-21.

Оптическая система реального здорового человеческого глаза далека от совершенства и характеризуется рядом оптических погрешностей — аббераций [1]. В клинической практике существуют понятия «хроматические» и «монохроматические» абберации, среди последних — сферические, кома, дисторсия, астигматизм косых лучей, трейлоид и ряд других. Сферическая аберрация (СА) возникает вследствие индивидуальных особенностей строения оптической системы глаза, прежде всего — кривизны поверхностей роговицы и хрусталика, из-за несовпадения фокусов лучей света, проходящих на разных расстояниях от оптической оси. СА положительная, когда периферия оптической системы преломляет сильнее центра, и отрицательная, когда центр пре-

ломляет сильнее периферии. При афакии в оптической системе больше аббераций, чем в факических глазах, что отчасти объясняет причину снижения остроты центрального зрения после удаления хрусталика [2]. Влияние СА на качество изображения на сетчатке относительно мало при малых размерах зрачка, а при больших размерах за счет увеличения СА качество изображения значительно ухудшается.

Юнг был первым, кто с помощью оптометра оригинальной методикой измерил СА реального человеческого глаза [3]. Дальнейшие исследования показали, что в человеческих глазах СА несимметрична. В нашей стране исследованием волнового фронта стали заниматься еще в середине XX века [4, 5]. В последние годы ряд авторов внесли

существенный вклад в изучение аберраций, их связи с аккомодацией, контактной и ортокератологической (ОК) коррекцией [6–9].

Термин «сферическая аберрация» не вполне применим к глазу из-за асимметричности его оптической системы, т. е. разной ее величины в разных меридианах и даже в противоположных направлениях одного меридиана. Кроме того, существует термин СА «против правила», которая, в отличие от искусственных оптических систем, может возникать в глазу при наличии ядра хрусталика с большим коэффициентом преломления.

Е.П. Тарутта и соавт. [10] проанализировали СА роговицы и оптической системы глаза у детей с гиперметропией и миопией, определяя ее значение по методике Ю.З. Розенблюма — Т.А. Корнюшиной [4, 5] в собственной модификации. Выявлено, что роговице при всех видах рефракции свойственна отрицательная СА, которая в большинстве случаев компенсируется оптической системой глаза. Это приводит к формированию положительной СА глаза, при этом с усилением клинической рефракции нарастает доля глаз со смешанной СА, т. е. с сочетанием в разных зонах зрачка аберраций разного знака. Положительная СА коррелирует с относительно миопической периферической рефракцией глаза в соответствующей зоне, а аберрация, полученная в носовой зоне зрачка, — с периферической рефракцией в височной половине глазного дна, и наоборот [8].

L. Wang и соавт. [11] оценивали общие и внутренние аберрации у взрослых и пришли к выводу, что с возрастом аберрации высшего порядка существенно не меняются. Внутренние структуры компенсируют часть роговичных аберраций, и только СА с возрастом имеют тенденцию к снижению у большинства обследованных.

По предположениям M. Collins, C. Wildsoet [12], индивидуальные аберрации, такие как СА, могут нарушить процесс эметропизации. По мнению авторов, отрицательная СА индуцирует миопический рост глаза, а положительная, наоборот, замедляет. В глазах с высокой степенью миопии обнаружен более высокий уровень СА, комы, других аберраций высших порядков, чем в немиопических глазах и в глазах со слабой миопией [10]. Интересно, что в немногих исследованиях зарегистрировано, наоборот, меньшее значение аберраций 4-го порядка, СА, аберраций 3-го и высших порядков в миопических глазах по сравнению с эметропическими [11].

В ряде работ показано, что значительное повышение уровня аберраций высших порядков после ношения ОК-линз не сопровождается ускорением прогрессирования миопии, а, напротив, тормозит его [13]. Очевидно, требуется более углубленное изучение связи качественных и количественных изменений волнового фронта, аккомодации, псевдоаккомодации и характера течения миопии.

Работа Е.П. Тарутты и соавт. показала, что ОК-коррекция миопии вызывает изменение формы роговицы с увеличением кривизны и преломляющей силы в парацентральных зонах и приводит к значительным изменениям волнового фронта. На фоне снижения суммарного уровня аберраций за счет исправления миопического дефокуса повышаются аберрации высших порядков (кома, СА, астигматизм высшего порядка). Повышение уровня аберрации у миопов, пользующихся ОК-линзами, сопровождается увеличением глубины фокуса вдаль (в 2,8 раза) и вблизи (в 2 раза) [8].

**ЦЕЛЬЮ** настоящей работы было измерение СА роговицы и оптической системы глаза до и после ношения ОК-линз.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 22 пациента (44 глаза) с миопией слабой и средней степени в возрасте от 11 до 18 лет. Измеряли суммарную СА (SA: S4 + S8 + S12) после медикаментозной циклоплегии (двухкратная инстилляцией 1 % р-ра Cyclopentolate hydrochloride с интервалом 10 мин, аберрометрия через 40 мин после первого закапывания) на аберрометре OPD-Scan III, Nidek. Далее, учитывая наличие опции прибора с выбором зоны зрачка, для анализа значений СА до и после ношения ОК-линз нами были выбраны зоны от 3 до 7,5 мм с шагом 0,5–0,1 мм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 представлены значения суммарной СА до и после ношения ОК-линз при различных зрачковых зонах.

Приведенные в таблице 1 данные показывают, что в глазах с миопией слабой и средней степени суммарная СА положительная и в 3,0-мм зоне составляет  $0,020 \pm 0,001$  мкм. При увеличении зоны зрачка она, соответственно, увеличивается и в 7,5-мм зоне достигает  $0,890 \pm 0,001$  мкм. Интересные данные получились у пациентов после ношения ОК-линз. Положительная СА значительно увеличилась по сравнению с исходными значениями в каждой из обследованных зон зрачка диаметром от 3,0 до 6,0 мм: в зоне 3,0 мм — на 50 %; 3,5 мм — на 75 %; 4,0 мм — на 100 %; 4,5 мм — на 117 %; 5,0 мм — на 132 %; 5,5 мм — на 76 %; 6,0 мм — на 69 %. При дальнейшем увеличении диаметра зрачка СА резко падает (на 96 %) в 6,3 мм и далее переходит в отрицательную. Отрицательная СА нарастает с  $-0,010 \pm 0,005$  мкм (-102 % от исходного значения) в зоне 6,4 мм до  $-0,630 \pm 0,001$  мкм (-170 % от исходного) в зоне 7,5 мм (рис. 1).

По такому же принципу меняются роговичные СА (табл. 2). До ношения ОК-линз в 3,0-мм зоне роговичные СА отрицательные ( $-0,040 \pm 0,005$  мкм) и при увеличении диаметра зрачка увеличиваются, переходя в положительные значения ( $0,980 \pm 0,001$  мкм) в зоне 7,5 мм. После ношения ОК-линз в

**Таблица 1.** Суммарная СА до и после ношения ОК-линз при различных зрачковых зонах (мм)  
**Table 1.** Total SA before and after wearing OK-lenses at different pupillary zones (mm)

Зона зрачка Pupillary zone	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,5
СА до ОК-линз SA before OK-lenses	0,020 ± 0,001	0,040 ± 0,003	0,070 ± 0,002	0,120 ± 0,001	0,190 ± 0,003	0,290 ± 0,004	0,400 ± 0,001	0,480 ± 0,001	0,500 ± 0,002	0,540 ± 0,005	0,590 ± 0,003	0,610 ± 0,003	0,640 ± 0,002	0,700 ± 0,001	0,730 ± 0,004	0,890 ± 0,001
СА после ОК-линз SA after OK-lenses	0,030 ± 0,002	*0,070 ± 0,001	*0,140 ± 0,005	*0,206 ± 0,003	*0,440 ± 0,001	*0,510 ± 0,002	*0,690 ± 0,001	*0,020 ± 0,003	*-0,010 ± 0,005	*-0,040 ± 0,004	*-0,140 ± 0,001	*-0,250 ± 0,003	*-0,310 ± 0,001	*-0,450 ± 0,002	*-0,530 ± 0,003	*-0,630 ± 0,001
% к исходному % to initial level	50	75	100	117	132	76	69	-96	-102	-107	-124	-141	-148	-164	-173	-171

**Примечание.** \* — различие между группами до и после ношения ОК-линз достоверно,  $p < 0,05$ .  
**Note.** \* — the difference between groups before and after wearing OK-lenses is significant,  $p < 0,05$ .

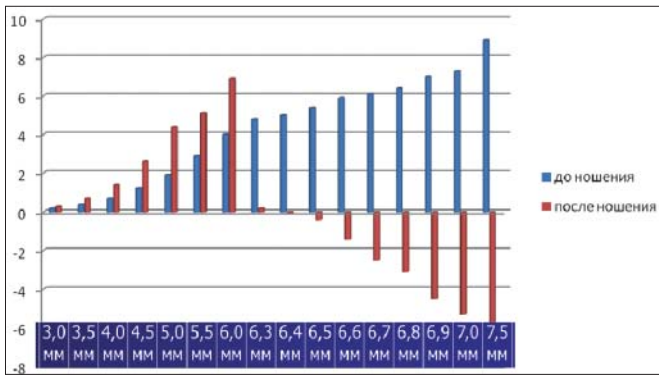
**Таблица 2.** Роговичная СА до и после ОК-линз при различных зрачковых зонах (мм)  
**Table 2.** Corneal SA before and after wearing OK-lenses at different pupillary zones (mm)

Зона зрачка Pupillary zone	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,5
СА до ношения ОК-линз SA before OK-lenses wearing	-0,040 ± 0,005	-0,030 ± 0,001	-0,010 ± 0,001	0,010 ± 0,003	0,030 ± 0,002	0,040 ± 0,001	0,090 ± 0,004	0,180 ± 0,002	0,300 ± 0,003	0,450 ± 0,001	0,600 ± 0,002	0,710 ± 0,002	0,780 ± 0,006	0,830 ± 0,001	0,900 ± 0,003	0,980 ± 0,001
СА после ношения ОК-линз SA after OK-lenses wearing	0,050 ± 0,003	0,090 ± 0,002	0,150 ± 0,005	0,220 ± 0,003	0,400 ± 0,001	0,510 ± 0,001	0,600 ± 0,002	0,650 ± 0,004	0,700 ± 0,002	0,010 ± 0,001	-0,030 ± 0,003	-0,070 ± 0,004	-0,100 ± 0,005	-0,220 ± 0,002	-0,400 ± 0,001	-0,580 ± 0,003
% к исходному % to initial level	225	400	1600	2100	1233	1175	567	261	133	-98	-105	-110	-113	-127	-144	-159

зоне 3,0 мм они становятся положительными ( $0,050 \pm 0,003$  мкм) и по мере увеличения диаметра зрачка увеличиваются, достигая максимума ( $0,700 \pm 0,002$  мкм) в 6,4-мм зоне. Затем СА резко падают и далее переходят в отрицательные значения: в зоне 6,5 мм —  $-0,010 \pm 0,001$  мкм; 7,0 мм —  $-0,400 \pm 0,001$  мкм; 7,5 мм —  $-0,580 \pm 0,003$  мкм.

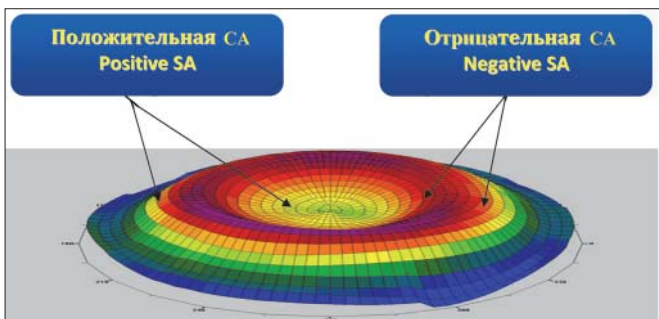
Эти изменения находят объяснение в изменившейся после ОК-коррекции топографии передней поверхности роговицы. После воздействия ОК-линзы роговица уплощается в центральной зоне с соответствующим снижением ее преломляющей силы и становится более крутой на средней периферии, в зоне «накопления» диаметром 5,0–6,0 мм. Здесь радиус кривизны роговицы резко уменьшается, а ее преломляющая сила, соответственно, увеличивается. Формируется положительная СА — когда периферия (в данном случае средняя периферия) оптической системы преломляет сильнее центра. Дальнейшее увеличение зрачковой зоны — от 6,0 до 7,5 мм — захватывает участки роговицы, соответствующие «зоне выравнивания». Здесь расположена опорная часть линзы, ее воздействие на эпителий приводит к его уплощению, увеличению радиуса кривизны передней поверхности и соответствующему снижению преломляющей силы этой части роговицы. Возникает ситуация, когда более периферические отделы оптической системы (зона 7,5 мм) преломляют слабее более центральных (6,0 мм), т. е. формируется отрицательная СА (рис. 2).

Таким образом, ОК-коррекция, изменяя специфическим образом топографию передней поверхности роговицы, создает уникальную, не существующую в природе живого человеческого глаза ситуацию: сочетание в разных зонах зрачка положительной и отрицательной СА. Возможно, этим объясняется отмеченное в ряде работ увеличение зрительной работоспособности после ОК-коррекции [8, 13]. При этом авторы отмечали одновременное повышение аккомодации (объективного аккомодационного ответа и запасов относительной



**Рис. 1.** Сферическая аберрация до и после ношения ОК-линз в различных зрачковых зонах (мм).

**Fig. 1.** Spherical aberration before and after wearing OK-lenses in different pupillary zones (mm).



**Рис. 2.** Топография роговицы и сферическая аберрация после ОК-коррекции.

**Fig. 2.** Corneal topography and spherical aberration (SA) after OK-correction.

аккомодации) и псевдоаккомодации, что было не совсем логично с теоретической точки зрения. И по данным литературы, и по нашим результатам, изложенным в предыдущих работах [14], аккомодация и псевдоаккомодация находятся, как правило, в конкурентных взаимоотношениях: увеличение одной сопряжено обычно со снижением другой.

Высокий уровень аберраций и, в частности, положительной СА способствует увеличению глубины фокуса и повышению псевдоаккомодации, но при этом снижает аккомодационный ответ. В свою очередь, отрицательная СА стимулирует аккомодационный ответ. Присутствие в глазах после ОК-коррекции и положительной, и отрицательной СА хорошо коррелирует с отмеченным повышением и псевдоаккомодации, и истинной аккомодации, и, очевидно, объясняет это повышение.

## ВЫВОДЫ

1. СА в интактных глазах с миопией — слабоположительная и по мере увеличения диаметра зрачка нарастает. После ОК-коррекции СА изменяется:

от 3- до 6-мм зрачковой зоны положительная СА увеличивается на 50–130 %, в 6,3-мм зоне резко падает и далее становится отрицательной, нарастая к периферии зрачковой зоны.

2. Изменения топографии роговицы после ОК-коррекции приводят к специфическим изменениям волнового фронта миопических глаз, обеспечивающим повышение зрительной работоспособности и устранение гиперметропического дефокуса на периферии сетчатки.

**Конфликт интересов:** отсутствует.

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

## Литература

1. Алиев А-Г.Д. Влияние суммарных аберраций оптической системы глаза человека на абсолютную остроту зрения при астигматизме. В кн.: Возрастные особенности органа зрения в норме и патологии у детей. Вып. XI. Москва; 1988: 112–4.
2. Исмаилов М.И., Алиев А-Г.Д. Аберрации оптической системы глаза при имплантации искусственного хрусталика. Москва: издательский центр «Федоров»; 2000.
3. Радзиховский Б.Л. Астигматизм человеческого глаза. Москва: Медицина; 1969.
4. Розенблюм Ю.З. Актуальные проблемы оптической коррекции. Вестник офтальмологии. 1992; 108 (1): 3–9.
5. Корноушина Т.А., Розенблюм Ю.З., Киваев А.А. Аберрометрия в диагностике глазных заболеваний. Офтальмологический журнал. 1990; 8: 474–8.
6. Корниловский И.М., Диденко Т.Н., Годжаева А.М. Влияние медикаментозного спазма аккомодации на структуру аберрационной оптического тракта глаза. Рефракционная хирургия и офтальмология. 2004; 4 (2): 8–11.
7. Костюченко Н.В., Дога А.В., Антонова Ю.И. Аберрации оптической системы глаза при различных методах коррекции астигматизма у детей и подростков. Офтальмохирургия. 2008; 1: 51–5.
8. Тарутта Е.П., Аляева О.О. Аберрации оптической системы глаза у детей, пользующихся ортокератологическими линзами ночного ношения. Российский офтальмологический журнал. 2013; 6 (1): 44–8.
9. Сергиенко Н.М. Офтальмологическая оптика. Москва: Медицина; 1991.
10. Tarutta E., Harutyunyan S., Khandzhyan A., Khodzhabekyan N. Aberrations, accommodation and pseudoaccommodation in myopia and hyperopia. Acta Ophthalmologica. 2016; 94: Issue S256. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2016.0321>.
11. Wang L., Santaella R.M., Booth M., Koch D.D. Higher-order aberrations from the internal optics of the eye. J. Cataract Refract Surg. 2005; 31 (8 Aug.): 1512–9. doi:10.1016/j.jcrs.2004.01.048.
12. Collins M.J., Wildsoet C.F. Optical treatment method. Australia: Queensland University of technology. Brisbane (Australia); 2000.
13. Тарутта Е.П., Егорова Т.С., Аляева О.О. Оценка эффективности ортокератологической коррекции миопии у детей. Глаз. 2012; 1: 24–7.
14. Нероев В.В., Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г., Ханджян А.Т., Ходжабекян Н.В. Аберрации волнового фронта и аккомодация при миопии и гиперметропии. Вестник офтальмологии. 2017; 133 (2): 5–9. doi:10.17116/oftalma201713324-9.

Поступила 22.02.2018



# The impact of orthokeratologic contact lenses on spherical aberration of the optical system of the eye

E.P. Tarutta — Dr. Med. Sci., Professor, head of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoergonomics

S.G. Harutyunyan — PhD student of the department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoergonomics

Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia  
elenatarutta@mail.ru

*The purpose of this study is to measure the spherical aberration (SA) of the cornea and the optical system of the eye before and after wearing orthokeratologic (OK) contact lenses. **Material and methods.** 22 patients (44 eyes) with myopia aged 11 to 18 years were examined. The total SA was determined after medical cycloplegia performed on OPD-Scan III aberrometer, Nidek. To analyze SA values before and after wearing OK lenses, we chose pupil areas from 3 mm to 7.5 mm in 0.5–1 mm increments. **Results.** In intact eyes with myopia, the total SA is mildly positive and is growing with the increase of the pupil diameter. After OK correction, the SA is changing: from 3 to 6 mm of the pupillary area, the positive SA increases by 50–130 %, in the 6.3 mm area it falls sharply and becomes negative, growing on the way to the periphery of the pupillary area. **Conclusions.** Corneal topography changes after OK corrections lead to specific changes of the wavefront of myopic eyes, causing increased visual performance and eliminating the hyperopic defocus at retinal periphery.*

**Keywords:** spherical aberration, orthokeratology, myopia.

**For citation:** Tarutta E.P., Harutyunyan S.G. The impact of orthokeratologic contact lenses on spherical aberration of the optical system of the eye. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (2): 17–21. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-2-17-21 (In Russian).

**Conflict of interests:** there is no conflict of interests.

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

## References

1. Aliev A.-G.D. The effect of total aberration of the human eye's optical system on the absolute visual acuity with astigmatism. Age features of the organ of vision in norm and pathology in children. Release XI. Moscow; 1988: 112–4 (in Russian).
2. Ismailov M.I., Aliev A.-G.D. Aberrations of optical system of the eye during implantation of an artificial lens. Moscow: izdatelskiy centr "Fyodorov"; 2000 (in Russian).
3. Radzikhovskiy B.L. Astigmatism of the human eye. Moscow: Meditsina; 1969 (in Russian).
4. Rosenblum Yu.Z. Actual problems of optical correction. Vestnik oftalmologii. 1992; 108 (1): 3–9 (in Russian).
5. Korniyushina T.A., Rosenblum Yu.Z., Kivaev A.A. Aberrometry in the diagnosis of eye diseases. Oftalmologicheskii zhurnal. 1990; 8: 474–8 (in Russian).
6. Kornilovskiy I.M., Didenko T.N., Godjaeva A.M. The influence of drug spasm of accommodation on the structure of optical aberration. Refraktsionnaya khirurgiya. 2004; 4 (2): 8–11 (in Russian).
7. Kostuchenkova N.V., Doga A.V., Antonova Yu.I. Optical aberrations of the eye with various methods of correcting astigmatism in children and adults. Oftalmokhirurgiya. 2008; 1: 51–5 (in Russian).
8. Tarutta E.P., Alyaeva O.O. Optical aberrations of the eye in children using orthokeratological lenses. Russian ophthalmological journal. 2013; 6 (1): 44–8 (in Russian).
9. Serguinenko N.M. Ophthalmic optics. Moscow: Meditsina; 1991 (in Russian).
10. Tarutta E., Harutyunyan S., Khandzhyan A., Khodzhabekyan N. Aberrations, accommodation and pseudoaccommodation in myopia and hyperopia. Acta Ophthalmologica. 2016; 94: Issue S256. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2016.0321>.
11. Wang L., Santaella R.M., Booth M., Koch D.D. Higher-order aberrations from the internal optics of the eye. J. Cataract Refract. Surg. 2005; 31 (8 Aug.): 1512–9. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2016.0321>.
12. Collins M.J., Wildsoet C.F. Optical treatment method. Australia: Queensland University of Technology. Brisbane (Australia); 2000.
13. Tarutta E.P., Egorova T.S., Alyaeva O.O. Assessment of the effectiveness of orthokeratological correction of myopia in children. Glaz. 2012; 1: 24–7 (in Russian).
14. Neroev V.V., Tarutta E.P., Harutyunyan S.G., Khandzhyan A.T., Khodzhabekyan N.V. Wavefront aberrations and accommodation in myopia and hyperopia. Vestnik oftalmologii. 2017; 133 (2): 5–9. doi:10.17116/oftalma201713324-9 (in Russian).

**Для контактов:** Тарутта Елена Петровна  
E-mail: elenatarutta@mail.ru