

# Индуцированная сферическая аберрация роговицы и напряжение аккомодации у детей с миопической рефракцией

М.В. Махова — врач-офтальмолог<sup>1</sup>

В.В. Страхов — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой офтальмологии<sup>2</sup>

П.А. Пиликова — врач-ординатор<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Офтальмологическая клиника инновационных технологий», 150000, Ярославль, ул. Чайковского, д. 32

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО ЯГМУ Минздрава России, 150000, Ярославль, ул. Революционная, д. 5

**Цель работы** — изучение взаимосвязи индуцированной ортокератологическими (ОК) линзами сферической аберрации роговицы и напряжения аккомодации, а также анализ эффективности лечения перенапряжения аккомодации препаратом Ирифрин БК 2,5 % у пациентов с миопией в условиях неизменной и измененной ОК-линзами формы роговицы. **Материал и методы.** Для исследования влияния сферической аберрации на аккомодационные функции глаза у пациентов с неизменной и измененной ОК-линзами формой роговицы были созданы две группы школьников с миопической рефракцией, в одну из которых входили пациенты с обычной контактной коррекцией зрения (156 глаз), а в другую — пациенты с ОК-коррекцией (196 глаз). Для оценки воздействия препарата Ирифрин БК 2,5 % на состояние аккомодации были обследованы 142 школьника (284 глаза) в возрасте от 8 до 19 лет с миопической рефракцией от  $-0,25$  до  $-9,0$  дптр, с неизменной и измененной ОК-линзами формой роговицы. Все эти дети были разделены на три группы. В 1-й группе школьникам с обычной контактной коррекцией (52 ребенка, 104 глаза) закапывали Ирифрин БК 2,5 % ежедневно на ночь 30 дней, во 2-й группе — 33 ребенка (66 глаз) с обычной контактной коррекцией — закапывали Ирифрин БК 2,5 % также ежедневно на ночь, но уже 60 дней, в 3-й группе — 57 детей (114 глаз) с ОК-коррекцией и различной по величине отрицательной сферической аберрацией — закапывали препарат ежедневно на ночь 30 дней. **Результаты.** Установлено, что характер сферической аберрации при неизменной и измененной ОК-линзами форме роговицы различен. При неизменной форме роговицы в 93,5 % выявляется положительная сферическая аберрация, на долю отрицательной сферической аберрации приходится 6,5 %, а при измененной ОК-линзами форме роговицы отрицательная сферическая аберрация составляет 86,7 %, положительная сферическая аберрация выявляется у 13,3 %. Курс лечения ирифрином БК 2,5 % в течение 30 дней у пациентов с перенапряжением аккомодации, как с неизменной, так и измененной ОК-линзами формой роговицы, оказался более эффективным, чем курс 60-дневного закапывания. Вместе с тем лечение перенапряжения аккомодации ирифрином БК 2,5 % у пациентов с ОК-коррекцией был достоверно эффективным при слабой и средней величине отрицательной сферической аберрации, в то время как при высокой отрицательной сферической аберрации — заметно менее эффективным. **Заключение.** Выявлена взаимосвязь индуцированной ОК-линзами отрицательной сферической аберрации с амплитудой и степенью напряжения аккомодации, а также со степенью миопии. Установлено, что курс лечения препаратом Ирифрин БК 2,5 % длительностью 30 дней эффективен при любых видах коррекции.

**Ключевые слова:** миопия, ортокератология, сферическая аберрация, аккомодография, коэффициент микрофлуктуаций, коэффициент аккомодационного ответа, ирифрин БК 2,5 %.

**Для цитирования:** Махова М.В., Страхов В.В., Пиликова П.А. Индуцированная сферическая аберрация роговицы и напряжение аккомодации у детей с миопической рефракцией. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (2): 10-5. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-2-10-15.

Многочисленные клинические и экспериментальные исследования подтверждают наличие связи между аккомодацией и развитием миопии у детей [1–4], причем, по мнению многих отечественных офтальмологов, аккомодационная сущность миопического рефрактогенеза соответствует трехфакторной теории происхождения миопии [5]. Вместе с тем современная теория периферического ретинального дефокуса [6] отдает приоритет в регуляции роста глаза самой сетчатке. Тем не менее аккомодация по-прежнему может занимать определенное место в рефрактогенезе, но не как инструмент, а как гарант реализации индивидуальной генетической программы роста глазного яблока при условии аккомодационного обеспечения четкого зрения на всем зрительном пространстве. А это значит, что при нарушениях аккомодации возможны и нарушения роста глазного яблока.

Как и любой «неидеальной» оптической системе, человеческому глазу свойственны оптические дефекты — аберрации, которые, как правило, снижают качество зрения, искажая изображение на сетчатке [7]. Главным «поставщиком» сферической аберрации в глазу является хрусталик, во вторую очередь — роговица. Чем шире зрачок, т. е. чем большая часть хрусталика принимает участие в зрительном акте, тем более заметна сферическая аберрация [2]. Положительная сферическая аберрация (+SA) возникает, когда свет, проходящий через периферию двояковыпуклой линзы, преломляется сильнее, чем в центре. Соответственно, отрицательная сферическая аберрация (-SA) возникает потому, что свет, проходящий через центр двояковыпуклой линзы, преломляется сильнее, чем на периферии [8–10]. Аккомодация, вследствие своего воздействия на форму хрусталика, влияет на возникновение аберраций оптической системы, в то же время механизм аккомодации очень чувствителен и сам, в свою очередь, подвержен влиянию аберраций. Аккомодация глаза вызывает -SA и уменьшает +SA. В последнее время стало известно, что наведенная с помощью специальных линз -SA является стимулом к аккомодации [2]. Этот факт предполагает появление потенциальной возможности количественного измерения аккомодации с помощью аккомодографических критериев [11], таких как амплитуда, степень напряжения и отставание аккомодационного ответа [9, 12–14].

**ЦЕЛЬЮ** нашей работы явилось изучение взаимосвязи индуцированной ортокератологическими (ОК) линзами сферической аберрации роговицы и напряжения аккомодации, а также анализ эффективности лечения перенапряжения аккомодации препаратом Фенилэфрин 2,5 % без консерванта у пациентов с миопией в условиях неизменной и измененной ОК-линзами формы роговицы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для исследования влияния сферической аберрации на аккомодационные функции глаза у пациентов

с неизменной и измененной ОК-линзами формой роговицы были созданы две группы школьников с миопической рефракцией: в одну из них входили пациенты с обычной контактной коррекцией зрения (156 глаз), а в другую — пациенты с ОК-коррекцией (196 глаз).

Для оценки лечебного воздействия препарата Ирифрин БК 2,5 % на перенапряжение аккомодации обследованы 142 школьника (284 глаза) в возрасте от 8 до 19 лет с миопической рефракцией от -0,25 до -9,0 дптр, с неизменной и измененной ОК-линзами формой роговицы. Все дети были разделены на три группы. В 1-й группе с обычной контактной коррекцией 52 ребенка (104 глаза) закапывали ирифрин БК 2,5 % ежедневно на ночь 30 дней, во 2-й группе 33 ребенка с обычной контактной коррекцией (66 глаз) закапывали ирифрин БК 2,5 % также ежедневно на ночь, но уже 60 дней, в 3-й группе 57 детей (114 глаз) с ОК-коррекцией и различной по величине индуцированной -SA закапывали препарат ежедневно на ночь 30 дней. Всем пациентам проведено стандартное офтальмологическое обследование, исследование аккомодации на аккомодографе Speedy-i с определением коэффициента аккомодационного ответа (КАО) и коэффициента микрофлуктуаций (КМФ) [7], а также аберрометрия на авторефрактометре HRK-8000A с шириной зрачка 4,6 мм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что характер сферической аберрации при неизменной и измененной ОК-линзами форме роговицы различен. При неизменной форме роговицы в 93,5 % (146 глаз) выявляется +SA, а на долю -SA приходится 6,5 % (10 глаз). При измененной ОК-линзами форме роговицы -SA составляет 86,7 % (170 глаз), а +SA выявляется у 13,3 % (26 глаз) (табл. 1).

Выявлена корреляционная зависимость высокочастотных КМФ от индуцированной ОК-линзами -SA ( $R$  Спирмана = -0,371) (рис. 1). Выявлена также зависимость индуцированной -SA от величины миопии ( $R$  Спирмана = 0,52) при измененной ОК-линзами форме роговицы (рис. 2). При неизменной форме роговицы такой зависимости не выявлено ( $R$  Спирмана = 0,1), не выявлена также зависимость величины перенапряжения аккомодации от ведущего глаза при измененной ОК-линзами ( $R$  Спирмана = 0,009) и неизменной ( $R$  Спирмана = 0,003) форме роговицы.

Таким образом, установлено, что измененная ОК-линзами форма роговицы индуцирует -SA и влияет на амплитуду аккомодации в сторону ее усиления и увеличения степени напряжения. Чем больше величина миопии, тем больше степень -SA, выше амплитуда аккомодации и степень ее напряжения у пациентов с ОК-коррекцией.

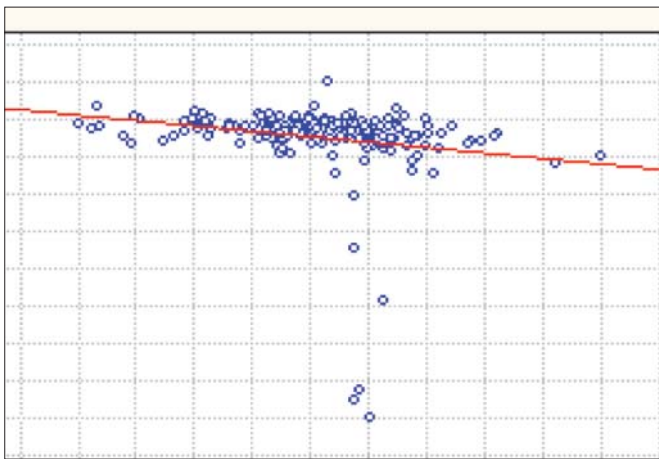
**Таблица 1.** Влияние сферической аберрации (SA) на аккомодативную функцию глаза у пациентов с неизменной и измененной ОК-линзами формой роговицы

**Table 1.** The impact of spherical aberration (SA) on accommodative function in patients with unmodified and modified by ОК-lenses shape of the cornea

Показатели Parameters, n = 352	Неизменная форма роговицы The unchanged form of the cornea, n = 156		Измененная ОК-линзами форма роговицы Changed by ОК-lenses form of the cornea, n = 196	
	+SA n = 146	-SA n = 10	+SA n = 26	-SA n = 170
Возраст, лет Age, years	15,2 ± 4,9	15,1 ± 4,7	14,7 ± 2,7	14,9 ± 2,6
Рефрактометрия, дптр Refractometry, D	- 3,1 ± 2,0	- 3,1 ± 3,1	- 2,8 ± 1,4	- 3,8 ± 1,3
Сферическая аберрация, мкм Spherical aberration, μm	0,02 ± 0,01	-0,018 ± 0,020	0,014 ± 0,020	-0,06 ± 0,01
Коэффициент аккомодационного ответа Coefficient of accommodation response	0,80 ± 0,13	0,80 ± 0,07	0,80 ± 0,18	1,3 ± 5,7
Коэффициент микрофлуктуаций, Гц Coefficient of microfluctuations, Hz	59,2 ± 3,7	61,3 ± 2,6	60,3 ± 4,4	63,2 ± 4,5
Состояние аккомодации State of accommodation	В пределах нормы Within normal limits	В пределах нормы Within normal limits	В пределах нормы Within normal limits	Перенапряжение аккомодации с высокой амплитудой Overstrain of accommodation with high amplitude

**Примечание.** n — количество глаз.

**Note.** n — number of eyes.

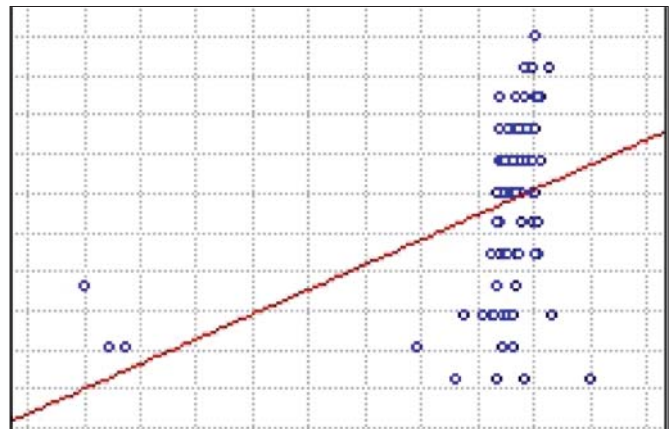


**Рис. 1.** Корреляционная зависимость сферической аберрации и КМФ при измененной ОК-линзами форме роговицы (R Спирмана = -0,371).

**Fig. 1.** The correlation of spherical aberration and CMF when the changed by ОК-lenses shape of the cornea (R Spearman = -0,371).

При анализе лечебного воздействия препарата Ирифрин БК 2,5 % на перенапряжение аккомодации при его применении в течение 30 и 60 дней статистически значимые различия были выявлены только для КМФ,  $p < 0,05$  (табл. 2, 3). Этот коэффициент характеризует состояние аккомодационной мышцы и степень ее перенапряжения. Сравнение значений КАО после 30- и 60-дневного курса инстилляций ирифрина БК 2,5 % не выявило статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ).

Несмотря на статистически значимое отличие показателя КМФ от исходного уровня при инстилляциях ирифрина БК 2,5 % в течение 60 дней у пациентов с



**Рис. 2.** Корреляционная зависимость величины миопии и сферической аберрации при измененной ОК-линзами форме роговицы (R Спирмана = 0,52).

**Fig. 2.** Correlation dependence of myopia degree and spherical aberration when the changed by ОК-lenses shape of the cornea (R Spearman = 0,52).

измененной формой роговицы ( $p = 0,028$ ), это изменение было клинически незначительным, и сохранилось перенапряжение аккомодационной мышцы. На этом основании мы считаем, что курс лечения ирифрином БК 2,5 % в течение 30 дней у пациентов с перенапряжением аккомодации как при неизменной, так и измененной ОК-линзами формой роговицы был более эффективен, чем курс 60-дневных инстилляций.

Вместе с тем лечение перенапряжения аккомодации ирифрином БК 2,5 % у пациентов с ОК-коррекцией достаточно эффективно при слабой и средней величине -SA, в то время как при высокой -SA — менее эффективно (табл. 4, 5).

**Таблица 2.** Аккомодографические показатели эффективности лечения перенапряжения аккомодации у пациентов с миопической рефракцией ирифрином БК 2,5 % при его применении в течение 30 дней при измененной и неизмененной форме роговицы  
**Table 2.** Accommodation parameters of the efficiency of the treatment of accommodation overstrain in myopic patients using 30 days Irifrin BK 2.5 % instillations in cases of unchanged and changed form of the cornea

Коэффициенты аккомодации The coefficients of accommodation	Неизмененная форма роговицы The unchanged form of the cornea SA = 0,017 ± 0,012 мкм (μm), n = 23		Измененная форма ОК-линзами The changed form of the cornea OK-lenses SA = -0,065 ± 0,162 мкм (μm), n = 80	
	до лечения before treatment	после курса лечения after treatment	до лечения before treatment	после курса лечения after treatment
Коэффициент аккомодационного ответа Coefficient of accommodation response	0,89 ± 0,11	0,86 ± 0,08	0,88 ± 0,15	0,86 ± 0,11
Коэффициент микрофлуктуаций, Гц Coefficient of microfluctuations, Hz	63,97 ± 2,64	60,11 ± 5,32*	65,59 ± 3,51	63,19 ± 3,58

**Примечание.** n — количество глаз, \* — различие с соответствующим показателем до инстилляций ирифрина БК 2,5 % статистически значимо, p < 0,05.

**Note.** n — number of eyes, \* — the difference between parameters measured before and after treatment is significant.

**Таблица 3.** Аккомодографические показатели эффективности лечения перенапряжения аккомодации у пациентов с миопической рефракцией ирифрином БК 2,5 % при его применении в течение 60 дней при измененной и неизмененной форме роговицы  
**Table 3.** Accommodation parameters of the efficiency of the treatment of accommodation overstrain in myopic patients using 60 days Irifrin BK 2.5 % instillations in cases of unchanged and changed form of the cornea

Коэффициенты аккомодации The coefficients of accommodation	Неизмененная форма роговицы The unchanged form of the cornea SA = 0,005 ± 0,028, n = 10		Измененная форма ОК-линзами Changed by OK-lenses form of the cornea SA = -0,091 ± 0,196, n = 56	
	до лечения before treatment	после курса лечения after treatment	до лечения before the treatment	после курса лечения after treatment
Коэффициент аккомодационного ответа Coefficient accommodation response	0,83 ± 0,10	0,84 ± 0,04	0,89 ± 0,14	0,92 ± 0,12
Коэффициент микрофлуктуаций, Гц Coefficient of microfluctuations, Hz	64,24 ± 1,77	60,88 ± 3,24*	65,87 ± 3,56	64,37 ± 4,84

**Примечание.** n — количество глаз, \* — различие с соответствующим показателем до инстилляций ирифрина БК 2,5 % статистически значимо, p < 0,05.

**Note.** n — number of eyes, \* — the difference between parameters measured before and after treatment is significant.

**Таблица 4.** Количественная характеристика величины индуцированной отрицательной сферической аберрации (-SA)  
**Table 4.** Quantitative characterization of the magnitude of the induced negative spherical aberration (-SA)

Степень миопии Myopia degree	-SA
Слабая Low	< 0,03
Средняя Moderate	0,059–0,03
Высокая High	≥ 0,06

**Таблица 5.** Аккомодографические показатели эффективности лечения ирифрином БК 2,5 % перенапряжения аккомодационной мышцы у пациентов с миопией и измененной ОК-линзами формой роговицы в зависимости от величины индуцированной отрицательной сферической аберрации (-SA)  
**Table 5.** Accommodation parameters of the efficiency of the treatment of accommodation overstrain in myopic patients using 30 days Irifrin BK 2.5 % instillations in cases of changed by OK-lenses form of the cornea depending on the magnitude of the induced negative spherical aberration (-SA)

Коэффициенты аккомодации Coefficients of accommodation	До лечения Before treatment			После лечения After treatment		
	-SA слабой степени of low degree n = 34	-SA средней степени of moderate degree n = 40	-SA высокой степени of high degree n = 38	-SA слабой степени of low degree n = 34	-SA средней степени of moderate degree n = 40	-SA высокой степени of high degree n = 38
Коэффициент аккомодационного ответа Coefficient of accommodation response	0,82 ± 0,17	0,88 ± 0,15	0,92 ± 0,12	0,83 ± 0,11	0,88 ± 0,11	0,92 ± 0,14
Коэффициент микрофлуктуаций, Гц Coefficient of microfluctuations, Hz	65,90 ± 2,55	65,65 ± 2,74	66,89 ± 4,81	62,43 ± 3,53*	64,12 ± 4,35*	64,60 ± 4,84

**Примечание.** n — количество глаз, \* — различие с соответствующим показателем до инстилляций ирифрина БК 2,5 % статистически значимо, p < 0,05.

**Note.** n — number of eyes, \* — the difference between parameters measured before and after treatment is significant.

Как показывают данные таблицы 5, медикаментозное лечение ирифрином БК 2,5 % перенапряжения аккомодации дает разный лечебный эффект в зависимости от величины индуцированной -SA роговицы. Лечение более эффективно при индуцированной -SA слабой степени и менее эффективно при средней и высокой.

## ВЫВОДЫ

Выявлена взаимосвязь между индуцированной ОК-линзами -SA и степенью напряжения аккомодации.

Установлено, что степень миопии влияет на величину формирования индуцированной -SA при ОК-коррекции.

Чем больше степень миопии, тем выше индуцированная сферическая аберрация.

Установлено, что лечебный курс препарата Ирифрин БК 2,5 % длительностью 30 дней эффективен при любых видах коррекции у пациентов с миопией.

**Конфликт интересов:** отсутствует.

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

## Литература

1. Левченко О.Г., Друкман А.Б. Связь анатомо-оптических и функциональных показателей глаз в процессе развития миопии. Вестник офтальмологии. 1982; 5: 36–9.

2. Тарутта Е.П., Арутюнян С.Г., Смирнова Т.С. Аберрации волнового фронта у детей с миопией и гиперметропией до и после циклоплегии. Российский офтальмологический журнал. 2017; 3: 78–83. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-3-78-83.
3. Carkeet A., Velaedan S., Tan Y.K., Lee D.Y., Tan D.T. Higher order ocular aberrations after cycloplegic and non-cycloplegic pupil dilation. J. Refract. Surg. 2003; 19 (3 May — Jun.): 316–22.
4. Катаргина Л.А., ред. Аккомодация. Руководство для врачей. Москва: Апрель; 2012.
5. Аветисов Э.С. Близорукость. Москва: Медицина; 1999: 286–8.
6. Hung G.K., Ciuffreda K.J. An incremental retinal-defocus theory of the development of myopia. Comments on Theoretical Biology. 2003. 8: 511–38. doi: 10.1080/08948550390213120.
7. 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; 2: 5–9. doi:10.17116/oftalma201713324-9.
8. Charman W.N. Visual optics and instrumentation. Optics of human eye. 1991; 1: 1–26.
9. Chin S.S., Hampson E.A., Mallen E.A. Effect of correction of ocular aberration dynamics on the accommodation response to a sinusoidally moving stimulus. Opt. Lett. 2009; 21: 3274–6. doi:10.1364/OJL.34.003274.
10. Campbell F.W. The depth of field of the human eye. Optica Acta. 1957; 4: 157–64.
11. Жукова А.В., Егорова А.В. Компьютерная аккомодография. В кн.: Катаргина Л.А., ред. Аккомодация: Руководство для врачей. Москва: Апрель; 2012: 63–6.
12. Gamba E.J. Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated. 2009; 6: 1–15. doi:10.1167/9.6.4.
13. Peter M. Aberration control and vision training as an effective means of improving accommodation in individuals with myopia. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2009; 11: 5120–9. doi:10.1167/iovs.08-2865.
14. Theagarayan B. The effect of altering spherical aberration on the static accommodative response. Ophthal. Physiol. Opt. 2009; 1: 65–71. doi: 10.1111/j.1475-1313.2008.00610.x.

Поступила: 05.02.2018

## Induced spherical aberration of the cornea and stress accommodation in children with myopia

M.V. Makhova — ophthalmologist<sup>1</sup>

V.V. Strakhov — Dr. Med. Sci., Professor, head of ophthalmology chair<sup>2</sup>

P.A. Pilikova — resident ophthalmologist<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eye Clinic of Innovative Technologies, 32, Tchaikovsky St., Yaroslavl, 150000, Russia

<sup>2</sup>Yaroslavl State Medical University, 5, Revolutsionnaya St., Yaroslavl, 150000, Russia  
yarmari@yandex.ru

**Purpose:** to study the relationship between spherical aberrations of the cornea induced by orthokeratologic (OK) lenses and accommodation stress and to assess the effectiveness of treating accommodation overstrain with Irifrin BK 2.5 % in myopic patients having either unchanged shape of the cornea or changed shape modified by OK lenses. **Material and methods.** To study the effect of spherical aberration on the accommodation function in patients with unchanged and changed corneal shape, we formed two groups of high school students with myopia. Group 1 included patients with regular contact vision correction (156 eyes), and Group 2 included those with OK correction (196 eyes). To assess the impact of Irifrin BK 2.5 % on the state of accommodation, we examined 142 students (284 eyes) aged 8 to 19 years with myopia from -0.25 to -9.0 D, with changed and unchanged corneal shape, who were divided into three groups. Group 1 consisted of 52

subjects (104 eyes) with regular contact correction (52 children, 104 eyes), received Irifrin BK 2.5 % daily before bedtime for 30 days. Group 2 consisted of 33 subjects (66 eyes), also with normal contact correction (66 eyes) who were given the same quantity of the drug in the same pattern for 60 days. Group 3 (57 subjects, 114 eyes) with OK correction and varied negative spherical aberration received the drug for 30 days. **Results.** It was found that the character of spherical aberration in the unchanged corneal shape is different from that changed by OK lens. If the shape is unchanged, in 93.5 % of cases a positive spherical aberration is revealed, so that the share of negative spherical aberration accounts for 6.5 % of cases. In contrast, if the shape of the cornea is changed by OK lenses negative spherical aberration claims 86.7 %, leaving only 13.3 % for positive spherical aberration. A 30-day Irifrin BK treatment of patients with accommodation overstrain in cases of both unchanged and changed corneal shape proved to be more effective than the 60-day course of instillations. However, the treatment of overstrain accommodation with Irifrin BK in patients with OK correction was sufficiently effective for low and moderate negative spherical aberration, whereas in high negative spherical aberration it was noticeably less effective. **Conclusion.** An interrelation between negative spherical aberration induced by OK lenses with the amplitude and degree of accommodation strain and with the degree of myopia was revealed. It was found that a 30-day treatment with Irifrin BK 2.5 % is more effective in all types of correction.

**Keywords:** myopia, orthokeratology, spherical aberration, accommodography, the ratio of microfluctuation coefficient, accommodative response coefficient, Irifrin BK 2.5 %.

**For citation:** Makhova M.V., Strakhov V.V., Pilikova P.A. Induced spherical aberration of the cornea and stress accommodation in children with myopia. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (2): 10–5. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-2-10-15 (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. *Levchenko O.G., Drukman A.B.* The relationship between anatomical, optical and functional parameters of the eyes in the development of myopia. Vestnik oftal'mologii. 1982; 5: 36–9 (in Russian).
2. *Tarutta E.P., Haroutiunian S.G., Smirnova T.S.* The wave front aberrations in children with myopia and hyperopia before and after cycloplegia. Russian ophthalmological journal. 2017; 3: 78–83. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-3-78-83 (in Russian).
3. *Carkeet A., Velaedan S., Tan Y.K., Lee D.Y., Tan D.T.* Higher order ocular aberrations after cycloplegic and non-cycloplegic pupil dilation. J Refract Surg. 2003; 19 (3 May – Jun.): 316–22.
4. *Katargina L.A., ed.* Accommodation. A guide for physicians. Moscow: Aprel. 2012 (in Russian)
5. *Avetisov E.S.* Myopia. Moscow: Meditsina; 1999: 286–8 (in Russian).
6. *Hung G.K., Ciuffreda K.J.* An incremental retinal-defocus theory of the development of myopia. Comments on Theoretical Biology. 2003; 8: 511–38. doi: 10.1080/08948550390213120.
7. *Neroev V.V., Tarutta E.P., Haroutiunian S.G., Khandzhyan A.T., Khodzhabekyan N.V.* The wave front aberrations and accommodation in myopia and hyperopia. Vestnik oftal'mologii. 2017; 2: 5–9. doi: 10.17116/oftalma201713324-9 (in Russian).
8. *Charman W.N.* Visual optics and instrumentation. Optics of human eye. 1991; 1: 1–26.
9. *Chin S.S., Hampson E.A., Mallen E.A.* Effect of correction of ocular aberration dynamics on the accommodation response to a sinusoidally moving stimulus. Opt. Lett. 2009; 21: 3274–6. doi:10.1364/OJL.34.003274.
10. *Campbell F.W.* The depth of field of the human eye. Optica Acta. 1957; 4: 157–64.
11. *Zhukova A.V., Egorova A.V.* Computer accommodography. In: Katargina L.A., ed. Accommodation: a Guide for physicians. Moscow: Aprel; 2012: 63–6 (in Russian).
12. *Gambra E.J.* Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated. 2009; 6: 1–15. doi:10.1167/9.6.4.
13. *Peter M.* Aberration control and vision training as an effective means of improving accommodation in individuals with myopia. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2009; 11: 5120–9. doi:10.1167/iovs.08-2865.
14. *Theagarayan B.* The effect of altering spherical aberration on the static accommodative response. Ophthal. Physiol. Opt. 2009; 1: 65–71. doi: 10.1111/j.1475-1313.2008.00610.x

**Для контактов:** Махова Марина Валерьевна  
E-mail: yarmari@yandex.ru