ISSN 1816-5095 (print); ISSN 2500-0845 (online)
https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-518-526

поступила 10.02.20
was received 10.02.20

Периферическая рефракция, волновой фронт глаза и зрительная работоспособность при коррекции миопии у детей бифокальными мягкими контактными линзами с большой аддидацией

Е.П. Тарутта С.В. Милаш М.В. Епишина

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ **Офтальмология. 2021;18(3):518–526**

Цель: изучить влияние бифокальных мягких контактных линз (БМКЛ) с аддидацией 4 дптр на периферическую рефракцию (ПР), оптические и эргономические показатели глаз у детей с миопией. **Пациенты и методы.** Обследовано 26 пациентов (52 глаза) с миопией –3,09 ± 1,13 дптр в возрасте 10,04 ± 1,50 года без коррекции и с коррекцией БМКЛ Prima BIO Bi-focal («Окей Вижен Ритейл», Россия). Всем пациентам проводили исследование ПР в горизонтальной и вертикальной плоскости с помощью авторефрактометра открытого поля Grand Seiko WAM-5500 (Япония), аберраций волнового фронта с использованием аберрометра OPD-Scan III (Nidek, Япония), контрастной чувствительности в мезопических условиях с помощью прибора Mesotest 2 (Oculus, Германия) и зрительной продуктивности с использованием корректурной таблицы. **Результаты**. Острота зрения вдаль при коррекции БМКЛ 0,98 ± 0,04 не отличалась (p = 0,26) от максимально корригированной остроты зрения 0,99 ± 0,04. БМКЛ наводит миопический дефокус во всех периферических зонах с максимальным значением в 15° и резким снижением в 30°. Индуцированный линзой в 15° по горизонтали и вертикали периферический миопический дефокус не зависел от исходной степени миопии. БМКЛ увеличивает общий RMS с 0,07 ± 0,02 до 0,19 ± 0,07 мкм в 3-мм зоне (p < 0,01) и с 0,27 ± 0,09 до 1,18 ± 0,23 мкм в 6-мм зоне (p < 0,01) в основном за счет увеличения сферической аберрации с –0,0005 ± 0,006 до 0,06 ± 0,01 мкм (p < 0,01) и с 0,01 ± 0,09 до 0,58 ± 0,14 мкм (p < 0,01) в 3- и 6-мм зоне соответственно. Повышение общего RMS в БМКЛ снижает качество оптики глаза и контрастную чувствительность в мезопических условиях, но не ухудшает зрительную продуктивность. **Выводы.** БМКЛ с высокой аддидацией 4 дптр способна наводить значительный миопический периферический дефокус за счет индукции сферической аберрации, при этом сохраняется высокая острота зрения и не изменяются офтальмоэргономические показатели, что делает БМКЛ патогенетически обоснованным методом коррекции миопии и профилактики ее прогрессирования у детей и подростков.

Ключевые слова: миопия, периферическая рефракция, бифокальные мягкие контактные линзы, аберрации, контрастная чувствительность

Для цитирования: Тарутта Е.П., Милаш С.В., Епишина М.В. Периферическая рефракция, волновой фронт глаза и зрительная работоспособность при коррекции миопии у детей бифокальными мягкими контактными линзами с большой аддидацией. *Офтальмология.* 2021;18(3):518–526. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-518-526

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

Конфликт интересов отсутствует

CC BY 4.0

Peripheral Refraction, Wave Front of the Eye and Visual Performance in the Correction of Myopia in Children with Bifocal Soft Contact Lenses with High Addition

E.P. Tarutta, S.V. Milash, M.V. Epishina

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2021;18(3):518–526

Purpose: to study the effect of bifocal soft contact lens (BSCL) with an ADD of 4 diopters on peripheral refraction (PR), optical and ergonomic eye parameters in children with myopia. **Patients and methods**. 26 patients (52 eyes) with myopia –3.09 ± 1.13 diopters at the age of 10.04 ± 1.5 years without correction and with correction by BSCL Prima BIO Bi-focal (Okay Vision Retail, Russia). All patients underwent a horizontal and vertical PR study on an open field autorefractometer Grand Seiko WAM-5500 (Japan), wavefront aberrations were studied on OPD-Scan III aberrometer (Nidek, Japan), contrast sensitivity under mesopic conditions were studied on a Mesotest 2 instrument (Oculus, Germany) and visual productivity was studied using test tables. **Results.** The visual acuity of the distance with a BSCL correction of 0.98 ± 0.04 did not differ (p = 0.26) from the maximum visual acuity corrected by spherocylindrical glasses of 0.99 ± 0.04. BSCL induces myopic defocus in all peripheral zones, with a maximum value of 15° and a sharp decrease of 30°. Peripheral myopic defocus induced by the lens at a horizontal and vertical angle of 15 degrees did not depend on the initial degree of myopia. BSCL increases the total RMS from 0.07 ± 0.02 μm to 0.19 ± 0.07 μm in the 3 mm zone (p < 0.01) and from 0.27 ± 0.09 μm to 1.18 ± 0, 23 μm in the 6 mm zone (p < 0.01), mainly due to an increase in spherical aberration from –0.0005 ± 0.006 μm to 0.06 ± 0.01 μm (p < 0.01) and from 0.01 ± 0.09 μm to 0.58 ± 0.14 μm (p < 0.01) in the 3 mm and 6 mm zones, respectively. An increase in the overall RMS in BSCL reduces the quality of eye optics and contrast sensitivity under mesopic conditions, but does not impair visual productivity. **Conclusion.** BSCLs with a high ADD of 4 diopters are capable of inducing significant myopic peripheral defocus due to the induction of spherical aberration, while maintaining high visual acuity and not changing ophthalmic ergonomics, which makes them a pathogenetically substantiated method for correcting myopia and preventing its progression in children and adolescents.

Keywords: myopia, peripheral refraction, bifocal soft contact lenses, aberrations, contrast sensitivity

For citation: Tarutta E.P., Milash S.V., Epishina M.V. Peripheral Refraction, Wave Front of the Eye and Visual Performance in the Correction of Myopia in Children with Bifocal Soft Contact Lenses with High Addition. *Ophthalmology in Russia.* 2021;18(3):518–526. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-518-526

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

Модели рефрактогенеза на животных показали, что темп роста глаза зависит от точности фокусировки изображения как в центре, так и на периферии сетчатки [1, 2]. Дефокусировка различного знака преобразуется в молекулярный каскад сигналов от сетчатки к склере, способный изменить характер эмметропизации. Как центральный, так и периферический гиперметропический дефокус (когда плоскость фокуса находится за сетчаткой) ускорял рост глаза, а миопический дефокус (когда фокусная плоскость находится перед сетчаткой), напротив, действовал как сигнал к замедлению роста глаза. Доказанная в фундаментальных экспериментальных исследованиях возможность оптически ориентированно тормозить или ускорять рост глаза дает потенциал для использования оптических стратегий, способных создавать мультифокальный профиль (несколько плоскостей фокуса) для профилактики прогрессирования миопии в клинической практике у детей.

Мультифокальные мягкие контактные линзы (МФМКЛ) с центром для дали становятся популярным методом профилактики прогрессирования миопии [3]. Мягкие линзы могут быть использованы у детей, просты в подборе (не требуют специального оборудования) и уходе. В США 51 % специалистов, использующих в своей клинической практике контактные линзы для контроля миопии, применяют МФМКЛ [4]. Формат контактных линз идеально подходит для коррекции центрального зрения и одновременного создания миопического дефокуса на периферии сетчатки за счет изменения рефракционного профиля оптики линзы вокруг или по краю зрачка. Центральная зона корригирует рефракцию для дали, а периферическая зона формирует относительный (относительно центральной зоны) миопический дефокус за счет различной по силе аддидации. Оптические стратегии управления близорукостью, способные модифицировать периферическую рефракцию (ПР), уже показали свою эффективность в клинической практике. Два крупных метаанализа продемонстрировали, что МФМКЛ и ортокератологические линзы (ОКЛ) являются самыми успешными оптическими стратегиями профилактики миопии и уступают по своей эффективности только антагонистам мускариновых рецепторов различной концентрации [5, 6]. В метаанализе S.M. Li и соавт. диапазон тормозящего эффекта МФМКЛ у детей с близорукостью в сравнении с группой контроля в монофокальных МКЛ составил от 30 до 50 % в зависимости от дизайна линз [7]. В первом трехлетнем рандомизированном контролируемом исследовании

(РКИ) МФМКЛ разница с группой контроля составила 59 % по данным сфероэквивалента рефракции и 52 % по данным осевой длины глаза [8]. Точный механизм влияния МФМКЛ на близорукость неизвестен, предполагают, что он может быть аналогичен ОКЛ. Создается мультифокальность оптической системы глаза, индуцируется положительная сферическая аберрация (SA), наводится миопический дефокус на периферию сетчатки, кроме этого, уменьшается или нивелируется полностью гиперметропический дефокус во время работы на близком расстоянии, связанный с отставанием аккомодации.

В нашей стране исследования МФМКЛ у детей единичны. В предварительном сообщении С.Э. Аветисова и соавт. было показано влияние новой бифокальной МКЛ (БМКЛ) с центром для коррекции вдаль с аддидацией 4 дптр на рост глаза и аккомодацию [9]. На фоне 12-месячного использования линзы у детей увеличился объем абсолютной и запас относительной аккомодации, а рост аксиальной длины глаза был существенно меньше, чем в группе контроля. Авторы связывают данные позитивные эффекты бифокальной линзы с наведением периферического дефокуса. Однако это предположение в работе не было подтверждено фактическими данными. ПР и качество оптической системы глаза с надетой бифокальной линзой в данном исследовании не изучались. Перепад рефракционной силы между оптической зоной и зоной аддидации в 4 дптр, помимо создания миопического дефокуса, должен оказывать влияние на качество оптической системы глаза, а следовательно, и на офтальмоэргономические показатели.

Цель данной работы: изучить влияние БМКЛ с аддидацией 4 дптр на ПР, оптические и эргономические показатели глаз у детей с миопией.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Исследование было проведено у 26 пациентов (52 глаза) с миопией средней степени –3,09 ± 1,13 дптр в возрасте 10,04 ± 1,50 года. Некорригированная острота зрения составляла 0,15 ± 0,10. Все пациенты были обследованы без коррекции и с коррекцией БМКЛ Prima BIO Bi-focal («Окей Вижен Ритейл», Россия).

БМКЛ Prima BIO Bi-focal изготовлены из материала хайоксифилкон А, радиус кривизны 8,4 мм, диаметр 14,2 мм, аддидация 4 дптр, диаметр оптической зоны 2,5 мм, срок замены 30 дней.

Всем пациентам проводили исследование циклоплегической рефракции, кератотопографии в БМКЛ, ПР, аберраций волнового фронта, мезопической контрастной чувствительности и зрительной продуктивности (ЗП) без линз и в БМКЛ.

Циклоплегическую рефракцию измеряли на бинокулярном авторефрактометре открытого поля Grand Seiko WAM-5500 (Япония).

Кератотопографию проводили с надетой БМКЛ (TMS-4, Tomey, Япония).

ПР измеряли с помощью бинокулярного авторефрактометра открытого поля Grand Seiko WAM-5500 (Япония) без коррекции и с коррекцией БМКЛ с поворотом глаз. Исследование проводили в 15° и 30° к носу (N) и к виску (T) от центра в горизонтальном меридиане и в 15° кверху (S) и книзу (I) от центра в вертикальном меридиане по методике, описанной нами ранее [10].

Анализ аберраций волнового фронта и качество оптической системы — функцию рассеивания точки (PSF) проводили с использованием прибора OPD-Scan III (Nidek, Япония). Принцип измерения погрешностей волнового фронта основан на динамической скиаскопии. Определяли общие аберрации: аберрацию низшего порядка дефокус Z(0, 2), среднеквадратичный уровень аберраций высшего порядка (RMS Total HOA), вертикальный трефойл Z(3,–3), косой трефойл Z(3,3), вертикальную кому Z(3,–1), горизонтальную кому Z(3,1), SA Z(4,0) в 3- и 6-мм зоне зрачка.

Качество оптической системы глаза оценивали с помощью PSF (функция рассеяния точки), которая моделирует ретинальный образ, получаемый оптической системой глаза (с учетом оптических аберраций) при наблюдении точечного источника света или точечного объекта. Для оценки измеренного PSF используют число Штреля, которое отражает отношение значения PSF к теоретическому пределу дифракции. Соотношение отображается в диапазоне от 1 до 0. Чем больше число Штреля, тем меньше аберраций и лучше качество оптической системы глаза.

Мезопическая контрастная чувствительность с глэр-эффектом и без него была измерена с использованием прибора Mesotest 2 (Oculus, Германия) с монофокальной очковой коррекцией и с коррекцией БМКЛ. Перед измерением проводилась темновая адаптация 10 минут. В приборе отображалось виртуальное кольцо Ландольта, эквивалентное остроте зрения 0,1 на расстоянии 5 метров в 6 направлениях при 4 уровнях контрастности. Уровень контрастности составлял 1:23 (95,7 %) тест № 1, 1:5 (80 %) тест № 2, 1:2,7 (63 %) тест № 3 и 1:2 (50 %) тест № 4. Фоновая освещенность составила 0,032 кд/м². Первым исследовали самый высокий уровень контрастности 1:23 (тест № 1). Если пациент идентифицировал кольцо Ландольта более чем в трех различных позициях, то тест считался пройденным, далее предъявляли тест с более низким уровнем контрастности. Последний тест (уровень контрастности), который распознавал пациент, был определен как мезопический порог контрастной чувствительности (КЧ) глаза. Уровень КЧ с присутствием глэр-эффекта определяли аналогично: 1:23 (95,7 %) тест № 5, 1:5 (80 %) тест № 6, 1:2,7 (63 %) тест № 7, и 1:2 (50 %) тест № 8. Источник света располагался с левой стороны под углом зрения 3°. Порядковый номер пройденного теста с глэр-эффектом и без него записывали и использовали для статистической обработки.

ЗП определяли с применением корректурной таблицы по формуле: $V = (n/N) \times (A/t)$, где V — зрительная

продуктивность; *n* — число сосчитанных знаков указанной буквы; *N* — действительное число заданной буквы в таблице; *A* — общее число всех знаков в таблице; *t* — затраченное время для просмотра [11].

Статистическая обработка данных выполнена на персональном компьютере с использованием приложения Microsoft Excel и пакета статистического анализа Biostatistics 6.0 for Windows (Statsoft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Мы изучили влияние БМКЛ с аддидацией 4 дптр на ПР, оптические и эргономические показатели глаз у детей с миопией.

Острота зрения

Острота зрения вдаль при коррекции БМКЛ была высокой — 0,98 ± 0,04 и достоверно ($p = 0,26$) не отличалась от исходно максимально корригированной сфероцилиндрическими стеклами (0,99 ± 0,04).

Периферическая рефракция

Подробные результаты периферической рефрактометрии без линз и в БМКЛ в горизонтальном и вертикальном меридианах представлены на рисунке 1. В обследованной группе детей с миопией во всех исследуемых периферических зонах по горизонтали и вертикали без коррекции определялся относительный гиперметропический дефокус. В горизонтальной плоскости гиперметропический дефокус увеличивался от центра к периферии и был максимальным в зоне 30°. Выявлена недостоверная тенденция к височно-назальной асимметрии дефокуса в 15° (при сравнении T15 и N15 $p = 0,13$) и 30° (при сравнении T30 и N30 $p = 0,48$).

БМКЛ наводят миопический дефокус во всех периферических зонах с максимальным значением в 15° и резким снижением в 30° (рис. 1). Достоверной разницы в величине миопического дефокуса в 15° по всем исследуемым зонам не было выявлено (при сравнении минимального значения дефокуса в N15 и максимального в S15 $p = 0,059$). Выявлена достоверная разница в значении миопического дефокуса между T30 и N30 ($p < 0,01$).

Аберрации волнового фронта

Аберрации волнового фронта в зоне диаметром 3 и 6 мм без линз и в БМКЛ представлены в таблице 1.

RMS Total HOA в 3- и 6-мм зоне достоверно ($p < 0,01$) повышался в БМКЛ, SA увеличивалась от отрицательных (–0,0005 мкм) до положительных значений (0,06 мкм) в 3 мм ($p < 0,01$) и от слабоположительных (0,01 мкм) до высокоположительных значений (0,58 мкм) в 6 мм ($p < 0,01$).

Рис. 1. Периферическая рефракция без линз и в БМКЛ в горизонтальном и вертикальном меридианах *M* ± *SD* (дптр)

Fig. 1. Peripheral refraction without lenses and in BSCL in the horizontal and vertical meridian Mean ± *SD* (D)

Аберрации кома и трефойл достоверно изменились ($p < 0,01$) в 3 мм. В 6 мм достоверно изменился только вертикальный трефойл Z(3,–3). Аберрация низшего порядка дефокус в исследуемых зонах достоверно уменьшилась с 1,14 ± 0,36 до 0,33 ± 0,17 мкм в 3-мм ($p < 0,01$) и с 4,55 ± 1,5 до 4,0 ± 0,64 мкм в 6-мм зоне ($p < 0,05$).

Число Штреля уменьшилось от 0,67 ± 0,16 (с моделированием полной коррекции сферического и цилиндрического компонента рефракции) до 0,1 ± 0,04 ($p < 0,01$) и с 0,10 ± 0,07 до 0,005 ± 0,002 ($p < 0,01$) в 3- и 6-мм зоне соответственно.

Офтальмоэргономические показатели

КЧ в БМКЛ в условиях сумеречного зрения достоверно резко уменьшалась при сравнении с очковой коррекцией, как без бликов, так и в условиях глэр-эффекта: от 3,8 ± 0,39 пройденных тестов в очках до 2,2 ± 0,57 в линзах ($p < 0,01$) и от 2,9 ± 0,99 до 1,7 ± 0,65 ($p < 0,01$) соответственно.

ЗП имела недостоверную ($p = 0,053$) тенденцию к повышению в линзах — от 4,15 ± 1,9 без линз до 4,85 ± 1,75 в БМКЛ.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном исследовании мы оценили влияние новой БМКЛ с оптической зоной диаметром 2,5 мм и аддидацией 4 дптр на ПР, аберрации волнового фронта, мезопическую КЧ и ЗП.

В обследованной группе детей с миопией во всех исследуемых периферических зонах по горизонтали и вертикали без коррекции определялся относительный гиперметропический периферический дефокус (рис. 1). В горизонтальной плоскости гиперметропический дефокус увеличивался от центра к периферии

Таблица 1. Аберрации волнового фронта (мкм) в зонах диаметром 3 и 6 мм без линз и в БМКЛ

Table 1. Wavefront aberrations (μm) in a zone with a diameter of 3 mm and 6 mm without lenses and in BSCL

Зона измерения / Measurement zone	RMS Total HOA		Вертикальный трефойл / Vertical trefoil Z(3,-3)		Косой трефойл / Oblique trefoil Z(3,3)		Вертикальная кома / Vertical coma Z(3,-1)		Горизонтальная кома / Horizontal coma Z(3,1)		SA spherical aberration Z(4,0)		Дефокус / Defocus Z(0, 2)		Число Штреля / Strehl ratio	
	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses	без линз / without lenses	в линзах / in lenses
3 мм / 3 mm	0,07 ± 0,02	0,19 ± 0,07	-0,01 ± 0,03	-0,03 ± 0,03	0,0004 ± 0,05	-0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,02	0,03 ± 0,04	-0,008 ± 0,01	0,03 ± 0,03	-0,0005 ± 0,006	0,06 ± 0,01	1,14 ± 0,36	0,33 ± 0,17	0,67 ± 0,16	0,1 ± 0,04
Достоверность при сравнении без линз и в БМКЛ (n = 52) / Significantly when compared without lenses and BSCL (n = 52)	$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$	
6 мм / 6 mm	0,27 ± 0,09	1,18 ± 0,23	0,01 ± 0,15	-0,13 ± 0,3	0,03 ± 0,12	-0,004 ± 0,3	0,08 ± 0,15	0,15 ± 0,39	-0,007 ± 0,08	0,05 ± 0,49	0,01 ± 0,09	0,58 ± 0,14	4,5 ± 1,5	4,0 ± 0,64	0,1 ± 0,07	0,005 ± 0,002
Достоверность при сравнении без линз и в БМКЛ (n = 52) / Significantly when compared without lenses and BSCL (n = 52)	$p < 0{,}01$		$p < 0{,}01$		$p > 0{,}05$		$p > 0{,}05$		$p > 0{,}05$		$p < 0{,}01$		$p < 0{,}05$		$p < 0{,}01$	

и был максимальным в зоне 30°. Выявлена недостоверная тенденция к височно-назальной асимметрии дефокуса в 15°, что может свидетельствовать о неравномерном контуре сетчатки заднего полюса глаза в пределах 30° у детей с прогрессирующей миопией [12]. По вертикали как сверху, так и снизу выявленный гиперметропический дефокус имел минимальные значения. В большинстве научных исследований ПР на интактных глазах с миопией были получены схожие результаты [10, 12–14]. Близорукие глаза имеют меньшее преломление в периферическом поле зрения, чем в фовеа, по сравнению с эмметропичными и гиперметропичными глазами. Степень гиперметропической расфокусировки на периферии увеличивалась пропорционально степени миопии. Выявленная недостоверная асимметрия в величине периферического гиперметропического дефокуса между горизонтальным и вертикальным меридианом может свидетельствовать о разном эксцентриситете контура сетчатки в данных меридианах: более крутом профиле по горизонтали и более плоском по вертикали. Данные, полученные о форме глаза методом МРТ, подтверждают полученные нами результаты исследования контура сетчатки по ПР [15].

Различные модели МФМКЛ отличаются по профилю ПР в зависимости от дизайна (центр для дали или центр для близи), посадки линзы, размеров оптической зоны и степени аддидации [16]. В России ПР в БМКЛ ранее не изучали. БМКЛ Prima Bio Bi-focal с центром для дали была специально спроектирована для профилактики прогрессирования миопии у детей и способна индуцировать периферическую миопию одновременно с коррекцией осевой рефракции. Как показали наши исследования, линза наводит миопический дефокус во всех периферических зонах с максимальным значением в 15° и резким снижением в 30° (рис. 1). Самая большая величина периферической миопии была выявлена в S15°, что можно объяснить смещением линзы вниз при фиксации верхней метки и увеличением индуцированного периферического астигматизма. Достоверной разницы в величине миопического дефокуса в 15° по всем исследуемым зонам не было выявлено (при сравнении минимального значения дефокуса в N15 и максимального в S15 $p = 0{,}059$). Определена достоверная разница в значении миопического дефокуса между T30 и N30 ($p < 0{,}01$), что, вероятно, связано с посадкой БМКЛ, большим смещением линзы в носовую сторону при моргании. Профиль периферического преломления полностью повторял топографию передней поверхности роговицы с надетой БМКЛ: уплощение в центре и кольцевидное выпячивание (укручение) в парацентральной зоне с последующим уплощением на периферии (рис. 2).

Аналогичный профиль периферической дефокусировки создает ортокератологическая коррекция за счет изменения толщины эпителия в центре и на периферии, что приводит к изменению кривизны передней поверхности роговицы [17, 18]. Оба воздействия наводят значительный периферический миопический дефокус, различия профилей силы преломления связаны с дизайном оптической зоны. У БМКЛ она значительно меньше (2,5 мм), чем после воздействия стандартной ОКЛ (≈3–4 мм). Меньший диаметр оптической зоны, по идее разработчиков, позволит индуцировать больший по величине и площади периферический миопический дефокус на сетчатке в области зрачка и повысит эффективность контроля близорукости.

Однако на данный момент это предположение не подкреплено сравнительными продольными исследованиями. Как известно, величина периферического дефокуса при ОК-коррекции напрямую зависит от исходной степени миопии [18]. Чем больше степень миопии и, следовательно, больше необходимое ОК-воздействие, тем сильнее увеличивается кривизна средней периферии роговицы, индуцируя при этом более значительный периферический миопический дефокус. Величина аддидации БМКЛ постоянна, и, следовательно, индуцируемый ею дефокус также должен быть постоянен. Для проверки этого предположения мы провели корреляционный анализ связи индуцированного БМКЛ миопического дефокуса в зонах T15, N15, S15, I15 и осевой рефракции (рис. 3). Наведенный оптикой линзы миопический периферический дефокус не зависел от степени близорукости, коэффициент корреляции отразил очень слабую связь $r = -0{,}23$, $r = -0{,}23$, $r = -0{,}29$, $r = -0{,}06$ для T15, N15, S15, I15 соответственно. Различия в механизме формирования периферической миопии между двумя методами коррекции дают преимущество БМКЛ в создании большего и постоянного по величине дефокуса при коррекции миопии слабой степени. В дальнейших исследованиях должно быть проведено прямое сравнение профиля ПР в БМКЛ и ОКЛ у пациентов с одинаковой степенью близорукости.

Аберрометрический анализ позволяет определять оптические и зрительные характеристики пациента. Любые средства коррекции, способные индуцировать значительный миопический дефокус в 15° от центра фовеа, безусловно, будут создавать большое количество НОА, прежде всего за счет разницы в преломлении между центром и периферией линзы. В нашем исследовании мы выбрали две

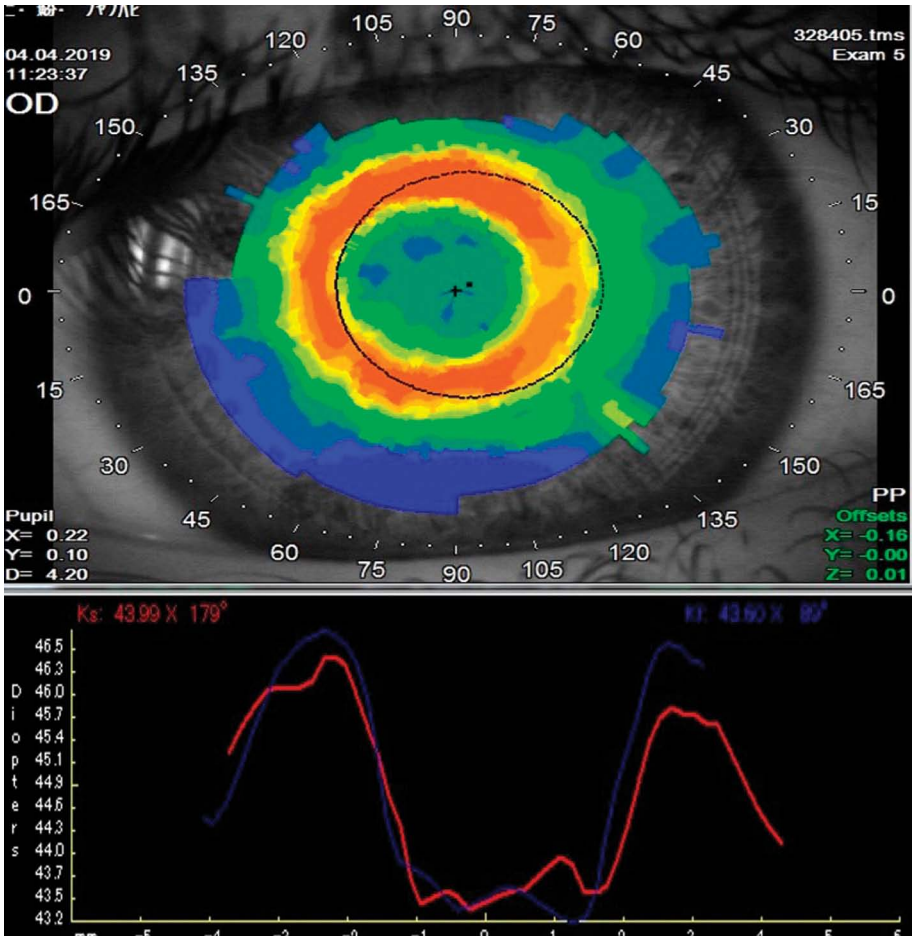

Рис. 2. Пример топографии роговицы с надетой БМКЛ

Fig. 2. Example corneal topography with a BSCL

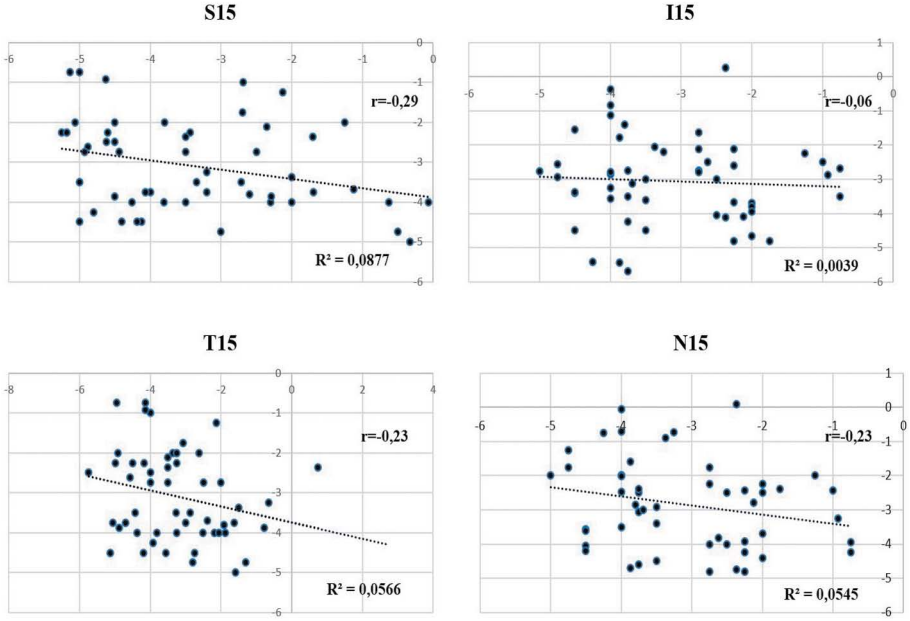

Рис. 3. Корреляция исходной степени миопии и индуцированного БМКЛ относительного периферического миопического дефокуса в 15°

Fig. 3. Correlation initial degree of myopia and induced BSCL relative peripheral myopic defocus 15°

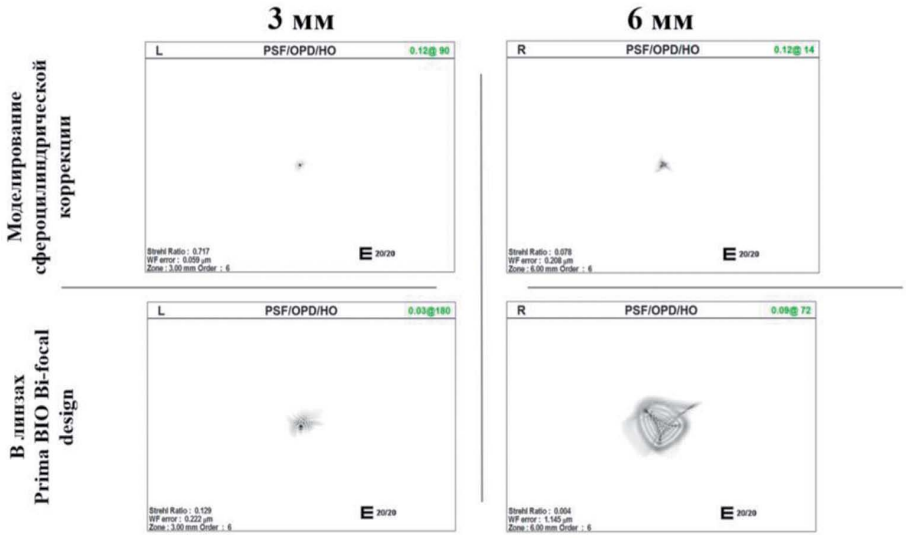

Рис. 4. Пример PSF в 3- и 6-мм зонах с моделированием сфероцилиндрической коррекции и при коррекции БМКЛ

Fig. 4. Example of PSF in 3 mm and 6 mm zone with modeling of spherical-cylindrical correction and with BSCL correction

зоны для измерения аберраций: 3 и 6 мм (см. табл. 1), поскольку любой метод коррекции, создающий мультифокальность оптической системы глаза, будет иметь два различных волновых фронта: от оптической и добавочной зон.

RMS Total HOA в 3- и 6-мм зоне достоверно ($p < 0{,}01$) повышался в БМКЛ, в основном за счет SA, изменения которой были максимальными среди всех исследуемых аберраций. SA увеличивалась пропорционально зоне измерения: перешла из отрицательных (–0,0005 мкм) в положительные значения (0,06 мкм) в 3-мм ($p < 0{,}01$) и от слабо положительных (0,01 мкм) в высоко положительные (0,58 мкм) — в 6-мм зоне ($p < 0{,}01$). Оптическая зона линзы (2,5 мм) меньше исследуемых (3 и 6 мм), что и отражает появление SA — разницы в преломлении между центром линзы и ее периферией. Именно положительная SA формирует сдвиг ПР в сторону миопии и участвует в создании эффекта псевдоаккомодации по краю оптической зоны (по периферии зрачка) за счет увеличения глубины фокуса. Различные по дизайну БМКЛ формируют разнотипный сдвиг SA, линзы с центром для дали индуцируют положительную SA, и наоборот, линзы с центром для коррекции вблизи — отрицательную SA [19]. Аналогичные результаты аберрометрии были получены при ортокератологической, кераторефракционной и интраокулярной мультифокальной коррекции: во всех случаях наводилась положительная SA, нарастающая от центра к периферии [20–22].

Асимметричные аберрации кома и трефойл достоверно изменились ($p < 0{,}01$) в зоне 3 мм, что можно связать с положением линзы во время измерения (децентрацией) относительно центра зрачка, а также с иррегулярностью слезной пленки на поверхности линзы. В 6-мм зоне достоверно изменился только вертикальный трефойл Z(3,–3). В сущности, при коррекции БМКЛ мы не имеем стабильного волнового фронта, его структура изменяется с положением линзы относительно оптического центра при моргании. Аберрация низшего порядка дефокус в исследуемых зонах достоверно уменьшилась с 1,14 ± 0,36 до 0,33 ± 0,17 мкм в 3-мм ($p < 0{,}01$) и с 4,55 ± 1,5 до 4,0 ± 0,64 мкм в 6-мм зоне ($p < 0{,}05$) за счет коррекции линзой сферического компонента осевой рефракции в центре и «попадания» зоны аддидации с большим преломлением в пределах 6-мм зрачка.

Повышение HOA в 3 и 6 мм с надетой БМКЛ коррелирует со значительным ухудшением PSF (рис. 4). Число Штреля уменьшилось с 0,67 ± 0,16 (с моделированием полной коррекции сферического и цилиндрического компонентов рефракции) до 0,1 ± 0,04 ($p < 0{,}01$) и с 0,1 ± 0,07 до 0,005 ± 0,002 ($p < 0{,}01$) в 3- и 6-мм зоне соответственно.

Несмотря на повышение HOA и снижение качества оптики глаза, острота зрения вдаль при коррекции БМКЛ была высокой — 0,98 ± 0,04 и достоверно не отличалась от максимально корригированной сфероцилиндрическими стеклами остроты зрения 0,99 ± 0,04 ($p = 0{,}26$). В ряде работ специально разработанные для профилактики прогрессирования миопии БМКЛ также не влияли на остроту зрения вдаль при значительной аддидации и маленькой оптической зоне [23]. Возможно, здесь имеет место эффект диафрагмы, связанный с сильной расфокусировкой в пределах зрачка вокруг узкой оптической зоны. Повышение HOA после различных рефракционных вмешательств и оптической коррекции является основной причиной снижения качества зрительных возможностей пациентов, даже при высокой остроте зрения. Одной из ведущих жалоб является ухудшение способности различать объекты с низким контрастом в условиях низкой освещенности. Мезотест определяет порог контрастности, необходимый для идентификации объекта в различных условиях. Проведенные нами исследования показали, что КЧ в БМКЛ в условиях сумеречного зрения достоверно резко уменьшалась при сравнении с очковой коррекцией как без бликов, так и в условиях глэр-эффекта: с 3,8 ± 0,39 пройденных тестов в очках до 2,2 ± 0,57 – в линзах ($p < 0{,}01$) и с 2,9 ± 0,99 до 1,7 ± 0,65 ($p < 0{,}01$) соответственно. Низкий порог КЧ на фоне коррекции БМКЛ связан с рассеиванием света периферической концентрической зоной аддидации, что мешает восприятию объекта наблюдения (колец Ландольта). Снижение КЧ напрямую

связано с повышением НОА и диаметром оптической зоны. Чем меньше оптическая зона БМКЛ, тем больше ухудшается качество зрения, поскольку индуцированные аберрации располагаются ближе к оптической оси глаза. В работе Hiraoka, изучавшего мезопическое зрение после ОК-коррекции на аналогичном приборе, была показана высокая обратная корреляция индуцированных НОА и КЧ [24]. Чем больше уровень НОА, тем хуже КЧ в мезопических условиях. Выявленные изменения мезопического зрения должны быть учтены при определении суточного режима ношения БМКЛ.

Для изучения влияния индуцированных БМКЛ аберраций волнового фронта на функциональное состояние зрительного анализатора мы оценили ЗП, которая имела недостоверную (p = 0,053) тенденцию к повышению в линзах (с 4,15 ± 1,9 без линз и 4,85 ± 1,75 в БМКЛ). То есть даже при условии ухудшения качества оптики глаза в БМКЛ зрительная работоспособность не нарушалась. Очевидно, пациенты могут использовать эффект псевдоаккомодации при зрительной работе, вызванный увеличением глубины фокуса в связи с повышением НОА. Подобное повышение офтальмоэргономических показателей в результате повышения аберраций ранее было показано у детей с ОКЛ [25]. Будущие исследования должны быть направлены на изучение влияния БМКЛ на глубину фокусной области и псевдоаккомодацию.

БМКЛ с высокой аддидацией 4 дптр способна наводить значительный миопический дефокус за счет индукции SA, при этом с сохранением высокой остроты зрения и без изменений ЗП, что делает их использование патогенетически обоснованным методом коррекции миопии и профилактики ее прогрессирования у детей и подростков.

ВЫВОДЫ

1. БМКЛ наводят значительный периферический миопический дефокус в зоне 15° в горизонтальном и вертикальном меридиане. Индуцированный линзами миопический дефокус не зависит от исходной степени миопии.

2. Коррекция БМКЛ увеличивает суммарный уровень аберрации волнового фронта, в основном за счет увеличения SA.

3. Повышение уровня аберраций в бифокальной линзе снижает качество оптической системы глаза и контрастную чувствительность в мезопических условиях, но не ухудшает зрительную продуктивность.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Тарутта Е.П. — концепция и дизайн исследования, научное редактирование, написание текста;
Милаш С.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор и обработка материала, статистическая обработка;
Епишина М.В. — сбор и обработка материала.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Chakraborty R., Ostrin L.A., Benavente-Perez A. Optical mechanisms regulating emmetropisation and refractive errors: evidence from animal models. *Clin Exp Optom*. 2020;103:55–67. DOI: 10.1111/cxo.12991
2. Troilo D., Smith E.L. 3rd, Nickla D.L. IMI — report on experimental models of emmetropization and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019;60:M31–M88. DOI: 10.1167/iovs.18-25967
3. Wildsoet C.F., Chia A., Cho P., Guggenheim J.A., Polling J.P., Read S. IMI — interventions for controlling myopia onset and progression report. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019;60(3):M106–M13. DOI: 10.1167/iovs.18-25958
4. Nichols J.J. A status quo remains for much of the contact lens industry. *Contact Lens Spectrum*. 2017;32:22–55.
5. Huang J., Wen D., Wang Q. Efficacy comparison of 16 interventions for myopia control in children: a network meta-analysis. *Ophthalmology*. 2016;123:697–708. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.11.010
6. Prousali E. Efficacy and safety of interventions to control myopia progression in children: an overview of systematic reviews and meta-analyses. *BMC Ophthalmol*. 2019;19(1):106. DOI: 10.1186/s12886-019-1112-3
7. Li S.M., Kang M.T., Wu S.S. Studies using concentric ring bifocal and peripheral add multifocal contact lenses to slow myopia progression in school aged children: a meta-analysis. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2017;37:51–59. DOI: 10.1111/opo.12332
8. Chamberlain P. A 3-year Randomized Clinical Trial of MiSight Lenses for Myopia Control. *Optometry and Vision Science*. 2019;96(8):556–567. DOI: 10.1097/OPX.0000000000001410
9. Аветисов С.Э., Мягков А.В., Егорова А.В. Коррекция прогрессирующей миопии бифокальными контактными линзами с центральной зоной для дали: изменения аккомодации и передне-задней оси (предварительное сообщение). *Вестник офтальмологии*. 2019;135(1):42–46. [Avetisov S.E., Myagkov A.V., Egorova A.V. Correcting progressive myopia with bifocal contact lenses with central zone for distant vision: changes in accommodation and axial length (a preliminary report). Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii* 2019;135(1):42–46 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma201913501142
10. 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;6:44–49. [Tarutta E.P., Milash S.V., Tarasova N.A. Romanova L.I., Markosyan G.A., Epishina M.V. Peripheral refraction and retinal contour in children with myopia by results of refractometry and partial coherence interferometry. Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii*. 2014;6:44–49 (In Russ.)].
11. Патент RU на изобретение 2367335, 20.09.2009. Егорова Т.С., Нероева Н.В. Способ определения зрительной продуктивности. Ссылка активна на 10.01.2020. [Patent RU 2367335, 20.09.2009. Egorova T.S., Neroeva N.V. Sposob opredeleniya zritel'noj produktivnosti. Accessed 10.01.2020 (In Russ.)]. http://www.freepatent.ru/patents/2367335
12. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Кварацхелия Н.Г., Милаш С.В., Кружкова Г.В. Периферическая рефракция и рефрактогенез: причина или следствие? *Вестник офтальмологии*. 2017;133(1):70–74. [Tarutta E.P., Iomdina E.N., Kvarachelija N.G. Milash S.V., Kruzhkova G.V. Peripheral refraction: cause or effect of refraction development? Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii* 2017;1:70–74 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma2017133170-74
13. Shen J., Spors F., Egan D. Peripheral refraction and image blur in four meridians in emmetropes and myopes. *Clin Ophthalmol*. 2018;12:345–358. DOI: 10.2147/OPTH.S151288
14. Verkicharla P.K., Suheimat M., Schmid K.L., Atchison D.A. Peripheral refraction, peripheral eye length, and retinal shape in myopia. *Optom Vis Sci*. 2016;93:1072–1078. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000905
15. Atchison D.A., Pritchard N., Schmid K.L. Shape of the retinal surface in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;46:2698–2707. DOI: 10.1167/iovs.04-1506
16. Fedtke C., Ehrmann K., Bakaraju R. C. P. Peripheral refraction and spherical aberration profiles with single vision, bifocal and multifocal soft contact lenses. *J Optom*. 2020;13:15–28. DOI: 10.1016/j.optom.2018.11.002
17. Тарутта Е.П., Милаш С.В., Тарасова Н.А. Индуцированный периферический дефокус и форма заднего полюса глаза на фоне ортокератологической коррекции миопии. *Российский офтальмологический журнал*. 2015;8(3):52–56. [Tarutta E.P., Milash S.V., Tarasova N.A. Induced peripheral defocus and the shape of the posterior eye pole in orthokeratological myopia correction. Russian ophthalmological journal = *Rossiyskiy oftal'mologicheskiy zhurnal*. 2015;8(3):52–56 (In Russ.)].
18. González-Méijome J.M., Faria-Ribeiro M.A., Lopes-Ferreira D.P., Fernandes P., Carracedo G., Queiros A. Changes in peripheral refractive profile after orthokeratology for different degrees of myopia. *Current eye research*. 2016;2:199–207. DOI: 10.3109/02713683.2015.1009634
19. Fedtke C., Ehrmann K., Thomas V., Bakaraju R.C. Peripheral refraction and aberration profiles with multifocal lenses. *Optom Vis Sci*. 2017;94:876–885. DOI: 10.1097/OPX.0000000000001112
20. Gifford P., Li M., Lu H., Miu J., Panjaya M., Swarbrick H.A. Corneal versus ocular aberrations after overnight orthokeratology. *Optom Vis Sci*. 2013;90:439– 447. DOI: 10.1097/OPX.0b013e31828ec594
21. Zhang H., Wang Y., Li H. Corneal spherical aberration and corneal asphericity after small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted LASIK. *J Ophthalmol*. 2017; 27 Aug. DOI: 10.1155/2017/4921090
22. Liu J.P., Zhang F., Zhao J.Y., Ma L.W., Zhang J.S. Visual function and higher order aberration after implantation of aspheric and spherical multifocal intraocular

lenses: a meta-analysis. *Int J Ophthalmol*. 2013;6:690–695. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2013.05.27
23. Przekoracka K. Contrast sensitivity and visual acuity in subjects wearing multifocal contact lenses with high additions designed for myopia progression control. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2020;43(1):33–39.
24. Hiraoka T., Okamoto C., Ishii Y. Mesopic contrast sensitivity and ocular higher-order aberrations after overnight orthokeratology. *Am J Ophthalmol*. 2008;145:645–655. DOI: 10.1016/j.ajo.2007.11.021
25. Тарутта Е.П., Егорова Т.С., Аляева О.О., Вержанская Т.Ю. Офтальмоэргономические и функциональные показатели в оценке эффективности ортокератологической коррекции миопии у детей и подростков. *Российский офтальмологический журнал*. 2012;3:63–66. [Tarutta E.P., Egorova T.S., Alyaeva O.O., Verzhanskaya T.Yu. Ophthalmoergonomic and Functional Parameters in Effectiveness Estimation of Orthokeratologic Correction of Myopia in Children and Teenagers. Russian ophthalmological journal = *Rossiyskiy oftal'mologicheskiy zhurnal*. 2012;3:63–66 (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБОУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней имени Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Тарутта Елена Петровна
доктор медицинских наук, профессор, начальник отдела патологии рефракции бинокулярного зрения и офтальмоэргономики
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
https://orcid.org/0000-0002-8864-4518

ФГБОУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней имени Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Милаш Сергей Викторович
научный сотрудник отдела патологии рефракции, бинокулярного зрения и офтальмоэргономики
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
https://orcid.org/0000-0002-3553-9896

ФГБОУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней имени Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Епишина Марина Викторовна
кандидат медицинских наук, заведующая отделением контактной коррекции зрения
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Helmholtz National Medical Center of Eye Diseases
Tarutta Elena P.
MD, Professor, head, department of refractive pathology, binocular vision and ophthalmoergonomics
Sadovaya-Chernogriazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
https://orcid.org/0000-0002-3553-9896

Helmholtz National Medical Center of Eye Diseases
Milash Sergei V.
researcher, department of refraction pathology, binocular vision and ophthalmoergonomics
Sadovaya-Chernogriazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
https://orcid.org/0000-0002-8864-4518

Helmholtz National Medical Center of Eye Diseases
Epishina Marina V.
PhD, head, department of contact vision correction
Sadovaya-Chernogriazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation