

Очковые линзы с множественными встроенными дефокусными сегментами (DIMS) изменяют относительную периферическую рефракцию: результаты 2-летнего клинического рандомизированного исследования

Han Yu Zhang, Carly Siu Yin Lam, Wing Chun Tang, Myra Leung, Chi Ho To
(Центр исследования миопии, Школа оптометрии, Гонконгский политехнический университет)

Обычно миопы демонстрируют гиперметропическую относительную периферическую рефракцию (RPR), тогда как эметропы и гиперметропы – миопическую RPR.^{1,2} Ранее проведенные исследования связи между RPR и началом развития миопии и ее прогрессированием продолжают обсуждаться.³⁻⁸ Hoogerheide et al.³ измеряли рефракцию вдоль 120° горизонтального поля зрения у молодых взрослых гиперметропов и эметропов, которые предварительно прошли контрольный тренинг. Было установлено, что 65% эметропов и гиперметропов, у которых позднее развилась миопия, имели гиперметропическую RPR, хотя не понятно, измеряли ли RPR в начале или в конце исследования.⁹ Это было первое длительное исследование, в котором сообщалось о связи между RPR и развитием миопии.

В работе Mutti et al.⁸ было обнаружено, что большая гиперметропическая RPR за 2-4 года до начала развития миопии может быть одним из факторов, указывающих на возможность развития миопии; однако RPR оставалась стабильной в течение года, когда миопия появилась, и в следующие 5 лет. В более позднем исследовании Mutti et al.⁴, проведенном с участием детей различной этнической принадлежности (азиаты, афро-американцы и европейцы), было показано, что RPR оказывает слабое постоянное влияние на риск возникновения и развития миопии и аксиальное удлинение. Sng et al.⁵ изучали изменение центральной и периферической рефракции у сингапурских китайских

детей в течение 1 года и выяснили, что периферическая рефракция не позволяет предсказать развитие миопии и не влияет на ее прогрессирование.

В исследованиях на животных было четко показано, что больший гиперметропический дефокус приводит к большему прогрессированию миопии,^{10,11} в то время как индуцирование миопического дефокуса тормозит ее прогрессирование.^{10,12-14} Данные, полученные на детенышах обезьян^{12,15} и цыплятах,^{10,14} дают основание предположить, что пространственное разделение на анатомическом уровне зрительных проводящих путей может модулировать рост глаза в целом.¹⁵ Исследования на животных показали, что использование контактных линз со встроенным миопическим дефокусом может замедлить прогрессирование миопии на 20%-60%.¹⁶⁻¹⁹

В нашем предыдущем клиническом исследовании с использованием мягких контактных линз с инкорпорированным дефокусом (линзы DISC), которые индуцируют у детей с миопией миопический дефокус +2,50 D, значительное замедление прогрессирования миопии за два года (приблизительно на 60%) наблюдалось у тех, кто носил эти линзы более 7 часов каждый день.¹⁷ В другом клиническом рандомизированном исследовании с использованием мягких контактных линз MiSight (CooperVision) или однофокальных линз (SV) у детей, носивших линзы MiSight, миопия прогрессировала заметно медленнее в течение 3-х лет (на 59%) по сравнению с детьми, которые носили SV линзы; аксиальное удлинение также было меньше (на 52%).¹⁹ Это свидетельствует о том, что миопический дефокус может замедлять прогрессирование миопии у детей.^{17,19}

Перевод статьи Han Yu Zhang et al. *Defocus Incorporated Multiple Segments Spectacle Lenses Changed the Relative Peripheral Refraction: A 2-Year Randomized Clinical Trial. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2020;61(5):53.* Статья предоставлена компанией Hoya Vison.

При коррекции миопии обычными очковыми линзами световые лучи, идущие вдоль оптической оси, фокусируются на фовеа, в то время как внеосевые лучи формируют периферический гиперметропический дефокус,^{20,21} который, как предполагают, и запускает механизм развития миопии. Sankaridurg et al.²² установили, что нет никаких статистически значимых эффектов замедления прогрессирования миопии при ношении очковых линз с инкорпорированным миопическим дефокусом на периферии в течение 1 года по сравнению с SV линзами.¹⁶

Эти данные не согласуются с результатами нашего недавнего клинического исследования очковых линз с множественными встроенными сегментами дефокуса (DIMS). В линзах DIMS центральная зона для коррекции зрения вдаль окружена множеством сегментов с постоянным миопическим дефокусом (+3,50) D в средне-периферической области линзы. В результате линза DIMS одновременно обеспечивает четкое центральное зрение и периферический миопический дефокус.²³ Ранее мы сообщали, что ношение линз DIMS в течение 2-х лет приводит к значительному замедлению прогрессирования миопии (на 59%) и замедлению аксиального удлинения (до 60%) по сравнению с ношением однофокальных очковых линз.²³

В большинстве ранее проведенных исследований влияния миопического дефокуса об эффективности контроля миопии судили по изменению рефракции и аксиальной длины (AL), и лишь в некоторых – по изменению формы сетчатки. В некоторых исследованиях сообщалось, что форма сетчатки может играть определяющую роль в развитии миопии, оказывая влияние через такие биомеханические факторы, как истончение склеры и локализованная эктазия склеры в области заднего полюса глаза в процессе развития миопии.^{24,25}

Была установлена сильная корреляция между периферической длиной глаза и периферической рефракцией.²⁶⁻²⁸ Следовательно, периферическую рефракцию (RPR), которую можно легко измерить и за изменением которой специалисты могут легко следить, можно использовать для непрямого описания формы сетчатки.^{15,29} К настоящему времени лишь в небольшом числе исследований сообщалось об изменении RPR у людей после применения для контроля миопии миопического дефокуса. В проекте DIMS²³ исследовали влияние ношения очковых линз DIMS на RPR. В данной статье представлены результаты сравнения изменений RPR и формы сетчатки в группе с линзами DIMS и в группе с SV линзами. Результаты проекта DIMS в данной работе используются для изучения влияния ношения линз DIMS и SV очковых линз на RPR.

Методы

Рандомизированное двойное слепое клиническое исследование было проведено в Центре исследования миопии Школы оптометрии Гонконгского политехнического университета между августом 2014 г. и июлем 2017 г.²³ Дети случайным образом были распределены для ношения линз DIMS (группа лечения) или однофокальных (SV) очковых линз (контрольная группа). Критерии включения/исключения в исследование представлены ниже.

Критерии включения:

1. Проживающие в Гонконге китайские дети в возрасте 8-13 лет
2. Сферический эквивалент (M) центрального зрения от -1,00 D до -5,00 D
3. Астигматизм или анизометропия 1,50 D или меньше
4. Наивысшая монокулярная острота зрения с коррекцией 0,00 logMAR (1,0) или лучше
5. Согласие на случайное распределение по группам и с маскированным дизайном исследования

Критерии исключения:

1. Косоглазие и аномалии бинокулярного зрения
2. Зрительные и системные аномалии
3. Имеющийся опыт контроля миопии

Исследование было одобрено Подкомитетом по этике Гонконгского политехнического университета и проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Информированное согласие было подписано родителями или опекунами всех участников. Процедура рандомизации была описана ранее.²³ Дети и их родители не знали, в какую группу они были распределены. Процедура маскирования соответствовала стандартам CONSORT по проведению двойных слепых клинических испытаний.

Стандартное исследование зрения проводилось каждые 6 месяцев в течение 2-х лет проведения клинического исследования. Оптическая сила роговицы измерялась с помощью авторефрактометра Shin-Nippon NVision-K 5001 (Ajinomoto Trading Inc., Tokyo, Japan) без циклоплегии. Для достижения циклоплегии закапывали сначала одну каплю пропаракана 0,4% с последующим закапыванием одной или двух капель циклопентолата гидрохлорид 1%. Центральную и периферическую рефракцию по горизонтальным сечениям сетчатки измеряли по 5 раз с помощью авторефрактометра Shin-Nippon NVision-K 5001 с использованием мишени «Мальтийский крест», размещенной в положении прямо-вперед (center) и на 10°, 20° и 30° в назальной (10N, 20N, 30N) и 10°, 20° и 30° в темпоральной сторонах (10T, 20T, 30T) сетчатки. Участников просили для фиксации различных мишеней держать голову

Таблица 1. Среднее значение (стандартное отклонение) сферического эквивалента (M) периферической рефракции в группах DIMS и однофокальных (SV) на протяжении 2 лет

Группа	10Т	20Т	30Т	10N	20N	30N
Исходный уровень						
DIMS	-3.00 (1.02)	-2.71 (1.23)	-1.60 (1.58)	-2.81 (0.99)	-2.10 (1.22)	-1.07 (1.33)
SV	-2.78 (0.98)	-2.68 (1.23)	-2.09 (1.74)	-2.62 (0.93)	-1.99 (1.06)	-0.93 (1.28)
p†	0.16	0.86	0.14	0.21	0.55	0.49
6 мес.						
DIMS	-3.16 (0.99)	-2.81 (1.15)	-1.91 (1.24)	-2.94 (1.26)	-2.21 (1.29)	-1.30 (1.41)
SV	-3.16 (1.01)	-2.99 (1.16)	-2.16 (1.56)	-2.95 (1.01)	-1.87 (1.19)	-0.79 (1.38)
p†	0.98	0.32	0.40	0.96	0.08	0.02
12 мес.						
DIMS	-3.19 (0.98)	-2.98 (1.05)	-1.81 (1.15)	-3.09 (1.15)	-2.29 (1.38)	-1.28 (1.50)
SV	-3.37 (1.07)	-3.10 (1.09)	-2.11 (1.66)	-3.03 (1.12)	-1.97 (1.27)	-0.76 (1.39)
p†	0.26	0.85	0.32	0.74	0.12	0.003*
18 мес.						
DIMS	-3.28 (1.02)	-3.15 (1.12)	-2.27 (1.16)	-3.20 (1.13)	-2.40 (1.24)	-1.47 (1.54)
SV	-3.62 (1.11)	-3.46 (1.16)	-2.47 (1.63)	-3.18 (1.16)	-2.00 (1.28)	-0.70 (1.53)
p†	0.05	0.08	0.45	0.94	0.05	0.003*
24 мес.						
DIMS	-3.34 (1.10)	-3.14 (1.20)	-2.19 (1.35)	-3.32 (1.26)	-2.57 (1.41)	-1.73 (1.68)
SV	-3.69 (1.20)	-3.50 (1.16)	-2.74 (1.56)	-3.21 (1.37)	-2.08 (1.43)	-0.79 (1.60)
p†	0.06	0.06	0.03	0.59	0.03	<0.0001*

† Значение P считалось значимым, если после поправки Бонферрони было <0,008

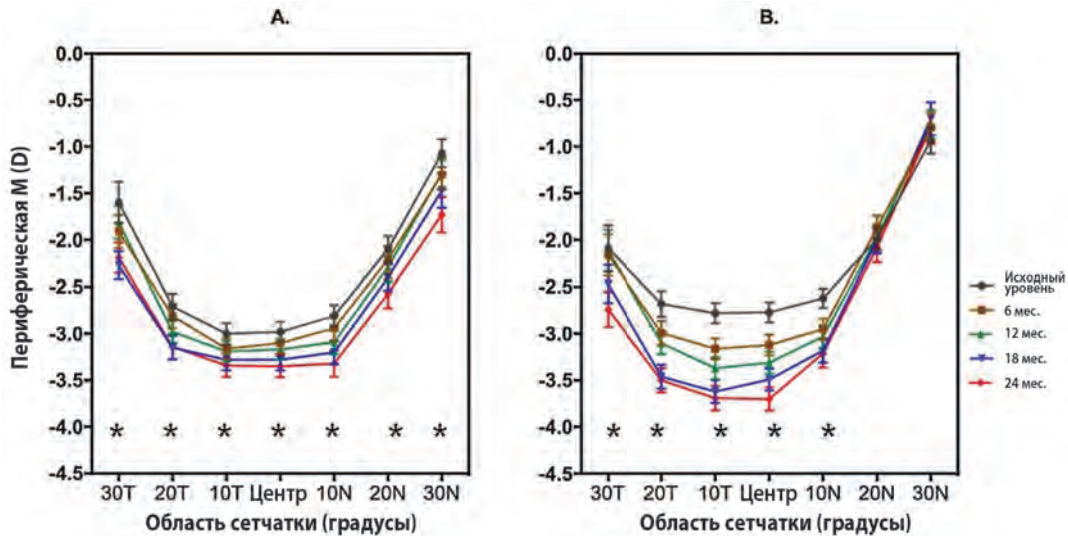


Рис. 1. (А) Изменение периферической рефракции по горизонтальному сечению сетчатки через 2 года в группе DIMS. (Б) Изменение периферической рефракции по горизонтальному сечению сетчатки через 2 года в группе SV. Вертикальные отрезки показывают стандартную ошибку среднего (SEM). Значение P считалось значимым, если после поправки Бонферрони было <0,008. Звездочкой (*) отмечены измерения, для которых разница между базовым значением и результатом через 24 месяца внутри группы статистически значима (P<0,008; парный t-критерий).

неподвижно, а вращать глаза.³⁰ Периферическую рефракцию измеряли для правого глаза, так как имеется хорошая корреляция зрительных характеристик между обоими глазами.^{23,31} В исследуемой группе детей коэффициент корреляции между правым и левым глазом был 0,91 для центральной рефракции (M), 0,97 для AL, 0,94 для кривизны роговицы по крутому меридиану и 0,97 для кривизны роговицы по плоскому меридиану.²³ Аксиальную длину (AL) измеряли 5 раз с помощью

IOL Master (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) и потом получали среднее значение. Для анализа измеренные значения силы сферы (S), силы цилиндра (C) и оси (Θ) переводили в параметры вектора оптической силы с помощью обычных формул:

$$\begin{aligned}
 M &= S + C/2 \\
 J_0 &= -(C/2) \cos(2\Theta) \\
 J_{45} &= -(C/2) \sin(2\Theta)
 \end{aligned}$$

Положительные значения J_0 соответствуют астигматизму прямого типа, отрицательные – обратного типа. Значения J_{45} соответствуют астигматизму с косыми осями. RPR рассчитывали вычитанием из центральной рефракции периферической. Положительные значения RPR соответствуют гиперметропической RPR, отрицательные – миопической. В нашей предыдущей публикации сообщалось, что в начале исследования между группами DIMS и SV не было статистически значимых различий в возрасте, поле, центральной M и AL ($p > 0,005$).

Анализ данных

Весь статистический анализ был проведен с помощью пакета IBM SPSS v.16.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA). Для анализа данных использовали данные для правого глаза, все данные имели нормальное распределение. Для оценки влияния ношения DIMS и SV линз на изменения со временем периферической рефракции и RPR применяли метод ANOVA для повторных измерений. Для сравнения различий в RPR между двумя группами использовали t-критерий. Разницу между назальными и темпоральными значениями рефракционной ошибки оценивали с применением парного t-критерия. Считая изменения центрального M и изменения AL зависимыми, применяли линейную регрессию для анализа зависимости между (1) базовым значением RPR M (в начале исследования) и миопическим сдвигом, (2) базовым значением RPR M и аксиальным удлинением, (3) изменением PRP M и миопическим сдвигом и (4) изменением PRP M и аксиальным удлинением, с коррекцией на разницу в поле и возрасте между группами. Статистически значимым считали значения

$P < 0,05$; при необходимости применялись поправки Бонферрони. Скорректированный уровень значимости был определен как 0,008, поскольку рефракцию измеряли в 6 зонах сетчатки правого глаза для каждого участника.

Результаты

Периферическая рефракция (M, J_0 , J_{45})

Полученные в исследовании через каждые 6 месяцев значения периферической M в группах DIMS и SV представлены в табл.1 и на рис.1. Разница между базовыми значениями M периферической рефракции для групп DIMS и SV не была статистически значимой (независимый t-критерий, $P > 0,05$). Через 2 года обе группы продемонстрировали устойчивое увеличение миопического сдвига как в центре, так и на периферии, но характер сдвига был различным.

В группе DIMS наблюдался миопический сдвиг с периферической M в диапазоне от -0,34 D до -0,60 D во всех горизонтальных областях измерения сетчатки (парный t-критерий, $P < 0,0001$); причем характер сдвига в назальных и темпоральных областях сетчатки был симметричным (рис.1). При сравнении назальных и темпоральных областей сетчатки видно, что разница сдвига в соответствующих областях была клинически незначительной; среднее значение разницы на 10° было $0,17 \pm 0,49$ D ($P = 0,003$), на 20° $0,04 \pm 0,71$ D ($P = 0,65$) и на 30° $0,23 \pm 1,71$ D ($P = 0,37$).

В группе SV в тех же областях наблюдался заметный миопический сдвиг через 2 года с широким разбросом значений от -0,59 D до -0,91 D ($P < 0,0001$); причем характер сдвига в назальных и темпоральных областях

Таблица 2. Средние значения RPR M в группах DIMS и SV через 2 года

Группа	10T	20T	30T	10N	20N	30N
Исходный уровень						
DIMS	-0.03 (0.47)	0.26 (0.91)	1.39 (1.49)	0.16 (0.41)	0.88 (0.89)	1.89 (1.20)
SV	-0.01 (0.35)	0.09 (0.93)	0.66 (1.64)	0.15 (0.38)	0.78 (0.72)	1.84 (1.15)
p^\dagger	0.77	0.25	0.02	0.84	0.46	0.80
6 мес.						
DIMS	-0.05 (0.41)	0.29 (0.75)	1.15 (0.97)	0.16 (0.82)	0.89 (0.94)	1.80 (1.07)
SV	-0.04 (0.34)	0.13 (0.72)	0.97 (1.40)	0.18 (0.44)	1.25 (0.86)	2.33 (1.19)
p^\dagger	0.77	0.17	0.46	0.90	0.01	0.003*
12 мес.						
DIMS	-0.01 (0.42)	0.19 (0.70)	1.21 (1.05)	0.08 (0.46)	0.88 (0.87)	1.90 (1.18)
SV	-0.06 (0.34)	0.21 (0.67)	1.15 (1.45)	0.28 (0.60)	1.35 (0.92)	2.55 (1.26)
p^\dagger	0.44	0.86	0.81	0.02	0.001*	0.001*
18 мес.						
DIMS	0.00 (0.45)	0.14 (0.80)	1.05 (0.99)	0.09 (0.78)	0.88 (1.00)	1.84 (1.35)
SV	-0.13 (0.35)	0.03 (0.70)	0.96 (1.23)	0.31 (0.55)	1.48 (0.90)	2.70 (1.31)
p^\dagger	0.04	0.34	0.67	0.04	< 0.0001*	< 0.0001*
24 мес.						
DIMS	0.01 (0.47)	0.21 (0.78)	1.15 (1.31)	0.03 (0.56)	0.80 (0.89)	1.63 (1.42)
SV	0.01 (0.68)	0.20 (0.80)	1.00 (1.39)	0.49 (0.86)	1.62 (1.10)	2.88 (1.42)
p^\dagger	0.98	0.97	0.52	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*

† Значение P считалось значимым, если после поправки Бонферрони было <0,008.

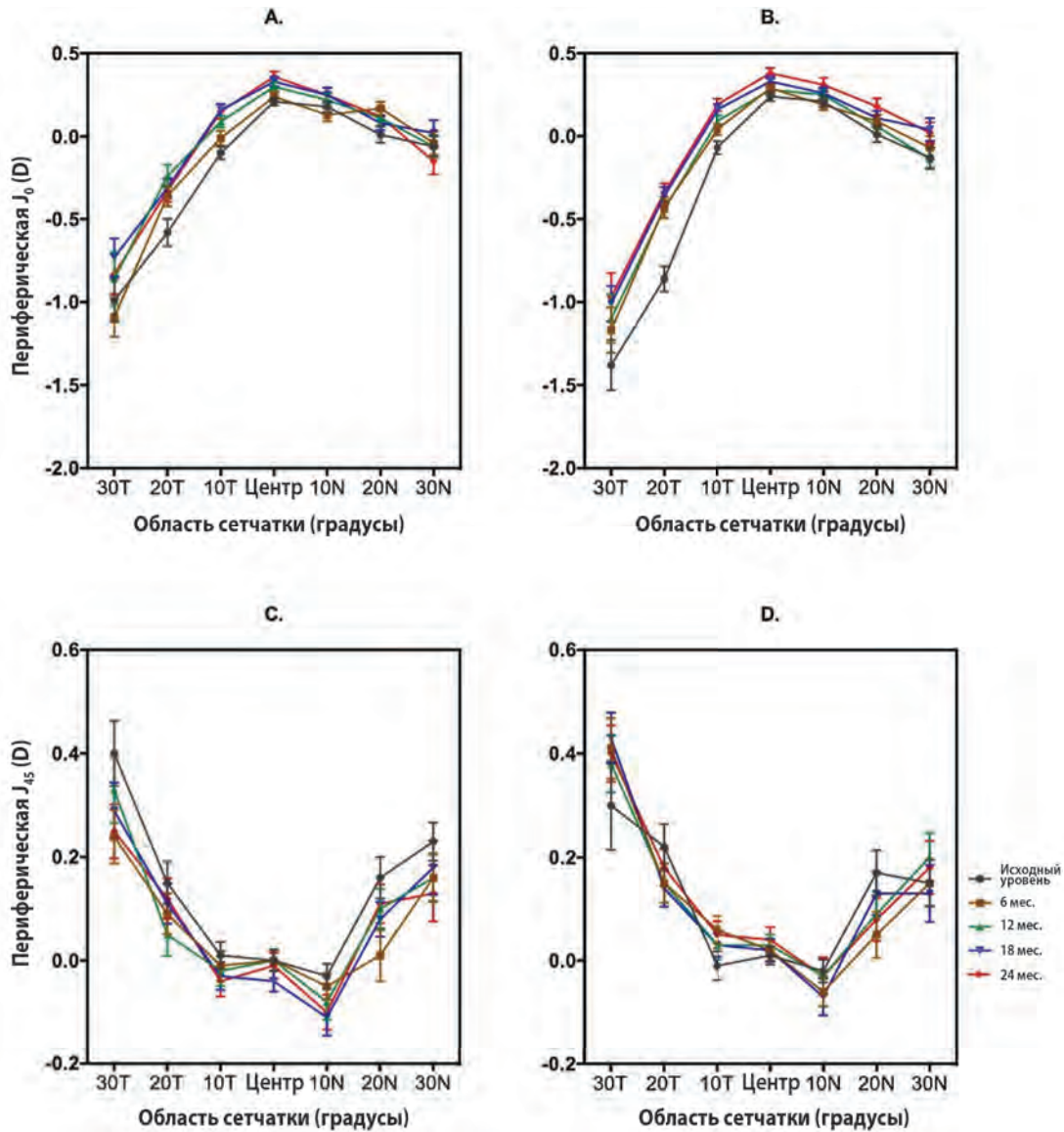


Рис.2. (А) Изменение периферической J_0 в горизонтальном сечении сетчатки через 2 года в группе DIMS. (В) Изменение периферической J_0 в горизонтальном сечении сетчатки через 2 года в группе SV. (С) Изменение периферической J_{45} в горизонтальном сечении сетчатки через 2 года в группе DIMS. (D) Изменение периферической J_{45} в горизонтальном сечении сетчатки через 2 года в группе SV. Вертикальные отрезки показывают стандартную ошибку среднего (SEM).

сетчатки был асимметричным (рис.1). В темпоральной области в отличие от назальной наблюдался заметный миопический сдвиг: на 10° средняя разница составила $-0,32 \pm 0,62$ D ($P < 0,0001$), на 20° $-0,69 \pm 0,95$ D ($P < 0,0001$) и на 30° $-0,85 \pm 1,52$ D ($P = 0,001$).

Таким образом, группа DIMS продемонстрировала более однородный миопический сдвиг во всех областях сетчатки, в то время как в группе SV миопический сдвиг был асимметричным. Сравнение двух групп показывает, что в группе DIMS наблюдался значительно больший миопический сдвиг периферической M на 30N (средняя разница $-0,70 \pm 0,18$ D) и 20N (средняя разница $-0,38 \pm 0,14$ D) и значительно более слабый на 10T

($0,57 \pm 0,12$ D) по сравнению с группой SV.

Не было выявлено статистически значимой разницы в периферических J_0 и J_{45} между двумя группами на момент начала исследования (во всех областях, $P > 0,05$). В группе DIMS через два года периферическая J_0 продемонстрировала значительный положительный сдвиг на 10T и 20T с изменением на $0,25 \pm 0,33$ D ($P < 0,0001$) и $0,25 \pm 0,47$ D ($P < 0,0001$), соответственно. В группе SV значительный положительный сдвиг наблюдался на 10T (средняя разница $0,29 \pm 0,28$ D, $P < 0,0001$), на 20T (средняя разница $0,54 \pm 0,50$ D, $P < 0,0001$), на 20N (средняя разница $0,17 \pm 0,38$ D, $P < 0,0001$) и на 30N (средняя разница $0,16 \pm 0,47$ D, $P = 0,004$). Изменений перифери-

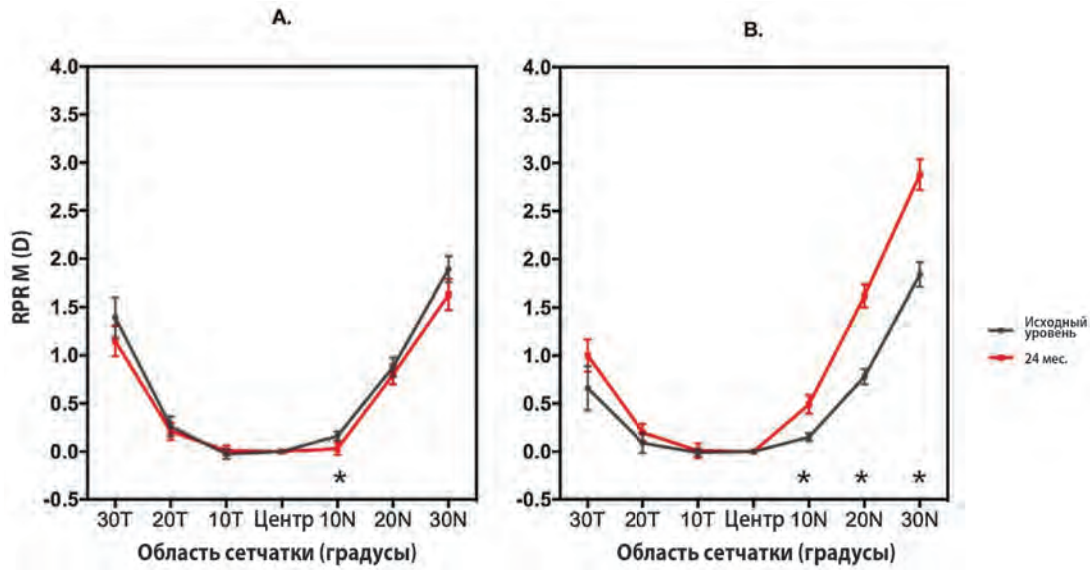


Рис.3. (А) Изменение RPR M в горизонтальном сечении сетчатки через 2 года в группе DIMS. (В) Изменение RPR M в горизонтальном сечении сетчатки через 2 года в группе SV. Вертикальные отрезки показывают стандартную ошибку среднего (SEM). Значение P считалось значимым, если после поправки Бонферрони было <0,008. *Значение P<0,008 указывает, что разница между исходным значением и через 24 месяца статистически значима.

ческой J_{45} в группах DIMS и SV не было выявлено (во всех областях, $P > 0,05$). Не было значительной разницы в периферических J_0 и J_{45} между двумя группами через 2 года с поправками Бонферрони ($P > 0,008$; рис.2).

Относительная периферическая рефракция (сферический эквивалент)

В табл.2. и на рис.3 представлены значения RPR M (сферический эквивалент относительной периферической рефракции) в группах DIMS и SV через 2 года. На начало исследования не было существенной разницы между группами в величине RPR M после коррекции Бонферрони (при всех углах, для всех $P > 0,008$).

Через 2 года миопический сдвиг для всех периферических рефракций увеличился пропорционально изменению центральной рефракции, и поэтому для группы DIMS наблюдалась достаточно постоянная величина RPR M. Несмотря на значительное уменьшение гиперметропического RPR M на 10N (средняя разница $-0,13 \pm 0,43$ D, $P < 0,0001$) в группе DIMS, все изменения были признаны не имеющими клинического значения.

В группе SV существенные гиперметропические сдвиги в RPR наблюдались в назальной области сетчатки со средними изменениями $0,27 \pm 0,45$ D, $0,75 \pm 0,72$ D и $0,98 \pm 0,76$ D на 10N, 20N и 30N ($P < 0,0001$), но в темпоральной области сетчатки никаких заметных изменений не наблюдалось. Изменения RPR имели несимметричный характер.

Сравнение двух групп показало, что в SV группе по сравнению с группой DIMS имеется значительное больший гиперметропический RPR M на 10N (средняя разница $0,46 \pm 0,11$ D, $P < 0,0001$), 20N (средняя разница

$0,82 \pm 0,16$ D, $P < 0,0001$) и 30N (средняя разница $1,25 \pm 0,23$ D, $P < 0,0001$), но разница отсутствовала в темпоральной области

Корреляция RPR M с другими факторами

В группе SV не было выявлено заметной связи между базовым значением RPR M и прогрессированием миопии, а также не было связи между базовым значением RPR M и аксиальным удлинением во всех областях (линейная регрессия, $P > 0,05$). Однако изменения RPR M на 10N продемонстрировали значительную связь с прогрессированием миопии (стандартизованный коэффициент: $0,84$, $P = 0,003$) и аксиальным удлинением (стандартизованный коэффициент: $-0,79$, $P = 0,004$) после корректировки на разницу в поле и возрасте.

Дискуссия

Целью проведенной работы было изучение изменения формы сетчатки после применения миопического дефокуса для контроля миопии. Мы измеряли изменение периферической рефракции и RPR в группах детей, носивших очковые линзы DIMS и однофокальные (SV) в контролируемом рандомизированном исследовании на протяжении 2-х лет.

Через 2 года участники группы SV показали более значительные асимметричные изменения периферической M в темпоральной области сетчатки (назальном зрительном поле) по сравнению с назальной (темпоральным зрительным полем), и эта асимметрия увеличивалась с прогрессированием миопии, что согласуется с результатами предыдущих исследований.^{6,33} В ряде работ было высказано

зано предположение, что эта асимметрия может быть объяснена действием нескольких факторов, включая разницу в угле между оптической осью и зрительной осью (угол альфа),^{34,35} асимметрию глубины камеры стекловидного тела³⁶ и кривизну роговицы.³⁷ Полагают, что выраженный асимметричный периферический профиль может быть вызван разной скоростью растяжения глаза вдоль оси и в экваториальной области при прогрессировании миопии, и, в особенности, в глазах с более быстрым прогрессированием миопии.⁶ Напротив, после воздействия линз DIMS дети показали значительные изменения периферической M во всех областях сетчатки, что указывает на однородный миопический сдвиг по горизонтальному сечению сетчатки. Можно предположить, что у детей в группе DIMS происходит относительно более медленный и одинаковый по всем направлениям рост глаза, тогда как у детей в группе SV происходит более быстрое растяжение вдоль оси, чем в экваториальной области.

Изменения RPR также различаются в обеих группах. В группе SV через 2 года было выявлено значительное увеличение гиперметропического RPR M в назальной области сетчатки (в диапазоне примерно от 0,27 до 0,98 D), тогда как в группе DIMS наблюдали небольшое статистическое изменение RPR M, которое не имело клинического значения. Насколько нам известно, такие результаты впервые получены в исследовании на людях. В исследованиях на морских свинках были получены противоположные результаты;³⁸ было показано значительное увеличение гиперметропического RPR M после индуцирования на периферии миопического дефокуса. Возможно, что имеется область сетчатки, которая может распознать знак дефокуса и вызывать изменения в локальной области сетчатки.³⁷ Такая способность к распознаванию зависит от местоположения области или порога дефокуса, которые у человека могут отличаться от животных.³⁸

Хотя наблюдаемые в группе SV через 2 года изменения RPR M на 10N демонстрируют сильную связь с центральным миопическим сдвигом и аксиальным удлинением, исходное значение RPR M не позволяет предсказать прогрессирование миопии или аксиальное удлинение, что согласуется с выводами предыдущих исследований.⁴⁻⁷ Mutti et al.⁴ наблюдали изменение периферической рефракции на 30° назального зрительного поля и обнаружили, что периферическая рефракция оказывает слабое влияние на предсказание возникновения миопии и ее прогрессирования. Гиперметропический дефокус более вероятно является следствием аксиального удлинения, а не причиной прогрессирования миопии.³⁹ Он возникает потому, что при удлинении глазного яблока аксиальная длина увеличивается сильнее, чем экваториальный диаметр, что приводит к относительно более вытянутой форме глаза,^{1,40} что можно наблюдать как более слабую миопию на периферии сетчатки, чем в центральной фовете.

Было высказано предположение, что RPR может быть использована для непрямого описания формы сетчатки.^{15,29} Более гиперметропическая RPR предполагает, что кривизна оболочки плоскости изображений меньше кривизны сетчатки,⁴¹ и при постоянных кривизне роговицы и аксиальной длине более высокая гиперметропическая RPR указывает на более круглую форму сетчатки.²⁹ Поэтому меньшая кривизна плоскости изображений по сравнению с формой сетчатки в группе SV указывает на более круглую форму сетчатки, тогда как в группе DIMS форма сетчатки была более плоской.

Относительно асимметричного профиля в группе SV заметим, что механизм замедленного периферического растяжения в группе SV остается неясным, и различные потенциальные механизмы обсуждались в предыдущей работе Mutti et al.⁸ Авторы высказали предположение, что недостаточность материала хрусталика может препятствовать экваториальному растяжению глаза, когда он растет.^{1,8}

Мы предположили, что равномерный характер роста глаза, который стимулирует больший периферический рост глаза, может быть механизмом нормального роста глаза или процесса эмметропизации. Обнаруженное в нашем исследовании замедление прогрессирования миопии и аксиального удлинения можно интерпретировать как переключение назад к скоординированному росту глаза. В группе SV аксиальное удлинение происходит быстрее по сравнению с экваториальным ростом и может указывать на несоординированный рост глаза. Предположение об ограниченности экваториального растяжения растущего глаза означает возможность чрезмерного аксиального удлинения.⁴²

Недавно Pan⁴³ сообщил, что реакцию ганглионарных клеток сетчатки ON-OFF типа (RGCs) у мышей можно изменять дефокусированным изображением, и показал различные отклики на разную оптическую силу дефокуса изображения.⁴⁴ Мы предположили, что реакция RGCs может быть изменена оптической силой дефокуса, создаваемого линзой DIMS, и это может приводить к равномерному и симметричному характеру изменений периферической рефракции. Однако требуются дальнейшие исследования на животных.

Одним из ограничений проведенной работы является то, что в ней не измеряли периферическую длину глаза; измерение периферической длины глаза могло бы позволить реально оценить, что происходит с периферическим ростом глаза. Стоит отметить, что широкий диапазон стандартных отклонений относительно средних значений RPR может указывать на то, что реальная форма сетчатки может быть вариабельной.^{2,15}

Имеется мало работ, в которых исследовали изменение периферической рефракции или RPR при

применении методов контроля миопии; и данная работа является первым исследованием, в котором показано, что контроль миопии с использованием миопического дефокуса с одновременным обеспечением четкого зрения приводит к изменениям средне-периферической рефракции и RPR по сравнению с SV линзами. Наше описание формы сетчатки в двух группах является лишь частью общей картины; необходимо проведение дальнейших исследований формы сетчатки и глаза с применением таких методов изучения изображений, как магнитно-резонансная томография или ультразвуковое В-сканирование. Требуются дальнейшие исследования для понимания механизма характера изменений периферической рефракции при контроле миопии с использованием миопического дефокуса.

Литература

- Mutti DO, Sholtz RI, Friedman NE, Zadnik K. Peripheral refraction and ocular shape in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2000;41:1022–1030.
- Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Peripheral refraction and refractive error in Singapore Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:1181–1190.
- Hoogerheide J, Rempt F, Hoogenboom W. Acquired myopia in young pilots. *Ophthalmologica.* 1971;163:209–215.
- Mutti DO, Sinnott LT, Mitchell GL, et al. Relative peripheral refractive error and the risk of onset and progression of myopia in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:199–205.
- Sng CC, Lin XY, Gazzard G, et al. Change in peripheral refraction over time in Singapore Chinese children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:7880–7887.
- Lee TT, Cho P. Relative peripheral refraction in children: twelve-month changes in eyes with different ametropies. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2013;33:283–293.
- Radhakrishnan H, Allen PM, Calver RI, et al. Peripheral refractive changes associated with myopia progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54:1573–1581.
- Mutti DO, Hayes JR, Mitchell GL, et al. Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48:2510–2519.
- Rosén R, Lundström L, Unsoo P, Atchison DA. Have we misinterpreted the study of Hoogerheide et al. (1971)? *Optom Vis Sci.* 2012;89:1235–1237.
- Tse DY, Lam CS, Guggenheim JA, et al. Simultaneous defocus integration during refractive development. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48:5352–5359.
- Smith EL, 3rd, Hung LF, Huang J. Relative peripheral hyperopic defocus alters central refractive development in infant monkeys. *Vision Res.* 2009;49:2386–2392.
- Arumugam B, Hung LF, To CH, Holden B, Smith EL, 3rd. The effects of simultaneous dual focus lenses on refractive development in infant monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014;55:7423–7432.
- Arumugam B, Hung LF, To CH, Sankaridurg P, Iii EL. The effects of the relative strength of simultaneous competing defocus signals on emmetropization in infant rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016;57:3949–3960.
- Liu Y, Wildsoet C. The effect of two-zone concentric bifocal spectacle lenses on refractive error development and eye growth in young chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:1078–1086.
- Stone R, Flitcroft D. Ocular shape and myopia. *Ann Acad Med Singapore.* 2004;33:7–15.
- Sankaridurg P, Holden B, Smith E, 3rd, et al. Decrease in rate of myopia progression with a contact lens designed to reduce relative peripheral hyperopia: one-year results. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:9362–9367.
- Lam CS, Tang WC, Tse DY, Tang YY, To CH. Defocus Incorporated Soft Contact (DISC) lens slows myopia progression in Hong Kong Chinese schoolchildren: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol.* 2014;98:40–45.
- Anstice NS, Phillips JR. Effect of dual-focus soft contact lens wear on axial myopia progression in children. *Ophthalmology.* 2011;118:1152–1161.
- Chamberlain P, Peixoto-de-Matos SC, Logan NS, Ngo C, Jones D, Young G. A 3-year randomized clinical trial of MiSight lenses for myopia control. *Optom Vis Sci.* 2019;96:556–567.
- Lin Z, Martinez A, Chen X, et al. Peripheral defocus with single-vision spectacle lenses in myopic children. *Optom Vis Sci.* 2010;87:4–9.
- Taberner J, Vazquez D, Seidemann A, Uttenweiler D, Schaeffel F. Effects of myopic spectacle correction and radial refractive gradient spectacles on peripheral refraction. *Vision Res.* 2009;49:2176–2186.

Заключение

Насколько нам известно, это первое исследование, в котором показано, что контроль миопии с применением миопического дефокуса с одновременным обеспечением четкого зрения приводит к изменениям периферической рефракции. Контроль миопии, использующий миопический среднепериферический дефокус, вызывает изменения периферической рефракции и замедляет прогрессирование центральной миопии, наиболее вероятно путем изменения общей формы сетчатки. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения механизма этого вмешательства.

Исследование проведено при поддержке компании Noya Corporation.

- Sankaridurg P, Donovan L, Varnas S, et al. Spectacle lenses designed to reduce progression of myopia: 12-month results. *Optom Vis Sci.* 2010;87:631–641.
- Lam CSY, Tang WC, Tse DY, et al. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol.* 2020;104:363–368.
- McBrien NA, Gentle A. Role of the sclera in the development and pathological complications of myopia. *Prog Retin Eye Res.* 2003;22:307–338.
- Rada JAS, Shelton S, Norton TT. The sclera and myopia. *Exp Eye Res.* 2006;82:185–200.
- Schmid G. Retinal steepness vs. myopic shift in children. 2004;12:23.
- Verkicharla PK, Suheimat M, Schmid KL, Atchison DA. Peripheral refraction, peripheral eye length, and retinal shape in myopia. *Optom Vis Sci.* 2016;93:1072–1078.
- Mutti DO, Sinnott LT, Reuter KS, et al. Peripheral refraction and eye lengths in myopic children in the bifocal lenses in nearsighted kids (BLINK) study. *Transl Vis Sci Tech.* 2019;8(2):17.
- Verkicharla PK, Mathur A, Mallen EA, Pope JM, Atchison DA. Eye shape and retinal shape, and their relation to peripheral refraction. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2012;32:184–199.
- Radhakrishnan H, Charman WN. Peripheral refraction measurement: does it matter if one turns the eye or the head? *Ophthalmic Physiol Opt.* 2008;28:73–82.
- Lam CS, Lam CH, Cheng SC, Chan LY. Prevalence of myopia among Hong Kong Chinese schoolchildren: changes over two decades. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2012;32:17–24.
- Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci.* 1997;74:367–375.
- Atchison DA, Pritchard N, White SD, Griffiths AM. Influence of age on peripheral refraction. *Vision Res.* 2005;45:715–720.
- Calver R, Radhakrishnan H, Osuoben E, O'Leary D. Peripheral refraction for distance and near vision in emmetropes and myopes. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2007;27:584–593.
- Charman WN, Atchison DA. Decentered optical axes and aberrations along principal visual field meridians. *Vision Res.* 2009;49:1869–1876.
- Smith EL, 3rd, Hung LF, Huang J, Arumugam B. Effects of local myopic defocus on refractive development in monkeys. *Optom Vis Sci.* 2013;90:1176–1186.
- Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL. Peripheral refraction along the horizontal and vertical visual fields in myopia. *Vision Res.* 2006;46:1450–1458.
- Bowrey HE, Zeng G, Tse DY, et al. The effect of spectacle lenses containing peripheral defocus on refractive error and horizontal eye shape in the guinea pig. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017;58:2705–2714.
- Atchison DA, Jones CE, Schmid KL, et al. Eye shape in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45:3380–3386.
- Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL, Scott DH, Jones CE, Pope JM. Shape of the retinal surface in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46:2698–2707.
- Shen J, Clark CA, Soni PS, Thibos LN. Peripheral refraction with and without contact lens correction. *Optom Vis Sci.* 2010;87:642–655.
- Mutti DO, Zadnik K, Fusaro RE, Friedman NE, Sholtz RI, Adams AJ. Optical and structural development of the crystalline lens in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1998;39:120–133.
- Pan F. Defocused image changes signaling of ganglion cells in the mouse retina. *Cells.* 2019;8:640.
- Banerjee S, Wang Q, So CH, Pan F. Defocused images change multineuronal firing patterns in the mouse retina. *Cells.* 2020;9:530.