Миопия и окружающая зрительная среда

Основные факторы окружающей среды, которые, как полагают, играют роль в регулировании роста глаз, развитии и прогрессировании миопии у детей, дают нам ключ к пониманию того, как мы можем изменить окружающую среду и поведение, стремясь защититься от этого потенциально опасного для зрения состояния рефракции.

Автор профессор Скот Рид

Хотя общепризнанна определенная роль генетического фактора в развитии и прогрессировании миопии, наблюдаемый в последние десятилетия быстрый рост распространенности миопии (достигающей во многих развитых регионах Восточной Азии эпидемического уровня от 80% до 90%), позволяет с большой вероятностью говорить о важной роли факторов окружающей среды в генезе миопии.[1]

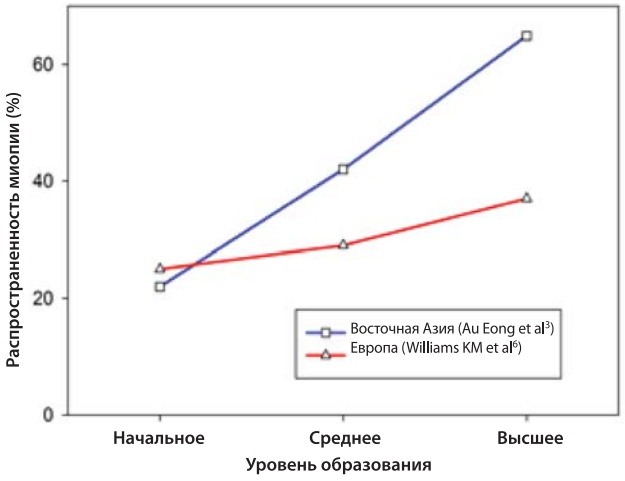
Исследования, проведенные в последние десятилетия на животных и людях, показали, что наше понимание влияния зрительного окружения на рост глаза существенно продвинулось вперед, и они доказали вовлечение ряда различных факторов в развитие миопии. Поскольку многие из этих факторов являются модифицируемыми, лучшее понимание воздействия окружающей среды на миопию открывает возможность для изменения поведения и принятия мер общественного здравоохранения по изменению зрительной среды с целью уменьшения распространения и прогрессирования миопии среди населения.

Разработка надежных вмешательств для защиты от миопии особенно важна в свете хорошо установленной связи между высокими уровнями миопии и целым рядом глазных патологий, угрожающих зрению (например, отслойкой сетчатки, глаукомой, миопической макулопатией). Целью данной статьи является обзор трех основных факторов окружающей среды, которые, как полагают, играют роль в регулировании роста глаза, а также в развитии и прогрессировании миопии у детей.

МИОПИЯ, РАБОТА ВБЛИЗИ И ОБРАЗОВАНИЕ

Миопия обычно развивается и прогрессирует в детстве, и поскольку это время также совпадает со школьными годами, когда дети сталкиваются с возрастающим уровнем активности на близком расстоянии, чтение и работа вблизи уже давно считаются потенциально важными факторами окружающей среды, влияющими на развитие миопии.[2] Были получены убедительные

Рисунок 1. Связь между распространенностью миопии и уровнем образования у взрослого населения Восточной Азии[3] и Европы[6].



доказательства роли работы вблизи в развитии миопии для ряда групп населения, демонстрирующие связь между более высоким уровнем образования и более высоким уровнем миопии. Ряд крупных популяционных исследований показал тесную связь между более высокими уровнями образования (более продолжительным обучением в школе или более высоким образовательным уровнем) и более широким распространением миопии (рис.1).[3-6] Согласно отчету Европейского консорциума по глазной эпидемиологии (E3 consortium; включает данные более чем 100 000 европейских взрослых), среди людей среднего возраста распространенность миопии была примерно в два раза выше у тех, кто получил высшее образование, по сравнению с теми, кто бросил школу до 16 лет.[6]

В другом крупном генетическом исследовании сообщалось о взаимодействии генетики и образования. Было показано, что у лиц, имеющих высокий уровень образования и высокий генетический риск близорукости, наблюдается более высокий риск миопии.[4] Шансы иметь миопию при наличии комбинации повышенного генетического риска и высокого уровня образования (отношение шансов 51,3) оказались гораздо выше, чем сумма «генетических» (отношение шансов 7,2) и «образовательных» шансов (отношение шансов 6,1), оцененных по отдельности.

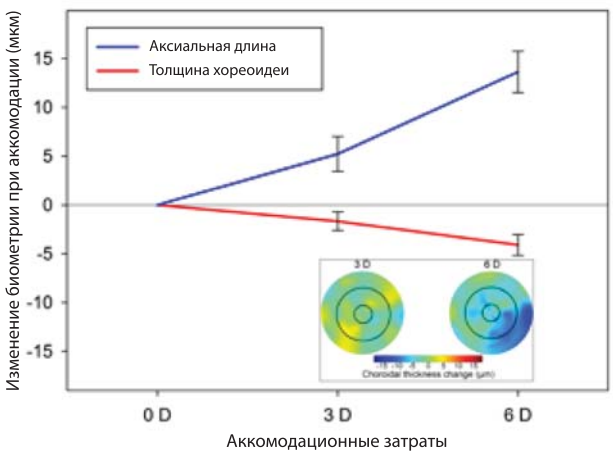
Также имеются свидетельства того, что увеличение распространенности миопии связано с лучшей успеваемостью в школе (с оценками в школе)[7,8] и обучением в гимназиях и лицеях[9,10], что также свидетельствует о том, что более интенсивное обучение представляет собой фактор риска развития миопии. Поддерживая это мнение, Morgan и Rose[11] предположили, что существует связь между высокой распространенностью миопии и теми странами, в которых дети демонстрируют высокий уровень успеваемости и активно посещают внеурочные занятия.

Хотя точный механизм, связывающий миопию с повышенным уровнем образования, до сих пор не установлен, существует ряд доказательств, что изменения в глазу, связанные с работой на близком расстоянии (например, чтением), могут увеличивать риск развития миопии у детей с повышенной зрительной нагрузкой на близком расстоянии. Известно, что зрительные эффекты аккомодации (и других биомеханических особенностей зрения вблизи, например, направление взгляда вниз при чтении), вызывают оптические изменения (например, увеличение аберраций высших порядков, задержку аккомодации), которые могут являться оптическим стимулом для роста глаза и, следовательно, для развития и прогрессирования миопии[12-14]; и исследования на животных показали, что воздействие гиперметропического размытия изображения приводит к миопическому росту глаза.[15]

«Школьные мероприятия вне помещения, направленные на то, чтобы увеличить время пребывания ребенка на свежем воздухе на 40–80 минут в день, по-видимому, позволят значительно уменьшить риск возникновения миопии у детей»

Кроме того, известно, что аккомодация приводит к ряду кратковременных глазных биометрических изменений, таких как кратковременное аксиальное удлинение и истончение сосудистой оболочки.[16-18] Рис.2 иллюстрирует изменения осевой длины и толщины сосудистой оболочки при аккомодации. Исследования, в которых изучались эти биометрические изменения глазного яблока в процессе аккомодации, показали, что миопам, по-видимому, требуется больше времени для восстановления после этих временных изменений, чем эмметропам, что позволяет предположить потенциальные различия в биомеханических свойствах миопического глаза.[16-17] Структурные изменения глаза, связанные с аккомодацией, также могут быть связующим звеном между работой на близком расстоянии и миопией, если учесть, что в исследованиях на животных показано, что истончение хориоидеи связано с ростом миопического глаза.[19] Продольное исследование толщины хориоидеи в детстве также продемонстрировало связь истончения хориоидеи с ускоренным осевым ростом глаза, что подтверждает роль сосудистой оболочки в регулировании роста человеческого глаза.[20] В совокупности кумулятивные эффекты оптических и глазных биомеханических структурных изменений, связанных с работой вблизи, могут потенциально предрасполагать к развитию миопии у детей, вынужденных много времени проводить за интенсивной зрительной работой вблизи; однако окончательные доказательства связи этих изменений с последующим развитием и прогрессированием миопии еще предстоит получить. Тот факт, что изменения глаза, связанные с работой вблизи, являются преходящими, подтверждает необходимость регулярных перерывов во время интенсивной работы на близком расстоянии. Данные работы[16-18], в которой исследовали эти изменения, позволяют предположить,

Рисунок 2: Изменение аксиальной длины (верхняя синяя линия) и хореоидальной толщины (нижняя красная линия) при выполнении заданий, требующих кратковременной аккомодации 3D и 6D.[18] Обратите внимание на значительное удлинение глаза и истончение хориоидеи, возникающие при более высоких затратах аккомодации. На вставке показаны топограммы толщины хориоидеи в макулярной области при аккомодации 3D и 6D (холодные цвета указывают на истончение хориоидеи при аккомодации).



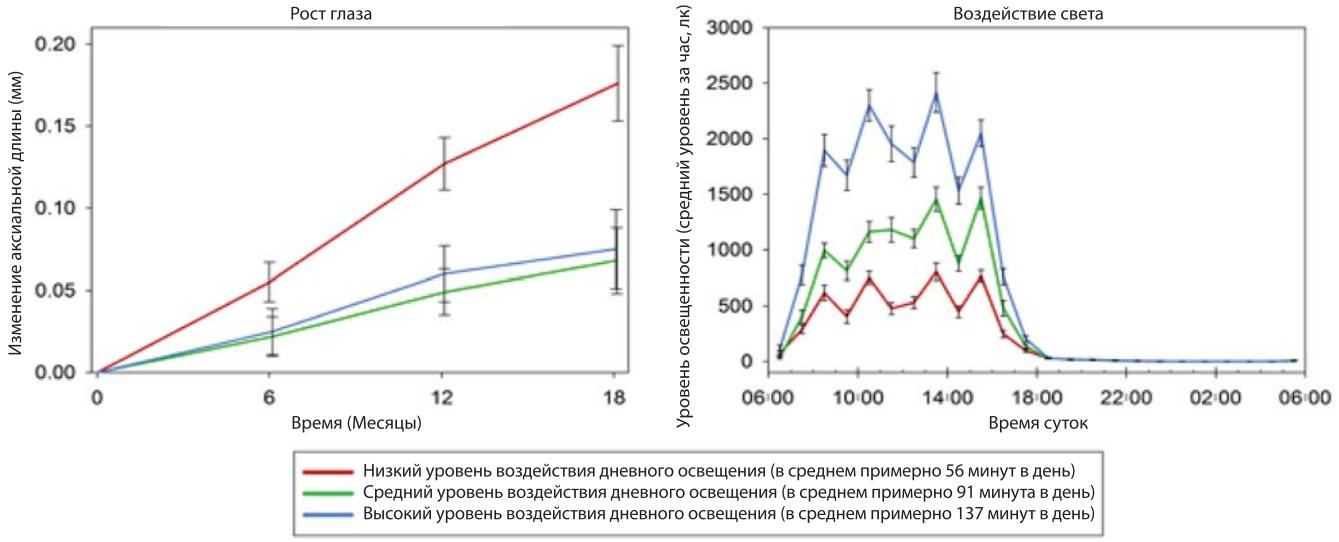


Рисунок 3: Аксиальный рост глаз у детей, которые регулярно подвергаются воздействию низких (красная линия), средних (зеленая линия) и высоких (синяя линия) уровней дневного освещения[41] (слева). Обратите внимание на значительно более быстрый аксиальный рост глаза в течение 18 месяцев у детей, которые регулярно подвергаются воздействию более низких среднесуточных уровней освещенности. Справа показана среднечасовая суточная освещенность для каждой из трех групп (получена с использованием наручного датчика освещенности, который каждый ребенок носил в течение двух 14-дневных периодов).

что для того, чтобы эти изменения прошли, необходимы перерывы примерно по 5-10 минут.

В то время как связь между образованием и миопией потенциально может быть объяснена связью между работой в детстве на близком расстоянии и миопией, данные исследований связи работы на близком расстоянии и детской миопии недостаточно надежны.[21] Хотя в ряде исследований, использующих опросники, чтобы количественно оценить занятия детей на близком расстоянии, показано, что чем больше в детском возрасте активность на близком расстоянии, тем больше миопия[9,22,23], в других исследованиях такая связь не была найдена.[24,25] Это расхождение результатов исследований, касающихся связи работы на близком расстоянии и миопии, может свидетельствовать о наличии помимо работы вблизи, других факторов (например, отсутствие активности на открытом воздухе), влияющих на связь миопии с образованием, или, в качестве альтернативы, можно предположить, что требуются более сложные методы для количественной оценки сложного поведения ребенка при выполнении различных занятий на близком расстоянии. Стоит отметить, что в исследованиях, посвященных изучению связи между работой на близком расстоянии и миопией в детском возрасте, активность детей оценивалась, главным образом, с помощью опросников; при этом на оценки может влиять то, насколько хорошо участники опроса могут вспомнить свои занятия. В последнее время были разработаны новые методы оценки работы вблизи с помощью портативных прикрепляемые к оправе очков датчиков определения рабочей дистанции, которые позволяют проводить непрерывные объективные количественные измерения поведения детей при работе вблизи.[27] Будущие исследования с использованием этих объективных методов мониторинга работы вблизи могут помочь более четко понять роль работы вблизи в развитии детской миопии.

МИОПИЯ И АКТИВНОСТЬ НА СВЕЖЕМ ВОЗДУХЕ

Противоречивые результаты исследований, посвященных изучению связи между работой на близком расстоянии и близорукостью, побудили исследователей обратить внимание на потенциальное воздействие дополнительных факторов окружающей среды на миопию. В результате этого в последние годы еще одним важным фактором окружающей среды, связанным с миопией, стала активность вне помещений.[28] В ряде перекрестных исследований групп детей из различных географических районов сообщалось о тесной связи между большей активностью вне помещения и более низкой распространенностью миопии.[7,29] Данные проведенного в Сиднее исследования миопии, в котором приняли участие более 2000 12-летних школьников Сиднея, показали, что у детей, которые проводили более 2,7 часов в день на свежем воздухе, риск стать миопом был гораздо ниже, даже если они интенсивно выполняли работу на близком расстоянии.[29] Результаты продольных исследований также показали, что более высокая активность вне помещения в детстве, по-видимому, значительно замедляет возникновение миопии.[30,31] Однако влияние активности вне помещения на прогрессирование миопии более спорно. В ряде исследований не было выявлено достоверной связи между временем, проведенным на свежем воздухе, и прогрессированием миопии у детей.[32,33] Однако в небольшом числе исследований выявлена достоверная связь между большим временем, проведенным вне помещения, и более медленным прогрессированием миопии.[23,34,35] Сообщения о сезонных вариациях прогрессирования миопии с более медленным прогрессированием летом (когда у детей больше возможностей проводить время на свежем воздухе) по сравнению с зимой также подтверждают потенциальный защитный эффект активности вне помещения на прогрессирование миопии.[36,37]

Кроме обсервационных исследований связи пребывания вне помещения с миопией, в ряде недавних исследований также изучали влияние на миопию мероприятий, направленных на увеличение времени, проводимого на свежем воздухе. Эти контролируемые исследования убедительно показывают, что школьные мероприятия вне

помещения, направленные на увеличение времени пребывания на открытом воздухе на 40-80 минут в день, достоверно уменьшают риск возникновения миопии у детей по сравнению с контрольной группой.[38,39] В исследовании He et al[39] (1903 китайских ребенка) установлено, что у детей, которые проводили дополнительно 40 минут в день на свежем воздухе, развитие миопии в течение трехлетнего периода было ниже на 9% по сравнению с контролем. Результаты недавно завершенного в Тайване исследования влияния активности вне помещения были доложены на Международной конференции по миопии в 2017 году. Они показали, что увеличение времени ежедневного пребывания на открытом воздухе во время школьных перерывов значительно сокращает как возникновение, так и прогрессирование миопии в группе из 693 тайваньских школьников[40]. Эти результаты служат доказательством возможности применения комбинации мероприятий, проводимых вне помещения, с другими методами замедления прогрессирования миопии (например, очками, контактными линзами или фармакологическими препаратами) для более эффективного торможения прогрессирования миопии.

Хотя существуют убедительные доказательства того, что повышенная активность вне помещения, по-видимому, защищает от развития миопии в детстве, точный механизм, лежащий в основе этого защитного действия на человеческий глаз недостаточно хорошо понятен. По сравнению с пребыванием в помещении, активность на свежем воздухе сопряжена с воздействием более высоких уровней освещенности, большей физической активностью, а также с меньшим влиянием размытия изображения и более слабой зрительной нагрузкой на близком расстоянии. Чтобы изучить некоторые из факторов, связанных с защитными эффектами активности вне помещения, наша исследовательская группа недавно изучила в группе детей из Австралии связь аксиального удлинения глаза с количественными показателями интенсивности воздействия света и физической активности (измерения проводили с помощью портативных датчиков).[41] Результаты исследования

«Даже при ношении головных уборов с козырьком и солнцезащитных очков интенсивность дневного освещения вне помещения остается значительно выше, чем уровни освещения в помещении, и поэтому пребывание на свежем воздухе может быть полезным»

показали, что более быстрый аксиальный рост (и, следовательно, больший риск развития и прогрессирования миопии) в значительной степени ассоциируется с воздействием низких уровней освещенности в помещении в дневное время; то есть с меньшим воздействием днем солнечного света при нахождении вне помещения (рис.3). Через 18 месяцев у детей, которые ежедневно подвергаются слабому воздействию естественного света, был обнаружен более сильный аксиальный рост глаза (примерно на 0,1 мм), что соответствует большему сдвигу рефракции на 0,3D. В отличие от выявленной связи ускоренного роста глаза с воздействием света, мы не обнаружили достоверной связи между ростом глаза и объективными показателями физической активности.

Наш анализ также не выявил заметного влияния работы на близком расстоянии на аксиальный рост глаза в этой популяции. Это означает, что связь между воздействием естественного света и осевым ростом глаза объясняется не просто менее продолжительной работой вблизи у тех, кто проводит больше времени на открытом воздухе. Эти результаты демонстрируют роль естественного освещения (а не физической активности) в защитном действии пребывания вне помещения на детскую миопию. Наши результаты показывают, что пребывание вне помещения менее 60 минут в день под воздействием естественного освещения может увеличить риск развития миопии, и что для защиты от развития миопии требуется воздействие естественного света около двух часов в день. Хотя эти данные подтверждают важную роль естественного освещения в защите от развития миопии, необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить оптимальную схему воздействия естественного света для защиты от миопии, т.е. его продолжительность, частоту и время суток, а также чтобы понять, воздействуют ли одни длины волн эффективнее других.

Экспериментальные исследования миопии на животных также подтверждают защитную роль естественного освещения. Было показано, что воздействие яркого света предотвращает развитие экспериментально вызванной миопии у животных.[42,43] Эти исследования также показывают, что механизм, лежащий в основе защитного действия естественного света на миопию, включает индуцированное светом высвобождение дофамина сетчатки (нейротрансмиттера, ингибирующего рост глаза), поскольку препараты, которые блокируют действие дофамина, также, по-видимому, блокируют защитное влияние яркого света на экспериментально индуцированную миопию у животных.[44] Исследования на животных также показывают, что защитный эффект яркого света на развитие миопии не требует воздействия ультрафиолетового света (УФ), поскольку яркий свет, не имеющий световых лучей ультрафиолетового спектра, все равно защищает от развития экспериментально вызванной миопии.[42]

В нашем исследовании воздействия света на детей в Австралии использовались одинаковые стратегии защиты от ультрафиолетового излучения (ношение головных уборов с козырьком и солнцезащитных очков) для детей с миопией и без миопии, и разницы в использовании или не использовании этих средств УФ-защиты в отношении осевого роста глаза не было обнаружено. С клинической точки зрения это говорит о том, что все же следует поощрять детей пользоваться под открытым небом средствами УФ-защиты. Измеренные нами уровни освещенности под открытым небом настолько высоки, что даже при ношении головных уборов с козырьком и солнцезащитных очков

интенсивность наружного освещения по-прежнему существенно выше, чем интенсивность освещения в помещениях, и поэтому пребывание вне помещения полезно.

МИОПИЯ И ГОРОДСКАЯ СРЕДА

Исследования детской миопии однозначно показывают, что распространенность миопии значительно выше у детей, проживающих в городских районах, по сравнению с детьми, проживающими в сельской местности.[45,46] Популяционное исследование китайских школьников подросткового возраста[44] сообщает о 55% распространенности миопии среди детей в городских районах по сравнению с 33% среди детей сельской местности. Имеются также данные о том, что миопия в Китае быстрее прогрессирует у детей в городских условиях,[45,47] чем у детей в сельских районах; прогрессирование миопии в сельской местности примерно в два раза медленнее, чем в городах[45]. Хотя различия в характере распространенности и прогрессирования миопии между городскими и сельскими регионами могут быть обусловлены различиями между регионами в объеме зрительной работы вблизи и/или активности под открытом небом, существует также вероятность того, что дополнительные факторы окружающей среды, связанные с городской средой проживания, могут еще больше увеличивать риск миопии в городах.

В работе Zhang et al[48] изучались факторы, связанные с миопией у детей в городских и сельских районах Китая, и было обнаружено, что плотность населения в районах проживания сильно связана с большей распространенностью миопии, и эта связь, по-видимому, не зависела от работы на близком расстоянии и активности под открытом небом. Проведенное в Сиднее исследование миопии дало аналогичный результат. Оно также выявило связь между плотностью населения и миопией; при этом дети, живущие во внутренних районах города, имеют в 2,2 раза больший риск развития миопии, чем дети, живущие в пригородных зонах.[49] Данные этого исследования также указывают на значительную связь между типом жилья и миопией. Среди детей, проживающих в городских квартирах, миопия была распространена гораздо выше, чем среди детей, проживающих в отдельных домах и домах с террасами (после корректировки на учет таких факторов, как этническая принадлежность, работа на близком расстоянии и активность вне помещения). В работе Choi et al[50] (1075 детей, проживающих в Гонконге) также обнаружена достоверная связь между плотностью населения и миопией, проявляющаяся в увеличении аксиальной длины и росте миопической рефракционной ошибки с увеличением плотности населения.

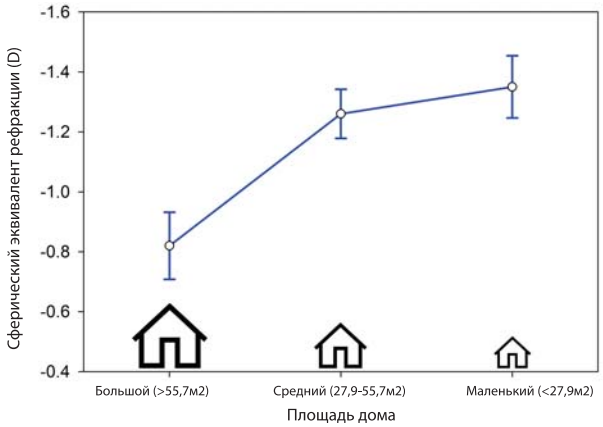


Рисунок 4: Связь размера дома и сферического эквивалента рефракционной ошибки у детей, живущих в Гонконге.[50]

Интересно, что осевая длина и сферический эквивалент рефракционной ошибки также были в значительной степени связаны с размером дома: дети, проживающие в небольших домах, имели значительно большую аксиальную длину и рефракционную ошибку по сравнению с детьми, проживающими в более просторных домах (рис.4). Было высказано предположение, что эта связь может быть обусловлена повышенной вероятностью воздействия гиперметропического размытия изображения при проживании в ограниченном пространстве небольших домов.

«Очень вероятно, что именно взаимодействие различных факторов окружающей среды (в совокупности с генетическим фактором) в конечном итоге приводит к развитию миопии в человеческом глазу»

Хотя эти исследования показывают, что факторы, связанные с городской средой, по-видимому, сказываются на повышенном риске развития миопии (независимо от работы вблизи и активности вне помещения), важно отметить, что большинство исследований были кросс-секционными, и поэтому причинно-следственная связь между этими факторами и развитием и прогрессированием миопии еще предстоит установить. Для лучшего понимания этих связей необходимы продольные исследования, в которых факторы окружающей среды и активности детей всестороннее оценивались бы количественно. Дальнейшие исследования также необходимы для понимания механизмов, лежащих в основе этих связей, и для более точного определения конкретных элементов городской среды, влияющих на развитие миопии. Полученные данные, по-видимому, позволят в будущем изменить проектирование городов и домов так, чтобы ограничить влияние городской среды обитания на миопию.

ВЫВОДЫ

В этой статье представлены доказательства влияния трех основных факторов окружающей среды на развитие миопии у детей. Мы обсудили, что более высокий уровень образования, более высокая степень урбанизации и более низкий уровень активности вне помещения связаны с повышенным риском развития миопии в детском возрасте. Сложность зрительной системы и процесса регулирования роста глаз означает, что с большой вероятностью именно взаимодействие различных факторов окружающей среды (в совокупности с генетическим фактором) в конечном итоге приводит к развитию миопии в человеческом глазу. Лучшее понимание основных факторов окружающей среды (в частности, благодаря исследованиям, использующим технологические разработки, позволяющие проводить детальный объективный мониторинг

работы вблизи и активности вне помещения), а также их влияния на рост глаз, достигнутое в результате проведения новых исследований, вероятно, приведет к выработке новых правил поведения и норм общественного здравоохранения, направленных на более эффективную защиту от развития и прогрессирования миопии. Основываясь на имеющихся данных, можно сказать, что из основных обсужденных выше факторов окружающей среды наиболее легко можно изменить длительность пребывания детей под открытым небом. Увеличение времени пребывания вне помещения до ~2 часов в день (с использованием защиты от ультрафиолетового излучения) может оказать положительное влияние на замедление развития миопии.

Профессор **Скот Рид** (Scott Read) – директор по исследованиям Школы оптометрии и науки о зрении Технологического университета Квинсленда. После присвоения докторской степени в 2006 году за работу по изучению нормальной топографии роговицы и астигматизма в популяции профессор Рид занимал различные исследовательские и академические должности. Он опубликовал более 60 рецензированных научных работ, большинство из которых посвящено миопии.

Ссылки

1. Morgan IG, Rose KA. How genetic is school myopia? Prog Retin Eye Res. 2005; 24: 1-38.
2. Cohn H. Handbook of the hygiene of the eye. Vienna and Leipzig: Urban & Schwarzenegger, 1892.
3. Au Eong KG, Tay TH, Lim MK. Education and myopia in 110,236 young Singaporean males. Singapore Med J. 1993; 34: 489-492.
4. Verhoeven VJM, et al. Education influences the role of genetics in myopia. Eur J Epidemiol. 2013; 28: 973-980.
5. Mirshahi A et al. Myopia and level of education. Results from the Gutenberg health study. Ophthalmology. 2014; 121: 2047-2052.
6. Williams KM et al. Increasing prevalence of myopia in Europe and the impact of education. Ophthalmology. 2015; 122: 1489-1497.
7. Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Jones LA, Zadnik K. Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2002; 43: 3633-3640.
8. Saw SM et al. School grades and myopia. Ophthalmic Physiol Opt. 2007; 27: 126-129.
9. Quek TPL et al. Prevalence of refractive errors in teenage high school students in Singapore. Ophthalmic Physiol Opt. 2004; 24: 47-55.
10. O'Donohue L et al. Risk factors for childhood myopia: Findings from the NICER study. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015; 56: 1524-1530.
11. Morgan IG, Rose KA. Myopia and international educational performance. Ophthalmic Physiol Opt. 2013; 33: 329-338.
12. Buehren T, Collins MJ, Carney LG. Near work induced wavefront aberrations in myopia. Vision Res. 2005; 45: 1297-1312.
13. Collins MJ, Buehren T, Iskander DR. Retinal image quality, reading and myopia. Vision Res. 2006; 46: 196-215.
14. Schmid KL, Strang NC. Differences in the accommodation stimulus response curves of adult myopes and emmetropes: A summary and update. Ophthalmic Physiol Opt. 2015; 35: 613-621.
15. Wallman J, Winnawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. Neuron. 2004; 43: 447-468.
16. Woodman EC et al. Axial elongation following prolonged near work in myopes and emmetropes. Br J Ophthalmol. 2011; 95: 652-656.
17. Woodman EC, Read SA, Collins MJ. Axial length and choroidal thickness changes accompanying prolonged accommodation in myopes and emmetropes. Vision Res. 2012; 72: 34-41.
18. Woodman-Pieterse EC, Read SA, Collins MJ, AlonsoCaneiro D. Regional changes in choroidal thickness associated with accommodation. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015; 56: 6414-6422.
19. Nickla DL, Wallman J. The multifunctional choroid. Prog Retin Eye Res. 2010; 29: 144-168.
20. Read SA, Alonso-Caneiro S, Vincent SJ, Collins MJ. Longitudinal changes in choroidal thickness and eye growth in childhood. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015; 56: 3103-3112.
21. Mutti DO, Zadnik K. Has near work's star fallen? Optom Vis Sci. 2009; 86: 76-78.
22. Hepsen IF, Evereklioglu C, Bayramlar H. The effect of reading and near work on the development of myopia in emmetropic boys: A prospective, controlled, three-year follow-up study. Vision Res. 2001; 41:2511-2520.
23. Guo Y et al. Outdoor activity and myopia among primary students in rural and urban regions of Beijing. Ophthalmology. 2013; 120: 277-283.
24. Saw SM et al. A cohort study of incident myopia in Singaporean children. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2006; 47: 1839-1844.
25. Jones LA, Sinnott LT, Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Zadnik K. Parental history of myopia, sports and outdoor activities, and future myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2007; 48: 3524-3532.
26. Lu B et al. Associations between near work, outdoor activity, and myopia among adolescent students in rural China: The Xichang Pediatric Refractive Error Study report no. 2. Arch Ophthalmol. 2009; 127: 769-775.
27. Lan W et al. Association between risk factors and refractive error: A quantification analysis based on big data technology. Presented at the 16th International Myopia Conference, Birmingham, United Kingdom, September 2017
28. Sherwin JC, Reacher MH, Keogh RH, Khawaja AP, Mackey DA, Foster PJ. The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. Ophthalmology. 2012;119:2141-2151.
29. Rose KA et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. Ophthalmology 2008; 115: 1279-1285.
30. Guggenheim JA et al. Time outdoors and physical activity as predictors of incident myopia in childhood: A prospective cohort study. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2012; 53: 2856-2865.
31. French AN, Morgan IG, Mitchell P, Rose KA. Risk factors for incident myopia in Australian schoolchildren: The Sydney adolescent vascular and eye study. Ophthalmology. 2013; 120: 2100-2108.
32. Jones-Jordan LA et al. Time outdoors, visual activity and myopia progression in juvenile-onset myopes. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2007; 48: 3524-3532.
33. Li SM et al. Time outdoors and myopia progression over 2 years in Chinese children: The Anyang childhood eye study. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015; 56: 4734-4740.
34. Pärssinen O, Kauppinen M, Viljanen A. The progression of myopia from its onset at age 8-12 to adulthood and the influence of heredity and external factors on myopic progression. A 23-year follow-up study. Acta Ophthalmol. 2014; 92: 730-739.
35. Guo Y et al. Outdoor activity and myopia progression in 4-year follow-up of Chinese primary school children: The Beijing children eye study. PLoS One. 2017; 12:e0175921.
36. Donovan L et al. Myopia progression in Chinese children is slower in summer than in winter. Optom Vis Sci. 2012; 89: 1196-1202.
37. Gwiazda J, Deng L, Manny R, Norton TT. Seasonal variations in the progression of myopia in children enrolled in the correction of myopia evaluation trial. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014; 55: 752-758.
38. Wu P-C, Tsai C-L, Wu H-L, Yang Y-H, Kuo H-K. Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in schoolchildren. Ophthalmology. 2013;120:1080-1085.
39. He M, Xiang F, Zeng Y, Mai J, Chen Q, Zhang J, Smith W, Rose K, Morgan IG. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: A randomized clinical trial. JAMA. 2015;15:1142-1148.
40. Wu P-C. Myopia prevention in a multi-cluster randomized school-based intervention program (ROC711) in Taiwan. Presented at the 16th International Myopia Conference, Birmingham, United Kingdom, September 2017
41. Read SA, Collins MJ, Vincent SJ. Light exposure and eye growth in childhood. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015; 56: 6779-6787
42. Ashby R, Ohlendorf A, Schaeffel F. The effect of ambient illuminance on the development of deprivation myopia in chicks. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009;50:5348–5354.
43. Karouta C, Ashby RS. Correlation between light levels and the development of deprivation myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014; 56:299-309.
44. Ashby R, Schaeffel F. The effect of bright light on lens compensation in chicks. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2010; 51: 5247-53.
45. He M, Zheng Y, Ziang F. Prevalence of myopia in urban and rural children in mainland China. Optom Vis Sci. 2009; 86: 40-44.
46. He M, Huang W, Zheng Y, Huang L, Ellwein LB. Refractive error and visual impairment in school children in rural southern china. Ophthalmology. 2007; 114: 374-382.
47. Shih Y-F, Chiang T-H, Hsiao CK, Chen C-J, Hung P-T, Lin LL-K. Comparing myopic progression of urban and rural Taiwanese schoolchildren. Jpn J Ophthalmol. 2010; 54: 446-451.
48. Zhang M et al. Population density and refractive error among Chinese children. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2010; 51: 4969-4976.
49. Ip JM, Rose KA, Morgan IG, Burlutsky G, Mitchell P. Myopia and the urban environment: findings in a sample of 12-year-ol Australian school children. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2008; 49: 3858-3863.
50. Choi KY et al. Childhood exposure to constricted living space: a possible environmental threat for myopia development. Ophthalmic Physiol Opt. 2017; 37: 568-575