

УДК 617.726-009.17: 617.753.2

К вопросу о влиянии аккомодации и аккомодационных нарушений на процесс формирования и прогрессирования миопии (обзор литературы)

А.В. Мягков, доктор медицинских наук, профессор, директор;

П.Б. Карамышев, врач-офтальмолог, преподаватель.

НОЧУ ДПО «Академия медицинской оптики и оптометрии»,

Российская федерация, 125438, Москва, ул. Михалковская, д. 63Б, стр. 4.

Для цитирования: Мягков А.В., Карамышев П.Б. К вопросу о влиянии аккомодации и аккомодационных нарушений на процесс формирования и прогрессирования миопии (обзор литературы). The EYE ГЛАЗ. 2020;1:34-43.

DOI: 10.33791/2222-4408-2020-1-34-43

Цель. Проанализировать отечественные и зарубежные научные публикации за последние 5 лет, отражающие вопросы аккомодации и аккомодационных нарушений. Оценить наличие или отсутствие изменений в вопросе классификации аккомодационных нарушений. Оценить роль различных аккомодационных нарушений в процессе развития и прогрессирования миопии.

Актуальность. С учетом значительного увеличения количества людей с миопией за последние десятилетия вновь возрос интерес к изучению аккомодации и аккомодационных нарушений. Связано это не только с тем, что аккомодационная недостаточность (слабость аккомодации, accommodation insufficiency, AI) считается одним из ведущих факторов формирования близорукости, но и с тем, что использование того или иного способа контроля прогрессирования близорукости различным образом воздействует на процесс аккомодации, увеличивая или снижая запасы аккомодации, влияя на работу бинокулярной системы.

Новые разработки в области визуализации внутриглазных структур (Anterior segment imaging by OCT, Scheimpflug imaging, UBM) позволяют проводить ранее невозможные исследования изменений хрусталика, цилиарного тела на разных уровнях аккомодационного ответа, в разных возрастных группах в режиме *in vivo*, что уже сказывается на формировании и апробации новых концепций в вопросе механизма аккомодации.

Таким образом, динамика происходящих изменений диктует офтальмологам условия, которые требуют взглянуть по-новому на уже устоявшиеся концепции механизма аккомодации, оценить состоятельность ранее принятых подходов в классификации аккомодационных нарушений, что может повлиять на изменения в тактике контроля прогрессирования близорукости в момент, когда миопизация населения (и особенно детского возраста) ускоряется с каждым днем.

Нашей задачей явился анализ за последние 5 лет научных отечественных и зарубежных публикаций, отражающих результаты исследований механизма аккомодации, влияния аккомодационных нарушений на прогрессирование близорукости; мы также попытались оценить перспективу создания единой классификации аккомодационных нарушений, возможности формирования единого алгоритма контроля прогрессирования миопии на основе параметров аккомодации на сегодняшний день.

Стратегия поиска. Был проведен обзор англо- и русскоязычных источников, связанных с изучением механизма аккомодации, влияния аккомодационных нарушений на прогрессирование миопии и их классификации с использованием следующих баз данных: PubMed, Cyberleninka, Google scholar, Elibrary. Глубина поиска составляла 5 лет (2014-2019 гг.), за исключением исторических источников. В поиск были включены:

- оригинальные исследования;
- исторические и отсканированные публикации;
- исследования /описания аккомодационных нарушений и их связи с миопией;
- абстракты и полнотекстовые публикации;
- литературные обзоры;
- монографии.

Критериями исключения являлись:

- тематические публикации с закрытым или ограниченным доступом.

В процессе поиска и обработки информации полученные данные не систематизировались по уровню достоверности в связи с тем, что целью обзора является получение общего представления о взглядах на указанную проблематику, оценка наличия или отсутствия единства в формировании диагностических критериев без задачи формирования практических рекомендаций.

Для поиска в базах данных были созданы следующие поисковые запросы:

1) англоязычные источники – mechanism of accommodation, accommodation AND history issue, accommodation AND Helmholtz AND Tscherning, accommodation AND myopia, accommodation AND myopia control AND myopia progression, accommodation disorders OR accommodation anomalies, accommodative excess AND accommodative infacility AND accommodative insufficiency, epidemiology myopia AND etiology myopia, near work AND myopia AND children;

2) русскоязычные источники – история изучения аккомодации, механизм аккомодации, классификация аккомодационных нарушений, аккомодация, аккомодационные нарушения при близорукости, аккомодация и прогрессирование близорукости, слабость аккомодации, привычно-избыточное напряжение аккомодации, прогрессирующая близорукость, контроль миопии.

Ключевые слова: аккомодация, аккомодационные нарушения, слабость аккомодации, привычно-избыточное напряжение аккомодации, прогрессирующая близорукость, контроль миопии.

Revisiting the influence of accommodation and accommodation disorders on the process of development and progression of myopia (literature review)

A.V. Myagkov, Med.Sc.D., Professor, Director;

P.B. Karamyshev, Ophthalmologist, Lecturer.

Non-State Educational Private Institution of Continuing Professional Education «Academy of Medical Optics and Optometry», 63B, bld. 4 Mikhalkovskaya St., Moscow, 125438, Russian Federation.

For citations: Myagkov A.V., Karamyshev P.B. Revisiting the influence of accommodation and accommodation disorders on the process of development and progression of myopia (literature review). The EYE GLAZ. 2020;1:34-43.

DOI: 10.33791/2222-4408-2020-1-34-43

Purpose. To analyze domestic and foreign scientific publications over the past 5 years, reflecting the issues of accommodation and accommodation disorders. To assess the presence or absence of changes in the classification of accommodation disorders. To evaluate the role of various accommodation disorders in the development and progression of myopia.

Relevance. Given the significant increase in the number of people with myopia in recent decades, interest in the study of accommodation and accommodation disorders has increased again. This is due not only to the fact that accommodative insufficiency (AI, weak accommodation), is considered one of the leading factors in the development of myopia, but also because the use of one or another method of myopia control affects the process of accommodation, increasing or reducing accommodation reserves, affecting the functioning of the binocular system.

New developments in the field of visualization of intraocular structures (anterior segment imaging by OCT, Scheimpflug imaging, UBM) allows carry out previously impossible studies of changes in the crystalline lens, ciliary body, at different levels of accommodation response, in different age groups in vivo, which itself affects the development and testing of new concepts related to the mechanism of the accommodation.

Thus, the dynamics of the changes that are taking place motivates ophthalmologists to take a fresh look at the already established concepts of the accommodation mechanism, to assess the consistency of previously adopted approaches to the classification of accommodation disorders, which in turn can affect changes in the tactics of myopia control, which is especially crucial as myopization of the population, especially in children, is accelerating every day.

Our task was to evaluate domestic and foreign scientific publications over the past 5 years, reflecting the results of studies of the accommodation mechanism, assessing the influence of accommodation disorders on the progression of myopia. The task was also to assess the prospect of creating a unified classification of accommodative disturbances, the ability to create a unified algorithm for controlling progression, based on accommodation parameters.

Search strategy. A review of English and Russian sources related to the study of the mechanism of accommodation

was conducted; the effect of accommodation disorders on the progression of myopia and their classification was studied using the following databases: PubMed, Cyberleninka, Google scholar, Elibrary. The search depth was 5 years (2014-2019), excluding the historical sources. The sources included:

- original research;
- historical issue, scanned publications;
- studies / descriptions of accommodation disorders and their relationship with myopia;
- abstracts and full-text publications;
- literary reviews;
- monographies.

The exclusion criteria were:

- themed issues with closed or restricted access.

During the process of searching and processing information, the data obtained were not systematized according to the level of reliability due to the fact that the purpose of the review is to obtain a general idea of the views on this issue, assess the presence or absence of unity in the formation of diagnostic criteria, without the task of suggesting practical recommendations.

The following search queries were made to search the databases:

1) english-language sources – mechanism of accommodation, accommodation AND history issue, accommodation AND Helmholtz AND Tsherning, accommodation AND myopia, accommodation AND myopia control AND myopia progression, accommodation disorders OR accommodation anomalies, accommodative excess AND accommodative infacility AND accommodative insufficiency, epidemiology myopia AND etiology myopia, near work AND myopia AND children;

2) russian-language sources – the history of the study of accommodation, the mechanism of accommodation, classification of accommodation disorders, accommodation, accommodation disorders with myopia, accommodation and the progression of myopia, weakness of accommodation, habitual excess tension of accommodation; progressive myopia, myopia control.

Keywords: accommodation, accommodation disorders, accommodation weakness, habitually excessive accommodation stress, progressive myopia, myopia control.

Изменились ли взгляды на механизм аккомодации?

Механизм аккомодации был одним из наиболее изученных аспектов физиологии органа зрения за последние два столетия. Явление аккомодации, как сообщали некоторые авторы [1], впервые было продемонстрировано Шейнером в 1619 году

с использованием двойного отверстия, когда две разноудаленные от глаза наблюдателя цели не оказывались одновременно в фокусе. Одна из целей была четкая, другая размытая, и наоборот. Этот классический эксперимент показал, что нормальный человеческий глаз не может одновременно фокусироваться на ближней и удаленной цели.

Смена фокуса необходима, чтобы видеть объекты на разных расстояниях. По публикациям Атчисона и Чармана [2], шотландский офтальмолог Уильям Поттерфилд впервые в 1738 году применил термин «аккомодация» (с лат. «приспособление») для объяснения механизма фокусировки глаза при взгляде на объект, удаленный на разные расстояния. Это событие можно назвать отправной точкой изучения аккомодации, которое не прекращается уже несколько столетий.

В истории изучения аккомодации существовали и существуют различные предположения относительно анатомических структур и физиологических процессов, которые лежат в основе способности глаза регулировать фокусировку, чтобы видеть объекты на разных расстояниях. Учитывая, что кривизна роговицы составляет более 75% преломляющей силы человеческого глаза, согласно данным Атчисона и Смита [3], ранее считалось, что изменение кривизны роговицы может объяснить эту способность к фокусировке. Вплоть до 1801 года, когда английский ученый и исследователь Томас Янг (Young) выступил перед Королевским обществом со своим докладом Bakerian lecture «On the mechanism of the eye» [4], в котором рассказал про проведенное им исследование с использованием «фигурок Пуркинье № 1» для попытки оценить изменение кривизны роговицы в момент аккомодационного напряжения. Вопреки ожиданиям Young получил отрицательные результаты, что позволило опровергнуть ранее предложенную теорию аккомодации. Позже были обнаружены данные о том, что хрусталик смещается в переднезаднем направлении во время аккомодации, данное заключение было приписано Мюллеру, когда он первым описал круговую мышцу радужной оболочки в 1854 году [5].

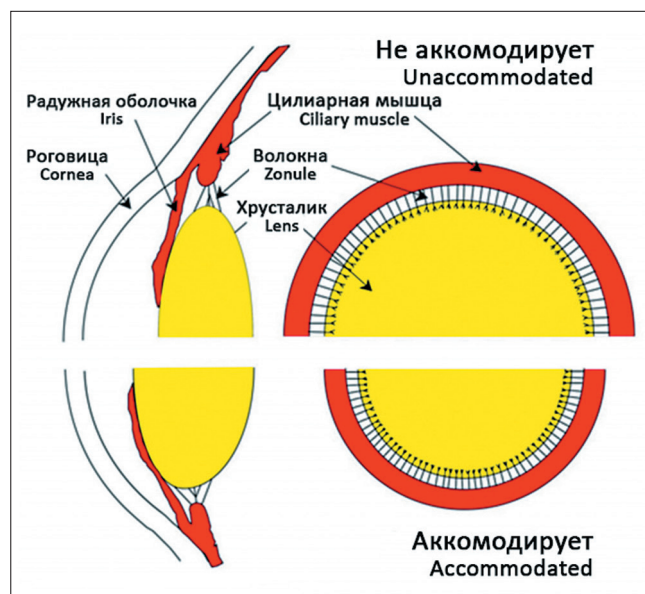


Рис. 1. Традиционное представление «релаксационной теории» Гельмгольца (по А. Glasser)

Fig. 1. The traditional representation of Helmholtz's "relaxation theory" (by A. Glasser)

Еще до того, как Поттерфилд ввел термин «аккомодация» (1738), Декарт (1633) предположил [6], что изменения в преломляющей способности и форме хрусталика могут быть причиной, позволяющей человеческому глазу видеть объекты на разных расстояниях. Подобные предположения говорят нам, что исследователи того времени были схожи во мнениях о хрусталике, что он напрямую связан с процессом аккомодации. В поддержку подобной теории Янг указал в одном из своих докладов, что аккомодация отсутствовала в афакичном глазу [4].

Идея о том, что основой механизма аккомодации является изменение оптической силы хрусталика, в дальнейшем нашла свое отражение во всех созданных в последующие годы фундаментальных гипотезах, некоторые из которых актуальны и по сей день. Одну из первых таких развернутых теорий выдвинул Крамер (1853) – так называемую витреальную теорию аккомодации [7]. Он предположил, что сокращение цилиарной мышцы приводит к сдавлению стекловидного тела, которое, в свою очередь, оказывает давление на заднюю капсулу хрусталика и смещает его в переднем направлении, где встречается сопротивление со стороны радужной оболочки, и от оказываемого давления в проекции зрачка формируется выпячивание, что и меняет оптическую силу хрусталика. Данная теория была опровергнута после выявления аккомодации у пациента с аниридией, но она позволила подтвердить идею участия хрусталика в аккомодации. Спустя несколько лет в 1855 году немецким офтальмологом Германом фон Гельмгольцем [8] была выдвинута «релаксационная теория аккомодации», в которой механизм аккомодации осуществляется комплексом «цилиарная мышца - зонулярные волокна - хрусталик» (рис. 1).

Гельмгольц отметил, что при взгляде на объект вблизи происходит сужение зрачка, напряжение цилиарной мышцы и увеличение переднезаднего размера хрусталика, усиливающее его оптическую силу, а при взгляде вдаль совершается обратный процесс и за счет натяжения зонулярных волокон, прикрепленных к капсуле хрусталика, происходит его уплощение. Гельмгольц также считал, что есть два активных состояния в механизме аккомодации: напряжение связочного аппарата хрусталика, что соответствует дезаккомодации («покою» аккомодации) и ослабление связок, что соответствует аккомодации для близи (напряжение аккомодации). Данная гипотеза стала «прорывом» своего времени, так как максимально точно и логично описывала весь механизм аккомодации, и позднее нашла поддержку в научных трудах множества исследователей. Лишь в конце 19-го столетия, в 1899 году, Мариус Чернинг [9] предложил теорию, прямо противоположную теории «релаксации» Гельмгольца. Механизм аккомодации рассматривался как процесс, при котором происходит увеличение диаметра хрусталика в момент аккомодации для близи с формированием выпячивания в центральной зоне за счет эластических свойств хрусталика и создания равномерного натяжения капсулы цинновой связкой по экватору,

что приводит к уменьшению переднезаднего размера по периферии. Связывал он этот механизм с эластическими свойствами коры и собственного вещества хрусталика. Подобное направление тоже нашло своих приверженцев в офтальмологическом обществе. С того момента большая часть публикаций или поддерживает, или опровергает одну из двух представленных теорий [10]. Благодаря техническому прогрессу 20-го столетия и внедрению в офтальмологическую практику ультразвуковой диагностики внутриглазных структур стало возможным подтвердить теорию Гельмгольца.

Справедливости ради стоит упомянуть несколько «нашумевших» гипотез. Одну из них, так называемую унифицированную теорию аккомодации, или гидравлическую теорию аккомодации, предложил Коулман (1970) [11], который попытался объединить разнонаправленные механизмы аккомодации теорий Гельмгольца и Чернинга и тем самым минимизировать дискуссии по поводу правоты каждой из них. Но Мартин (2005) с соавторами [12], используя метод конечных элементов (МКЭ), продемонстрировали, что состоятельной является лишь часть гипотезы, соответствующая заключениям Гельмгольца. Вторую, альтернативную теорию аккомодации предложил Рональд Шахар (1992) – сокращение цилиарной мышцы приводит к увеличению натяжения экваториальных зональных волокон, что усиливает преломляющую способность хрусталика в центре, увеличивается переднезадний размер хрусталика с уплощением периферических отделов (рис. 2) [13, 14].

Согласно теории Шахара, экватор хрусталика при аккомодации тянется к склере из-за усиления экваториального растяжения [13, 14]. Эта позиция не нашла подтверждения в работах Глассера и Кауфмана [2], которые выполнили эксперименты *in vivo*, используя различные средства стимуляции аккомодации у приматов, и показали, что экватор хрусталика во время аккомодации отходит от склеры, а не к ней.

Отечественные офтальмологии тоже принимали и принимают активное, если не основное, участие в изучении вопроса аккомодации. Среди пред-

ставителей российской офтальмологии есть как последователи «релаксационной теории» Гельмгольца (Шаповалов С.Л., Волков В.В., Страхов В.В. и др.), так и теории Чернинга (Золотарев А.В., Крушельницкий А.В. и др.). А российские ученые в области биоинженерии по праву считаются одними из ведущих в разработках биомеханических моделей глаза. Одна из последних таких работ выполнена совместно с офтальмологами [15], созданная при этом путем математического моделирования 3D модель глаза (рис. 3) максимально точно с учетом имеющихся на сегодняшний день параметров отражает в той или иной степени состоятельность [16-19] практически всех ранее предложенных теорий аккомодации (Гельмгольца, Гульстрада, Плюфг - Чернинга, Шахара и др.).

Данное заключение вновь активизирует дискуссии и заставляет искать новые методики и подходы в области изучения интраокулярных процессов.

Как мы можем заметить, несмотря на полутора-вековую историю активного изучения аккомодации, несмотря на технический прогресс и развитие возможности визуализации глубинных структур *in vivo* (Shempflug imaging, AC OCT, UBM), мы еще далеки от единого, истинного понимания процесса аккомодации, что лишний раз подтверждает индивидуальность и уникальность этого природного механизма.

Приверженность традициям или поиск нового? Аккомодационные нарушения и их классификация

Если есть различные взгляды на механизм аккомодации, то существует ли единая классификация аккомодационных нарушений? Особенно учитывая то, что аккомодационную недостаточность (слабость аккомодации) считают одним из предикторов миопии и факторов, влияющих на ее прогрессирование, что неоднократно подтверждалось в научных исследованиях [20-26].

Для ответа на этот вопрос необходимо провести краткий исторический анализ. Одним из первых вопросом влияния аккомодации на зрительные

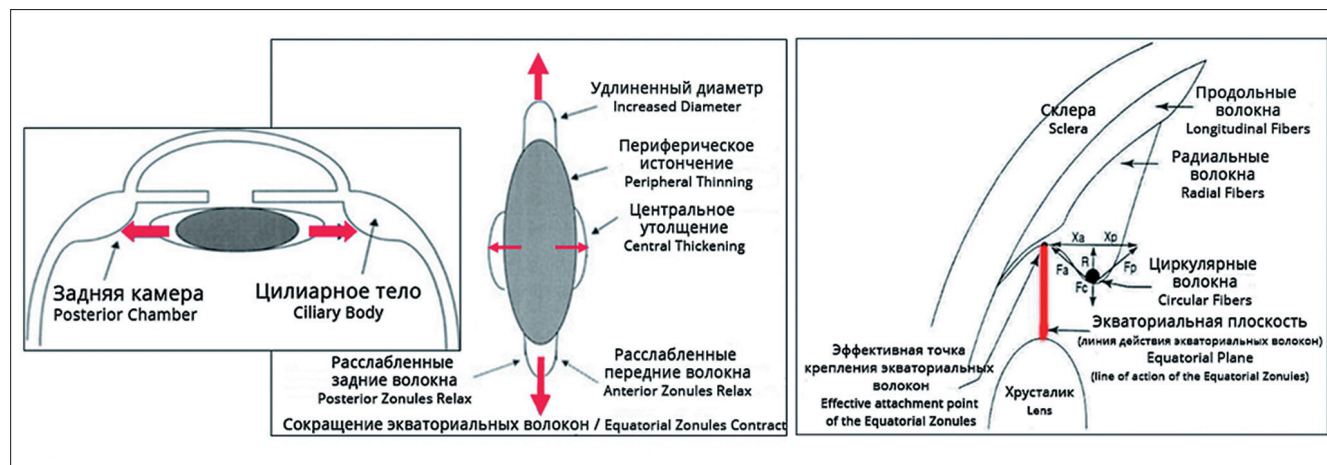


Рис. 2. Механизм аккомодации по R.A. Schachar
Fig. 2. Mechanism of accommodation by R.A. Schachar

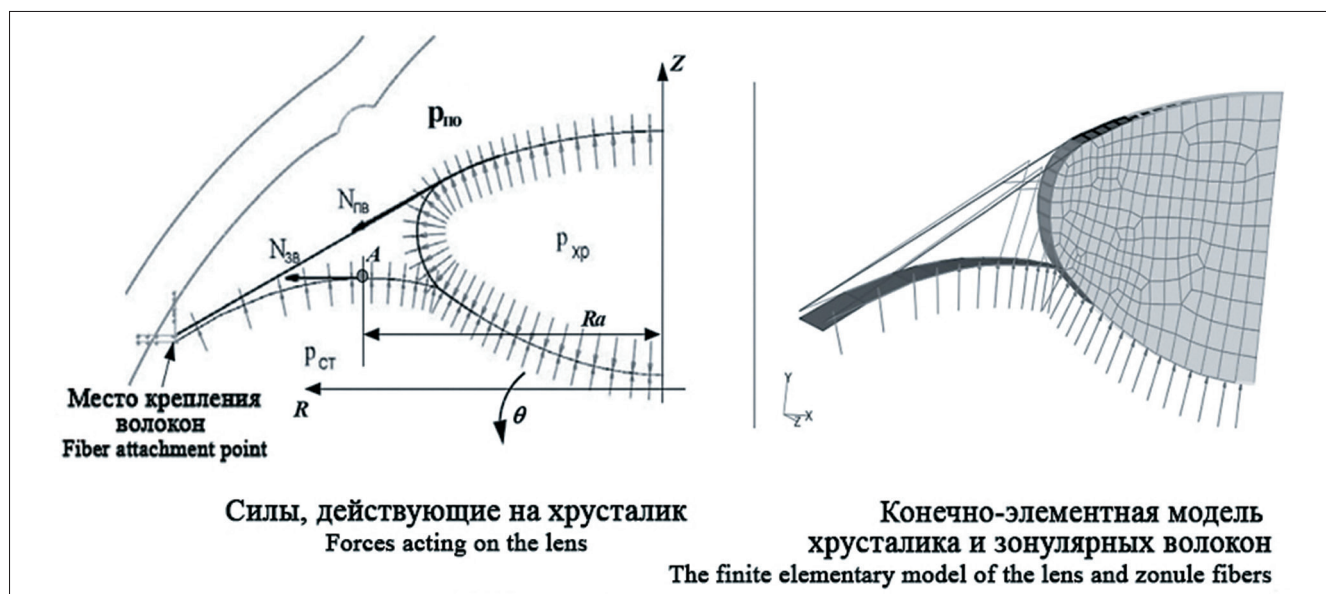


Рис. 3. Схема закрепления хрусталика в глазу по результатам конечно-элементных расчетов

Fig. 3. Crystalline lens in the eye as per finite element calculations

функции и уровень аккомодации в различных возрастных группах в начале 20-го века заинтересовался американский офтальмолог Александр Дуэйн (1858-1926) [27]. Он обратил внимание на строгую корреляцию между возрастом пациента, функциональным состоянием глаза и амплитудой аккомодации (табл. 1). Подробное изучение этого вопроса привело к первой попытке систематизации выявленных аккомодационных аномалий, что и было опубликовано в его работе в 1915 году [28] и послужило отправной точкой дальнейшего детального изучения этого вопроса и формирования одной из первых классификаций аккомодационных нарушений.

Классификация включала следующие патологические состояния: аккомодационную недостаточность (**accommodative insufficiency**), чрезмерную аккомодацию (**accommodative excess**), аккомодационную неспособность (**accommodative infacility**) [22, 29]. Данная классификация не претерпела фундаментальных изменений и по настоящее время широко используется зарубежными офтальмологами [22, 30, 31] в научных исследованиях, так как она максимально просто и точно отражает основные аккомодационные нарушения.

Российские офтальмологи по большей части ориентируются на классификацию, предложенную в 2012 году Экспертным советом по аккомодации и рефракции (ЭСАР, ESAR) [22], объединяющую результаты фундаментальных исследований отечественных офтальмологов (Роземблума Ю.З., Аветисова Э.С., Шоповалова С.Л., Волкова В.В., Сомова Е.Е. и др.). Классификация выглядит следующим образом: спазм аккомодации; привычно-избыточное напряжение аккомодации (ПИНА); парез (паралич) аккомодации; слабость аккомодации; аккомодационная астенопия; нарушения аккомодации после рефракционных операций [20, 23, 29]. Не составит труда

заметить различия в представленных классификациях. Основа различия заключается в более детальной структуризации аккомодационных нарушений отечественными офтальмологами. Так, например, ПИНА (привычное избыточное напряжение аккомодации), описанное профессором Е.Е. Сомовым (1993), считается одним из главных предикторов миопии и выделяется в отдельное состояние. Но если мы проанализируем диагностические критерии выявления ПИНА, зачастую субъективные, и сравним с таковыми в зарубежной литературе, то обнаружим, что это состояние подходит под диагностические критерии чрезмерной аккомодации (АЕ) [20, 24, 30]. ПИНА как изолированное состояние аккомодации часто фигурирует в научных трудах отечественных офтальмологов, в патентах (табл. 2) [32], в разработанных методиках лечения [33].

Данное состояние учитывается и принимается во внимание не всеми специалистами в нашей стране, так как для его выявления зачастую применяются субъективные методы диагностики нарушений аккомодации и получаемый результат зависит от множества сторонних и порой неконтролируемых внешних факторов [29-31].

Обращает на себя внимание и тот факт, что как у зарубежных специалистов, так и у российских офтальмологов есть возможность работать с предлагаемыми классификациями различных вариаций, но при этом единых рекомендаций или общепринятых стандартов как таковых нет. Например, в нашей стране существуют Федеральные клинические рекомендации «Диагностика и лечение близорукости у детей» от 19 декабря 2013 года [20], на которых строится работа офтальмологов, но, как сказано выше, в них даны лишь общие понятия без конкретной систематизации. Это говорит о том, что данные, полученные различными специалистами в нашей стране, будет трудно систематизировать, поскольку

Таблица 1. Аккомодация в различном возрасте
Table 1. Accommodation at various ages

Возраст Age	Аккомодация / Accomodation		
	минимальное значение minimum	среднее значение mean	максимальное значение maximum
8	11,6	13,8	16,1
9	11,4	13,6	15,9
10	11,1	13,4	15,7
11	10,9	13,2	15,5
12	10,7	12,9	15,2
13	10,5	12,7	15
14	10,3	12,5	14,8
15	10,1	12,3	14,5
16	9,8	12	14,3
17	9,6	11,8	14,1
18	9,4	11,6	13,9
19	9,2	11,4	13,6
20	8,9	11,1	13,4
21	8,7	10,9	13,1
22	8,5	10,7	12,9
23	8,3	10,5	12,6
24	8	10,2	12,4
25	7,8	9,9	12,2
26	7,5	9,7	11,9
27	7,2	9,5	11,6
28	7	9,2	11,3
29	6,8	9	11
30	6,5	8,7	10,8
31	6,2	8,4	10,5
32	6	8,1	10,2
33	5,8	7,9	9,8
34	5,5	7,6	9,5

35	5,2	7,3	9,3
36	4,9	7	9
37	4,5	6,7	8,8
38	4,1	6,4	8,5
39	3,7	6,1	8,2
40	3,4	5,8	7,9
41	3	5,4	7,5
42	2,7	5	7,1
43	2,3	4,5	6,7
44	2,1	4	6,3
45	1,9	3,6	5,9
46	1,7	3,1	5,5
47	1,4	2,7	5
48	1,2	2,3	4,5
49	1,1	2,1	4
50	1	1,9	3,2
51	0,9	1,7	2,6
52	0,9	1,6	2,2
53	0,9	1,5	2,1
54	0,8	1,4	2
55	0,8	1,3	1,9
56	0,8	1,3	1,8
57	0,8	1,3	1,8
58	0,7	1,3	1,8
59	0,7	1,2	1,7
60	0,7	1,2	1,7
61	0,6	1,2	1,7
62	0,6	1,2	1,6
63	0,6	1,1	1,6
64-70	0,6	1,1-1	1,6

Таблица 2. Расчет привычного тонуса аккомодации (ПТА)
Table 2. Calculation of habitual accommodative tonus (HAT)

The habitual accommodative tonus (HAT) is calculated as per the formula: $HAT = R_t - R_c$, where R_t is refraction in darkness ("dark focus"), and R_c is cycloplegic refraction. The habitual accommodative tonus is positive when refraction in darkness (dark focus) is stronger (more myopic or less hyperopic) than cycloplegic, and vice versa. The positive accommodative tonus is indicated by a minus sign, while the negative is indicated by a plus sign.	Привычный тонус аккомодации (ПТА) рассчитывают по формуле: $ПТА = R_t - R_c$, где R_t – рефракция в темноте «темновой фокус»; R_c – рефракция в условиях циклоплегии. Привычный тонус аккомодации является положительным, когда рефракция в темноте (темновой фокус) сильнее (более миопическая или менее гиперметропическая), чем рефракция в условиях циклоплегии, и наоборот. Положительный тонус аккомодации обозначается знаком «минус», отрицательный – знаком «плюс».
--	---

каждый может интерпретировать показатели относительно разных вариаций классификации. Подобное заключение находит свое подтверждение в работе P. Cacho-Martínez et al. (2014) [30], где проведен обширный метаанализ публикаций по проблеме аккомодационных нарушений за 25 лет и сделан предварительный вывод, что все критерии диагностики аккомодационных нарушений требуют тщательного пересмотра в связи с отсутствием должной доказательной обоснованности и большой вариабельности получаемых данных.

Учитывая полученную информацию, единства в понимании аккомодационных нарушений на сегодня нет [30], но поиски унифицированных значений ведутся, особенно в разрезе глобально прогрессирующей проблемы – миопии.

Роль аккомодации и аккомодационных нарушений в процессе прогрессирования миопии

Несмотря на большое количество исследований по вопросу изучения этиологии миопии и факторов, способствующих ее прогрессированию [34,35], вопрос «какой же из выявленных факторов является основным?», – остается открытым. Правда, в одном офтальмологическом сообществе схоже во мнениях, что аккомодация, а если быть точнее – некоторые формы аккомодационных нарушений, – оказываются более значимыми, запуская каскад изменений, приводящих к формированию и дальнейшему прогрессированию миопии [20-26].

Анализ публикаций выявил отсутствие данных о некоторых аккомодационных нарушениях как предикторах развития и прогрессирования миопии. К таким факторам были отнесены неспособность аккомодации (AF) [20, 22, 23, 29, 31], чрезмерная аккомодация (AE). Важно понимать, что под

неспособностью аккомодации (AF) подразумевают парез (паралич) аккомодации, в свою очередь, к чрезмерной аккомодации (AE) относят спазм аккомодации, псевдомиопию, ПИНА. Парез или паралич аккомодации чаще диагностируется как изолированное состояние, вне зависимости от возраста и наличия аметропий. Термин «псевдомиопия» хоть и используется в научных публикациях многих отечественных офтальмологов, состоятельность данного определения является элементом продолжающихся дискуссий [20, 22, 23]. А состояние, известное как ПИНА, является скорее одним из предикторов развития миопии, нежели влияет на процесс дальнейшего прогрессирования [22, 23, 36], хоть и существуют версии о таковом воздействии, но в сочетании с сопутствующими гидродинамическими изменениями в глазном яблоке [24].

Как предварительный итог – лишь слабость аккомодации, или аккомодационная недостаточность (AI), считается основным пусковым механизмом как развития близорукости, так и ее прогрессирования [21, 23, 24, 36, 37]. В литературе нет описания всего механизма взаимосвязи, но большое количество публикаций, особенно в последнее десятилетие, говорят о влиянии работы на близком расстоянии как одной из ведущих причин прогрессирования миопии (рис. 4) [20, 26, 38].

Длительная работа вблизи, при условии сочетания определенных факторов, запускает механизм адаптации глаза к повседневной зрительной нагрузке [23], снижая необходимость избыточной аккомодации, увеличивается отставание аккомодационного ответа от нормы, что является негативным в прогностическом плане признаком, и чем сильнее задержка аккомодационного ответа на предъявляемый стимул, тем выше годовой градиент прогрессирования миопии (ГГП) [20, 26].

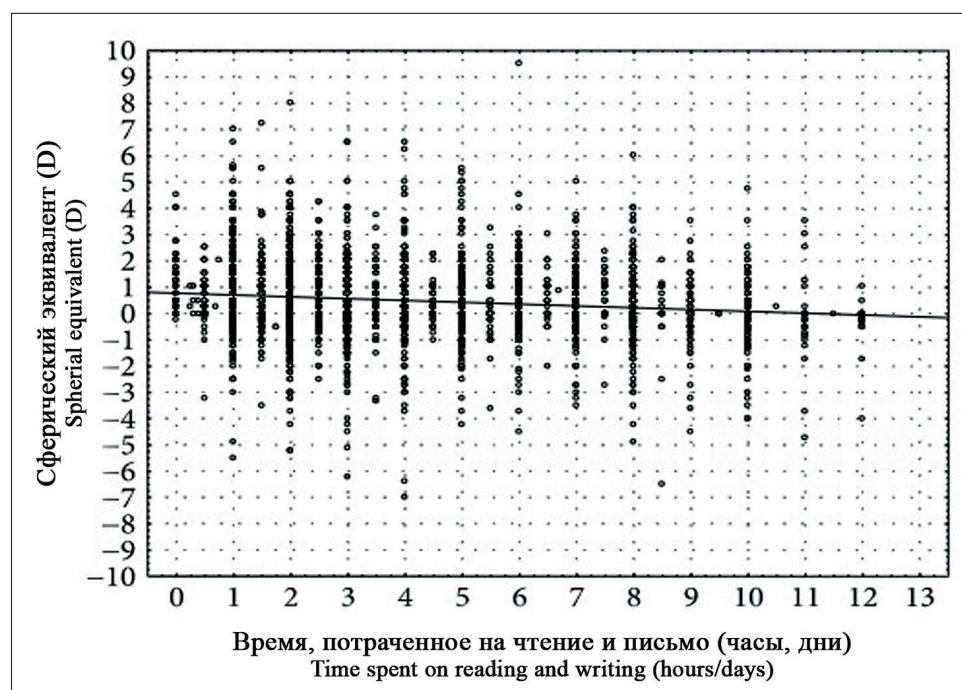


Рис. 4. Сферозэквивалент в зависимости от длительности чтения и письма (часы / дни)
Fig. 4. Mean spherical equivalent depending on time spent on reading and writing (hours / days)

И если постараться объединить всю полученную информацию воедино, вновь встает вопрос объективности данных, их актуальности, так как одни авторы указывают на то, что сниженный аккомодационный ответ может быть вариантом нормы [29], а другие отмечают отсутствие разницы в тоне аккомодации у эметропов и миопов, но при этом выявляют значительную разницу в морфофункциональных особенностях цилиарной мышцы у сравниваемых групп пациентов. Получается, что вновь мы возвращаемся к вопросу анатомии аккомодационного аппарата и его механики. Исследования продолжаются.

Аккомодация и различные методы контроля прогрессирования миопии

Все большее увеличение количества близоруких людей заставляет врачей-офтальмологов, исследователей со всего мира искать эффективный способ контроля прогрессирования миопии, влияя на процесс формирования миопии на самых ранних этапах [39]. На сегодняшний момент с немалой уверенностью мы можем говорить о разной степени эффективности таких способов контроля прогрессирования миопии, как применение бифокальных, прогрессивных очковых линз, мультифокальных (бифокальных) мягких контактных линз, ортокератологических линз (ОКЛ), фармакологических методов (раствор атропина различных комбинаций, пирензепин, циклопентолат изолированно или в комбинации с бифокальными, прогрессивными очками) [39–42]. При этом исследования по оценке эффективности представленных методик зачастую сопровождаются выявленными изменениями со стороны аккомодации, но подробно этот вопрос мало изучен.

Одним из первостепенных способов воздействия на аккомодационные нарушения, считавшимися ключевыми факторами прогрессирования миопии, был фармакологический с применением атропина различных комбинаций. В 1987 году D. Troilo [43] отметил, что использование антимиоскариновых препаратов не оказывает значительного влияния на скорость прогрессирования миопии, несмотря на предполагаемое прямое воздействие на аккомодацию.

Известно, что у пациентов с миопией наблюдается большее аккомодационное отставание (Accommodation-lag), чем у пациентов без миопии (исследование COMET, 2003; Мутти, 2006) [39]. Accommodation-lag приводит к тому, что свет фокусируется за сетчаткой во время работы вблизи, и это может служить сигналом для увеличения переднезадней оси глазного яблока и соответственно привести к близорукости. В данном случае адекватное применение различных методик контроля прогрессирования миопии позволит улучшить показатели аккомодационного ответа, одного из предикторов миопии.

В некоторых публикациях отражены результаты улучшения показателей аккомодационного ответа на фоне использования ОКЛ [42, 43], бифокальных

линз [40]. Объективно выявляется улучшение показателей аккомодационных запасов при использовании ОКЛ, что связывают с гармонизацией аккомодационного аппарата вне зависимости от имеющейся аметропии до момента коррекции.

Оптическая коррекция монофокальными очками тоже оказывает свое положительное влияние на аккомодацию, учитывая тот факт, что отсутствуют достоверные данные об их влиянии на скорость прогрессирования миопии [40]. Механизм воздействия на аккомодацию реализуется лишь при полной коррекции аметропии, что неоднократно подтверждали научные исследования [43]. Полнота оптической коррекции влияет не только на работу аккомодационного аппарата, но и оказывает значительное влияние на правильное развитие зрительных функций. При полной коррекции аметропии аккомодационная система способна компенсировать изменение размера зоны дефокуса изображения на сетчатке, приближаясь к естественным условиям [40, 44].

Обсуждение и перспективы

Несмотря на незначительную глубину поиска, проведенный анализ позволил получить актуальные данные по вопросу связи аккомодационных нарушений и близорукости. Можем ли мы уверенно говорить о подобной взаимосвязи? Лишь отчасти. С одной стороны, влияние аккомодационных нарушений на прогрессирование близорукости бесспорно, но отсутствие единого стандарта в диагностических критериях аномалий аккомодации, различия в методах диагностики, статистического анализа полученных данных, типе изучаемых популяций не позволяют сформировать конкретное представление о механизме и степени влияния этих нарушений. Подобный вопрос с учетом новых инструментальных методов исследования требует дальнейшего изучения совместно с зарубежными офтальмологами.

Считаем важным добавить, что на сегодняшний день актуальный вопрос, требующий разрешения, по нашему мнению, – механизм аккомодации. Поиск единой, общепринятой концепции позволит создать диагностический алгоритм. Применение этого алгоритма даст возможность изменить подход к классификации аккомодационных нарушений, выявить четкие критерии дифференциальной диагностики, структурировать данные. Все это возможно лишь с учетом множества факторов, начиная от этнических особенностей до среднего уровня образования в стране. Возможно, только так мы сможем окончательно ответить на вопрос о роли аккомодации в формировании и прогрессировании миопии и более обоснованно выбирать методы контроля прогрессирования миопии, учитывая полученные данные.

Концепция и дизайн исследования, редактирование: Мягков А.В.

Сбор и обработка материала, написание текста: Карамышев П.Б.

Литература

1. Scheiner C. Oculus hoc est: Fundamental opticum. Oeniponti (Innsbruck): Daniel Agricola; 1619.
2. Atchison D.A., Charman W.N. Thomas Young's contribution to visual optics: the Bakerian lecture 'On the mechanism of the eye'. J Vis. 2010;10:1–16. <http://dx.doi.org/10.1167/10.12.16>
3. Atchison D.A., Smith G. Optics of the human eye. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2000. 64 p.
4. Young T. On the mechanism of the eye. Philos Trans R Soc. 1801;92:23–88:189.
5. Thorton S.P., Doane J.F. Understanding accommodation. Cataract Refract Surgery Today. 2005; September.
6. Descartes R. L'homme. Hall T.S., translator. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1633.
7. Cramer A. Het accommodatievermogen der oog, physiologischtoegelicht. Haarlem: De Ervenloosjes Haarlem; 1853: 35–37.
8. Helmholtz H. Ueber die Accommodation des Auges. Arch Ophthalmol. (pt. 2) 1:1, 1855.
9. Tscherning M. Physiological optics. Philadelphia: Keystone; 1904. 160 p.
10. Fincham E.F. The mechanism of accommodation. Br J Ophthalmol. 1937; 8(suppl):5–80.
11. Coleman D.J. Unified model for accommodative mechanism. Am J Ophthalmol. 1970;69(6):1063–1079.
12. Martin H., Guthoff R., Tarwee T., Schmitz K.P. Comparison of Coleman and Helmholtz accommodation theories by the finite element method. Vis Res. 2005;45:2910–2915. <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2005.05.030>
13. Schachar R.A. Zonular function: A new hypothesis with clinical implications. Ann Ophthalmol. 1994;26:36–38.
14. Ovenseri-Ogbomo G.O., Oduntan O.A. Mechanism of accommodation: a review of theoretical propositions. Afr Vis Eye Health. 2015;74(1). Art. #28:6. <http://dx.doi.org/10.4102/aveh.v74i1.28>
15. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Эгембердиев М.Б., Гусева М.Г. Традиционные и новые механизмы аккомодации и их классификация (отсылки к Гельмгольцу). Российская педиатрическая офтальмология. 2018;3:20–36.
16. Story J.B. Aniridia: Notes on accommodation changes under eserine. Trans Ophthalmol Soc UK. 1924;44:413–417.
17. Keirl A. Accommodation and presbyopia. In: Keirl A., Christie C., eds. Clinical optics and refraction. A guide for optometrists, contact lens opticians and dispensing opticians. London: Bailliere Tindall; 2007:132–152.
18. Potterfield W. An essay concerning the motions of our eyes: Part 2. Of their internal motions. Edinburgh Med Essays Observations. 1738;4:124–294.
19. Glasser A. Accommodation. In: Levin L.A., Nilsson S.F., Hove J.V., Wu S.M., eds. Adler's physiology of the eye. Oxford: Saunders; 2011:40–70. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-05714-1.00003-0>
20. Glasser A., Wendt M., Ostrin L. Accommodative changes in lens diameter in Rhesus monkeys. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2006;47:278–286. <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.05-0890>
21. Czepita M., Czepita D., Lubiński W. The influence of environmental factors on the prevalence of myopia in Poland. J Ophthalmol. 2017. Article ID 5983406. <https://doi.org/10.1155/2017/5983406>
22. Катаргина Л.А., ред. Аккомодация: Руководство для врачей. М.: Апрель; 2012.
23. Аветисов Э.С. Близорукость. М.: Медицина; 1999. 288 с.
24. Труфанова Л.П., Балалин С.В. Разновидности привычно-избыточного напряжения аккомодации, слабость аккомодации и внутриглазное давление при миопии. Офтальмология. 2018;15(2S):179–182.
25. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Тонус аккомодации при миопии и его возможное прогностическое значение. Вестник офтальмологии. 2012;2(5):34–37.

References

1. Scheiner C. Oculus hoc est: Fundamental opticum. Oeniponti (Innsbruck): Daniel Agricola; 1619.
2. Atchison D.A., Charman W.N. Thomas Young's contribution to visual optics: the Bakerian lecture 'On the mechanism of the eye'. J Vis. 2010;10:1–16. <http://dx.doi.org/10.1167/10.12.16>
3. Atchison D.A., Smith G. Optics of the human eye. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2000. 64 p.
4. Young T. On the mechanism of the eye. Philos Trans R Soc. 1801;92:23–88:189.
5. Thorton S.P., Doane J.F. Understanding accommodation. Cataract Refract Surgery Today. 2005; September.
6. Descartes R. L'homme. Hall T.S., translator. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1633.
7. Cramer A. Het accommodatievermogen der oog, physiologischtoegelicht. Haarlem: De Ervenloosjes Haarlem; 1853: 35–37.
8. Helmholtz H. Ueber die Accommodation des Auges. Arch Ophthalmol. (pt. 2) 1:1, 1855.
9. Tscherning M. Physiological optics. Philadelphia: Keystone; 1904. 160 p.
10. Fincham E.F. The mechanism of accommodation. Br J Ophthalmol. 1937; 8(suppl):5–80.
11. Coleman D.J. Unified model for accommodative mechanism. Am J Ophthalmol. 1970;69(6):1063–1079.
12. Martin H., Guthoff R., Tarwee T., Schmitz K.P. Comparison of Coleman and Helmholtz accommodation theories by the finite element method. Vis Res. 2005;45:2910–2915. <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2005.05.030>
13. Schachar R.A. Zonular function: A new hypothesis with clinical implications. Ann Ophthalmol. 1994;26:36–38.
14. Ovenseri-Ogbomo G.O., Oduntan O.A. Mechanism of accommodation: a review of theoretical propositions. Afr Vis Eye Health. 2015;74(1). Art. #28:6. <http://dx.doi.org/10.4102/aveh.v74i1.28>
15. Koshits I.N., Svetlova O.V., Egemberdiev M.B., Guseva M.G. Traditional and new accommodation mechanisms and their classification (references to Helmholtz). Russian pediatric ophthalmology. 2018;3:20–36.
16. Story J.B. Aniridia: Notes on accommodation changes under eserine. Trans Ophthalmol Soc UK. 1924;44:413–417.
17. Keirl A. Accommodation and presbyopia. In: Keirl A., Christie C., eds. Clinical optics and refraction. A guide for optometrists, contact lens opticians and dispensing opticians. London: Bailliere Tindall; 2007:132–152.
18. Potterfield W. An essay concerning the motions of our eyes: Part 2. Of their internal motions. Edinburgh Med Essays Observations. 1738;4:124–294.
19. Glasser A. Accommodation. In: Levin L.A., Nilsson S.F., Hove J.V., Wu S.M., eds. Adler's physiology of the eye. Oxford: Saunders; 2011:40–70. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-05714-1.00003-0>
20. Glasser A., Wendt M., Ostrin L. Accommodative changes in lens diameter in Rhesus monkeys. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2006;47:278–286. <http://dx.doi.org/10.1167/iovs.05-0890>
21. Czepita M., Czepita D., Lubiński W. The influence of environmental factors on the prevalence of myopia in Poland. J Ophthalmol. 2017. Article ID 5983406. <https://doi.org/10.1155/2017/5983406>
22. Katargina L.A., ed. Akkomodaciya [Accommodation]. A Guide for Physicians. Moscow: April; 2012.
23. Avetisov E.S. Blizorukost' [Myopia]. Moscow: Medicine; 1999. 288 p.
24. Trufanova L.P., Balalin S.V. Varieties of habitual excess tension of accommodation, weakness of accommodation and intraocular pressure with myopia. Ophthalmology. 2018;15(2S):179–182.
25. Tarutta E.P., Tarasova N.A. The tone of accommodation in myopia and its possible prognostic value. Vestn Oftalmologii. 2012;2(5):34–37.

26. Tay S.A., Farzavandi S., Tan D. Interventions to reduce myopia progression in children. *Strabismus*. 2017;25(1):23–32.
27. Duane A. Studies in monocular and binocular accommodation, with their clinical application. 1922. [http://doi.org/10.1016/s0002-9394\(22\)90793-7](http://doi.org/10.1016/s0002-9394(22)90793-7)
28. Duane A. Anomalies of accommodation clinically considered. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1915;1:386–400.
29. Тарасова Н.А. Различные виды расстройств аккомодации при миопии и критерии их дифференциальной диагностики. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2012;1(6):40–44.
30. Cacho-Martínez P., García-Muñoz Á., Ruiz-Cantero M.T. Is there any evidence for the validity of diagnostic criteria used for accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *J Optom*. 2014;7(1):2–21.
31. Wajuihian S.O., Hansraj R. A review of non-strabismic accommodative and vergence anomalies in school-age children. Part 2: Accommodative anomalies. *Afr Vision Eye Health*. 2015;74(1). Art. #33.
32. Тарутта Е.П. Способ определения привычного тонуса аккомодации. Патент РФ № 2394469C1. 2009.
33. Труфанова Л.П., Фокин В.П., Балалин С.В., Солодкова Е.Г., Кузнецова О.С. Способ лечения прогрессирующей миопии у детей с выявленным привычно-избыточным напряжением аккомодации. Патент РФ № 2685499C1. 2019.
34. Lee D.C., Lee S.Y., Kim Y.C. An epidemiological study of the risk factors associated with myopia in young adult men in Korea. *Sci Rep*. 2018;8(1):511. doi:10.1038/s41598-017-18926-2
35. Guan H., Yu N.N., Wang H. et al. Impact of various types of near work and time spent outdoors at different times of day on visual acuity and refractive error among Chinese school-going children. *PLoS One*. 2019;14(4):e0215827. doi:10.1371/journal.pone.0215827
36. Fernandez-Montero A., Olmo-Jimenez J.M., Olmo N., Bes-Rastrollo M., Moreno-Galarraga L., Moreno-Montanes J. et al. The impact of computer use in myopia progression: a cohort study in Spain. *Prev Med*. 2015;71:67–71.
37. Hyman L., Gwiazda J., Marsh-Tootle W.L. et al. The Correction of Myopia Evaluation Trial (COMET): design and general baseline characteristics. *Control Clin Trials*. 2001;22:573Y92.
38. Walline J.J., Lindsley K.B., Vedula S.S., Cotter S.A., Mutti D.O., Ng S.M., Twelker J.D. Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020; Issue 1. Art. CD004916. X.
39. Yang Y., Wang L., Li P., Li J. Accommodation function comparison following use of contact lens for orthokeratology and spectacle use in myopic children: a prospective controlled trial. *Int J Ophthalmol*. 2018;11(7):1234–1238. doi:10.18240/ijo.2018.07.26
40. Матросова Ю.В. Клинико-функциональные показатели при ортокератологической коррекции миопии. *Вестник российских университетов. Математика*. 2016;21(4):1613–1617.
41. Troilo D., Gottlieb M.D., Wallman J. Visual deprivation causes myopia in chicks with optic nerve section. *Curr Eye Res*. 1987;6(8):993–999.
42. Wagner S., Zrenner E., Strasser T. Emmetropes and myopes differ little in their accommodation dynamics but strongly in their ciliary muscle morphology. *Vis Res*. 2019;163:42–51. ISSN 0042-6989. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.08.002>
43. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Прогностическое и диагностическое значение объективного аккомодационного ответа. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2015;10(1):27–29.
44. Brennan N.A., Cheng X. Commonly held beliefs about myopia that lack a evidence base. *Eye Contact Lens: Science & Clinical Practice*. 2018; 1.
26. Tay S.A., Farzavandi S., Tan D. Interventions to reduce myopia progression in children. *Strabismus*. 2017;25(1):23–32.
27. Duane A. Studies in monocular and binocular accommodation, with their clinical application. 1922. [http://doi.org/10.1016/s0002-9394\(22\)90793-7](http://doi.org/10.1016/s0002-9394(22)90793-7)
28. Duane A. Anomalies of accommodation clinically considered. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1915;1:386–400.
29. Tarasova N.A. Different types of accommodation disorders in myopia and criteria for their differential diagnosis. *Russian Pediatric Ophthalmology*. 2012;1(6):40–44.
30. Cacho-Martínez P., García-Muñoz Á., Ruiz-Cantero M.T. Is there any evidence for the validity of diagnostic criteria used for accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *J Optom*. 2014;7(1):2–21.
31. Wajuihian S.O., Hansraj R. A review of non-strabismic accommodative and vergence anomalies in school-age children. Part 2: Accommodative anomalies. *Afr Vision Eye Health*. 2015;74(1). Art. #33.
32. Tarutta E.P. A method for determining the habitual tonus of accommodation. *Russian Patent No. 2394469C1*. 2009.
33. Trufanova L.P., Fokin V.P., Balalin S.V., Solodkova E.G., Kuznetsova O.S. A method for the treatment of progressive myopia in children with identified habitually excessive tension of accommodation. *Russian Patent No. 2685499C1*. 2019.
34. Lee D.C., Lee S.Y., Kim Y.C. An epidemiological study of the risk factors associated with myopia in young adult men in Korea. *Sci Rep*. 2018;8(1):511. doi:10.1038/s41598-017-18926-2
35. Guan H., Yu N.N., Wang H. et al. Impact of various types of near work and time spent outdoors at different times of day on visual acuity and refractive error among Chinese school-going children. *PLoS One*. 2019;14(4):e0215827. doi:10.1371/journal.pone.0215827
36. Fernandez-Montero A., Olmo-Jimenez J.M., Olmo N., Bes-Rastrollo M., Moreno-Galarraga L., Moreno-Montanes J. et al. The impact of computer use in myopia progression: a cohort study in Spain. *Prev Med*. 2015;71:67–71.
37. Hyman L., Gwiazda J., Marsh-Tootle W.L. et al. The Correction of Myopia Evaluation Trial (COMET): design and general baseline characteristics. *Control Clin Trials*. 2001;22:573Y92.
38. Walline J.J., Lindsley K.B., Vedula S.S., Cotter S.A., Mutti D.O., Ng S.M., Twelker J.D. Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020; Issue 1. Art. CD004916. X.
39. Yang Y., Wang L., Li P., Li J. Accommodation function comparison following use of contact lens for orthokeratology and spectacle use in myopic children: a prospective controlled trial. *Int J Ophthalmol*. 2018;11(7):1234–1238. doi:10.18240/ijo.2018.07.26
40. Matrosova Yu.V. Clinical and functional indicators in the orthokeratological correction of myopia. *Bulletin of Russian universities. Mathematics*. 2016;21(4):1613–1617.
41. Troilo D., Gottlieb M.D., Wallman J. Visual deprivation causes myopia in chicks with optic nerve section. *Curr Eye Res*. 1987;6(8):993–999.
42. Wagner S., Zrenner E., Strasser T. Emmetropes and myopes differ little in their accommodation dynamics but strongly in their ciliary muscle morphology. *Vis Res*. 2019;163:42–51. ISSN 0042-6989. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.08.002>
43. Tarutta E.P., Tarasova, N.A. Prognostic and diagnostic value of an objective accommodative response. *Russian Pediatric Ophthalmology*. 2015;10(1):27–29.
44. Brennan N.A., Cheng X. Commonly held beliefs about myopia that lack a evidence base. *Eye Contact Lens: Science & Clinical Practice*. 2018; 1.

Поступила 20.01.2020

Для контактов:

Мягков Александр Владимирович, e-mail: ceo@okvision.ru

Карамышев Павел Борисович, e-mail: p.karamyshev@okvision.ru