

Межрегиональная ассоциация офтальмологов России
Экспертный совет по аккомодации и рефракции (ЭСАР)

АККОМОДАЦИЯ

Руководство для врачей

Под редакцией
Л.А. Катаргиной

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Апрель

Москва, 2012

УДК 617.726

ББК 56.7

А 39

СОДЕРЖАНИЕ

Аккомодация: Руководство для врачей / Под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель, 2012. – 136 с., ил.

ISBN 978-5-905212-16-1

Это уникальное издание составлено Экспертным советом по аккомодации и рефракции, ЭСАР (Scientific Advisory Board of Accommodation and Refraction, SABAR) и обобщает классические и современные взгляды на аккомодацию. В руководстве представлены новые данные об анатомии, физиологии и механизме аккомодации. В руководство включен раздел «Терминология». Описаны методы исследования аккомодации — классические и новые автоматизированные компьютерные методики. Особое внимание уделено характерным аккомодационным нарушениям, встречающимся в разном возрасте, а также методам их компенсации и лечения с помощью современных оптических и медикаментозных средств, функционального лечения.

Руководство предназначено для офтальмологов, оптометристов, невропатологов, педиатров, студентов медицинских ВУЗов, аспирантов и ординаторов.

ISBN 978-5-905212-16-1

© PROMED Exports Pvt. Ltd., 2012

© Коллектив авторов ЭСАР, 2012

Полное или частичное воспроизведение или размножение каким бы то ни было способом материалов, опубликованных в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения обладателей авторского права (членов ЭСАР и компании PROMED Exports Pvt. Ltd).

Предисловие	5
Терминология	7
Глава 1. Медико-социальное значение нарушений аккомодации	9
<i>Л.А. Катаргина, Е.П. Тарутта</i>	
Глава 2. Аккомодация: анатомия, физиология, биомеханизмы	12
<i>В.В. Страхов, Е.Н. Иомдина</i>	
2.1. Анатомия	12
2.2. Физиология аккомодации	19
2.3. Биомеханизм аккомодации	28
Глава 3. Современные представления о роли аккомодации в рефрактогенезе	35
<i>Е.П. Тарутта, Н.В. Ходжабекян, О.Б. Филинова</i>	
Глава 4. Исследование аккомодации, возрастные нормы	40
4.1. Субъективные методы исследования аккомодации	40
<i>О.В. Проскураина, С.Ю. Голубев, Е.Ю. Маркова</i>	
4.2. Объективные методы исследования аккомодации	50
4.2.1. Объективная аккомодометрия	50
<i>Е.П. Тарутта</i>	
4.2.2. Компьютерная аккомодография	63
<i>О.В. Жукова, А.В. Егорова</i>	
4.2.3. Динамическая ретиноскопия (скиаскопия)	67
<i>О.В. Проскураина</i>	
Глава 5. Нарушения аккомодации	75
<i>О.В. Проскураина, О.В. Жукова</i>	
Глава 6. Методы коррекции и лечения нарушений аккомодации	84
6.1. Оптическая коррекция	84
<i>О.В. Проскураина</i>	
6.2. Медикаментозное лечение	94
<i>Т.Н. Воронцова, В.В. Бржеский, Е.Л. Ефимова, Е.Ю. Маркова, Е.И. Сидоренко</i>	
6.3. Функциональное лечение	110
<i>Е.П. Тарутта, Е.Н. Иомдина, Н.А. Тарасова</i>	
Приложение. Алгоритмы диагностики и лечения нарушений аккомодации	121
<i>О.В. Проскураина, В.В. Бржеский, Т.Н. Воронцова, Е.П. Тарутта, С.Ю. Голубев, Е.Ю. Маркова</i>	
Предметный указатель	130

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

Бржеский Владимир Всеволодович, д-р мед. наук, профессор
(ГБОУ ВПО СПбГПМУ МЗ РФ, Санкт-Петербург)

Воронцова Татьяна Николаевна, канд. мед. наук
(ГБОУ ВПО СПбГПМУ МЗ РФ, Санкт-Петербург)

Голубев Сергей Юрьевич, канд. мед. наук
(Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова, Москва)

Егорова Алла Викторовна, канд. мед. наук
(БУЗ УР «Республиканская офтальмологическая клиническая больница МЗ УР»)

Ефимова Елена Леонидовна, врач
(ГБОУ ВПО СПбГПМУ МЗ РФ, Санкт-Петербург)

Жукова Ольга Владимировна, д-р мед. наук
(ГБУЗ «Самарская клиническая областная офтальмологическая больница им. Т.И. Ерошевского», Самара)

Иомдина Елена Наумовна, д-р биол. наук, профессор
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

Катаргина Людмила Анатольевна, д-р мед. наук, профессор
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

Маркова Елена Юрьевна, д-р мед. наук, профессор
(РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва)

Проскурина Ольга Владимировна, д-р мед. наук
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

Сидоренко Евгений Иванович, д-р мед. наук, профессор
(РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Москва)

Страхов Владимир Витальевич, д-р мед. наук, профессор
(ГБОУ ВПО «Ярославская государственная медицинская академия» Минздравсоцразвития РФ, Ярославль)

Тарасова Наталья Алексеевна, врач
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

Тарутта Елена Петровна, д-р мед. наук, профессор
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

Филинова Оксана Борисовна, канд. мед. наук
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

Ходжабекян Нарине Владимировна, канд. мед. наук
(ФГБУ МНИИ ГБ им. Гельмгольца, Москва)

ПРЕДИСЛОВИЕ ОТ ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА ПО АККОМОДАЦИИ И РЕФРАКЦИИ (ЭСАР)

Экспертный совет по аккомодации и рефракции, ЭСАР (Scientific Advisory Board of Accommodation and Refraction, SABAR), был создан как независимая общественная организация в июне 2009 г., в его состав входят ведущие российские специалисты в области аккомодации и рефракции.

Основная цель работы ЭСАР: объединить усилия различных офтальмологических школ России и отдельных специалистов для внедрения в практику офтальмологического сообщества единой терминологии, современных представлений о механизме аккомодации и ее нормальных значениях и патологических состояниях, адекватных критериях оценки аккомодации и способах коррекции и лечения аккомодационных нарушений.

Аккомодация — самостоятельная функция глаза, требующая углубленного изучения, особой терминологии и специальных клинических исследований. Недооценка роли аккомодации в развитии целого ряда патологических состояний может оставить пациента без необходимой помощи и ограничить его зрительную работоспособность в самом продуктивном возрасте.

На основе трехлетней работы коллективом авторов было подготовлено это руководство по аккомодации.

Авторы постарались в простой и четкой форме описать анатомию, физиологию и механизм аккомодации, методы исследования, патологические состояния аккомодации, методы ее восстановления и компенсации. Во избежание путаницы в терминологии в руководство включен глоссарий.

Члены Экспертного совета далеко не единодушны в трактовке теории аккомодации. Вместе с тем в спорах и дискуссиях мы стараемся найти необходимый компромисс и формируем обобщенное мнение Экспертного совета в виде конкретных рекомендаций, публикаций в периодических изданиях по офтальмологии и оптометрии и этого руководства.

Авторы надеются, что предложенное руководство поможет практикующим врачам-офтальмологам разобраться в теме аккомодации, определять ее параметры, трактовать полученные данные, выбирать оптимальные способы восстановления и улучшения аккомодационной функции, решать вопросы о необходимости, полноте и способе восстановления и компенсации аккомодации с помощью тренировок, оптических и медикаментозных средств, функционального лечения.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

Термины, используемые для описания аккомодации, ее характеристик, нормальных значений и патологических состояний, отличаются заметным разнообразием. В отечественной и иностранной литературе, с одной стороны, используются разные формулировки для обозначения одних и тех же характеристик аккомодации, с другой стороны, используют одинаковые обозначения разных ее параметров. Эти обстоятельства существенно затрудняют работу специалистов, мешают их взаимопониманию и плодотворному взаимодействию.

Экспертным советом по аккомодации и рефракции, ЭСАР (Scientific Advisory Board of Accommodation and Refraction, SABAR), были предложены уточненные термины, касающиеся механизма аккомодации, ее состояния в норме и при патологии. В основу положены формулировки, предложенные ранее Э.С. Аветисовым, В.В. Волковым, С.Л. Шаповаловым, Ю.З. Розенблюмом, Е.Е. Сомовым.

Аккомодация — способность глаза к четкому видению разноудаленных объектов за счет изменения рефракции.

Псевдоаккомодация — способность глаза к четкому видению разноудаленных объектов без изменения рефракции.

Физическая рефракция глаза — преломляющая сила его оптического аппарата, выраженная в диоптриях.

Клиническая рефракция глаза — положение фокуса его оптической системы относительно сетчатки.

Статическая рефракция глаза — клиническая рефракция глаза в условиях недеиствующей аккомодации.

Циклоплегическая рефракция глаза — то же, что и статическая.

Динамическая рефракция глаза — клиническая рефракция глаза в условиях действующей аккомодации.

Манифестная (нециклоплегическая) рефракция глаза — то же, что и динамическая.

Объем абсолютной аккомодации — разница в рефракции одного глаза при установке его на ближайшую и дальнюю точки ясного зрения, выраженная в диоптриях.

Объем относительной аккомодации — разница в рефракции в условиях максимального напряжения и расслабления аккомодации при бинокулярной фиксации неподвижного объекта, находящегося на конечном расстоянии от глаза, выраженная в диоптриях.

Положительная (неизрасходованная) часть объема относительной аккомодации (запас относительной аккомодации, ЗОА) — часть аккомодации, которая может быть потенциально использована.

Отрицательная часть объема относительной аккомодации — использованная часть аккомодации.

Аккомодационный ответ — выраженное в диоптриях дозированное напряжение аккомодации, возникающее в ответ на предъявление зрительного стимула, находящегося на конечном расстоянии.

Устойчивость аккомодации — способность глаза длительно поддерживать адекватный аккомодационный ответ.

Неустойчивость аккомодации — неспособность глаза длительно поддерживать адекватный аккомодационный ответ.

Недостаточность аккомодации — состояние, характеризующееся сниженным объемом и запасами аккомодации и неадекватным аккомодационным ответом.

Избыточность аккомодации — состояние, при котором аккомодационный ответ превышает аккомодационную задачу.

Слабость аккомодации — длительно существующее состояние недостаточной или неустойчивой аккомодации.

Тонус покоя аккомодации (ТПА) — состояние оптической установки глаза в отсутствие зрительного стимула.

Привычный тонус аккомодации (ПТА) — разница между манифестной и циклоплегической рефракцией — тоническая аккомодация.

Рефлекторная аккомодация — изменение рефракции в ответ на изменение расстояния до фиксируемого глазом объекта с целью его четкого видения.

Вергентная аккомодация — изменение рефракции в ответ на сведение и разведение зрительных линий двух глаз с целью сохранения единого образа фиксируемого объекта.

Псевдомиопия — состояние, при котором манифестная рефракция миопическая, а циклоплегическая — эметропическая или гиперметропическая.

Привычно-избыточное напряжение аккомодации (ПИНА) — длительно существующий избыточный тонус аккомодации, вызывающий миопизацию манифестной рефракции и не снижающий максимальную корригированную остроту зрения.

Парез/паралич аккомодации — острое или подострое расстройство аккомодации, при котором изменение оптической установки глаза к любому расстоянию за счет изменения рефракции становится временно невозможным.

Спазм аккомодации — острый патологический избыточный тонус аккомодации, вызывающий миопизацию манифестной рефракции и снижающий максимальную корригированную остроту зрения.

1

МЕДИКО-СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАРУШЕНИЙ АККОМОДАЦИИ

Л.А. Катаргина, Е.П. Тарутта

Охрана и улучшение здоровья населения являются одной из основных задач социальной политики нашего государства.

Сохранение и укрепление здоровья населения, продление периода активной трудовой деятельности и долголетия — одна из основных конечных целей Международной комплексной программы «Здоровье нации — 2020». Согласно определению ВОЗ, здоровье — это не только отсутствие болезни, но и состояние полного физического, духовного и социального благополучия.

Основными показателями, отражающими уровень социально-экономического развития страны, являются заболеваемость и инвалидность. По данным последних лет, количество заболеваний органа зрения на территории РФ составляет 11 тыс. на 100 тыс. населения. Уровень слепоты и слабовидения равен 19,08 на 10 тыс. населения. Среди инвалидов по зрению 22% составляют лица молодого возраста, основной причиной инвалидности у которых явилась осложненная высокая близорукость, в т. ч. — в сочетании с глаукомой. Как в нашей стране, так и за рубежом у подростков и молодых взрослых основной причиной низкого зрения является миопия высокой степени с патологией сетчатки и зрительного нерва.

Роль аккомодации как одного из главных регуляторов рефрактогенеза неоднократно подчеркивалась отечественными офтальмологами (Аветисов Э.С., 1999). Усиленная работа аккомодации при гиперметропии у детей способствует росту глазного яблока, усилению рефракции в период постнатального развития. Завершающая фаза формирования рефракции в онтогенезе приходится на возраст 7-15 лет,

когда длина глаза в норме увеличивается на 1,9 мм (Ковалевский Е.И., 1986). Расстройства, особенно слабость аккомодации, в этот период приводят к срыву регулирующих рефрактогенез механизмов и возникновению миопии. Одним из частных проявлений слабости аккомодации является псевдомиопия, которая может предшествовать появлению миопии и служить первым признаком ее развития (Онуфрийчук О.Н., Розенблюм Ю.З., 2007).

Прогрессирующая близорукость остается одной из самых актуальных проблем офтальмологии, поскольку, несмотря на несомненные успехи, достигнутые в последние годы в профилактике и лечении этого заболевания, последнее нередко приводит к развитию необратимых изменений глазного дна и к существенному снижению зрения в трудоспособном возрасте.

По итогам Всероссийской диспансеризации, заболеваемость детей и подростков миопией за оцениваемые 10 лет выросла в 1,5 раза. Среди выпускников школ частота миопии достигает 26%, гимназий и лицеев — 50%, на долю миопии высокой степени приходится 10-12% (Нероев В.В., 2000).

По данным Е.С. Либман (2010), уровень слепоты и слабовидения вырос за последние 17 лет с 13,6 до 17,0 на 10 тыс. населения, инвалидность у детей составляет 5,2 на 10 тыс. населения. В структуре инвалидности в целом по стране миопия занимает 3-е место (18%), а детской инвалидности — 2-е. За последние 2-3 десятилетия частота близорукости увеличилась в 1,5 раза в США и Европе и в 2 раза и более в Китае, Гонг-Конге, Тайване (Gordon R.A., Donzis P.B., 1985; Fledelius H.C., 1988; Johnson A., 1988; Goh W.S., Lam C.S., 1994).

Инвалидность по зрению с детства составляет 20,7% от общего числа инвалидов по зрению в РФ и 55,4% от лиц 19-50 лет. Среди клинико-анатомических причин слепоты и слабовидения у детей в спецшколах-интернатах миопия высокой степени составляет 7,4-18,2% (Хватова А.В., 2003).

Среди взрослых инвалидов по зрению вследствие миопии 56% имеют врожденную миопию, остальные — приобретенную, в том числе в школьные годы (Либман Е.С., Шахова Е.В., 2006).

Частота близорукости в развитых странах мира составляет 19-42%, достигая в некоторых странах Востока 70% (Медицина и здравоохранение, 1986).

Расстройства аккомодации играют значительную роль в постнатальном рефрактогенезе и прежде всего в формировании и прогрессировании приобретенной миопии. Слабость аккомодации, проявляющаяся снижением запасов относительной аккомодации, объективного аккомодационного ответа, псевдомиопией, по многочисленным данным, не только сопутствует клиническому течению миопии, но и предшествует ее возникновению. В ряде исследований показана возможность предотвращения возникновения и, особенно, прогрессирования близорукости с помощью тренировок аккомодации. Известный факт более частого развития миопии в глазах с астигматизмом также связывают с затруднением работы аппарата аккомодации, а именно с вынужденной неравномерной меридиональной аккомодацией (Мац К.А., 1973; Лохтина Н.И., 1977; Медвецкая Г.А., 1981; Аветисов Э.С., 1986; Онуфрийчук О.Н., 2006).

Неравномерная, несимметричная аккомодация парных глаз, безусловно, является патогенетическим фактором развития миопии в случаях анизометропии.

При гиперметропии выше 4,0 дптр и гиперметропической анизометропии нарушение баланса между аккомодацией и конвергенцией приводит к дезадаптации зрительной системы в виде возникновения рефракционной, анизометропической амблиопии, расстройства бинокулярного зрения, косоглазия.

Помимо этого, с возрастом отмечается естественное необратимое снижение объема аккомодации, что приводит к развитию пресбиопии (Шершевская О.И., Старков Г.Л., Шершевская С.Ф., 1970).

В последние десятилетия возникла тенденция к повышению численности населения нашей планеты в сочетании со старением человеческой популяции, что ежегодно приводит к увеличению распространенности пресбиопии в мире. Отмечается повышение социальной активности лиц с пресбиопией и появление большого числа профессий, требующих значительной зрительной нагрузки вблизи. В связи с этим актуальность изучения инволюционных изменений аккомодации очевидна. Пресбиопия является самым распространенным оптическим недостатком, связанным со снижением аккомодации, так как практически все взрослое население планеты после 50 лет испытывает проблемы, связанные с ухудшением зрения вблизи. Так, было отмечено, что в 2003 г. из 6,5 млрд всех жителей планеты свыше 1,3 млрд имели пресбиопию, а в ряде стран доля пресбиопии среди населения достигает 35%. По прогнозам, в мире к 2025 г. 2,5 млрд человек будут старше 45 лет и все они будут пресбиопами (Страхов В.В., 2004; Amidieu, 2009).

Это физиологическое явление протекает незаметно только лишь у людей со слабой и средней миопией, не пользующихся корректирующими миопию очками для постоянного ношения.

Наступающая в пожилом возрасте неспособность глаза ясно видеть вблизи привлекла к себе внимание еще в глубокой древности. Так можно утверждать хотя бы из-за того, что термин, от которого произошло название «presbyopia» («старческое зрение»), встречается еще в сочинениях Аристотеля.

Понятие «старческая дальновзоркость» начали отличать от дальновзоркости (гиперметропии) свыше 150 лет тому назад (Stellwag и Garion (1855), цит. по Аветисову С.Э., 2002; Радзиховский Б.Л., 1965).

По разным данным, возраст, в котором возникает необходимость в подборе «пресбиопических очков», колеблется от 38 до 48 лет и зависит от вида и степени сопутствующей аметропии, рода трудовой деятельности, образа жизни.

Так, при прочих равных условиях пресбиопия возникает раньше у лиц, бытовая или профессиональная деятельность которых связана с рассматриванием мелких объектов, причем чем меньше контраст объектов с фоном, тем сильнее действует этот фактор (Корнюшина Т.А., 1999).

Кроме того, имеются сведения, что более раннему развитию пресбиопии может способствовать высокая температура окружающей среды (Weale R.A., 1992; Ciuffreda K.J., Tarmen V., 1995). В последние десятилетия в популяции отмечается более раннее созревание и более позднее угасание физиологических функций. Применительно к системе рефракции-аккомодации это означает более позднее наступление пресбиопии: после 45, а часто и после 50 лет (Розенблюм Ю.З., 2004). Возможно, это связано с изменением структуры рефракции в популяции: за последние 100 лет частота гиперметропии снизилась, а частота эмметропии и миопии, прежде всего, слабой степени — увеличилась.

В любом случае в возрасте 52 лет пресбиопия имеет место практически в 100% случаев, а в возрастной категории от 38 до 50 лет она встречается примерно в 31% случаев.

Однако в отношении аккомодационной способности глаза в старости и механизмов ее снижения до настоящего времени нет единого мнения.

Литература

1. Аветисов С.Э. Возрастные особенности аккомодации и рефракции // Глазные болезни / Под ред. Копаевой В.Г. М.: Медицина, 2002. С. 102-107.
2. Аветисов Э.С. Близорукость. М.: Медицина, 1999. 288 с.
3. Ковалевский Е.И. Глазные болезни. М.: Медицина, 1986. 416 с.
4. Корнюшина Т.А. Физиологические механизмы развития зрительного утомления и перенапряжения и меры их профилактики. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1999. 46 с.
5. Либман Е.С., Шахова Е.В. Слепота и инвалидность вследствие патологии органа зрения в России // Вестн. офтальмол. 2006. № 1. С. 35-37.
6. Либман Е.С. Медико-социальные проблемы в офтальмологии // Материалы IX съезда офтальмологов. М., 2010. С. 70-71.
7. Лохтина Н.И. Профилактика прогрессирования миопии путем воздействия на аккомодационный аппарат глаза. Дис. ... канд. мед. наук. М., 1977. 118 с.
8. Мац К.А. Новые методы тренировки цилиарной мышцы при ослабленной аккомодационной способности. Дис. ... канд. мед. наук. М., 1973. 122 с.

9. Медвецкая Г.А. Профилактика близорукости и ее прогрессирования с помощью воздействия на аккомодационный аппарат глаза. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Калинин, 1981.
10. Нероев В.В. Новые аспекты проблемы патологии сетчатки и зрительного нерва // Вестн. офтальмол. 2000. № 5. С. 14-16.
11. Эпидемиология и профилактика слепоты в мире. Обзорная информация. М.: Медицина и здравоохранение, 1986. Вып. 5. С. 28-32.
12. Онуфрийчук О.Н., Розенблюм Ю.З. Закономерности рефрактогенеза и критерии прогнозирования школьной миопии // Вестн. офтальмол. 2007. № 1. С. 22-24.
13. Онуфрийчук О.Н. Закономерности поздней фазы рефрактогенеза и критерии прогнозирования «школьной миопии». Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2006.
14. Радзиховский Б.Л. Старческая дальновзоркость. Л.: Медицина, 1965. 159 с.
15. Розенблюм Ю.З. Возрастно-функциональный подход к компенсации аметропий // Вестн. офтальмол. 2004. № 1. С. 51-56.
16. Страхов В.В. Проблемы аккомодации глаза. Ярославль: ЯГМА, 2004. С. 32.
17. Хватова А.В. Основные направления ликвидации устранимой детской слепоты // Ликвидация устранимой слепоты: всемирная инициатива ВОЗ. Материалы Рос. межрег. симпозиума. Уфа, 2003. С. 53-59.
18. Шершевская О.И., Старков Г.Л., Шершевская С.Ф. Старение глаза. М.: Медицина, 1970. С. 18-47.
19. Эпидемиология и профилактика слепоты в мире. Обзорная информация. М.: Медицина и здравоохранение, 1986. Вып. 5. С. 28-32.
20. Amidieu H. The impact of progressive lenses on the market for correction presbyopia // Points de Vue. 2009. Spring. P. 20-22.
21. Ciuffreda K.J., Tarmen B. Eye movement basics for the clinician. St. Louis: Mosby-Year Book, 1995.
22. Fledelius H.C. Myopia prevalence in Scandinavia. A survey, with emphasis on factors of relevance for epidemiological refraction studies in general // Acta Ophthalmol. 1988. Vol. 66. Suppl.185. P. 44-50.
23. Goh W.S., Lam C.S. Changes in refractive trends and optical components of Hong-Kong Chinese aged 19-39 years // Ophthalmic. Physiol. Opt. 1994. V. 14, N 4. P. 378-382.
24. Gordon R.A., Donzis P.B. Refractive development of the human eye // Arch Ophthalmol. 1985. V. 103, N 6. P. 785-789.
25. Johnson A. Myopia in arctic regions // Acta Ophthalmol. 1988. V. 66. Suppl. 185. P. 13-18.
26. Weale R.A. The Senescence of Human Vision. Oxford: Oxford University Press, 1992. P. 59-61.

2

АККОМОДАЦИЯ: АНАТОМИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, БИОМЕХАНИЗМЫ

В.В. Страхов, Е.Н. Иомдина

2.1

АНАТОМИЯ

Общепризнано, что основными звеньями исполнительного механизма аккомодации являются хрусталик, связочный аппарат хрусталика, цилиарная мышца и хороидея (рис. 2.1.1). Однако в обеспечение биомеханизма аккомодации в той или иной степени вовлечены практически все структуры глазного яблока.

Хрусталик

Хрусталик, несмотря на видимую простоту, представляет собой достаточно сложный прозрачный объект — двояковыпуклое эластичное образование в виде диска, расположенное между радужкой и стекловидным телом (рис. 2.1.2). Хрусталик является многослойной структурой, его слои характеризуются разной толщиной и физико-механическими свойствами (рис. 2.1.3). Размеры хрусталика в различном возрасте (согласно Веселовской З.Ф., 2002; Standring S., 2008) представлены в табл. 2.1.1.

Хрусталик со всех сторон покрыт капсулой, которая представляет собой базальную мембрану эпителиальных клеток. Капсула хрусталика является самой толстой базальной мембраной тела человека. Передняя часть капсулы хрусталика толще (до 15,5 мкм), чем задняя (рис. 2.1.4). Утолщение более выражено на периферии передней капсулы, эту область еще называют зонулярной пластиной, поскольку здесь прикрепляется основная масса волокон ресничного пояска. У детей и в молодом возрасте, если капсула хрусталика не натянута, он имеет почти сферическую

Таблица 2.1.1
Возрастные особенности диаметра, массы и объема хрусталика человека

Сагиттальный диаметр (толщина), мм	
Новорожденный	3,5
10 лет	3,9
20-50 лет	4,0-4,14
60-70 лет	4,77
80-90 лет	5,0
Экваториальный диаметр, мм	
Новорожденный	6,5
После 15 лет	9,0
Масса, мг	
Новорожденный	65
Первый год жизни	130
20-30 лет	174
40-50 лет	204
90 лет	250
Объем, мл	
30-40 лет	0,163
80-90 лет	0,244
Толщина капсулы, мкм	
Передний полюс	8-14
Экватор	7-17
Задний полюс	2-4
Хрусталиковые волокна	
Длина (мм)	8-12
Толщина (мкм)	4,6
Количество	2100-2300

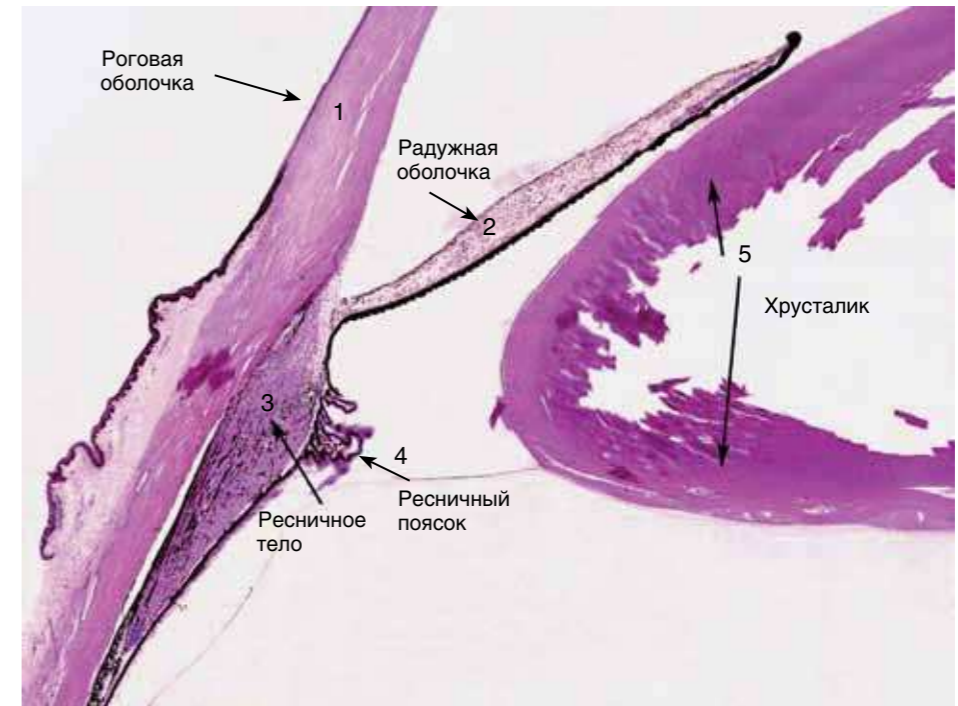


Рис. 2.1.1. Структуры переднего отдела глаза: 1 — роговая оболочка; 2 — радужная оболочка; 3 — ресничное тело; 4 — ресничный пояс; 5 — хрусталик

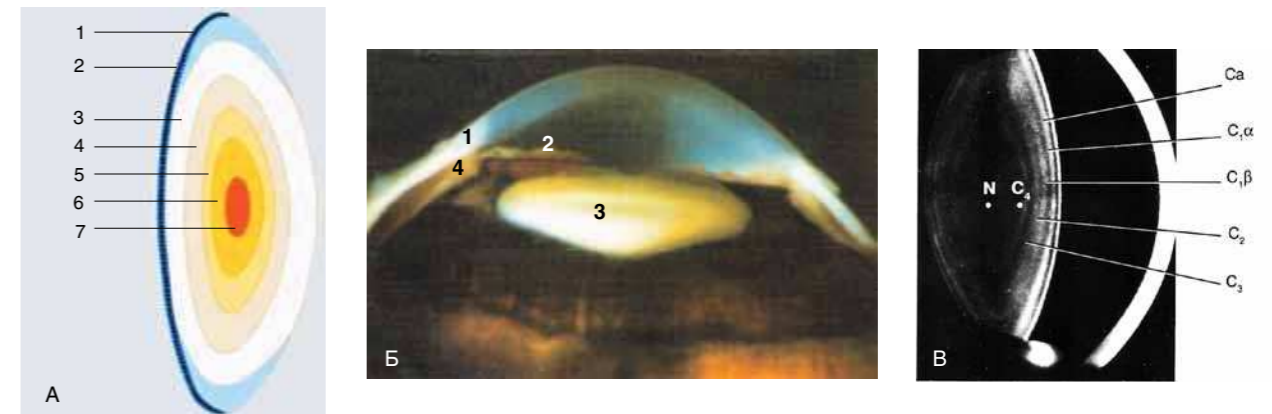


Рис. 2.1.2. Схема строения и расположения хрусталика. А — схема строения хрусталика: 1 — капсула хрусталика, 2 — передний эпителий, 3 — кора, 4 — ядро хрусталика взрослого человека, 5 — ядро хрусталика ребенка, 6 — фетальное ядро, 7 — эмбриональное ядро. Б — особенности расположения хрусталика в глазном яблоке и его форма: 1 — роговая оболочка, 2 — радужная оболочка, 3 — хрусталик, 4 — ресничное тело. В — биомикроскопически выделяемые зоны хрусталика: Ca — капсула; N — ядро; C_{1α} — первая кортикальная (субкапсулярная) светлая зона; C_{1β} — первая зона рассеивания; C₂ — вторая кортикальная светлая зона; C₃ — рассеивающая зона глубоких слоев коры; C₄ — светлая зона глубоких слоев коры

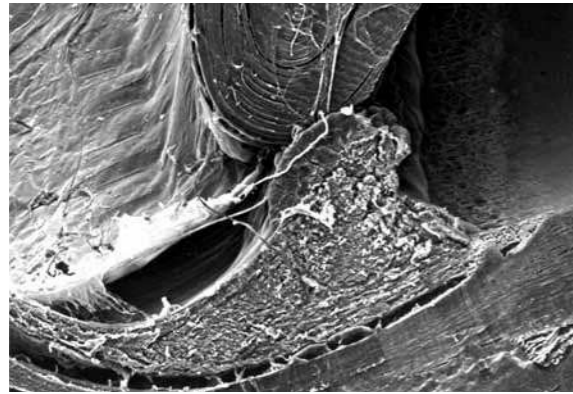


Рис. 2.1.3. Послойное строение хрусталика (по Lütjen-Drecoll E., Rohen J.W. «Augenwunder», Kaden Verlag, 2007)

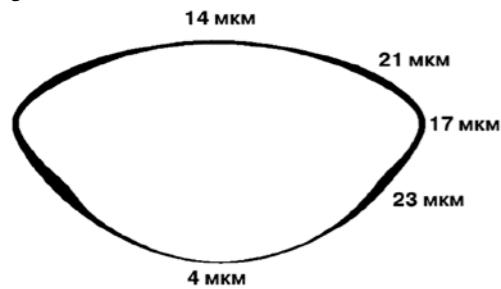


Рис. 2.1.4. Распределение толщины капсулы хрусталика в различных зонах

форму, внутрихрусталиковое давление при этом минимально. При установке зрения вдаль или в покое аккомодации, когда капсула хрусталика натянута связочным аппаратом, внутрихрусталиковое давление повышается, и его форма становится чечевицеобразно уплощенной.

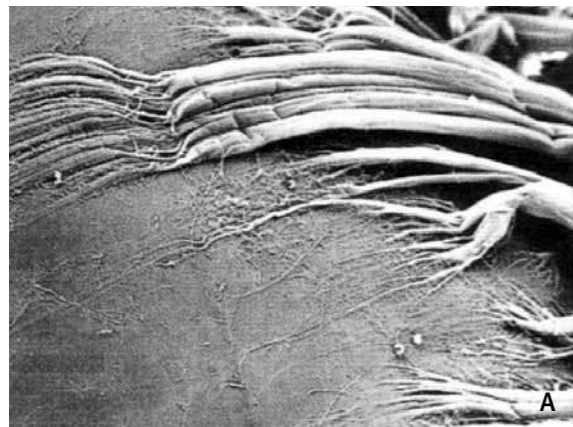


Рис. 2.1.5. Особенности прикрепления ресничного пояска к передней поверхности капсулы хрусталика (А) и в области экватора (Б) (по Bron et al., 1997)

Ресничный пояс, или связочный аппарат хрусталика

Ресничный пояс, или связочный аппарат хрусталика, имеет две основные точки крепления: переднюю, в области экватора хрусталика, и заднюю, в области зубчатой линии, а также одну промежуточную — в области короны цилиарного тела (ЦТ) к боковым поверхностям его отростков. Есть данные, свидетельствующие о том, что за пределами точки крепления в зубчатой линии связки хрусталика свободно оканчиваются в кортикальных слоях стекловидного тела, и это потенциально может иметь биомеханическое значение.

Ресничный пояс, или зонулярный аппарат хрусталика, состоит из волокон диаметром 10 нм (от 8 до 12 нм), имеющих вид трубочек на поперечном срезе. Подавляющее большинство волокон исходит из плоской части ресничного тела кпереди на расстоянии 1,5 мм от зубчатой линии. Здесь они переплетаются с внутренней пограничной мембраной эпителиальных клеток или с волокнами переднего отдела стекловидного тела. Большинство волокон складываются в пучки, состоящие из 2-5 фибрилл. Некоторые фибриллы иногда проникают между эпителиальными клетками. Фибриллы обнаруживаются и между пигментированными эпителиальными клетками ресничного эпителия и вплетаются в их базальную мембрану и мембрану Бруха.

Передние связки распространяются вперед, пока не достигнут заднего края отростчатой части ЦТ. Здесь они образуют зонулярное

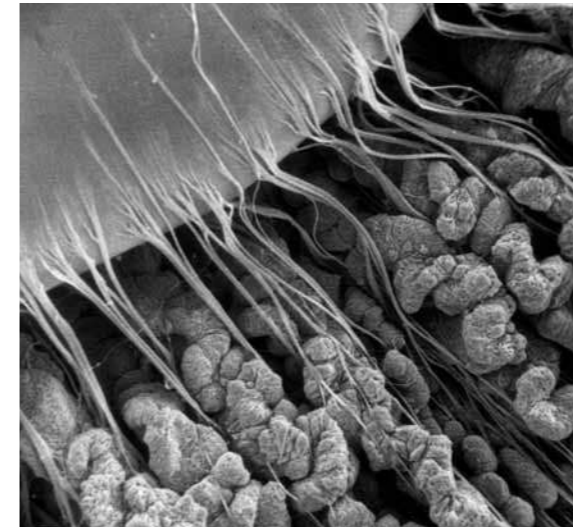
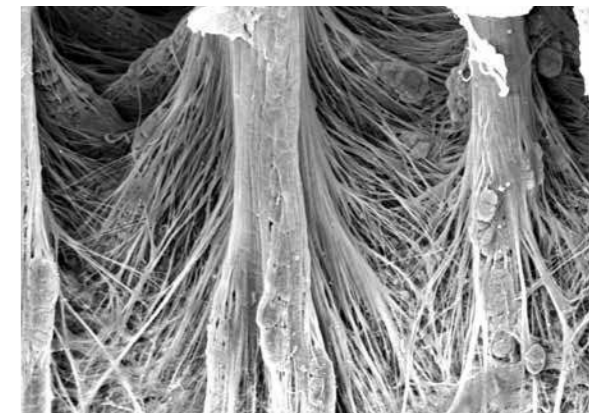
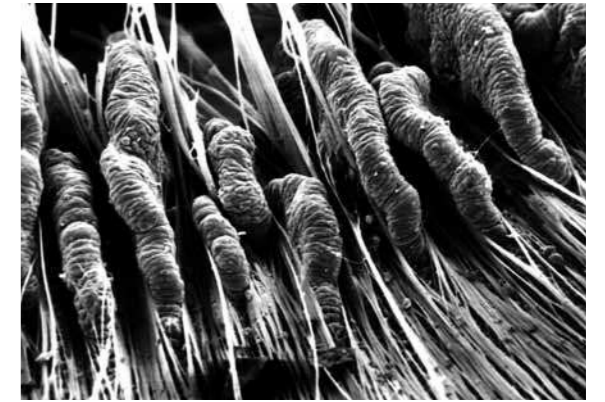


Рис. 2.1.6. Строение и ход волокон ресничного пояска (по Lütjen-Drecoll E., Rohen J.W. «Augenwunder», Kaden Verlag, 2007)

сплетение, которое находится между ресничными отростками, и прикрепляются к их боковым стенкам. Фибриллы зонулярного сплетения плотно присоединяются в основании ресничных гребешков, стабилизируя всю систему связок. Несколько кпереди от короны ресничного тела зонулярное сплетение разделяется на три пучка волокон, направляющихся к передней, экваториальной и задней капсуле хрусталика (Веселовская З.Ф., 2002) (рис. 2.1.5, 2.1.6). Спереди хрусталика связки прикрепляются к капсуле на протяжении 2,5 мм, а сзади — на протяжении 1 мм. Если рассматривается ход связочного аппарата от хрусталика, то считают, что фибриллы, исходящие из переднего отдела экваториальной поверхности хрусталика, направляются кзади и прикрепляются к ресничным отросткам, а фибриллы, отходящие от задней поверхности капсулы, направляются к плоской части ресничного тела и зубчатой линии (задние связки). Экваториальные связки распространяются от ресничных отростков непосредственно к экватору. Выделяют и гиалоидные связки, которые распространяются от плоской части ресничного тела к краю хрусталика в месте его прилегания к стекловидному телу. Здесь они вплетаются в «гиалоидо-капсулярные связки» (соответствующие зонулярным волокнам связки Вигера).



«Живая анатомия» ресничного пояска при ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) задней камеры глаза выглядит несколько по-другому, поскольку в живом глазу присутствуют гидростатические полости, создающие реальную топографо-анатомическую картину внутренних структур глаза (Страхов В.В., Бузыкин М.А., 2004) (рис. 2.1.7-10). Необходимо отметить, что в живом глазу орбикулярное пространство задней камеры, т.е. пространство, прилегающее к плоской части ЦТ, которое на изолированных препаратах практически отсутствует, превращаясь в капиллярную щель, на самом деле заполнено внутриглазной жидкостью, многократно превышающей по объему привычную нам заднюю камеру позади радужки. Это весьма функционально для задней части связочного аппарата хрусталика, потому что обеспечивает оптимальную водную среду для движения связок, в отличие от вязкого стекловидного тела, которое потенциально может ограничивать свободу перемещения



Рис. 2.1.7. Ультразвуковая картина ресничного пояса хрусталика: а — передняя порция цинновых связок; б — средняя порция цинновых связок; с — задняя порция цинновых связок



Рис. 2.1.8. Передняя порция ресничного пояса хрусталика: а — прекоронарная часть, б — посткоронарная часть



Рис. 2.1.9. Средняя порция ресничного пояса хрусталика (А, Б): а — прямая преэквиаториальная часть; б — углообразная преэквиаториальная часть; с — экваториальная часть

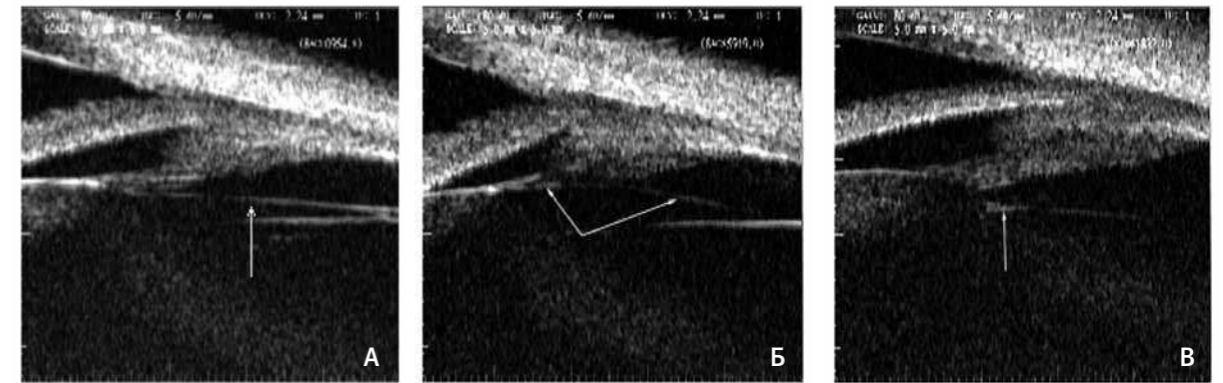


Рис. 2.1.10. Связочный аппарат в орбикулярном пространстве задней камеры: А — передняя порция; Б — части средней порции; В — задняя порция

движущихся внутриглазных структур. В целом УБМ картина связочного аппарата хрусталика подтверждает анатомическое описание трех порций связок, однако только передняя порция имеет промежуточное крепление в короне ЦТ, в то время как экваториальная и задняя идут мимо короны, прямо к зубчатой линии, где, собираясь в пучок, и прикрепляются, образуя своеобразную гиалоидохориоретинальную спайку (рис. 2.1.7-10).

Необходимо отметить, что современные представления о структуре ресничного пояса и его месте в силовом аппарате аккомодации до некоторой степени парадоксальны. Прежде всего потому, что имеется анатомическая разобщенность мышечного и связочного аппаратов исполнительного органа аккомодации. Действительно, не установлено прямой анатомической связи между мышечными волокнами любой порции цилиарной мышцы с волокнами ресничного пояса. А это значит, что ни циркулярная, ни радиальная, ни меридиональная группа мышечных волокон сама по себе не может натягивать или расслаблять ресничный пояс. Осевое натяжение или ослабление ресничного пояса возможно только опосредованно, через перемещение гиалоидохориоретинальной спайки в области зубчатой линии при экскурсиях хороидеи вследствие мышечных сокращений и расслаблений меридиональной мышцы Брюкке, имеющей с хороидеей непосредственную анатомическую связь. Рабочим расстоянием аккомодации следует называть не кратчайшее расстояние между экватором

хрусталика и короной цилиарного тела, а расстояние между двумя основными точками фиксации связочного аппарата, а именно между экватором хрусталика и зубчатой линией перехода цилиарного тела в хороидею. Изменение именно этого расстояния приводит к колебаниям осевого натяжения ресничного пояса при аккомодации.

Цилиарная мышца

Цилиарная мышца (относится к категории гладких мышц) условно разделяется на три порции (мышцы Брюкке, Иванова и Мюллера), в которых мышечные волокна ориентированы в разных направлениях.

Меридиональная мышца Брюкке, самая мощная и длинная (в среднем 7 мм), имея прикрепление в области корнеосклеральной трабекулы и склеральной шпоры, свободно идет до зубчатой линии, где вплетается в хороидею, доходя отдельными волокнами до экватора глаза. И по анатомии, и по функции она точно соответствует своему старинному названию — тензор хороидеи. Общепринятым является мнение о парасимпатической иннервации этой мышцы.

Радиальная мышца Иванова составляет основную мышечную массу короны цилиарного тела и, имея прикрепление к увеальной порции трабекул в прикорневой зоне радужки, свободно оканчивается в виде расходящегося радиально венчика на тыльной стороне короны, обращенной к стекловидному телу. Очевидно,

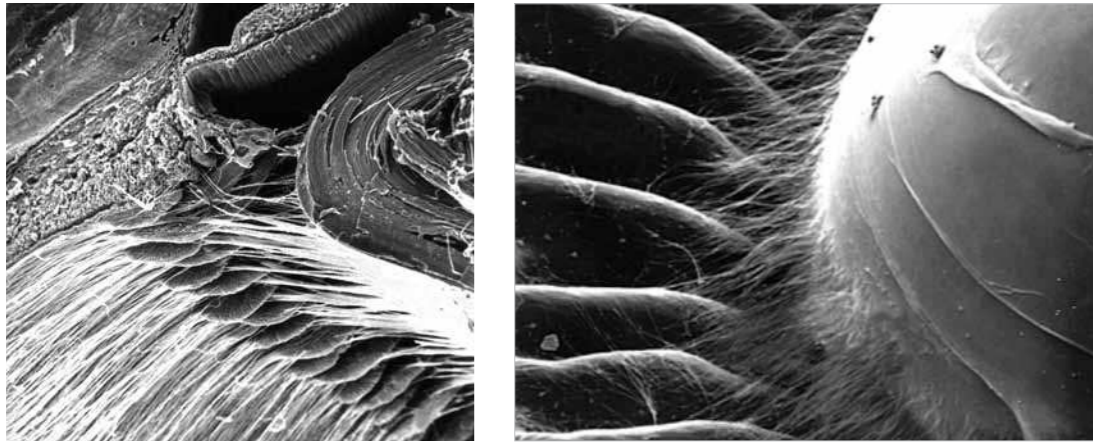


Рис. 2.1.11. Растровая электронная микроскопия ресничного пояска, цилиарных отростков и цилиарной мышцы (слева – по Lütjen-Drecoll E., Rohen J.W. «Augenwunder», Kaden Verlag, 2007)

что при своем сокращении радиальные мышечные волокна, подтягиваясь к месту прикрепления, будут менять конфигурацию короны и смещать ее в направлении корня радужки. Несмотря на запутанность вопроса об иннервации радиальной мышцы, большинство авторов считают ее симпатической (Деев Л.А. с соавт., 1996; Шамшинова А.М., Волков В.В., 1999; Gullstrand A., 1912; Mallen E.A. et al., 2005). Более того, Л.А. Деев с соавт. (1996) обнаружили не только наличие симпатических синапсов в цилиарном теле, но даже скопление адренэргических нервных терминалей в области радиальной порции цилиарной мышцы.

Циркулярная мышца Мюллера не имеет прикрепления, наподобие сфинктера радужки, и располагается в виде кольца в самой вершине короны цилиарного тела. При ее сокращении вершина короны «заостряется», и отростки цилиарного тела приближаются к экватору хрусталика. Принято считать, что иннервация циркулярной мышцы парасимпатическая.

На рис. 2.1.11 представлено строение ресничного пояска и цилиарной мышцы.

Анатомическое строение цилиарной мышцы изучено не только *in vitro* (Лютен-Дреколл Э., Роен Й.В., 1998; Копеева В.Г., 2002; Kahle W., 2003; Netter F., 2007; Standring S., 2008), но и *in vivo* при помощи комбинации метода ультразвуковой биомикроскопии и современной вычислительной техники — методом, предложенным О. Stachs (2003, 2005).

О. Stachs исследовал аккомодацию у пациентов разных возрастных групп при помощи установки, представляющей собой комбинацию специально спроектированного 3D ультразвукового биомикроскопа и графической станции Silicon Graphics. В результате были получены высококачественные изображения цилиарной мышцы при аккомодации, которые показали, что механизм аккомодации не изменяется с возрастом, хотя у пожилых людей перемещение передней части цилиарного тела при сокращении цилиарной мышцы уменьшается примерно вдвое: в 34 года этот параметр составляет 0,36 мм, а в 71 год, при пресбиопии, — 0,18 мм.

Хороидея

Хороидея имеет непосредственное отношение к осевому натяжению и расслаблению цинновых связок, поскольку задняя точка основного крепления связочного аппарата хрусталика тесно связана с хороидеей в области зубчатой линии. Хороидея, имея определенный запас эластичности, способна к растяжению и сокращению относительно склеры под действием сокращений меридиональной порции цилиарной мышцы с соответствующим перемещением задней точки крепления связок, что изменяет рабочее расстояние аккомодации. В отношении аккомодации хороидея весьма соответствует названию «биологической пружины», данному ей А.И. Горбанем (2002).

2.2

ФИЗИОЛОГИЯ АККОМОДАЦИИ

Современные представления о физиологии аккомодации еще далеки от своей завершенности и согласованности. Очевидно, это связано с исключительной сложностью проблемы. При этом существуют лишь единичные объективные методы исследования глаза *in vivo*, позволяющие наблюдать соответствующие процессы в человеческом глазу и давать им качественную и количественную оценку. Например, с помощью «Scheimpflug imaging» фиксируют изменение кривизны хрусталика при аккомодации, по данным ультразвуковой биомикроскопии выявляют ход волокон и сокращение мышцы, с помощью авторефрактометра открытого поля определяют объективный аккомодационный ответ. И все же, несмотря на обилие гипотез по физиологии аккомодации, полуторазековые представления Г. Гельмгольца продолжают оставаться востребованными в современных взглядах на механизмы аккомодации, причем некоторые положения полностью подтвердились самыми последними клиническими и экспериментальными исследованиями с использованием передовых методов визуализации: УБМ, магнитно-резонансной томографии (МРТ), спектральной оптической когерентной томографии (ОСТ).

Итак, на сегодняшний день основополагающей теорией, описывающей механизм аккомодации, является гипотеза Германа фон Гельмгольца, согласно которой, для четкого видения расположенных на близком расстоянии предметов в человеческом глазу происходят следующие изменения: сокращается цилиарная мышца, происходит сужение зрачка, уменьшается глубина передней камеры, хрусталик смещается несколько впереди и книзу, ослабевают натяжение цинновых связок, уменьшается радиус кривизны передней и задней (в меньшей степени) поверхностей хрусталика, что приводит к увеличению его преломляющей силы и усилению динамической рефракции глаза (Helmholtz H., 1855). С момента опубликования точки зрения Г. Гельмгольца на механизм аккомодации не прекращаются попытки

оспорить, видоизменить или дополнить эту теорию. Например, некоторое уточнение теории Гельмгольца предложил Е.Ф. Fincham (1937), который полагал, что хрусталик при аккомодации утрачивает сферичность своих поверхностей не под влиянием экстракапсулярных сил, а в силу неравномерной толщины и эластичности его капсулы в различных отделах. На передней поверхности хрусталика она толще, чем на задней, а на латеральных участках (где крепятся волокна цинновой связки) — толще, чем на полосках. По мнению исследователя, при аккомодации натягиваются зональные волокна, происходит уплощение хрусталика преимущественно на периферии, где капсула толще, и выпячивание в центральных отделах хрусталика, где капсула слабее (тоньше). Задняя капсула хрусталика достаточно тонкая, и здесь радиус кривизны всегда меньше (задняя поверхность более выпуклая) даже в состоянии дезаккомодации.

Уточнением теории Гельмгольца являются также работы А. Gullstrand (1912). По мнению автора, при аккомодации имеют значение два фактора: уменьшение радиуса кривизны поверхностей хрусталика и увеличение показателя преломления хрусталикового вещества (внутрикапсулярная аккомодация). Он выделил в веществе хрусталика два слоя с разными коэффициентами преломления. Во время аккомодации, когда хрусталик становится более выпуклым, в центральном его отделе, соответствующем области зрачка, оказывается более толстый слой той субстанции хрусталика, которая имеет более высокий показатель преломления. Связанное с этим явление усиление преломляющей способности хрусталика и называется внутрикапсулярной аккомодацией (Gullstrand A., 1912; Розенблюм Ю.З., 1995). Косвенным подтверждением этого явления могут служить операции О. Nishi (2003), который заменял содержимое хрусталика приматов силиконом и при этом получал исключительно снижение объема аккомодации, что свидетельствует о том, что неоднородная структура хрусталика более выгодна

с точки зрения максимизации объема аккомодации. Кроме того А. Gullstrand, в отличие от Г. Гельмгольца, рассматривал аккомодацию вдаль как активный процесс, находящийся под управлением симпатической нервной системы, а покой аккомодации — как некое мышечное равновесие двух групп мышц, иннервируемых симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (ВНС).

Касаясь участия связочного аппарата в биомеханизме аккомодации, И.Н. Кошиц с соавт. (2006) обращают внимание на то, что хрусталик всегда поджат к стекловидному телу, и само по себе натяжение волокон цинновой связки только ослабевает, но никогда не исчезает полностью, то есть волокна выполняют не только регулирующую функцию, но и поддерживающую. В то же время исследования В.В. Страхова с соавт. (2007) показывают, что у пациентов с пресбиопией возможно провисание задних порций волокон, что также подтверждают биомеханические расчеты (Иомдина Е.Н., Полоз М.В., 2010).

И все же главный вопрос, вокруг которого до сих пор сосредоточены самые непримиримые разногласия, состоит в том, где именно приложены усилия, обеспечивающие изменение формы хрусталика, т.е. его преломляющей способности — внутри хрусталика или вне него? По этому вопросу специалисты разделились на сторонников приоритета внутривнутрихрусталиковых, а именно упругих сил капсулы хрусталика, приводящих к его округлению при ослаблении натяжения связочного аппарата хрусталика (Helmholtz H., Gullstrand A., Аветисов Э.С., Шаповалов С.Л., Волков В.В., Страхов В.В. и др.), и приверженцев силового деформирующего воздействия на хрусталик снаружи (Tschering M., Coleman D., Schachar R., Золотарев А.В., Крушельницкий А.В. и др.), например, сместившимся вперед стекловидным телом, гидравликой внутриглазной жидкости задней камеры или натянутыми экваториальными связками хрусталика. Так, автор нашумевшей теории аккомодации R. Schachar (1992) считает, что оптическая сила хрусталика при аккомодации увеличивается из-за уплощения его экваториальной периферии (с соответствующим увеличением диаметра) и уменьшения радиуса кривизны в центральных отделах. Однако в настоящее время эта теория признана несостоятельной из-за несоответствия описанного аккомодационного механизма

анатомической структуре аппарата аккомодации. Сторонники гидравлической теории, опираясь на факт повышения давления в стекловидной камере при напряжении аккомодации, считают, что гидравлическое воздействие внутриглазной жидкости достаточно, чтобы деформировать экваториальную зону хрусталика с последующим изменением толщины и кривизны передней поверхности центральной его зоны, вызвав тем самым усиление рефракции.

Надо отметить, что есть научные мнения, пытающиеся объединить полярные взгляды, например А.В. Крушельницкий (2004) считает, что при аккомодации передняя порция волокон цинновой связки подтягивается вперед, уменьшая давление передней капсулы на хрусталик (как в теории Гельмгольца). Так как базис стекловидного тела прочно связан с хориоидеей у зубчатой линии, смещение зубчатой линии продольными (меридиональными) волокнами цилиарной мышцы будет приводить к смещению базиса стекловидного тела. Стекловидное тело в результате оказывает давление на хрусталик (как в теории М. Tschering, 1899), при этом передняя капсула станет более выпуклой, что обеспечит аккомодационный эффект. С другой стороны, есть и такие исследователи, которые категорически отвергают активное участие стекловидного тела в аккомодации. Так, например, в экспериментально-теоретической работе И.А. Скворцова (1979) показано, что стекловидное тело как механическая структура не принимает активного участия в акте аккомодации и существенного влияния на оптические характеристики хрусталика оно не оказывает.

И все же, какими бы непримиримыми не были мнения сторон, как бы они ни изобиловали тонкими деталями аргументации, дело может решить ответ на один простой биомеханический вопрос: как именно изменяется экваториальный диаметр хрусталика на высоте напряжения аккомодации? Если он увеличивается или не изменяется, то правы сторонники деформации экваториальной зоны хрусталика снаружи любым из описанных силовых воздействий — стекловидного тела, связочного аппарата или внутриглазной жидкости. Если диаметр хрусталика уменьшается, то правы сторонники механизма изменения формы хрусталика за счет упругих сил (эластичности) его капсулы, т.е. внутривнутрихрусталиковой структуры. Остается только сообщить, что тщательно выполненная

экспериментальная работа А. Glasser (1998, 1999), включающая эксперимент на обезьянах с УБМ контролем, окончательно установила уменьшение экваториального диаметра хрусталика на высоте аккомодации, тем самым поставив точку в споре, и вертикальной палочкой над этой точкой превратив ее в восклицательный знак после имени Г. Гельмгольца!

Вместе с тем, кроме доминирующей концепции «хрусталиковой» аккомодации, существуют множество мнений об участии в этом процессе других структур глаза. Следует рассмотреть гипотезы аккомодации, связанные с изменением длины глаза вдоль оптической оси и топографии роговицы.

Впервые об аккомодационном изменении формы глаза заявил J.C. Sturm (1697), затем J.B. Listing (1853), которые полагали, что при аккомодации глаз удлиняется. F.C. Donders (1864) также указывал на растяжение глазного яблока вследствие сдавливания его наружными мышцами при конвергенции. Наиболее настойчивым и радикальным в отношении фокусировки путем изменения длины переднезадней оси (ПЗО) был W.H. Bates (1920), который считал, что хрусталик вообще не изменяет форму, а изменение ПЗО — основной механизм аккомодации глаза за счет его сжатия косыми мышцами.

Механизм удлинения глазного яблока при сочетанном аккомодационно-конвергентном напряжении был теоретически и математически рассчитан А.И. Дашевским (1950, 1958, 1962). Он также отводил активную роль экстраокулярным мышцам, участвующим в этом процессе.

В 1992 г. В.Ф. Ананин предположил, что дополнительным компенсаторным механизмом, обеспечивающим наряду с хрусталиком настройку оптической системы глаза при аккомодации, является возможность динамического увеличения аксиальной оси глаза на 1,0-1,5 мм, что может служить одним из объяснений наличия аккомодации в афакичных (без хрусталика) и артификакичных (с искусственным хрусталиком) глазах. Такой механизм, правда, исключительно как вспомогательный, упоминают И.Н. Кошиц с соавт. (2006). По их мнению, удлинение глазного яблока при сокращении экстраокулярных мышц возможно, т.е. сжатие склеры наружными мышцами глаза может вызвать деформацию склеры и изменить тем самым ПЗО глаза (Светлова О.В., Кошиц И.Н., 2002).

В.В. Волков (1988, 2003) также считает возможным наличие «нехрусталиковой» аккомодации при конвергенции за счет удлинения глазного яблока при расслаблении отводящих и сокращении приводящих наружных мышц.

Такого же мнения придерживаются Н. Bayramlar et al. (1999), показавшие экспериментально, что ось глазного яблока удлиняется при фиксации взгляда вблизи даже после закапывания тропикамида, т.е. капель, вызывающих парез цилиарной мышцы. P. Shum et al. (1993) использовали ультразвуковую биометрию для измерения длины оси глаза при расслаблении аккомодации и ее стимуляции приставлением собирающих линз или приближением тест-объекта к парному глазу. Авторы делают вывод, что аккомодация вблизи сопровождается удлинением глазного яблока. К такому же результату пришли W. Drexler et al. (1998), используя метод интерферометрии. В их опыте увеличение длины глаз было большим у эметропов (в среднем 12,7 мкм, что соответствует изменению оптической силы глаза на -0,036 дптр), чем у миопов (в среднем 5,2 мкм, соответствует изменению рефракции на -0,015 дптр). Удлинение глазного яблока исследователи объясняют сокращением цилиарной мышцы, подтягивающей хориоидею вперед и кнутри, из-за чего уменьшается окружность склеры и увеличивается длина оси глаза. Е.Г. Гулидова и В.В. Страхов связывают зафиксированное ими во время аккомодации увеличение в среднем на 0,1 мм ПЗО глаза у детей с уровнем внутриглазного давления (ВГД), поскольку этот эффект был отмечен только в группе школьников с прогрессирующей миопией при относительной внутриглазной гипотонии.

Биомеханическое 3D компьютерное моделирование человеческого глаза, выполненное в виде виртуальной параметрической среды и учитывающее большинство известных анатомо-оптических параметров и физико-механических свойств глазных структур, свидетельствует о том, что избыточный тонус или расслабленное сокращение экстраокулярных мышц, неравномерно сжимающих глазное яблоко при его повороте, может оказать существенное воздействие на объем аккомодации. Подобное воздействие мышц приводит к деформации глазного яблока и к незначительному увеличению длины его ПЗО. Увеличение ПЗО тем больше, чем ниже модуль упругости склеры и чем значительней расслабленность сокращений

экстраокулярных мышц, но в расчетах не удалось получить удлинения ПЗО более 0,5 мм. При согласованной работе экстраокулярных мышц расчетное изменение ПЗО при аккомодации не превышает 0,02 мм (Июдина Е.Н., Полоз М.В., 2011).

К вспомогательным (дополнительным) факторам аккомодации может также относиться и экстраокулярный роговичный механизм (Светлова О.В., Кошиц И.Н., 2002; Кошиц И.Н., 2006), т.е. изменение астигматизма роговицы. Он заключается в том, что наружные мышцы искривляют роговицу и перемещают фокусную область кпереди, иногда одновременно увеличивая ее глубину, как при сужении зрачка.

Эти положения частично подтверждаются исследованиями J. Strobel et al. (2003), показавших, что кривизна роговицы несколько изменяется при аккомодации. Небольшое увеличение кривизны роговицы при сокращении цилиарной мышцы также зафиксировали L. Yasuda, T. Yamaguchi (2005).

По данным ряда ученых (Журавлев А.И., 1996; Сердюченко В.И., Вязовский И.А., 2004), можно также говорить о влиянии напряжения цилиарной мышцы и наружных мышц глаза на топографию роговицы. Еще в 1868 г. В.И. Добровольский отмечал, что существует неравномерное в различных меридианах напряжение аккомодационной мышцы, т.е. разные части цилиарной мышцы могут работать несинхронно (не только независимо друг от друга, но и с различной интенсивностью). С его точки зрения, только этим можно объяснить тот факт, что при астигматизме невысоких степеней острота зрения в течение известного периода времени может оставаться высокой, особенно в детском и юношеском возрасте. У таких людей с возрастом, особенно когда наступает пресбиопия, а иногда после общих ведущих к ослаблению организма заболеваний, обнаруживается снижение остроты зрения без всякой видимой причины, и только при исследовании рефракции можно выявить астигматизм, о котором раньше пациент не подозревал.

R. Vannop (1946) также высказал мнение, что в результате действия экстраокулярных мышц и передней порции цилиарной мышцы кривизна роговицы в процессе аккомодации может изменяться.

Очень существенные изменения роговицы при аккомодации по данным кератотопографии

обнаружены В.И. Лапочкиным (2002). В ходе эксперимента зрительный стимул для активации относительной аккомодации предъявлялся с близкого расстояния (6-7 см), т.е. создавались искусственные условия для гипераккомодации. При этом было зафиксировано формирование выраженного неправильного роговичного астигматизма в среднем до $5,56 \pm 2,1$ дптр! Такое изменение кривизны роговицы наиболее логично, по мнению автора, сочетается с теорией R. Schachar (1994), предполагающей усиление преломления хрусталика в центральной зоне. Выраженное ослабление рефракции роговицы в горизонтальных меридианах также, по мнению автора, косвенно подтверждает активную роль экстраокулярных мышц, особенно горизонтальных, в акте аккомодации. Однако, как указывают Е.П. Тарутта с соавт. (2010), столь значительное ослабление рефракции роговицы можно объяснить тем, что в условиях максимальной конвергенции при фиксации на объект, расположенный в 6 см от глаз, повторному измерению рефракции подвергались не центральные, а периферические участки роговицы, обладающие, как известно, меньшей оптической силой. В любом случае полученные В.И. Лапочкиным результаты говорят не об участии роговицы в акте аккомодации, а скорее о противодействии последней, так как ослабление преломляющей силы роговицы должно приводить к ослаблению клинической рефракции, в то время как при аккомодации, то есть при оптической установке глаза к близко расположенному объекту, происходит усиление его динамической рефракции. И хотя Е.П. Тарутта с соавт. (2010) выявили тенденцию к уменьшению оптической силы роговицы в горизонтальном меридиане, однако достоверных изменений этого показателя при аккомодации у обследованных лиц с миопией не выявлено. Полученные результаты не подтверждают значимого участия роговицы в акте аккомодации миопического глаза.

И.Ю. Марченко с соавт. (2005) также показали, что изменений кривизны и силы преломления роговой оболочки при аккомодации не происходит.

В то же время исследования Г.А. Шилкина с соавт. (2004) с применением фотоцелевой биометрии переднего отдела глаза здоровых людей 25-35 лет (25 человек) скорее созвучны наблюдениям В.И. Лапочкина об увеличении кривизны среза роговицы. Кроме того, Г.А. Шилкин

с соавт. предполагают влияние лимба на топографию роговицы в процессе аккомодации, поскольку «...лимб, занимая промежуточную ключевую позицию между склерой и роговицей и обладая упругостью, превышающей таковую как роговицы, так и склеры, во время аккомодации при сжатии кольца цилиарной мышцы приводит к увеличению выпуклости роговицы и растяжению заднего отдела глаза» (Шилкин Г.А. с соавт., 2004). Вместе с тем исследования Л.А. Минеевой и В.В. Страхова (2005) обнаружили значительно более скромное участие роговицы в аккомодативном процессе. Индуцированный прямой астигматизм на высоте аккомодации для близи составлял в среднем $0,75 \pm 0,25$ дптр и клинически проявлялся лишь у пресбиопов в виде снижения зрения вдаль тотчас после значительной нагрузки чтением.

В целом роль роговой оболочки в аккомодации глаза человека представляется довольно спорной и не вполне однозначной.

Нет полного единства мнений и относительно так называемого «покоя аккомодации». Многие авторы, как когда-то и сам Г. Гельмгольц, считают, что в покое аккомодации, т.е. в некотором состоянии практически полного расслабления цилиарной мышцы, взгляд направлен вдаль. С другой стороны, теория R. Schachar говорит об обратном (1993, 1994).

Одну из точек зрения по данному вопросу представляет А.В. Ланцевич (2007). Он согласен с тем, что основным механизмом аккомодации является содружественное действие трех участников: хориоидея – хрусталик – цилиарная мышца. При этом рассматриваются три состояния покоя аккомодации: функциональное (во время бодрствования и отсутствия в поле зрения стимула), тоническое (во время сна) и анатомическое, связанное с медикаментозной циклоплегией. Однако уже давно и совершенно справедливо Э.С. Аветисов (1981) заметил, что «состояние относительного покоя этой мышцы наступает тогда, когда из поля зрения исключаются стимулы, возбуждающие аккомодацию». Кстати, согласно определению нормальной физиологии, под покоем любой сенсорной системы, включая, конечно, зрительную, следует понимать состояние без стимула.

Свой взгляд на физиологию аккомодации В.В. Страхов сопровождает условным разделением целостного биомеханизма аккомодации на управление и исполнение.

Управление. Управление аккомодацией начинается с анализа четкости зрительного стимула. Если его изображение на сетчатке нечеткое, то корковое представительство аккомодации должно каким-то образом понять, усилить преломление или ослабить, т.е. в каком направлении изменять преломляющую силу глаза. Отсюда становится ясным, что определенность в отношении факторов, влияющих на выбор направления аккомодации, является исключительно важной. Но на сегодняшний день такой определенности нет. Считается, что помочь выбору направления изменения оптической силы хрусталика могут, по меньшей мере, 4 фактора: конвергенция, величина которой тесно связана с величиной аккомодации; хроматическая абберация посредством разной степени преломления длинноволновой и коротковолновой частей спектра; разность четкости фокуса в глубине центральной ямки сетчатки по сравнению с ее краями; и, наконец, флуктуация аккомодации с колебанием преломляющей силы хрусталика частотой 2-3 раза в с, т.е. 2-3 Гц. Возможно, все четыре фактора имеют значение, но представляется, что наиболее важную роль играет именно флуктуация аккомодации, прежде всего в силу своей динамичности и альтернативности, когда при дефокусе улучшение четкости изображения стимула совпадает либо с усилением, либо с ослаблением преломляющей силы хрусталика. Это и дает корковому представительству аккомодации сигнал к выбору правильного направления изменения рефракции для достижения наивысшей четкости изображения или реперной точки аккомодации в виде положения фокуса точно на сетчатке. На этом заканчивается аналитическая часть управления аккомодацией. Далее зрительный анализатор, в соответствии со своей самой главной задачей обеспечения максимально высокого зрения, получив направление изменения рефракции в сторону увеличения четкости изображения, молниеносно активирует управленческий парасимпатический механизм обратной отрицательной связи в выбранном направлении изменения преломляющей силы хрусталика.

Сам механизм управления аккомодацией осуществляется с помощью автономной нервной системы, более известной у нас как вегетативная. Эта система активируется главным образом центрами спинного мозга, ствола мозга и гипоталамусом. Способом управления

являются подсознательные, или безусловные, рефлексy. Эфферентные сигналы к исполнительно передаются через два основных отдела вегетативной нервной системы (ВНС) — симпатический и парасимпатический. Физиологическая анатомия этих двух отделов вегетативной иннервации глаза имеет существенные различия. Парасимпатические волокна исходят из ядра Вестфала-Эдингера, имеющего связь с претектальной зоной ствола мозга и в конечном счете с корой головного мозга. Затем идут в составе III пары черепномозгового нерва к ресничному ганглию, который находится в орбите, сразу позади глазного яблока. Здесь начинается постганглионарный нейрон, который имеет волокна в составе цилиарных нервов для иннервации сфинктера радужки, а также цилиарной мышцы, преимущественно ее меридиональной и циркулярной порций. Симпатические нервные волокна для глаза начинаются в спинном мозге, на уровне боковых рогов первого грудного сегмента (Т1). Затем в виде симпатической цепочки они поднимаются к верхнему шейному ганглию, откуда постганглионарными симпатическими волокнами проникают в глаз, иннервируя дилататор радужки и отчасти цилиарную мышцу, преимущественно ее радиальную порцию.

Важной особенностью ВНС является ее тонус. В норме симпатический и парасимпатический отделы всегда активны. Их фоновый или базовый уровень активности называют соответственно симпатическим и парасимпатическим тонусом. Согласно современным представлениям, основные порции цилиарной мышцы — меридиональная и циркулярная — имеют парасимпатическую иннервацию и, соответственно, нагружены в норме парасимпатическим тонусом. В то же время радиальная порция цилиарной мышцы имеет симпатическую иннервацию и, следовательно, имеет симпатический тонус. Таким образом, физиологический тонус мышечного аппарата цилиарного тела, состоящий из двух частей — парасимпатической и симпатической, — образует *тоническое обеспечение аккомодации*. Значение тонуса состоит в том, что он позволяет одному и тому же отделу, например, симпатическому в отношении артериальных сосудов, как увеличивать активность стимулируемого органа, если стимул выше нормального фона, так и снижать, если стимул ниже фона, т.е. в приложении к сосудам — как суживать, так и расширять просвет артерий. Вместе

с тем известно, что некоторые особые органы могут возбуждаться симпатической стимуляцией и тормозиться парасимпатической и наоборот, т.е. обе системы иногда действуют реципрочно друг другу.

Управленческий механизм аккомодации, в зависимости от выбранного направления, инициирует либо сокращение, либо расслабление парасимпатической части цилиарной мышцы для обеспечения положения фокуса на сетчатке в пределах зоны *рефлекторного обеспечения аккомодации*, т.е. от максимального ее напряжения в ближайшей точке ясного зрения (БТЯЗ) до покоя в безориентирном пространстве с миопической установкой примерно в 1,0 дптр. Все эти двигательные мышечные события, естественно, происходят на фоне физиологического тонуса аккомодации, причем как его парасимпатической, так и симпатической составляющих. Это очень важное положение — сосуществование стимула и фона, рефлекса и тонуса, поскольку какими бы ни были колебания рефлекторных сокращений или расслаблений порций цилиарной мышцы в процессе аккомодации, ее тоническое обеспечение присутствует своим постоянным тоническим напряжением. При этом наряду с парасимпатическим физиологическим тонусом, во время активной зрительной работы также постоянно присутствует симпатический физиологический тонус, т.е. при наличии любых зрительных стимулов, как дальних, так и ближних — симпатически иннервируемая радиальная мышца короны цилиарного тела всегда находится в тонусе. Это со всей очевидностью проявляется при синдроме Горнера, когда в ответ на паралич симпатической иннервации и соответствующий паралич радиальной мышцы рефракция глаза на стороне поражения усиливается путем одновременного приближения как дальнейшей, так и ближайшей точек ясного зрения. Это значит, что до паралича симпатический тонус присутствовал как при зрении вдаль, так и при зрении вблизи.

Естественно, наиболее изученным является физиологический тонус аккомодации парасимпатической природы. Рефракционный эквивалент парасимпатического тонуса аккомодации скрыт и выявляется обычно циклоплегическим путем через медикаментозный паралич меридиональной и циркулярной порций цилиарной мышцы. При этом рефракция обычно ослабевает, и у эмметропа циклоплегический объем

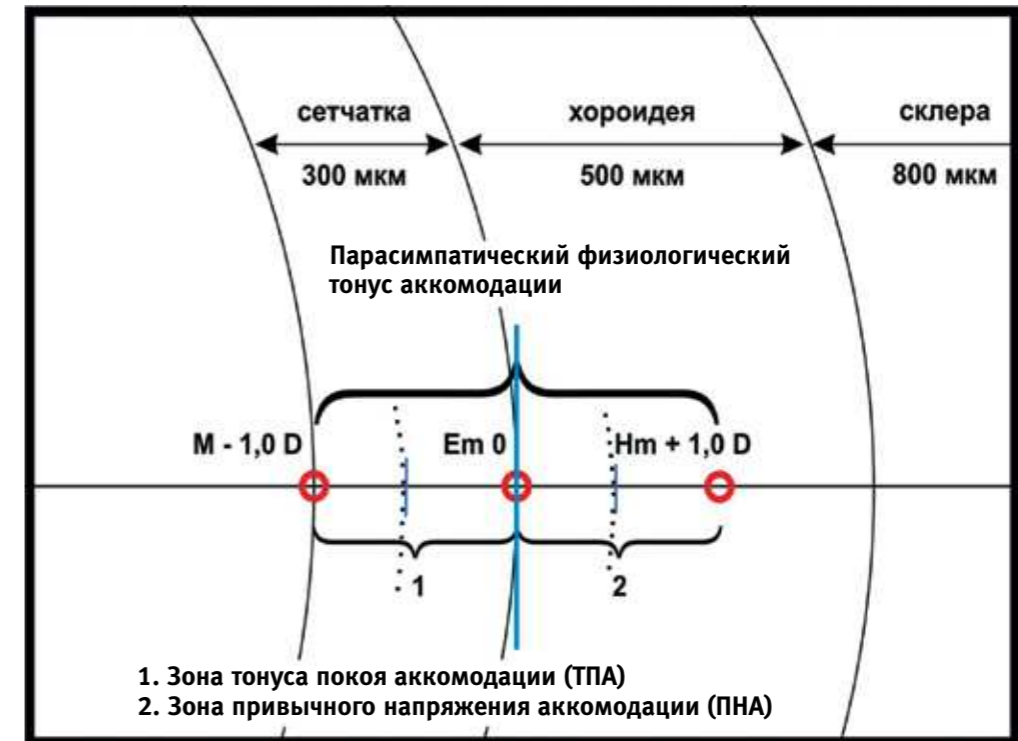


Рис. 2.2.1. Схема расположения парасимпатического тонуса аккомодации

физиологического тонуса аккомодации оказывается в среднем 0,5-0,75 дптр. Эта часть физиологического парасимпатического тонуса весьма устойчива, тесно связана с аккомодативной поддержкой эмметропии путем коррекции небольших степеней несоразмерности рефракции. Она устанавливается и закрепляется в связи с окончанием рефрактогенеза и сохраняется всю жизнь, становясь привычным напряжением аккомодации (ПНА). В сущности это не что иное, как величина скрытой гиперметропии, имеющей место в большинстве так называемой эмметропии. Однако есть еще одно тоническое напряжение цилиарной мышцы, и оно тоже парасимпатической природы, тоже скрытое, ибо выявляется при определенных условиях, и тоже претендует на физиологичность, поскольку возникает в физиологических условиях покоя аккомодации. Это как раз тонус покоя аккомодации (ТПА). Судя по отмеченным характеристикам, можно считать, что ПНА и ТПА — это две части единого целого парасимпатического физиологического тонуса аккомодации (рис. 2.2.1).

Симпатическая составляющая физиологического тонуса аккомодации, напротив, изучена мало. Признавая участие симпатической иннервации в аккомодации, общепринятым является мнение, что рефракционный эффект его не велик: по А. Гейтону, симпатическая стимуляция ресничной мышцы *опосредованно* вызывает ее небольшое расслабление (фиксация взгляда вдаль), в то время как парасимпатическая стимуляция вызывает выраженное мышечное сокращение (фиксация взгляда вблизи). И действительно, разница в рефракционном эквиваленте участия обоих отделов ВНС в управлении аккомодацией существенна. Что значат 1,0-1,5 дптр объема аккомодации вдаль по сравнению с 10,0-12,0 дптр объема аккомодации для близи у молодого человека? Однако впечатление о значимости резко изменится, если представить, что по каким-либо причинам приспособление оптики глаза для дали (всего-то объемом примерно в 1,0 дптр, т.е. от 1 метра до бесконечности) не срабатывает. Безусловно, все значимо: и приспособление для дали, и приспособление для близи, и даже покой от этого приспособления.

Необходимо внести ясность в понятие «покоя» аккомодации. Согласно канонам нормальной физиологии, любая сенсорная система организма находится в покое только в одном случае — при отсутствии стимула. Есть стимул — система работает, нет стимула — отдыхает. Очевидно, и «покой» аккомодационной системы следует понимать как состояние без зрительного стимула, т.е. в темноте, во время сна, в безориентирном пространстве, в состоянии задумчивости. Собственно, большинство серьезных исследователей аккомодации в нашей стране, например, Э.С. Аветисов, В.В. Волков и другие, именно так и понимали покой аккомодации, в отличие от распространенного в клинике мнения, что «покой» аккомодации есть установка глаза вдаль, хотя совершенно понятно, что даже облачко на горизонте — это реальный зрительный стимул. Впрочем, вполне традиционно связывать с покоем полное расслабление мышцы, в данном случае ресничной, и при этом, конечно, понимать аккомодацию как односторонне направленный процесс. Однако следует признать, что с платформы устоявшегося представления о положении точки покоя аккомодации в бесконечности и однонаправленности действия активной аккомодации глаза от дальнейшей точки ясного зрения к ближайшей, не находят адекватного объяснения многочисленные клинические наблюдения, связанные с участием симпатической иннервации в аккомодации. Итак, правильнее считать, что сенсорная система аккомодации условно отдыхает только при отсутствии зрительного стимула. Условно потому, что согласно закономерностям функционирования управляющей ВНС, эта аккомодационная система должна быть нагружена фоновым или физиологическим тонусом. Она и нагружена. Впрочем, она нагружена им не только в покое, но постоянно, и в работе тоже. Представляется, что в обычных условиях активности зрительного анализатора, окруженного разнообразными зрительными стимулами на дальней, средней и близкой дистанциях, фоновые симпатический и парасимпатический физиологические тонусы примерно одинаковы и находятся в равновесии. Но не в равноправии. Прежде всего по отношению к корковому представительству аккомодации, с которым парасимпатикус опосредованно связан, а симпатикус — нет. Симпатический отдел ВНС не имеет коркового представительства для

анализа изображения и, следовательно, может работать только в сфере тонических взаимоотношений с парасимпатической системой. Рабочая зона этих взаимоотношений — общий физиологический тонус аккомодации. При этом парасимпатический физиологический тонус аккомодации занимает в некотором смысле главенствующее положение по отношению к симпатическому физиологическому тонусу, т.е. сохраняется при отсутствии зрительного стимула, в то время как последний при отсутствии стимула исчезает. На подобные взаимоотношения тонусов прямо указывает факт существования так называемого темного фокуса или, на наш взгляд, более точно — тонуса покоя аккомодации (ТПА), поскольку покой возможен не только в темноте, но и, например, в безориентирном пространстве (Тарутта Е.П., Тарасова Н.А., 2012).

Действительно, при отсутствии зрительных стимулов в безориентирном пространстве, т.е. в покое аккомодации, обнаруживается, именно обнаруживается, а не появляется, некоторое усиление преломляющей способности по сравнению с рефракцией при зрении вдаль: эмметропический глаз демонстрирует слабую миопическую установку, примерно в 1,0 дптр, миопический глаз становится соответственно более миопичным, а степень гиперметропии уменьшается. Такое обязательное присутствие парасимпатического физиологического тонуса покоя аккомодации в безориентирном пространстве и постоянное направление в сторону усиления рефракции, вне зависимости от ее вида, делают его похожим на безусловный рефлекс. Но это не рефлекс на темноту и ни в коем случае не дополнительное сокращение цилиарной мышцы. Это проявление нарушения равновесия двух физиологических тонусов, когда при отсутствии зрительного стимула в темноте исчезает симпатический тонус, оставляя базовый парасимпатический тонус в одиночестве, в виде тонуса покоя аккомодации. Известны и величина тонуса покоя аккомодации или «темного фокуса» — в среднем в пределах 0,75-1,0 дптр, и зависимость этой величины от вида клинической рефракции (Волков В.В., Колесникова Л.Н., 1973; Тарутта Е.П., Тарасова Н.А., 2012). Тот факт, что сама по себе миопическая установка глаза в покое аккомодации обнаруживается при любой клинической рефракции, лишь доказывает ее физиологичность.

При активации аккомодации в ответ на появление зрительного стимула на любой дистанции — дальней, средней, близкой или одновременно на всех, как чаще всего бывает в реальности, рефлекторно возникает симпатический физиологический тонус радиальной порции цилиарной мышцы. Активируется натяжение связок хрусталика и происходит рефракционная нейтрализация слабомиопической установки глаза в безориентирном пространстве или своеобразная нейтрализация тонуса покоя аккомодации (ТПА). При этом привычное напряжение аккомодации (ПНА), как достаточно стабильная часть парасимпатического физиологического тонуса аккомодации, сохраняется без изменений и может быть снято только циклоплегией. Таким образом, благодаря рефракционной нейтрализации парасимпатического ТПА клинически обнаруживается величина симпатического тонуса, который оказывается равным

по своему рефракционному эквиваленту (примерно в 1,0 дптр) базовому парасимпатическому тонусу, но противоположно направленным по знаку. Парадоксальность такой рефракционной ситуации покоя аккомодации заключается в том, что симпатический тонус аккомодации проявляет себя своим отсутствием. Впрочем, и при активности аккомодации он скрыт. Однако за пределами физиологических состояний, например, при искусственной электрической стимуляции симпатических узлов шейного отдела позвоночника или медикаментозной стимуляции симпатического отдела ВНС, например, адреномиметиком ирифрином, симпатический тонус проявляется достаточно отчетливым клиническим признаком ослабления рефракции, а при уже упоминавшемся синдроме Горнера, когда возникает паралич симпатической иннервации, имеется соответствующее усиление рефракции.

2.3

БИОМЕХАНИЗМ АККОМОДАЦИИ

При оптической установке глаза для рассматривания близко расположенных предметов возникает сокращение волокон меридиональной порции цилиарной мышцы, активированное парасимпатической нервной системой. Происходит натяжение хороидеи и перемещение вперед задней точки фиксации связочного аппарата хрусталика в области зубчатой линии — первый подвижный узел связочного аппарата хрусталика (рис. 2.3.1) с последующей реализацией классического механизма аккомодации по Г. Гельмгольцу.

Этот биомеханизм подразумевает ослабление осевого натяжения цинновых связок (рис. 2.3.2) вследствие уменьшения рабочего расстояния аккомодации между двумя основными точками крепления связочного аппарата: в области экватора хрусталика и в области зубчатой линии.

Ослабление натяжения связок приводит к уменьшению напряжения капсулы хрусталика, нагруженного повышенным внутрехрусталиковым давлением при установке зрения вдаль. Ослабление напряжения капсулы позволяет хрусталику в силу его эластичности стать более выпуклым, особенно в зрачковой зоне передней поверхности, где капсула хрусталика более тонкая, чем на периферии. Уменьшение радиуса кривизны передней поверхности хрусталика является основным оптическим условием увеличения преломляющей силы хрусталика и усиления рефракции в целом. По мнению ряда авторов, относительная тонкость передней капсулы хрусталика в области зрачка является причиной заметных сферических аберраций хрусталика на высоте аккомодации.

Кроме того, во время аккомодации для близи, благодаря сокращению циркулярных волокон мышцы Мюллера или своеобразно циркулярного сфинктера, возникает дополнительное перемещение короны цилиарного тела в направлении экватора хрусталика. Цилиарное кольцо сфинктероподобно сжимается. Физиологический смысл работы мышцы

Мюллера заключается не только в перемещении блока промежуточного крепления части связочного аппарата в короне ближе к экватору хрусталика (второй подвижный узел связочного аппарата хрусталика) и тем самым дополнительного ослабления его осевого натяжения. Но прежде всего, на наш взгляд, в обеспечении стабильности фронтального положения хрусталика через укорочение свободного хода расслабленной передней порции ресничного пояса: эффект своеобразного «короткого поводка» для ограничения подвижности хрусталика, или факодонеза, на высоте аккомодации, особенно при крайних ее напряжениях.

Биомеханизм перевода оптической установки глаза с близкого расстояния на далекое представляет собой одновременный совместный процесс хорошо известного пассивного компонента аккомодации под влиянием падения парасимпатического тонуса и активной аккомодации под влиянием симпатического тонуса.

Пассивный компонент аккомодации для дали: сброс тонуса парасимпатической нервной системы в ответ на зрительный стимул установки глаза вдаль расслабляет меридиональную и циркулярную мышцы. Хороидея, в ответ на прекращение растягивания со стороны меридиональной мышцы, в силу своей эластичности сокращается, стремясь занять свое первоначальное положение, и тем самым перемещает кзади точку крепления цинновых связок в области зубчатой линии (первый подвижный узел). Это приводит к осевому натяжению связочного аппарата хрусталика из-за увеличения рабочего расстояния аккомодации между экватором и зубчатой линией с соответствующим растяжением передней капсулы хрусталика и уплощением его передней поверхности. Кроме того, снижение давления в стекловидной камере глаза приводит к возвращению передних кортикальных слоев стекловидного тела назад и перемещению хрусталика вместе со своей кольцевидной связкой кзади вдоль оптической оси.

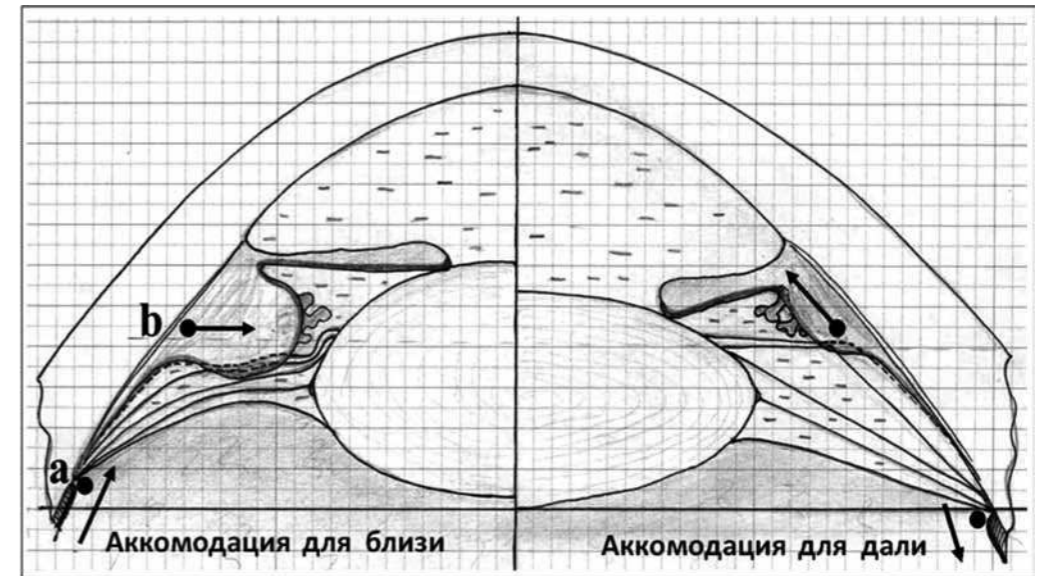


Рис. 2.3.1. Схема биомеханизма аккомодации глаза (a — первый подвижный узел; b — второй подвижный узел)

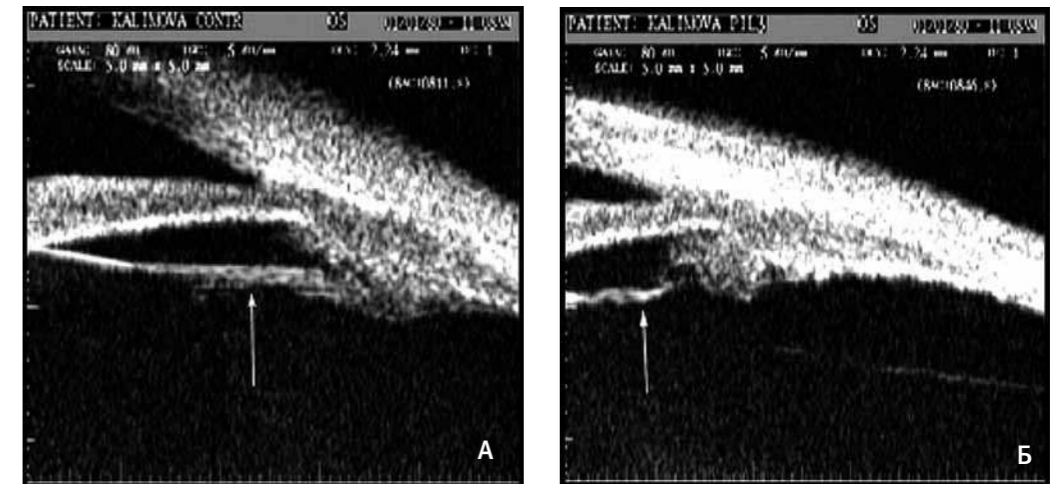


Рис. 2.3.2. Передняя порция связки: А — в покое аккомодации; Б — при напряжении аккомодации

Активный компонент аккомодации для дали. Поскольку симпатический отдел аккомодативного управления не имеет коркового представительства, то активная деятельность симпатической регуляции аккомодации проявляется только в тоническом взаимодействии с парасимпатическим тонусом и выходит из-под его доминирования только тогда, когда величина

последнего, в результате резкого уменьшения при зрительной перестройке для дали, становится равной или даже меньше уровня фонового симпатического тонуса. Это приводит к преобладанию силы сокращения радиальных мышечных волокон короны ЦТ над расслабленными циркулярными волокнами, что и перемещает корону ЦТ от экватора хрусталика. Здесь



Рис. 2.3.3. Эффект натяжения передней порции связки

просматривается аналогия с биомеханикой расширения зрачка при работе дилатора радужки. Цилиарное кольцо, подобно зрачку, расширяется. Возникает эффект натяжения передней порции цинновой связки на участке от экваториальной зоны хрусталика до места перехода короны цилиарного тела в его плоскую часть (рис. 2.3.3).

Такой ход связок совпадает с направлением вектора силы растяжения передней капсулы хрусталика, что позволяет осевому натяжению связочного аппарата приводить к уплощению передней поверхности хрусталика. Кроме того, совместное с короной ЦТ перемещение блока промежуточного крепления передней порции цинновых связок несколько вперед, к склеральной шпоре, может создавать дополнительное боковое (а не осевое) натяжение связок на участке между экватором хрусталика и короной цилиарного тела (рис. 2.3.4), что также может сопровождаться дополнительным натяжением капсулы хрусталика.

В среднем на медикаментозных моделях симпатической активации аккомодации суммарный эффект осевого и бокового натяжения связочного аппарата хрусталика сопровождался увеличением радиуса кривизны передней поверхности хрусталика на $1,1 \pm 0,3$ мм, в сравнении с состоянием «покоя аккомодации», что обеспечивает ослабление рефракции примерно на 1,0-1,5 дптр. При зрительной установке вдаль сочетание перемещений короны цилиарного тела и хрусталика в противоположных по отношению к склеральной шпоре направлениях

усиливает эффект уплощения передней поверхности хрусталика, увеличивая скорость процесса перехода установки глаза с ближайшей точки ясного зрения на дальнейшую.

Представленный механизм аккомодации вполне согласуется с модной на Западе концепцией «цепного», или катенарного, механизма аккомодации по J. Coleman (2001). Этот автор уже более 50 лет развивает выдвинутую в 1924 г. L. Johnson теорию гидравлического механизма аккомодации, обогатив ее представлением о роли расстояний между «опорами цепного моста». В экспериментах на обезьянах J. Coleman установил, что сокращение цилиарной мышцы, подобно сближению опор моста, создает предпосылки к провисанию цинново-хрусталиковой диафрагмы (рис. 2.3.5).

Однако повышающееся при этом в стекловидной полости давление смещает всю указанную конструкцию кпереди, увеличивая за счет тангенциальных тракций кривизну передней поверхности хрусталика. Здесь, на наш взгляд, важно отметить, что повышение давления в стекловидной камере глаза на высоте аккомодации для близи действительно может смещать хрусталик кпереди, но, в отличие от принципа катенарности по J. Coleman, не является доминирующим в реализации изменения кривизны передней поверхности хрусталика. Равно как и принцип эластичности хрусталика по Г. Гельмгольцу не исключает участия в этом процессе эффекта провисания «цепного моста» с изменением кривизны передней поверхности хрусталика по катенарному механизму. Принципиально важным, можно сказать «рефрактообразующим», при аккомодации для близи является сужение кольца цилиарного тела при ослаблении тонуса передней порции ресничного пояса. Это отправная точка для изменения формы хрусталика как по причине действия эластических сил линзы, так и по причине провисания ее связочно-капсулярной диафрагмы. Представляется, что в реальности оба механизма изменения радиуса кривизны хрусталика взаимно усиливают друг друга. Таким образом глаз настраивается на работу вблизи. Но ведь если представить происходящее под действием симпатомиметиков увеличение диаметра коронарного кольца как раздвижение опор цепного моста, то становится понятным и механизм уплощения передней поверхности хрусталика за счет его экваториальных тракций, а вместе с этим — и наличие активной аккомодации вдаль.

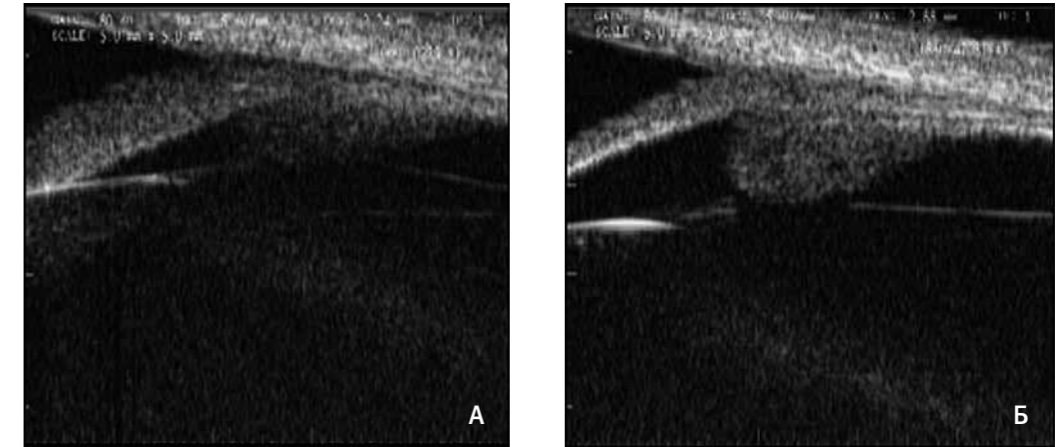


Рис. 2.3.4. Эффект бокового натяжения связок на медикаментозной модели аккомодации вдаль: А — контроль, Б — адреналин

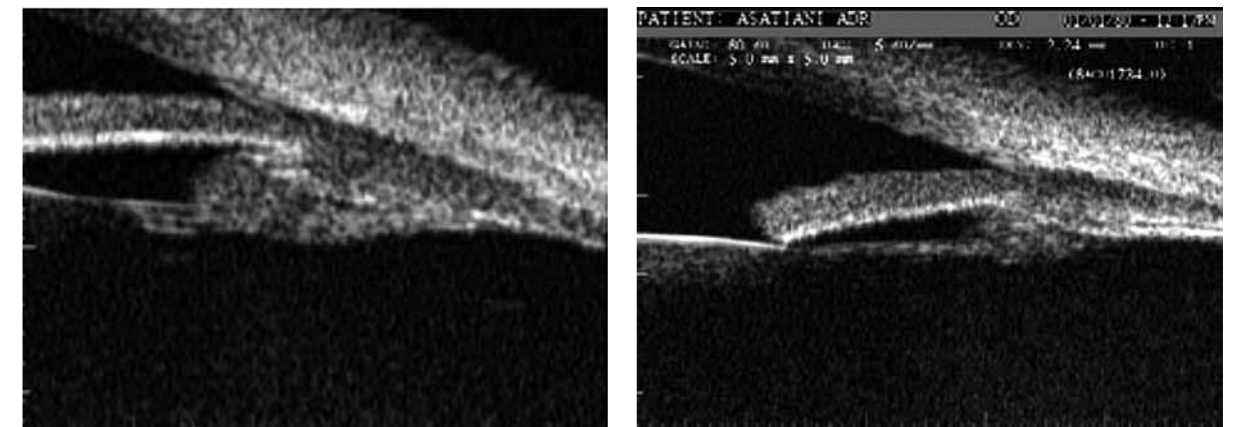
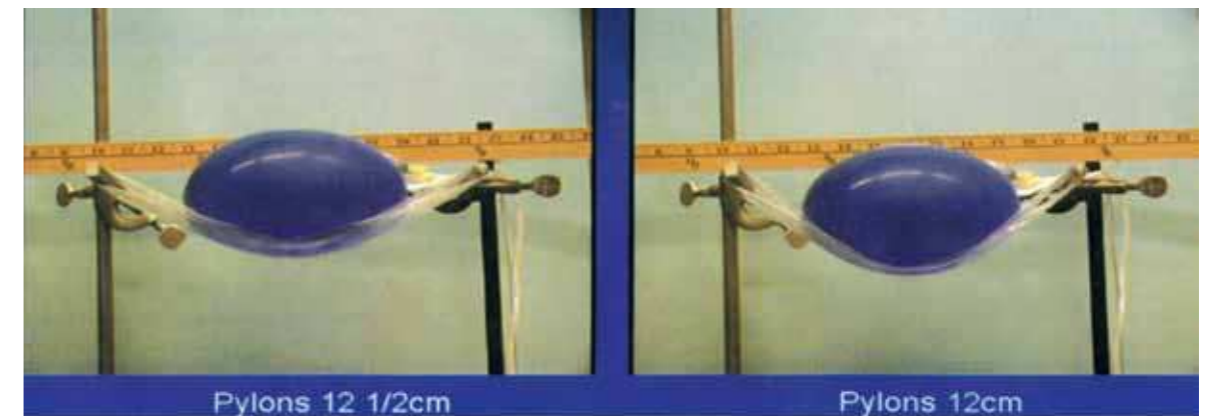


Рис. 2.3.5. Модели аккомодации. По J. Coleman (вверху), по В.В. Страхову (внизу)

Вторичные компоненты аккомодации

Зрачок. Сужение зрачка при аккомодации для близи позволяет увеличить глубину резкости и, следовательно, уменьшить объем затрачиваемой аккомодации при рассматривании предметов, расположенных на близком расстоянии, или восполнить недостающий объем аккомодации, например, при ранних проявлениях пресбиопии. Не случайно ранние пресбиопы в возрасте 40-45 лет часто отмечают затруднения при чтении в условиях низкой освещенности и практически полное восстановление способности читать при увеличении освещения, когда в ответ на усиление светового потока происходит сужение зрачка, что сопровождается энергосберегающей для аккомодации функцией диафрагмирования оптики глаза.

Роговица. Об участии роговицы в аккомодации, как было сказано выше, мнения противоречивы: от полного отрицания до значительного участия — 5-6 дптр (!) в сферическом эквиваленте (Лапочкин В.И., 1999). Исследования рефракции роговицы при естественной и искусственной медикаментозной стимуляции аккомодации (Минеева Л.А. с соавт., 2005) выявили возникновение прямого роговичного астигматизма в пределах физиологического, в среднем $0,75 \pm 0,25$ дптр за счет усиления вертикального меридиана. Эти данные сходны с результатами, полученными Е.П. Таруттой с соавт. (2010), М. Tsukamoto et al. (2000), В.С. Pierscionek et al. (2001). Незначительные изменения роговицы при аккомодации свидетельствуют об отсутствии ее прямого участия, однако наведенный прямой роговичный астигматизм небольших степеней может, так же как и сужение зрачка, повышать глубину резкости, облегчая тем самым работу аккомодации.

Склера и экстрабульбарные мышцы. Интерес к исследованию участия этих структур в аккомодации обоснован, прежде всего, их значимостью в возникновении и прогрессировании осевой миопии. Увеличение переднезадней оси глаза при работе на близком расстоянии, главным образом за счет конвергентного поддавливания склеры экстрабульбарными мышцами, как было сказано выше, может рассматриваться как частичная альтернатива хрусталиковой аккомодации. Но, даже при самых тщательных

ультразвуковых исследованиях, на сегодняшний день не зафиксировано достоверного увеличения переднезадней оси глазного яблока на высоте аккомодации для близи (Волков В.В., 2003; Марченко И.Ю. с соавт., 2005). Вместе с тем безусловный факт преобладания объема абсолютной аккомодации (при зрении одним глазом) над объемом относительной (при зрении двумя глазами) указывает на возможность рефракционного компонента увеличения переднезадней оси глаза при конвергенции.

Стекловидное тело. Предполагается, что стекловидное тело также может быть вовлечено в аккомодацию, так как имеет анатомическую связь с хрусталиком через связку Вигера, с ресничным пояском через сращение его задней порции с передней гиалоидной мембраной и витреохориоретинальной спайкой в области зубчатой линии, где прикрепляется весь связочный аппарат хрусталика, с комплексом сетчатки-хороидея на всем постэкваториальном внутриглазном пространстве. Главная роль стекловидного тела заключается в перемещении хрусталика вперед вдоль оптической оси глаза в процессе аккомодации для близи, так как других исполнителей этой функции не существует. При натяжении хороидеи повышенное давление в стекловидной камере выталкивает стекловидное тело и связанный с ним хрусталик вперед. При сокращении хороидеи во время аккомодации для дали роль стекловидного тела не столь значительна, поскольку функцию возвращения хрусталика в исходное состояние берет на себя часть ресничного пояса, напрямую связывающая экваториальную и постэкваториальную зоны хрусталика с хороидеей в области зубчатой линии. Таким образом, все вторичные компоненты аккомодации так или иначе уменьшают аккомодационные усилия и, следовательно, имеют энергосберегающие свойства, целесообразные офтальмоэргонически.

В целом анализ результатов исследований и взглядов различных ученых на аккомодацию подтверждает тезис: механизм аккомодации человеческого глаза до сих пор является предметом споров и дискуссий... В этой связи уместно заметить, что в природе существуют самые разнообразные способы фокусировки (Г.И. Рожкова с соавт., 2005), и некоторые из них вполне, хоть и в малой части, могут иметь место и у человека.

Литература

1. Аветисов Э.С. Оптическая коррекция зрения. М., Медицина. 1981.
2. Ананин В.Ф. Аккомодация и близорукость. М.: Биомедфарм, 1992. 223 с.
3. Веселовская З.Ф. Катаракта. Киев: Книга плюс, 2002. С. 24-62.
4. Волков В.В. О вероятных механизмах миопизации глаза в школьные годы // Офтальмол. журн. 1988. № 3. С. 129-132.
5. Волков В.В. По поводу аккомодации глаза // Окулист. 2003. № 6. С. 6-7.
6. Волков В.В., Колесникова Л.Н. Аккомодация и рефракция по материалам исследования с помощью кобальтового стекла // Офтальмол. журн. 1973. № 3. С. 172-176.
7. Горбань А.И. Роковое наследство // Окулист. 2002. № 7/8. С. 6-8; № 9/10. С. 12-13.
8. Дашевский А.И. Измерение объема хрусталика живого глаза / В кн.: Вопросы физиологии и патологии зрения. М., 1950. С. 106-110.
9. Дашевский А.И. Новые данные об оптической системе глаза и ее возрастных изменениях / В кн.: Проблемы физиологической оптики. М.-Л., 1958. С. 12, 336-344.
10. Дашевский А.И. Оптическая система и рефракция глаза // Многотомное руководство по глазным болезням / Под ред. Архангельского В.Н. М., 1962. Т. 1. С. 259-263.
11. Деев Л.А., Абросимов С.Ю., Молоткова И.Я. Гетерогенность распределения адренергических и холинэргических нервных терминалей в цилиарной мышце в норме и при терминальной стадии глаукомы // Офтальмохирургия. 1996. № 4. С. 19-22.
12. Добровольский В.И. О различных изменениях астигматизма под влиянием аккомодации // Военно-медицинский журн. 1868. С. 3-103.
13. Журавлев А.И. Фотоупругость роговицы в норме и при патологии глаз. Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб.: ВМедА, 1996.
14. Иомдина Е.Н., Полоз М.В. Биомеханическая модель глаза человека как основа для изучения его аккомодационной способности // Рос. журн. биомеханики. 2010. Т. 14, № 3(49). С. 7-18.
15. Иомдина Е.Н., Полоз М.В. Возможности использования биомеханической модели глаза для изучения возрастных изменений аккомодационной способности // Рос. офтальмол. журн. 2011. № 1. С. 17-21.
16. Копаева В.Г. Глазные болезни. М.: Медицина, 2002. 560 с.
17. Кошиц И.Н., Горбань А.И., Светлова О.В. Современные представления о биомеханизмах аккомодации и теории Гельмгольца. СПб.: МАПО, 2006. 64 с.
18. Крушельницкий А.В. Новая теория аккомодации // Офтальмол. журн. 2004. № 4. С. 54-57.
19. Ланцевич А.В. О вероятном механизме тонического покоя аккомодации // Биомеханика глаза 2007. Сб. тр. конф. М., 2007. С. 38-42.
20. Лапочкин В.И. Динамические изменения роговицы при аккомодации глаза // J. Eye World (рос. издание). 2002. № 2. С. 25.
21. Лютъен-Дреколл Э., Роев Й.В. Анатомический атлас. Функциональные системы человека. М.: АСТ, 1998. 145 с.
22. Мальцев Э.В. Хрусталик. М.: Медицина, 1988. С. 15-36.
23. Марченко И.Ю., Степанова Л.В., Сычев Г.М. Изменение основных параметров глаза при аккомодации // Биомеханика глаза – 2005. Сб. тр. конф. М., 2005. С. 58-60.
24. Минеева Л.А., Страхов В.В., Кузнецов Д.В. К вопросу об участии роговицы в аккомодации глаза человека // Биомеханика глаза – 2005. Сб. тр. конф. М., 2005. С. 60-62.
25. Рожкова Г.И., Панова И.Г., Хохлова Т.В., Орлов О.Ю. Механизмы фокусировки изображений в глазах камерного типа у позвоночных животных. Обзор // Сенсорные системы. 2005. Т. 19, № 3. С. 181-211.
26. Розенблюм Ю.З. Изучение аккомодации от Гельмгольца до наших дней // Актуальные вопросы офтальмологии. М., 1995. С. 23-40.
27. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Классификация и взаимодействие механизмов аккомодации глаза человека. Биомеханика глаза – 2002. Сб. тр. конф. М., 2002. С. 117-119.
28. Сердюченко В.И., Вязовский И.А. Исследование аккомодации в различных меридианах глаза и модифицированная методика лечения ее нарушений при гиперметропической амблиопии // Биомеханика глаза – 2004. Сб. тр. конф. М., 2004. С. 33-37.
29. Скворцов И.А. О влиянии деструкции стекловидного тела на аккомодационную способность глаза // Стекловидное тело в клинической офтальмологии. Вып. II. ЛПИИ, 1979. С. 24-28.
30. Страхов В.В., Бузыкин М.А. Медикаментозная модель биомеханики аккомодации глаза // Биомеханика глаза. М., 2001. С. 179-181.
31. Страхов В.В., Минеева Л.А., Бузыкин М.А. К вопросу о биомеханизме инволюционных изменений аккомодации глаза человека // Биомеханика глаза – 2007. Сб. тр. конф. М., 2007. С. 49-54.
32. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Тарасова Н.А., Ходжабекян Н.В. К вопросу об участии роговицы в аккомодации миопического глаза // Вестн. офтальмол. 2010. № 6. С. 15-17.
33. Тарутта Е.П., Тарасова Н.А. Состояние привычного тонуса и тонуса покоя аккомодации у детей и подростков на фоне аппаратного лечения близорукости // Рос. офтальмол. журн. 2012. № 2. С. 59-62.

34. *Тарутта Е.П., Тарасова Н.А.* Тонус аккомодации при миопии и его возможное прогностическое значение // *Вестн. офтальмол.* 2012. № 2. С. 34-37.
35. *Шамшинова А.М., Волков В.В.* Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: Медицина, 1999. С. 361-365.
36. *Шилкин Г.А., Шилкин А.Г., Бессарабов А.Н.* Биомеханическое обеспечение зрения вдаль и вблизи у человека // *Биомеханика глаза – 2004.* Сб. тр. конф. М., 2004. С. 45-54.
37. *Bannon R.E.* A study of astigmatism at the near point with special reference to astigmatic accommodation // *Am. J. Optometry and archives of Am. Academy of Optometry.* 1946. V. 23. P. 53-75.
38. *Bates W.H.* Shifting as an aid to vision // *New York Medical Journal.* 1920. N 3. P. 7.
39. *Bayramlar H., Cekic O., Hepsen I.F.* Does convergence, not accommodation, cause axial-length elongation at near? A biometric study in teens // *Ophthalmic Res.* 1999. V. 31, N 4. P. 304-308.
40. *Coleman D.J., Fish S.K.* Presbyopia, accommodation, and the mature catenary // *Ophthalmol.* 2001. V. 108, N 9. P. 1544-1551.
41. *Donders F.C.* On the anomalies of accommodation and refraction of the eye; with a preliminary essay on physiological dioptrics. London: New Sydenham Society, 1864.
42. *Drexler W., Findi O., Schmetterer L. et al.* Eye elongation during accommodation in humans: differences between emmetropes and myopes // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 1998. V. 39, N 11. P. 2140-2147.
43. *Fenies H., Dauber W.* Pocket atlas of human anatomy. Stuttgart, New York: Thieme, 2000. P. 354-366.
44. *Fincham E.F.* The mechanism of accommodation // *Br. J. Ophthalmol.* 1937. V. 8. P. 5-80.
45. *Glasser A., Campbell M.C.W.* Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia // *Vis. Res.* 1999. V. 39. P. 1991-2015.
46. *Glasser A., Campbell M.C.W.* Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age // *Vis. Res.* 1998. V. 38, N 2. P. 209-229.
47. *Glasser A., Kaufman P.L.* The mechanism of accommodation in primates // *Ophthalmology.* 1999. V. 106, N 5. P. 863-872.
48. *Gullstrand A.* Wie ich den intrakapsularen Akkommodations-mechanismus fand // *Arch. f. Augenheilk.* 1912. Bd. 172. S. 169-172.
49. *Helmholtz H.v.* Uber die Accommodation des Auges (Accommodation of the eye) // *Graefe's Arch. Ophthalmol.* 1855. P. 1-89.
50. *Johnson L.* A new theory of accommodation // *Arch. Ophthalmol.* 1924. V. 53. P. 221-223.
51. *Kahle W.* Color atlas of human anatomy. Nervous system and sensory organs. Stuttgart, New York: Thieme, 2003. V. 3. 406 p.
52. *Listing J.B.* Wagner's Handwörterbuch. Physiologie. Braunschweig. 1853. V. 4. P. 498.
53. *Lutjen-Drecoll E., Rohen J.W.* Augenwunder – eine funktionell-anatomische Reise durch das Auge. Kaden Verlag, 2007.
54. *Mallen E.A., Gilmartin B., Wolffsohn J.S.* Sympathetic innervation of ciliary muscle and oculomotor function in emmetropic and myopic young adults // *Vis. Res.* 2005. V. 45, N 13. P. 1641-1651.
55. *Netter F.H.* Atlas de anatomia humana. Masson, 2007. P. 78-76.
56. *Nishi O.* Restoration of accommodation by refilling the lens capsule after endocapsular phacoemulsification // *Current aspects of human accommodation* / Eds. Guthoff R., Ludwig K. Kaden Verlag, 2003. P. 135-146.
57. *Pierscionek B.K., Popiolek-Masajada A., Kasprzak H.* Corneal shape change during accommodation // *Eye.* 2001. V. 15. P. 766-769.
58. *Schachar R.A.* Pathophysiology of accommodation and presbyopia. Understanding the Clinical Implications // *J. Florida Medical Assos.* 1994. V. 81. P. 268-271.
59. *Schachar R.A., Cudmore D.P., Black T.O.* Experimental support for Schachar's hypothesis of accommodation // *Ann. Ophthalmol.* 1993. V. 25, N 11. P. 404-409.
60. *Shum P.J., Ko L.S., Ng C.L., Lin S.L.* A biometric study of ocular changes during accommodation // *Am. J. Ophthalmol.* 1993. V. 115, N 1. P. 76-81.
61. *Stachs O.* Ciliary muscle continues to flex in presbyopic eyes // *Eurotimes ESCRS.* 2005. V. 10, issue 5. P. 13.
62. *Stachs O.* Monitoring the human ciliary muscle function during accommodation // *Current aspects of human accommodation II* / Eds. Guthoff R., Ludwig K. Kaden Verlag, 2003. P. 105-119.
63. *Standring S.* Gray's Anatomy / 39th ed. Elsevier, Churchillivestone, 2008. 2504 p.
64. *Strobel J., Muller M.* Behavior of the central cornea during accommodation of the eye // *Current aspects of human accommodation II* / Eds. Guthoff R., Ludwig K. Kaden Verlag, 2003. P. 95-103.
65. *Sturm J.C.* 1697. Physica electiva sive hypothetica. Nürnberg. Reprinted: Olms, Hildesheim, 2006.
66. *Tschering M.* The theory of accommodation. *Arch. Ophthalmol. Rev. Apr.* 1899.
67. *Tsukamoto M. et al.* Accommodation causes with the rule astigmatism in emmetropes // *Optom. Vis. Sci.* 2000. V. 77, N 3. P. 150-155.
68. *Yasuda L., Yamaguchi T.* Steepening of corneal curvature with contraction of the ciliary muscle // *Cataract Refract. Surg.* 2005. V. 31. P. 1177-1181.

3

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РОЛИ АККОМОДАЦИИ В РЕФРАКТОГЕНЕЗЕ

Е.П. Тарутта, Н.В. Ходжабекян, О.Б. Филинова

В последние десятилетия накоплены многочисленные данные о роли аккомодации в формировании рефракции и, в частности, в развитии близорукости.

Однако в трактовке этой роли исследователи расходятся. Многие авторы причиной возникновения близорукости считали спазм аккомодации.

T. Sato (1957) выдвинул рефракционную теорию происхождения миопии, общая формулировка которой такова: нередко школьная миопия и эмметропия являются результатом адаптивной функции, вызванной продолжительной аккомодацией хрусталика. Школьная миопия возникает вследствие усиления этого адаптивного процесса из-за чрезмерной работы на близком расстоянии. По мнению T. Sato (1957), стойкий спазм аккомодации и, таким образом, усиление преломляющей силы хрусталика — это и есть основа приобретенной миопии. Однако более поздние работы с использованием ультразвуковой биометрии показали, что приобретенная миопия всегда формируется за счет удлинения переднезадней оси глаза и даже, более точно, за счет увеличения полости стекловидного тела, то есть расстояния от задней поверхности хрусталика до заднего полюса глаза. Иными словами, природа приобретенной миопии всегда осевая, а не хрусталиковая.

А.А. Сычев (1977) утверждает, что большое значение для объяснения начальных механизмов усиления рефракции имеет активная аккомодация при переводе взгляда вдаль. Автор допускает, что в связи с длительной работой на близком расстоянии происходит улучшение активности аккомодации для зрения вблизи, а активность для дали — уменьшается.

E. Ong, K.J. Ciuffreda (1995) провели исследование, доказывающее, что работа на близком расстоянии вызывает нестойкую миопию. Она формирует кратковременную миопическую дальнейшую точку, которая меняется непосредственно при последующей непрерывной зрительной работе на близком расстоянии.

В другой работе K.J. Ciuffreda, M. Rosenfield (1995) пишут об эффекте воздействия приближающегося тест-объекта на нестойкую миопию, создаваемую эквидиоптрическими стимулами. Нестойкая миопия может проявляться после длительной фокусировки на приближающийся тест-объект. Это связано с инертностью аккомодационного ответа.

Заслуживает большого внимания принятая в нашей стране модель рефрактогенеза, разработанная Э.С. Аветисовым (1986), в которой аккомодация выступает в роли регулятора этого процесса.

В качестве одного из этиологических моментов возникновения миопии автор рассматривает зрительную работу на близком расстоянии при наличии ослабленной аккомодационной способности. Сущность теории заключается в следующем. Рост глаза — не простое увеличение его размеров, как это представлялось ранее, а направленное формирование глазного яблока как сложной оптической системы под влиянием условий внешней среды и наследственного фактора. Одним из главных регуляторов развития оптической системы глаза служит аккомодация.

При ослабленной аккомодационной способности напряженная зрительная работа на близком расстоянии становится для глаз непосильной нагрузкой. В этих случаях сигнал