

Клиника активной аккомодации вдаль

В.В. Страхов – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой офтальмологии

О.Н. Климова — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии

Н.В. Корчагин — канд. мед. наук, ассистент кафедры офтальмологии

ФГБУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России,
150000, Ярославль, ул. Революционная, д. 5

Статья посвящена обоснованию существования активности аккомодации для дали. С помощью ультразвуковой биомикроскопии на медикаментозных моделях тонуса аккомодации показана двигательная активность короны цилиарного тела под управлением симпатического отдела вегетативной нервной системы. Приведены клинические доказательства участия симпатической иннервации в динамике рефракции глаза. Представлены возможности клинического измерения объема аккомодации для дали.

Ключевые слова: рефракция, аккомодация, цилиарное тело, хрусталик.

Для цитирования: Страхов В.В., Климова О.Н., Корчагин Н.В. Клиника активной аккомодации вдаль. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (1): 42-51. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-1-42-51.

Некоторые важные проблемы клинической рефракции продолжают оставаться нерешенными и не могут решиться с позиции устоявшегося представления о положении точки покоя аккомодации в бесконечности и однонаправленности действия активной аккомодации глаза: от самой дальней точки ясного зрения к ближайшей. С этих позиций многочисленные клинические наблюдения не находят адекватного объяснения. И прежде всего — факты активного участия симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) в аккомодационном процессе: это и ослабление рефракции с увеличением объема аккомодации при применении адренометика ирифрина [1–3], и умеренная гиперметропия глаза при возбуждении симпатического нерва электростимуляцией. На весьма убедительный и не находящий объяснения факт указывал А.И. Горбань [4]: закапывание адреналина в циклоплегированный атропином (!) глаз дополнительно ослабляет рефракцию. При гипертиреозе, в условиях повышенного тонуса симпатического отдела ВНС, ближайшая точка ясного зрения удаляется, затрудняя работу на близком расстоянии, а при параличе симпатического нерва (синдром Горнера) приближается на 1–4 см. Имеются многие другие факты, касающиеся участия симпатической нервной системы в аккомодации. Несмотря на запутанность вопроса об иннервации радиальной порции цилиарной мышцы, большин-

ство авторов считают ее симпатической [5–8]. Более того, Л.А. Деев и соавт. [5] обнаружили не только наличие симпатических синапсов в цилиарном теле, но даже скопление адренергических нервных терминалей в области радиальной порции цилиарной мышцы (рис. 1).

Здесь следует подчеркнуть, что все эти нерешенные вопросы биомеханизма, обеспечивающего

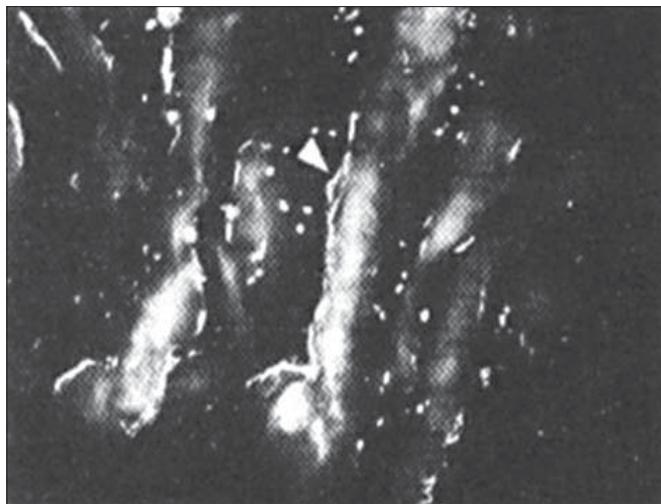


Рис. 1. Адренергические нервные терминали в области радиальных мышечных волокон [5].

Fig. 1. Adrenergic nerve terminals in the radial muscle fibers [5].

аккомодацию глаза на всем зрительном пространстве, привлекают внимание прежде всего потому, что имеют отношение к практике, которая, как известно, и является критерием истины. Ставшая уже классической гипотеза Гельмгольца находит все новые и новые подтверждения правильности взглядов автора на биомеханизм аккомодации с участием хрусталика, цинновых связок и цилиарной мышцы. С помощью самых современных методов, включая ультразвуковые, теперь твердо установлено, что аккомодация вблизи сопровождается уменьшением диаметра хрусталика, увеличением его толщины и уменьшением радиусов кривизны обеих поверхностей хрусталика [9–11].

Вместе с тем перестройка оптического аппарата глаза для рассматривания удаленных предметов, аккомодация вдаль, не может быть объяснена только с позиций пассивного расслабления цилиарной мышцы. А. Gullstrand [7], взяв за основу гипотезу Гельмгольца в части активной аккомодации для близи, впервые выдвинул идею о том, что мышечный аппарат цилиарного тела, находясь под конкурирующим влиянием парасимпатического и симпатического отделов ВНС, обладает двойным антагонизмом по отношению к эластическим силам хрусталика и хориоидеи. При этом активно уравнивается вся исполнительная система аккомодации на всем зрительном пространстве. Появилась новая модель механизма аккомодации, включившая в себя основной активный элемент аккомодационной гипотезы Гельмгольца. По Гульштранду, при взгляде вблизи сокращаются меридиональные и циркулярные мышечные волокна, имеющие парасимпатическую иннервацию глазодвигательного нерва. При этом цилиарное тело подается вперед, натягивая хориоидею, и одновременно сужается просвет кольца, образованного короной цилиарного тела. В результате уменьшения рабочего расстояния между экватором хрусталика и короной цилиарного тела натяжение цинновой связки ослабевает, и хрусталик в силу своих эластических свойств увеличивает кривизну преломляющих поверхностей и, соответственно, сильнее преломляет. При взгляде вдаль сокращаются радиальные мышечные волокна, получающие симпатическую иннервацию, и натягивают цинновы связки. Благодаря этому растянутая ранее хориоидея, в силу своей эластичности, стремится к сокращению, что приводит к уплощению хрусталика и смещению его несколько кзади по оптической оси. Преломляющая сила хрусталика ослабевает. «Покой аккомодации», по Гульштранду, есть результат динамического равновесия между группами мышечных волокон, расслабляющих и натягивающих связочный аппарат хрусталика. Очевидно, что биомеханическая часть гипотезы Гульштранда является естественным и глубоким развитием теории Гельмгольца с введением принципиально важных понятий об активной аккомодации не только вблизи, но и вдаль.

Однако не все так просто. Прежде всего потому, что нет прямой анатомической связи между мышечными волокнами порций цилиарной мышцы ни с одним волокном связочного аппарата хрусталика. А это значит, что ни циркулярная, ни радиальная, ни меридиональная группы мышечных волокон сами по себе не могут натягивать или расслаблять циннову связку. Осевое натяжение или расслабление связочного аппарата хрусталика возможно только опосредованно, через перемещение гиалохориоретинальной спайки в области зубчатой линии при экскурсиях хориоидеи вследствие мышечных сокращений меридиональной мышцы Брюкке, имеющей с хориоидеей непосредственную анатомическую связь. Здесь также необходимо подчеркнуть, что под рабочим расстоянием биомеханики аккомодации следует понимать не просто ближайшее расстояние между экватором хрусталика и короной цилиарного тела, но расстояние между двумя основными точками фиксации связочного аппарата, а именно между экватором хрусталика и зубчатой линией перехода цилиарного тела в хориоидею. Изменение этого пространства приводит к колебаниям осевого натяжения цинновой связки, и именно рабочее расстояние формирует объем аккомодации. И, наконец, поскольку симпатический отдел ВНС не связан с подкорковым представительство аккомодации, то он не может напрямую стимулироваться расфокусировкой изображения зрительного стимула вдаль, а только через взаимоотношения с тонусом парасимпатической нервной системы.

И все же, несмотря на достаточно большое количество клинических фактов, указывающих на активность процесса аккомодации вдаль, до той поры, пока объективно не подтвердится ее исполнитель, концепция Г. Гельмгольца, с ее пассивной дезаккомодацией, в целом будет оставаться доминирующей. Признавая за цилиарной мышцей роль главного мотора аккомодации на близкие расстояния, релаксацию этой мышцы обычно рассматривают как механизм дезаккомодации или просто как отрицательную аккомодацию, пассивную по своему биомеханизму, с рефракционным эффектом ослабления преломления, наподобие отрицательных (рассеивающих) линз. Именно такое состояние аккомодации трактуется как рефракционное обеспечение установки зрения вдаль и обозначается как покой аккомодации, т. е. состояние, противоположное напряжению. Однако одно дело — созерцать даль, не выделяя в ней стимулов для разглядывания, и совсем иное — зрительная работа при поиске и рассматривании отдаленных стимулов. Разве мыслимо без напряжения зрения вдаль и возможного его утомления управление любой скоростной техникой или, например, слежение за каким-либо важным объектом на больших пространствах? Естественно, чтобы вывести аккомодацию из состояния физиологического покоя и стимулировать ее работу

в области дальнего видения, необходимы какие-то специальные, активно включаемые в процесс дальнего зрения анатомические структуры. И это, конечно, не может обходиться без энергозатрат. Однако из существующих представлений о механизме аккомодации остается неясным, какими именно структурами эта функция аккомодации для дали активно реализуется и как управляется.

Ответ на вопрос структурно-функционального обеспечения настройки оптики глаза для дали и состояния покоя аккомодации отчасти приблизили результаты наших исследований аккомодации на различных медикаментозных моделях у здоровых молодых людей с помощью ультразвуковой биомикроскопии (УБМ). По существу, стало реальным изучение «живой анатомии» глаза, и появилась возможность исследования биомеханического аспекта физиологии аккомодации глаза человека.

Мы использовали в своей работе ультразвуковой биомикроскоп УБМ Humphrey-840 (США) с датчиком 50 МГц. Были исследованы различные тонические состояния аккомодационного аппарата глаз студентов-добровольцев в возрасте 20–22 лет при закапывании пилокарпина, циклопентолата и адреналина. Контролем служили глаза без медикаментозной нагрузки и без зрительного стимула, т. е. в покое аккомодации, когда один глаз закрыт, а второй экранирован датчиком УБМ при проведении исследования. В этих глазах был прицельно исследован связочный аппарат хрусталика, поскольку о его прижизненной топографии почти ничего неизвестно, в то время как именно тонусом связок формируется возможность изменения формы хрусталика при аккомодации.

Было установлено, что примерно половина связочного аппарата хрусталика, включающая заднюю порцию, экваториальную и прямую преэквиаториальную части средней порции, идет от витреохориоретинальной спайки в области зубчатой линии напрямую, т. е. кратчайшим путем, к экваториальной

зоне хрусталика, минуя корону цилиарного тела. Другая половина, причем более мощная, включающая переднюю порцию и углообразную часть средней порции, также идет от зубчатой линии к экватору хрусталика, но, имея промежуточное крепление в короне цилиарного тела, как бы перекинута через своеобразный блок, благодаря чему меняет направление своего хода с меридионального на радиальное (рис. 2). Это обеспечивает, с одной стороны, фронтальное положение хрусталика в оптической системе глаза, а с другой — участие в аккомодации, поскольку именно эти связки имеют непосредственное отношение к аккомодативно значимой передней капсуле хрусталика. Этот факт, безусловно, должен иметь значение в биомеханике аккомодации.

Промежуточному креплению связок в короне цилиарного тела совершенно справедливо придавал большое значение J. Rohen [12]. Он пришел к выводу, что в акте аккомодации цилиарная мышца обеспечивает натяжение или расслабление этих двух порций через своеобразный связочный узел с «натяжными» волокнами, которые находятся внутри самой короны.

Нами установлено, что под действием холиномиметика пилокарпина (медикаментозная модель аккомодации вблизи) одновременное сокращение мышцы Брюкке и Мюллера перемещает мышечную массу цилиарного тела в сторону склеральной шпоры, а увеличившуюся в объеме корону цилиарного тела — к оптической оси глаза, т. е. в направлении экватора хрусталика (рис. 3).

Под действием циклоплегика цикломеда мы наблюдали уменьшение мышечного объема короны и увеличение расстояния от нее до экватора хрусталика. При этом сама корона, вместе с закрепленным в ней связочным аппаратом, несколько смещается к корню радужки (рис. 4). Такое возможно только при какой-то мышечной активности, прямо противоположной меридиональной мышце по направленности и иннервации, т. е. ее мышечного антагониста, так как сама медикаментозно парализованная мышца



Рис. 2. Ультразвуковая биомикроскопическая картина ресничного пояса хрусталика: a — передняя порция цинновых связок; b — средняя порция цинновых связок; c — задняя порция цинновых связок.
Fig. 2. Ultrasound biomicroscopy of the ciliary zone of the lens: a — an anterior portion of the Zinn ligament, b — middle portion of the Zinn ligament, c — posterior portion of the Zinn ligament.

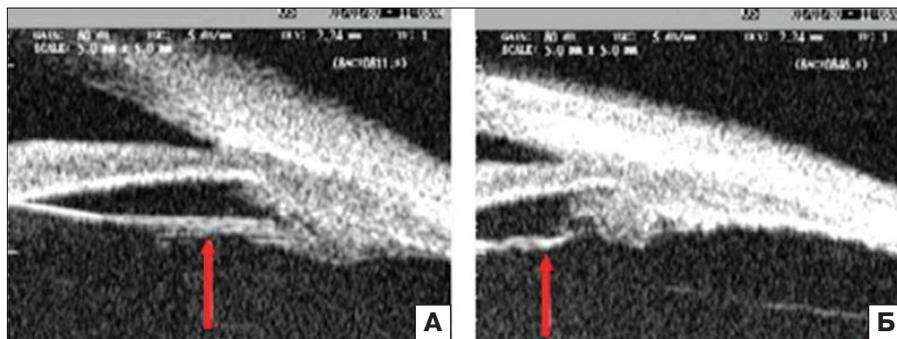


Рис. 3. Медикаментозная модель аккомодации для близи. Стрелками указаны цинновые связки. А — контроль: цинновые связки натянуты. Б — при инстилляции пилокарпина: цинновые связки расслаблены.
Fig. 3. Drug-induced model of accommodation for near vision. Arrows indicate Zinn ligaments. A — control: Zinn ligaments are strained. Б — under pilocarpine instillation: Zinn ligaments are relaxed.

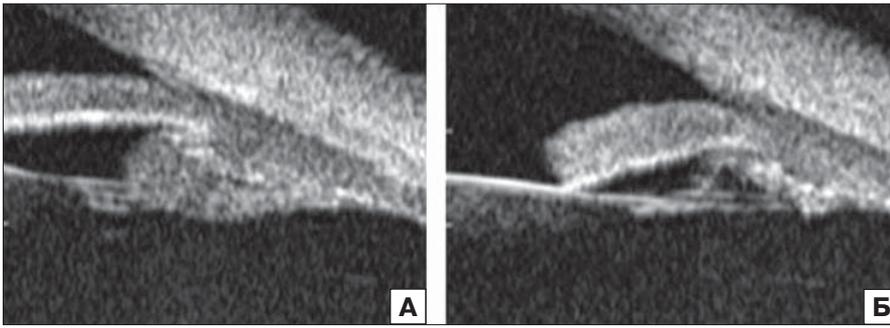


Рис. 4. Ультразвуковая биомикроскопическая картина состояния аппарата аккомодации в покое аккомодации (А) и при параличе аккомодации (Б).
Fig. 4. Ultrasonic biomicroscopy of the condition of the accommodation apparatus in the rest of accommodation (A) and in the paralysis of accommodation (B).

Брюкке ничего переместить не может. Отсюда вытекает, что единственной мышцей-антагонистом, причем с радиальным направлением волокон, которое точно соответствует направлению перемещения короны цилиарного тела при циклоплегии, является радиальная мышца Иванова, составляющая, кстати, основную часть мышечной массы короны и имеющая, как известно, симпатическую иннервацию.

Этот факт, а также существенная разница ультразвуковой визуальной картины состояний аккомодационного аппарата в покое и при параличе аккомодации свидетельствуют против широко распространенного в клинических представлениях мнения, что медикаментозный паралич аккомодации и есть ее покой, соответствующий установке оптики глаза вдаль. Другими словами, покой аккомодации и установка зрения вдаль не одно и то же. И действительно, в физиологии под покоем любой сенсорной системы понимают состояние без стимула, соответственно, у зрительной системы — без зрительного стимула. Так, в реальности при таких состояниях, как задумчивость, дремота и сон, очевидно, что аккомодационный аппарат глаза перестает функционировать, и возникает своя оптическая установка физиологического покоя, отличная от установки зрения вдаль. К аналогичному состоянию аккомодации приводит и депривация (устранение) стимулов для зрения при закрытых глазах, в темноте, в безориентирном пространстве. Более того, оптическая установка физиологического покоя аккомодации существенно отличается от манифестной рефракции в сторону усиления примерно на 1,0 дптр. В клинике хорошо известно, что в состоянии без зрительного стимула эмметропия превращается в слабую миопию, миопия усиливается, а гиперметропия ослабевает. Местоположение в пространстве зоны «покоя аккомодации», или «темнового фокуса», индивидуально варьирует. Оно было подробно изучено В.В. Волковым и Л.Н. Колесниковой с использованием кобальтового стекла у здоровых людей молодого возраста (18–23 года) при эмметропии, а также небольших степенях гиперметропии и миопии [13], а также С.Л. Шаповаловым с помощью феномена Шейне-

ра [14]. Результаты определения зоны относительного покоя аккомодации свидетельствуют о том, что в условиях безориентирного пространства в большинстве глаз возникает миопическая установка степенью 1,0–1,5 дптр. Индивидуальные различия могли объясняться, в частности, вариациями тонууса ВНС.

Вообще сам факт усиления рефракции в покое аккомодации, т. е. в состоянии, когда отсутствует зрительный стимул, требует объяснения. Конечно, ни о каком

рефлекторном усилении рефракции в темноте речи быть не может, поскольку рефлексов без стимула не бывает. Мы связываем это явление с особенностями парасимпатического обеспечения аккомодации глаза. Мы исходим из того, что динамическое равновесие между группами мышечных волокон, имеющих отношение к расслаблению и натяжению связочного аппарата хрусталика, трактовавшееся А. Гульштрандом как «покой аккомодации», в отсутствие любых зрительных стимулов вполне можно рассматривать как предустановочное. Наподобие ширины зрачка в норме, например 5 мм, когда у него (зрачка) есть возможность сузиться до 1,5 мм или расшириться до 8 мм, в зависимости от уровня освещенности или при аккомодации вблизи или вдаль, правда, с меньшим диапазоном, чем при реакции на свет. Процессом аккомодации из состояния мышечного равновесия, так же, как и зрачковыми реакциями, управляет парасимпатическая нервная система на уровне претектальных ядер ствола, имеющих связь с корковым представителем аккомодации мозга и ядер Вестфalia — Эдингера. При этом волокна, связывающие эти ядра, в основном тормозные. Далее, от ядра Вестфalia — Эдингера парасимпатические нервы идут к меридиональной и циркулярной мышцам цилиарного тела, а также к сфинктеру радужки. В покое аккомодации при отсутствии зрительных стимулов, например в темноте или в безориентированном пространстве, количество импульсов, приходящих к претектальным ядрам, заметно уменьшается, соответственно, число вторичных импульсов по тормозным волокнам от них к ядру Вестфalia — Эдингера тоже уменьшается. В условиях уменьшения тормозного влияния ядро Вестфalia — Эдингера становится более активным, вызывая через парасимпатические волокна некоторое увеличение тонууса меридиональной мышцы цилиарного тела, что и реализуется в некоторую миопизацию рефракции глаза или тонуус покоя аккомодации.

При медикаментозном возбуждении симпатического отдела ВНС закапыванием адреналина был зафиксирован совершенно четкий репрезентативный ответ аккомодационного аппарата глаза.

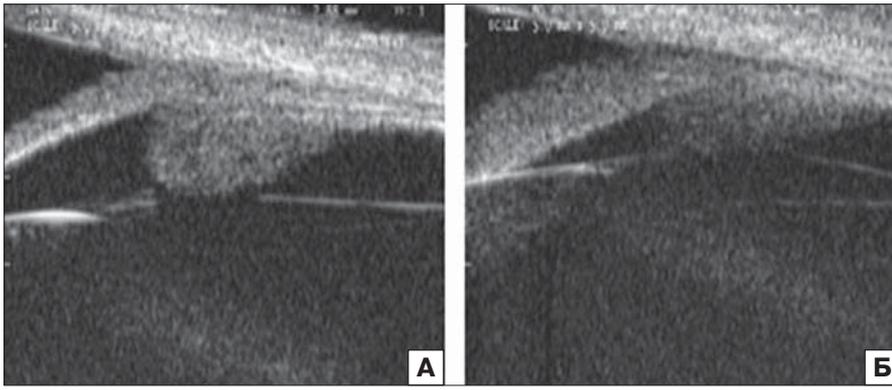


Рис. 5. Ультразвуковая биомикроскопическая картина состояния аппарата аккомодации в покое аккомодации (А) и при инстилляцией адреналина 1 % (Б).

Fig. 5. Ultrasound biomicroscopy of the condition of the accommodation apparatus in the "rest" of accommodation (A) and under adrenaline 1 % instillation (B).

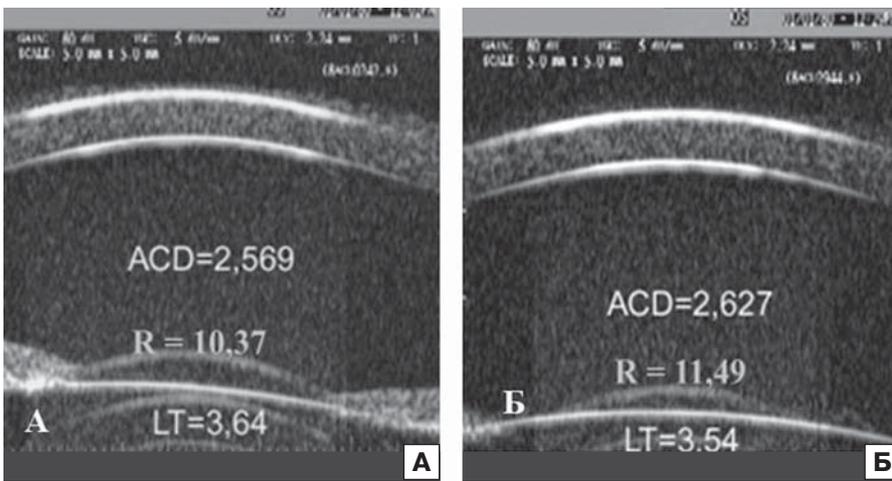


Рис. 6. Ультразвуковая биомикроскопическая картина переднего отрезка глаза в покое аккомодации (А) и инстилляцией дипинефрина 1 % (Б).

Fig. 6. Ultrasound biomicroscopy of the anterior segment of the eye in the "rest" accommodation (A) and under dipinephrin 1 % instillation (B).

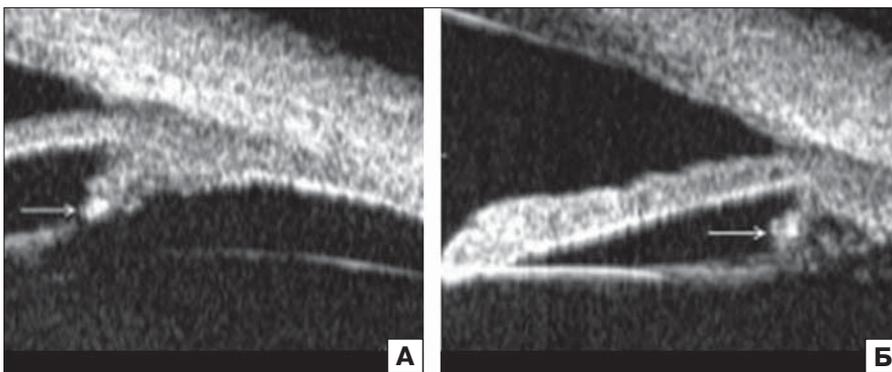


Рис. 7. Ультразвуковая биомикроскопическая картина состояния аппарата аккомодации при инстилляцией пилокарпина 1 % (А) и при инстилляцией адреналина 1 % (Б). Стрелкой указан скопление пигмента в короне цилиарного тела.

Fig. 7. Ultrasound biomicroscopy of the condition of the accommodation apparatus in instillation of pilocarpine 1 % (A) and under adrenaline 1 % instillation (B). The arrow indicates the accumulation of pigment in the crown of the ciliary body.

Наряду с расширением зрачка (своеобразный маркер реального действия адреналина) отмечалось уменьшение объема короны цилиарного тела, ее смещение к корню радужки, увеличение расстояния до экватора хрусталика и, самое главное, визуальный эффект натяжения передней порции цинновой связки (рис. 5).

Все это сопровождалось увеличением радиуса кривизны передней поверхности хрусталика в среднем на 1,1 мм (рис. 6).

Более ярко направление движения короны под действием адrenomиметика видно по перемещению своеобразного естественного маркера в виде пигментного пятна внутри цилиарных отростков (рис. 7).

Следует подчеркнуть, что описанные изменения произошли без циклоплегии, состояния нефизиологичного для живого глаза, а в условиях, более близких к естественным, хотя и под действием адrenomиметика. Вместе с тем при сравнении двух УБМ-картин медикаментозных моделей аккомодативного тонуса цилиарной мышцы под циклопентолатом и адреналином обнаруживается их практически полная идентичность (рис. 8). И это при воздействии принципиально разных фармакологических препаратов! Впрочем, такой ответ вполне ожидаем, если учесть наличие конкурирующей вегетативной иннервации мышечного аппарата цилиарного тела. В случае модели циклопентолата блокируются меридиональные и циркулярные волокна, имеющие парасимпатическую иннервацию, и конкурентно повышается тонус радиальной мышцы, имеющей симпатическую иннервацию. В случае адреналиновой модели напрямую активируются волокна радиальной мышцы Ивана. Поэтому мышечный эффект один и тот же. Следует также отметить особую важность одностороннего ответа по критерию радиуса кривизны передней поверхности хрусталика в этих двух моделях,

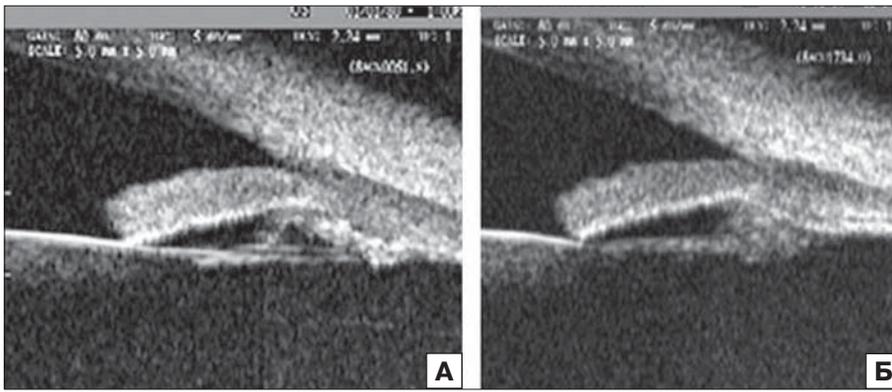


Рис. 8. Ультразвуковая биомикроскопическая картина состояния аппарата аккомодации при инстиляции циклопентолата 1 % (А) и при инстиляции адреналина 1 % (Б).
Fig. 8. Ultrasound biomicroscopy of the condition of the accommodation apparatus in instillation of cyclopentolate 1 % (A) and under adrenaline 1 % instillation (B).

а именно в сторону его увеличения, хотя и в разной степени, несколько меньше под адреналином, но однонаправленного.

Отсюда сам собой напрашивается вывод: если клиническая рефракционная интерпретация состояния циклоплегии однозначно трактуется как установка вдаль, т. е. установка оптики глаза, противоположная напряжению аккомодации вблизи, то, очевидно, так же следует трактовать и рефракционный эффект при медикаментозном повышении тонуса симпатической нервной системы. А заодно признать, что если в первом случае (циклопентолат) этот процесс относительно пассивный, протекающий через паралич или парез аккомодационных мышц Брюкке и Мюллера, то во втором (адреналин) явно активный, связанный с сокращением мышцы Иванова.

При предварительном анализе полученного ультразвукового фактического материала по связочному и мышечному аппаратам аккомодации в живом глазу можно сделать следующие выводы.

1. Обнаружены две группы цинновых связок. Одна из них имеет две основные точки фиксации, а именно в области экватора хрусталика и в районе зубчатой линии хориоидеи, проходит напрямую между ними, минуя корону цилиарного тела. Расстояние между этими точками фиксации является рабочим расстоянием для этой группы связок. Другая, кроме двух основных, имеет третью, промежуточную, точку фиксации между отростками короны цилиарного тела и проходит через нее как через блок, меняя направление своего хода с меридионального на радиальное.

2. Обнаружена активная подвижность короны цилиарного тела, регулируемая симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС. Эта подвижность реализуется благодаря сокращениям циркулярных волокон мышцы Мюллера, имеющей парасимпатическую иннервацию, и радиальных волокон мышцы Иванова, имеющей симпатическую иннервацию. Из этого следует, что предназначение циркулярной и радиальной мышц сводится исключительно к из-

менению конфигурации короны и перемещению ее в пространстве задней камеры. Причем радиально расположенные мышечные волокна, прикрепляющиеся к трабекулярному аппарату в области склеральной шпоры, при своем сокращении подтягивают корону в направлении склеральной шпоры, т. е. от экватора хрусталика и вперед, а циркулярные, наоборот, к экватору хрусталика и назад. Другими словами, в действиях этих мышц упорно проглядывается антагонизм. По существу, работа мышц-антагонистов Мюллера и Иванова подобна работе

сфинктера и дилатора радужки. Функциональный смысл перемещений короны цилиарного тела в задней камере глаза сводится к тому, что вместе с ней перемещаются точки промежуточного прикрепления основных волокон цинновой связки. Этим предполагается, что изменение тонуса цинновых связок, в частности натяжение, отчасти может быть связано не только с расслаблением меридиональной порции цилиарной мышцы и движением хориоидеи в сторону заднего полюса глаза, т. е. пассивно, но и с перемещением короны цилиарного тела и блока промежуточного крепления связок вперед при сокращении радиальных волокон цилиарной мышцы, т. е. активно, под управлением симпатического отдела ВНС.

Здесь необходимо подчеркнуть, что напряжение хрусталиковой связки (нити, струны и т. д.) может изменяться не только путем осевого натяжения, но и через ее боковое смещение или укорочение, причем с гораздо меньшим усилием. На этом построены все струнные музыкальные инструменты. Если взглянуть на аккомодационный аппарат с этих позиций, с позиций возможности дополнительного бокового влияния на тонус связок, то наличие короны цилиарного тела с ее сложным мышечным остовом и связочным аппаратом, имеющим промежуточное крепление между ее отростками, функционально кажется весьма целесообразным.

Таким образом, результаты УБМ показывают, что в аккомодационном аппарате глаза имеются два подвижных узла, влияющих на степень натяжения цинновых связок (рис. 9). Первый находится в области зубчатой линии (место прикрепления всех порций зонулы) и перемещается вследствие активности меридиональной мышцы Брюкке; второй узел — в короне цилиарного тела (место промежуточного крепления передней и части средней порций зонулы), перемещающейся вследствие работы мышц-антагонистов Мюллера и Иванова. Причем если первый узел обеспечивает основной объем аккомодации, то второй — флуктуации в пределах

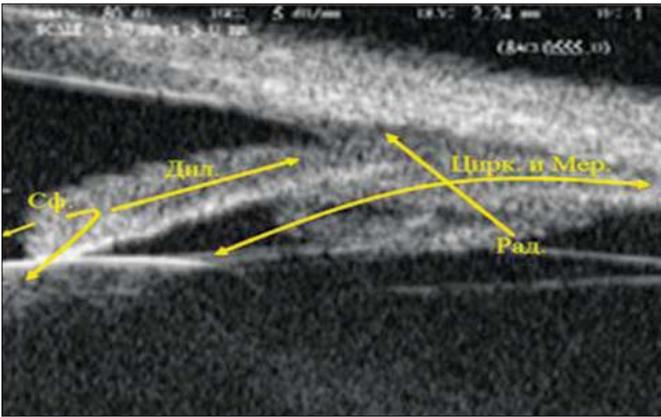


Рис. 9. Работа мышечного аппарата радужки и цилиарного тела. Сф. — сфинктер зрачка, Дил. — дилататор зрачка, Цирк. — циркулярные мышечные волокна цилиарного тела, Мер. — меридиональные мышечные волокна цилиарного тела, Рад. — радиальные мышечные волокна цилиарного тела.

Fig. 9. The functioning of the muscular apparatus of the iris and the ciliary body. Сф. — pupillary sphincter, Дил. — pupil dilator, Цирк. — circular muscle fibers of the ciliary body, Мер. — meridional muscle fibers of the ciliary body, Рад. — radial muscle fibers of the ciliary body.

1,0 дптр. Следует отметить, что работа первого узла сопряжена с вовлечением практически всей хориоидеи, сетчатки и стекловидного тела, т. е. предполагает в себе некоторую инертность. В то время как работа второго узла должна быть явно менее инертна, благодаря его топографической близости к экватору хрусталика и перемещениям во влаге задней камеры без промежуточных внутренних структур глаза, а это значит — быстрой и точной.

Итак, *биомеханизм аккомодации в целом* представляется следующим образом. В ответ на зрительный стимул установки глаза вблизи возникает активированное парасимпатической нервной системой сокращение волокон меридиональной порции цилиарной мышцы. Происходит натяжение хориоидеи и перемещение вперед основной точки фиксации связочного аппарата в области зубчатой линии (первый подвижный узел) с последующей реализацией классического механизма аккомодации. Одновременно с этим, как выявило УБМ-исследование, возникает увеличение объема короны цилиарного тела и перемещение ее (второй подвижный узел) в направлении экватора хрусталика и несколько кзади во фронтальной плоскости благодаря сокращению циркулярных волокон мышцы Мюллера как своеобразного сфинктера цилиарного тела. Такое изменение конфигурации короны приводит к эффекту сужения цилиарного кольца и укорочению свободного хода передней порции связок от экватора до короны. Физиологический смысл работы мышцы Мюллера видится не только в перемещении блока промежуточного крепления части связочного аппарата к экватору хрусталика и тем самым дополнительном ослаблении их осевого натяжения, но и в укорочении и отдавливании расслабленной передней

порции связки с целью ограничения подвижности или факодонеза хрусталика и предотвращения его сублюксации на высоте аккомодации вблизи. Ослабление степени натяжения цинновых связок хорошо заметно при УБМ в виде превращения прямых линий связок, идущих мимо короны, в дугообразные, а на участке между короной и хрусталиком даже в волнообразные (см. рис. 3).

Перевод установки глаза с близи вдаль происходит как одновременный процесс активной коронарной аккомодации и пассивной базовой аккомодации. *Пассивный компонент:* сброс тонуса парасимпатической нервной системы в ответ на зрительный стимул установки глаза вдаль расслабляет меридиональную мышцу и в результате перемещения хориоидеи в исходное положение переводит кзади точку крепления цинновых связок в области зубчатой линии (первый подвижный узел), инициируя усиление степени их осевого натяжения.

Активный компонент коронарной аккомодации: при переводе взгляда с близкого расстояния вдаль в ответ на дальний зрительный стимул происходит высвобождение тонуса симпатической нервной системы из-под доминировавшего парасимпатического тонуса во время аккомодации для близи. Иными словами, при перестройке зрения с ближних предметов на дальние происходит одновременное падение тонуса парасимпатической нервной системы (регулируемое центральным представительством аккомодации) и манифестация имевшегося тонуса симпатического отдела ВНС (не имеющего связи с центральным подкорковым представительством). Это приводит к преобладанию сократительной деятельности радиальных мышечных волокон и перемещает корону цилиарного тела и вместе с ней блок промежуточного крепления связок от экватора хрусталика и вперед, в направлении корня радужки и склеральной шпоры, составляя существо активного компонента аккомодации вдаль (второй подвижный узел) (рис. 10).

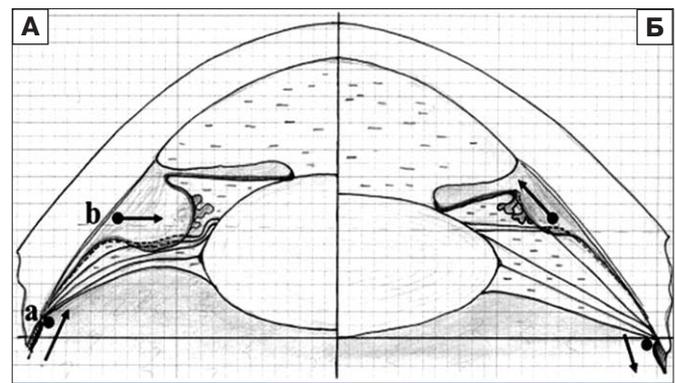


Рис. 10. Схема биомеханизма аккомодации глаза. А — аккомодация для близи. Б — аккомодация для дали (а — первый подвижный узел, b — второй подвижный узел).

Fig. 10. The biomechanism of eye accommodation. А — accommodation for near vision. Б — accommodation for distance (a — the first mobile node, b — the second mobile node).

Дополнительное натяжение связок на участке между экватором хрусталика и короной цилиарного тела сопровождается увеличением радиуса кривизны передней поверхности хрусталика в сравнении с состоянием «покоя аккомодации» в среднем на 1,1 мм, что в целом обеспечивает ослабление рефракции примерно на 1,0 дптр. Клинически этот компонент наиболее ярко проявляет себя нарастанием ослабления рефракции при закапывании адреномиметика в циклоплегированный глаз, на что указывал А.И. Горбань [4], и в обеспечении тонкой аккомодации с амплитудой в пределах 1,0 дптр при рассматривании деталей предметов на среднем и близком расстояниях за счет своеобразной конкурентной борьбы циркулярной и радиальной мышц цилиарного тела, наподобие игры зрачка при работе его сфинктера и дилатора (см. рис. 9).

Описанный биомеханизм адренергической модели аккомодации мы рассматриваем как структурно-функциональное обоснование активного компонента аккомодации для дали под управлением симпатического отдела ВНС. Объем аккомодации вдаль в норме относительно невелик, обычно он не превышает 1,0 дптр. Здесь уместно подчеркнуть, что сущность этого биомеханизма впервые была предсказана А. Гульштрандом более 100 лет назад, и современное клиническое обоснование его работы с использованием современной УБМ лишь подчеркивает гениальную прозорливость выдающегося ученого.

Итак, результаты исследования медикаментозных моделей тонуса аккомодации у здоровых лиц с помощью УБМ, а также клинические наблюдения, подтверждающие возможность активного ослабления рефракции глаза при возбуждении симпатического отдела ВНС, указывают, что четкое изображение внешнего мира у эметропа на всем протяжении от самой дальней до ближайшей точки его ясного видения обеспечивается активной аккомодацией. Более того, обоснование активности аккомодации для дали под управлением симпатической нервной системы позволяет интерпретировать клинические факты, которые не находили объяснения с точки зрения традиционной теории аккомодации. Так, высокая скорость перефокусировки глаза с близких стимулов на далекие указывает на активность процесса аккомодации для дали, по крайней мере сравнимую с мышечной активностью аккомодации для близи. Длительность аккомодации издали на близко расположенные предметы составляет 0,64 с, а в обратном направлении процесс протекает даже быстрее — 0,56 с [6]. Более короткий по времени ответ аккомодации для дали можно объяснить обоюдным участием пассивного и активного компонентов аккомодации, взаимно усиливающих друг друга и способствующих сокращению времени перефокусировки.

Что касается энергозатратности зрительной работы вдаль, то здесь интересно отметить работу

Р.Р. Каспранского и соавт. [15], в которой обнаружено, что самая малая амплитуда микросаккад глаза при зрительной работе приходится на расстояние 0,95 м от глаза, что указывает на расположение зоны аккомодации с наименьшими энергозатратами. Очевидное объяснение этому клиническому факту заключается в том, что именно здесь, на расстоянии примерно 1 м от глаза, располагается зона относительного покоя аккомодации. Увеличение амплитуды микросаккад при перемещении стимула ближе или дальше 1 м прямо свидетельствует о мышечной активности для перефокусировки глаза для дали и для близи, протекающей с соответствующими энергозатратами, причем как для мышечного аппарата аккомодации, так, по-видимому, и экстрабульбарных мышц. Что касается клинических фактов усиления рефракции при синдроме Горнера, связанного с параличом симпатической иннервации, или ослабления рефракции в условиях повышенного тонуса симпатического отдела ВНС при гипертиреозе, медикаментозной или электрической стимуляции этого отдела ВНС, то они являются прямым доказательством участия симпатической иннервации в аккомодации. Причем именно аккомодации для дали. Здесь особо следует выделить клиническое влияние адреномиметика ирифрина на рефракцию, ослабляющего ее и увеличивающего объем аккомодации [1–3]. И не только потому, что ирифрин нашел широкое применение в клинической практике лечения тонических расстройств аккомодации в детской и подростковой офтальмологии в виде псевдомиопии, а прежде всего в связи с тем, что его рефракционный эффект иначе как адренергической активацией аккомодации вдаль объяснить невозможно. Реципрокные отношения симпатического и парасимпатического отделов ВНС в обеспечении аккомодации на всем протяжении зрительного пространства лежат в основе кажущегося необъяснимым использования фармакологически принципиально различных лекарств — холинолитика атропина и адреномиметика ирифрина — при функциональной миопизации (привычно-избыточном напряжении аккомодации, ПИНА) или для контроля прогрессирования миопии. Действительно, рефракцию глаза за счет ее динамической составляющей отчасти можно ослабить медикаментозно — как атропином, так и адреналином. Здесь уместно, на примере медикаментозного расширения зрачка в клинической практике, сослаться на одинаковый эффект расширения зрачка при закапывании этих двух лекарственных веществ. При этом ни для кого из офтальмологов не является секретом, что в случае с атропином расширение зрачка связано с параличом сфинктера, а в случае с адреналином — с активацией дилатора, но при этом сам мидриаз внешне практически неразличим. Точно такой же понятийный подход применим и к аккомодации с рефракцией при миопии. При закапывании атропина, в том числе

и популярной концентрации 0,01 % для контроля роста глазного яблока, мы прямо снимаем избыток парасимпатического тонуса с меридиональной и циркулярной мышц, воздействуя через уменьшение их сократительной способности. При закапывании ирифрина 2,5 % косвенно снимаем тот же избыток, но уже через активацию симпатического тонуса, который реципрочно сопровождается снижением тонуса парасимпатического. В итоге можно ожидать одинакового рефракционного эффекта, но, вероятно, совсем не одинакового эффекта в контроле прогрессирования миопии. Если ирифрин работает при функциональных расстройствах аккомодации при миопии через активацию аккомодации вдаль, то атропин, по последним данным, обладает потенциалом влияния не только на аккомодацию, но и на биохимизм сетчатки и склеры, а потому имеет отношение к процессам регуляции роста глаза, т. е. структурным компонентам склеры при миопии. В этом смысле не следует противопоставлять ирифрин и атропин в деле контроля прогрессирования миопии, поскольку хотя они и действуют однонаправленно против нее, но являются разными инструментами контроля. Один медикамент (ирифрин) действует в области функциональных расстройств аккомодации, помогая уравниванию тонусов ее мышечного аппарата, стабилизируя четкость изображения в глазу на всем зрительном пространстве, и тем самым участвует в управлении роста глазного яблока по генетически заданной программе, согласно современной теории ретинального дефокуса. А другой (атропин) через регуляцию выработки коллагенов воздействует на структурную основу процесса роста глазного яблока, вмешиваясь в вопросы эластичности склеры.

Таким образом, по нашему убеждению, вся зрительная область, от самой дальней до ближайшей точки ясного зрения, обслуживается активной аккомодацией, находящейся под влиянием симпатического и парасимпатического отделов ВНС и имеющей своих исполнителей в виде 3 цилиарных мышц, наделенных соответствующей иннервацией. И одним из первых исследователей, высказавшим эту идею, был великий А. Гульшtrand, единственный нобелевский лауреат среди офтальмологов за всю историю премии.

Конфликт интересов: отсутствует.

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

Литература

1. *Бржеский В.В., Воронцова Т.Н., Ефимова Е.Л., Прусинская С.М.* Эффективность препарата Ирифрин 10 % в лечении детей с привычно-избыточным напряжением аккомодации. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2008; 9 (3): 90–3.
2. *Бржеский В.В., Воронцова Т.Н., Ефимова Е.Л., Прусинская С.М.* 10 % ирифрин в лечении привычно-избыточного напряжения аккомодации у детей. Офтальмологические ведомости. 2008; 1 (3): 26–9.
3. *Волкова Е.М., Страхов В.В.* Применение ирифрина как стимулятора аккомодации для дали. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2005; 6 (2): 86–8.
4. *Горбань А.И.* Роковое наследство. Окулист. 2002; 7/8: 6–8; 9/10: 12–13; 11/12: 18–19.
5. *Деев Л.А., Абросимов С.Ю., Молоткова И.А.* Гетерогенность распределения адренергических и холинергических нервных терминалей цилиарной мышцы в норме и при терминальной глаукоме. Офтальмохирургия. 1996; 4: 19–22.
6. *Шамишинова А.М., Волков В.В.* Функциональные методы исследования в офтальмологии. Москва: Медицина; 1999.
7. *Gullstrand A.* Wieich den intrakapsularen Akkommodationsmechanismusfand. Arch. f. Augenheilk. 1912; Bd. 172: 169–72.
8. *Mallen E.A., Gilmartin B., Wolffson J.S.* Sympatic innervation of ciliary muscle and oculomotor function in emmetropic and myopic young adults. Vision Res. 2005; 45 (13): 1641–51.
9. *Бузыкин М.А., Страхов В.В., Сулова А.Ю.* Аккомодация и гидродинамика глаза. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2003; 4 (2): 52–5.
10. *Glasser A., Kaufman P.L.* The mechanism accommodation in primates. Ophthalmology 1999; 106 (5): 863–72.
11. *Koretz J.F., Cook C.A., Kaufman P.L.* Accommodation and presbyopia in the human eye. Changes in the anterior segment and crystalline lens with focus. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1997; Mar; 38 (3): 569–78.
12. *Rohen J.W.* Scanning electron microscopic studies of the zonular apparatus in human and monkey eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1979 Feb; 18 (2): 133–44.
13. *Волков В.В., Колесникова Л.Н.* Аккомодация и рефракция по материалам исследования с помощью кобальтового стекла. Офтальмологический журнал. 1973; 28 (3): 172–6.
14. *Шаповалов С.Л.* Методы исследования динамической рефракции глаза. Динамическая рефракция глаза в норме и при патологии. Москва; 1981: 34–51.
15. *Каспранский Р.Р., Муратова Е.А., Якушев А.Г.* Применение видеоокулографии для оценки комфортного расстояния до цели. Биомеханика глаза / Под ред. Е.Н. Иомдиной, И.Н. Кошица. МНИИГБ им. Гельмгольца. Москва; 2005: 166–8.

Поступила: 21.09.2017

The clinical picture of active accommodation for far vision

V.V. Strakhov — Dr. Med. Sci., Professor, head of the chair of ophthalmology

O.N. Klimova — Cand. Med. Sci., assistant professor, chair of ophthalmology

N.V. Korchagin — Cand. Med. Sci., assistant, chair of ophthalmology

Yaroslavl State Medical University, 5, Revolutsionnaya St., Yaroslavl, 150000, Russia
nikbox1984@gmail.com

The paper justifies the hypothesis that active accommodation for far vision really exists. Ultrasound biomicroscopy is used on medication models of the accommodation tone to demonstrate the motor activity of the coronary ciliary body controlled by the sympathetic department of the autonomic nervous system. Clinical evidences of the involvement of the sympathetic innervation into the dynamic refraction of the eye are given. Possibilities of clinical measurement of accommodation for far vision are presented.

Keywords: refraction, accommodation, ciliary body, lens.

For citation: Strakhov V.V., Klimova O.N., Korchagin N.V. The clinical picture of active accommodation for far vision. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (1): 42–51. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-1-42-51 (In Russian).

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

References

1. Brzheskiy V.V., Vorontsova T.N., Efimova E.L., Prusinskaya S.M. Effect of 10% Irifrin for the treatment of children with chronic overtension of accommodation. *Klinicheskaja Oftal'mologija*. 2008; 9 (3): 90–3 (in Russian).
2. Brzheskiy V.V., Vorontsova T.N., Efimova E.L., Prusinskaya S.M. 10% Irifrin in the treatment of habitually-excessive accommodation strain in children. *Oftalmologicheskie vedomosti*. 2008; 1 (3): 26–9 (in Russian).
3. Volkova E.M., Strakhov V.V. Using of irifrin as a stimulator of accommodation for a distance. *Klinicheskaja Oftal'mologija*. 2005; 6 (2): 86–8 (in Russian).
4. Gorban A.I. Fatal inheritance. *Oculist*. 2002; 7/8: 6–8; 9/10: 12–13; 11/12: 18–19 (in Russian).
5. Deev L.A., Abrosimov S.Ju., Molotkova I.A. The heterogeneity of distribution of adrenergic and cholinergic nerve terminals of the ciliary muscle in normal and in terminal glaucoma. *Oftal'mokhirurgija*. 1996; 4: 19–22 (in Russian).
6. Shamshinova A.M., Volkov V.V. Functional methods of research in ophthalmology. Moscow: Meditsina; 1999 (in Russian).
7. Gullstrand A. Wieich den intrakapsularen Akkommodationsmechanismus fand. *Arch. f. Augenheilk.* 1912; Bd. 172: 169–72.
8. Mallen E.A., Gilmartin B., Wolffson J.S. Sympatic innervation of ciliari muscle and oculomotor function in emmetropic and myopic young adults. *Vision Res.* 2005; 45 (13): 1641–51.
9. Buzykin M.A., Strakhov V.V., Suslova A.U. Accommodation and eye hydrodynamics. *Klinicheskaja Oftal'mologija*. 2003; 4 (2): 52–5 (in Russian).
10. Glasser A., Kaufman P.L. The mechanism accommodation in primates. *Ophthalmology*. 1999; 106 (5): 863–72.
11. Koretz J.F., Cook C.A., Kaufman P.L. Accommodation and presbyopia in the human eye. Changes in the anterior segment and crystalline lens with focus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997; Mar; 38 (3): 569–78.
12. Rohen J.W. Scanning electron microscopic studies of the zonular apparatus in human and monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1979 Feb; 18 (2): 133–44.
13. Volkov V.V., Kolesnikova L.N. Accommodation and refraction according to research data using cobalt glass. *Oftal'mologicheskij Zhurnal*. 1973; 28 (3): 172–6 (in Russian).
14. Shapovalov S.L. Methods of investigating the dynamic refraction of the eye. Dynamic refraction of the eye in norm and in pathology. Moscow; 1981: 34–51 (in Russian).
15. Kaspransky R.R., Muratova E.A., Yakushev A.G. The implementation of videooculography method for evaluation of the comfortable target distance. *Ocular biomechanics* 2005. Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases. 2015: 108–111.

Для контактов: Корчагин Николай Владимирович
E-mail: nikbox1984@gmail.com