

УДК 617.753.4

Биомеханика аккомодационного ответа в норме и при пресбиопии

О.И. Розанова

Иркутский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России

РЕФЕРАТ

Цель. Выявление закономерностей формирования аккомодационного ответа в норме и при развитии пресбиопии.

Материал и методы. Проведено обследование двух групп пациентов с эметропической рефракцией (объективная рефракция в условиях медикаментозной циклоплегии не более $\pm 0,25$ дптр). В первую группу вошли 30 здоровых человек (60 глаз) в возрасте 18-30 лет, во вторую группу – 30 пациентов (60 глаз) в возрасте от 45 до 60 лет с явлениями пресбиопии, при отсутствии сопутствующей офтальмопатологии. Всем пациентам помимо стандартного офтальмологического обследования проведено исследование переднего отрезка глаза с помощью ротационной Шеймпflug-камеры и ультразвуковой биомикроскопии в покое и в момент предъявления зрительного стимула, соответствующего напряжению аккомодации в 3 дптр.

Результаты и обсуждение. В норме биомеханика аккомодационного ответа характеризуется изменением формы хрусталика и увеличением его плотности, укорочением передней порции цинновой связки, увеличением расстояния между трабекулой и короной цилиарного тела, уменьшением объема зад-

ней камеры, увеличением иридокорнеального угла, сужением зрачка, изменением профиля радужной оболочки, уменьшением объема передней камеры и усилением асферичности роговицы. Изменённый аккомодационный ответ при формировании пресбиопии включает в себя увеличение асферичности центральной и периферической части роговицы – на 27%, увеличение квадрофойла – на 93%, достоверное сужение зрачка и уменьшение толщины цилиарного тела.

Заключение. Аккомодационный ответ в норме является многокомпонентным процессом, в котором задействованы все структуры переднего отрезка глаза. Инволюционные физиологические изменения глаза с формированием пресбиопии ведут к искажению аккомодационного ответа, однако и в условиях пресбиопии сохраняется активная деятельность цилиарной мышцы, происходит активное сужение зрачка и трансформация корнеальной оптики, что должно приниматься во внимание при планировании хирургического лечения у пациентов с пресбиопией.

Ключевые слова: аккомодация, биомеханика глаза, плотность хрусталика, зрачок, оптические aberrации, пресбиопия. ■

ABSTRACT

Biomechanics of accommodative response in norm and presbyopia

O.I. Rozanova

The Irkutsk Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Irkutsk, Russia

Purpose. To reveal of regularities of accommodation response formation in the norm and in the development of presbyopia.

Material and methods. Two groups of patients with emmetropic refraction (objective refraction in terms of medical cycloplegia not more than $\pm 0.25D$) were examined. The first group consisted of 30 healthy subjects (60 eyes) aged 18-30 years, the second group – 30 patients (60 eyes) aged 45 to 60 years with symptoms of presbyopia, without concomitant ophthalmic pathology. In all patients in addition to the standard ophthalmologic examination an examination of the anterior segment was made, using a rotating Scheimpflug camera and the ultrasound biomicroscopy at rest and at moment of presentation of the visual stimulus, which corresponds to a tension of accommodation in 3D.

Results and discussion. In norm the biomechanics of the accommodative response is characterized by a change in the lens form and an increase of its density, a shortening of anterior portions of the ciliary zonules, an increase of the distance between the trabecula and the ciliary crown, a decrease of the posterior

chamber volume, an increase of the irido-corneal angle, pupil narrowing, a change in the iris profile, a decrease in the anterior chamber volume and an enhancement of corneal asphericity. Modified accommodative response in the formation of presbyopia includes: an increased aspherical central and peripheral part of the cornea by 27%, an increased quadrofoil by 93%, a reliable narrowing of the pupil and a decrease in the ciliary body thickness.

Conclusion. Accommodative response is normally a multi-component process, which involved all the structures of the anterior segment of the eye. Involutional physiological changes of the eye with the presbyopia formation lead to a distortion of the accommodative response; however, in case of presbyopia the activity of ciliary muscle is retained, an active contraction of the pupil and a transformation of corneal optics occur that should be taken into account in the planning of surgical treatment in patients with presbyopia.

Key words: accommodation, biomechanics of eye, lens density, pupil, optical aberrations, presbyopia. ■

Ophthalmosurgery.- 2014.- No. 3. – С. 80–85.

Аккомодационный ответ зрительной системы возникает в ответ на предъявление зрительного стимула на близком расстоянии. Согласно классической теории аккомодативного механизма Г. Гельмгольца (1855), цилиарное тело меняет баланс двух пассивных эластических элементов: хрусталика и восстановительного (возвращающего на прежнее место) элемента, под которым предполагалась хориоида.

В настоящее время известно, что обеспечение ясного зрения вблизи происходит за счет целого комплекса механизмов. Среди них выделяют интраокулярные: изменение кривизны хрусталиковой поверхности, изменение показателя преломления внутри хрусталикового вещества, перемещение хрусталика вдоль оптической оси и изменение диаметра зрачка [2, 10, 11, 13, 14]. Помимо этого, отмечают внешние компоненты аккомодации – перемещение глаза в сагитальном направлении под действием экстраокулярных мышц, удлинение оси глазного яблока из-за его сдавливания наружными мышцами глаза [8, 9, 21]. При этом лентикулярная трансформация играет главную роль в аккомодационном ответе, тогда как сужение зрачка, появление наведенного прямого астигматизма роговицы, удлинение передне-заднего размера глаза считаются вторичными [2].

Формирование пресбиопии характеризуется выраженным снижением аккомодационной способности, утратой возможности фокусировать зрение на близко расположенных предметах и, как следствие этого, снижением зрения вблизи. Считается, что основной причиной развития пресбиопии является потеря эластичности хрусталика, невозможность изменения его формы, что обусловлено генетически детерминированными инволюционными изменениями [2, 15, 16, 21, 22]. Вместе с тем до сих пор изменение аккомодации при старении не исследовано в полной мере [2, 14, 18]. Несмотря на высокий уровень современных диагностических возможностей и огромный исторический опыт, в настоящее время нет однозначного четкого представления, каков механизм формирования пресбиопии [5, 7, 14, 18]. Кар-

тина интраокулярных взаимоотношений при развитии пресбиопии, как в покое, так и при напряжении аккомодации, остается до конца не ясной. Во многом это связано с тем, что существующие методы исследования аккомодации направлены на выявление функционального потенциала зрительного анализатора и не дают в полной мере оценить роль интраокулярных структур в механизмах нарушения аккомодации [24, 25]. Изучение других, дополнительных факторов аккомодации крайне ограничено [5, 22]. Этим объясняется то, что представления о закономерностях аккомодационного ответа при пресбиопии достаточно разрозненны.

Вместе с тем выявление и систематизация биомеханических закономерностей аккомодации в норме и при развитии пресбиопии может стать основой для решения задач теоретической и практической офтальмологии.

ЦЕЛЬ

Выявление закономерностей формирования аккомодационного ответа в норме и при развитии пресбиопии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Клинические исследования проведены в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (1964 г., с поправками 2000 г.) и Федеральным законом Российской Федерации от 21 ноября 2011 г. N 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». Были обследованы две группы пациентов с эмме-

тропической рефракцией (объективная рефракция в условиях медикаментозной циклоплегии не более $\pm 0,25$ дптр). В первую группу вошли 30 здоровых человек (60 глаз) в возрасте 18-30 лет, во вторую группу – 30 пациентов (60 глаз) в возрасте от 45 до 60 лет с явлениями возрастной аккомодационной недостаточности при отсутствии сопутствующей офтальмопатологии.

Всем пациентам помимо стандартного офтальмологического обследования проведено исследование переднего отрезка глаза с помощью ротационной Шеймпflug-камеры и ультразвуковой биомикроскопии в покое и в момент предъявления зрительного стимула, соответствующего напряжению аккомодации в 3 дптр. Для характеристики аккомодационного ответа были зафиксированы следующие параметры: диаметр зрачка; глубина и объем передней камеры; оптическая сила и кривизна передней и задней поверхности роговицы; индексы асферичности передней поверхности и периферической части роговицы; роговичные оптические aberrации и среднеквадратичное отклонение волнового фронта оптических aberrаций (RMS total); толщина хрусталика; денситометрическая плотность хрусталика; толщина цилиарного тела на расстоянии 1,5 мм от трабекулы; длина передней порции цинновой связки (ДЦС); дистанция «трабекула – цилиарные отростки» (ДТЦО); угол примыкания «трабекула-радужка» (ТР); площадь сечения задней камеры (ЗК). Дифференциация структур в покое и в момент аккомодации, по данным Шеймпflug-изображений, произведена, исходя из сопоставления задних поверхностей роговицы. Параметры анатомических структур при выполнении ультразвуковой биомикроскопии определены по методике С. Pavlin [19].

Для корреспонденции:

Розанова Ольга Ивановна, канд. мед. наук, зав. лечебно-консультационным отделением Иркутский филиал ФГБУ «МНТК Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова Минздрава России

Адрес: 664017, Иркутск, ул. Лермонтова, 337

E-mail: if@mntk.irkutsk.ru

Результаты исследований были обработаны с применением компьютерной программы Statistica 6.0. Были вычислены средние арифметические M , стандартные отклонения от среднего s . Сравнительный анализ оптико-морфологических показателей глаза в покое и при напряжении аккомодации проведен с применением критерия Вилкоксона. Сравнительный анализ между независимыми группами проведен с применением критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследования были определены характеристики аккомодационного ответа в норме. Так, запас относительной аккомодации у пациентов первой группы составил $4,8 \pm 1,1$ дптр, ближайшая точка ясного зрения находилась на расстоянии $8,81 \pm 1,41$ см от глаза. При ультразвуковой биомикроскопии выявлено, что перевод оптической установки глаза с дальнего фокусного расстояния на ближний (33 см) у лиц молодого возраста происходит вследствие одновременных совместных преобразований оптической системы глаза и анатомических структур, обеспечивающих адекватный биомеханический ответ. При этом происходит изменение формы хрусталика с уменьшением радиуса кривизны его передней поверхности, укорочение передней порции цинновой связки, увеличение расстояния между трабекулой и коронной цилиарного тела, уменьшение объема задней камеры, увеличение иридокорнеального угла (табл.).

По данным 3D-фотографии переднего отрезка в период максимального напряжения аккомодации определено сужение зрачка, изменение профиля радужной оболочки и конфигурации передней камеры (рис. 1). При этом видно, что между радужкой и передней поверхностью хрусталика сохраняется некоторое пространство. Дифференциация структур переднего отрезка (рис. 2) в покое (на рисунке выделены линиями зеленого цвета) и в момент аккомодации (на рисунке выделены линиями красного цвета) более детально демонстрирует происходящие биомеханические

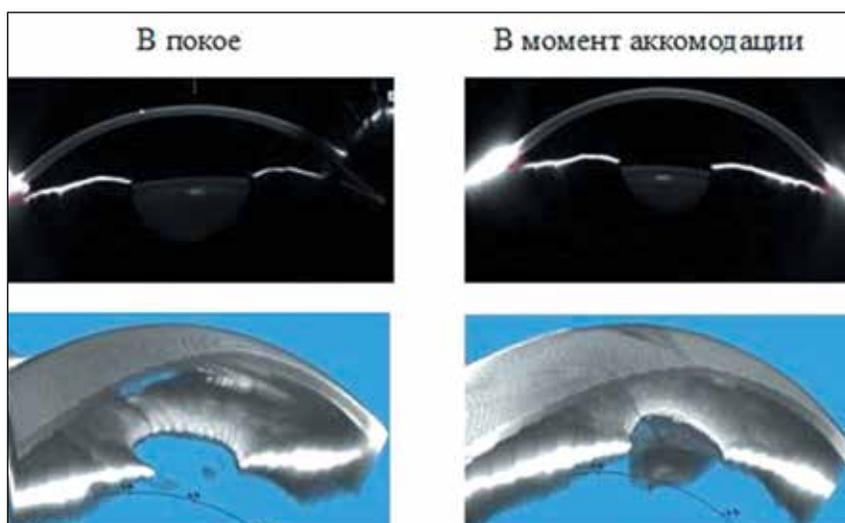


Рис. 1. Состояние переднего отрезка в покое и в момент аккомодации у лиц молодого возраста

Таблица

Сравнительный анализ структурных изменений глазного яблока во время аккомодационного ответа у пациентов с пресбиопией и лиц контрольной группы ($M \pm s$, критерий Вилкоксона)

Параметр	Лица молодого возраста		Пациенты с пресбиопией	
	в покое, n=60	в момент аккомодации, n=60	в покое, n=60	в момент аккомодации, n=60
Диаметр зрачка, мм	$3,01 \pm 0,44$	$2,84 \pm 0,41$ $P_{1-2} < 0,05$	$2,95 \pm 0,54$	$2,84 \pm 0,44$ $P_{3-4} < 0,05$
Индекс асферичности передней поверхности роговицы	$0,25 \pm 0,07$	$0,28 \pm 0,07$ $P_{1-2} < 0,001$	$0,22 \pm 0,11$	$0,28 \pm 0,07$ $P_{3-4} < 0,05$
Оптическая сила роговицы, дптр	$42,81 \pm 1,21$	$42,91 \pm 1,11$ $P_{1-2} < 0,05$	$43,11 \pm 1,14$	$43,11 \pm 1,09$ $P_{3-4} = 0,4$
Объем передней камеры, мм ³	$177,5 \pm 33,9$	$174,1 \pm 33,2$ $P_{1-2} < 0,001$	$125,2 \pm 30,3$	$129,5 \pm 33,2$ $P_{3-4} = 0,21$
Квадраfoil Z^4_4 , мкм	$0,01 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$ $P_{1-2} < 0,01$	$0,03 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,04$ $P_{3-4} < 0,05$
Сферическая аберрация Z^0_4 , мкм	$0,17 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$ $P_{1-2} < 0,05$	$0,23 \pm 0,07$	$0,24 \pm 0,08$ $P_{3-4} = 0,36$
Индекс асферичности периферической части роговицы	$0,44 \pm 0,14$	$0,44 \pm 0,07$ $P_{1-2} = 0,21$	$0,33 \pm 0,10$	$0,42 \pm 0,1$ $P_{3-4} < 0,001$
Толщина хрусталика, мм	$3,78 \pm 0,32$	$4,08 \pm 0,11$ $P_{1-2} < 0,01$	$4,33 \pm 0,25$	$4,33 \pm 0,15$ $P_{3-4} = 0,3$
Толщина цилиарного тела, мм	$0,97 \pm 0,14$	$0,96 \pm 0,18$ $P_{1-2} = 0,5$	$0,53 \pm 0,14$	$0,46 \pm 0,13$ $P_{3-4} < 0,05$
ДЦС, мм	$1,23 \pm 0,31$	$1,14 \pm 0,12$ $P_{1-2} < 0,01$	$1,04 \pm 0,26$	$1,04 \pm 0,24$ $P_{3-4} = 0,13$
ДТЦО, мм	$0,99 \pm 0,24$	$1,05 \pm 0,17$ $P_{1-2} < 0,05$	$1,22 \pm 0,18$	$1,22 \pm 0,20$ $P_{3-4} = 0,56$
Угол примыкания ТР, град.	$37,51 \pm 8,31$	$39,48 \pm 4,09$ $P_{1-2} < 0,001$	$25,86 \pm 8,40$	$27,42 \pm 6,21$ $P_{3-4} = 0,47$
Площадь сечения ЗК, мм ²	$0,91 \pm 0,29$	$0,65 \pm 0,23$ $P_{1-2} < 0,001$	$1,05 \pm 0,22$	$1,02 \pm 0,26$ $P_{3-4} = 0,17$
Плотность хрусталика, %	$8,62 \pm 0,58$	$8,81 \pm 0,52$ $P_{1-2} < 0,05$	$11,11 \pm 1,12$	$11,13 \pm 1,12$ $P_{3-4} = 0,69$

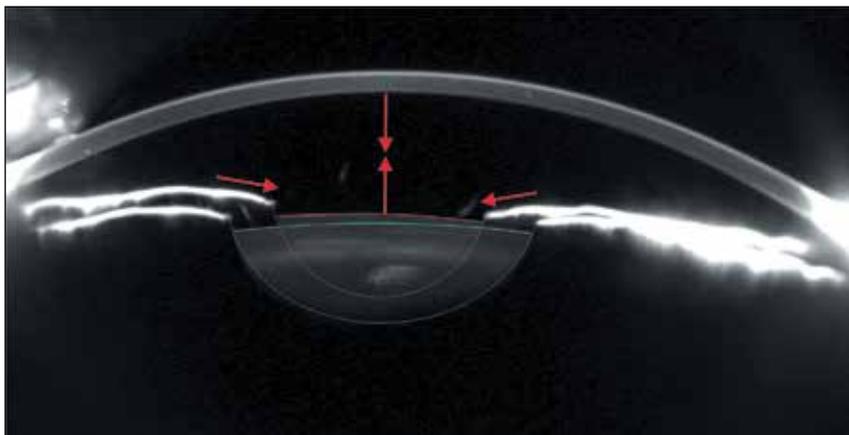


Рис. 2. Сравнительный анализ Шеймпфлюг-изображений переднего отрезка глаза в покое и при аккомодации у пациентов молодого возраста

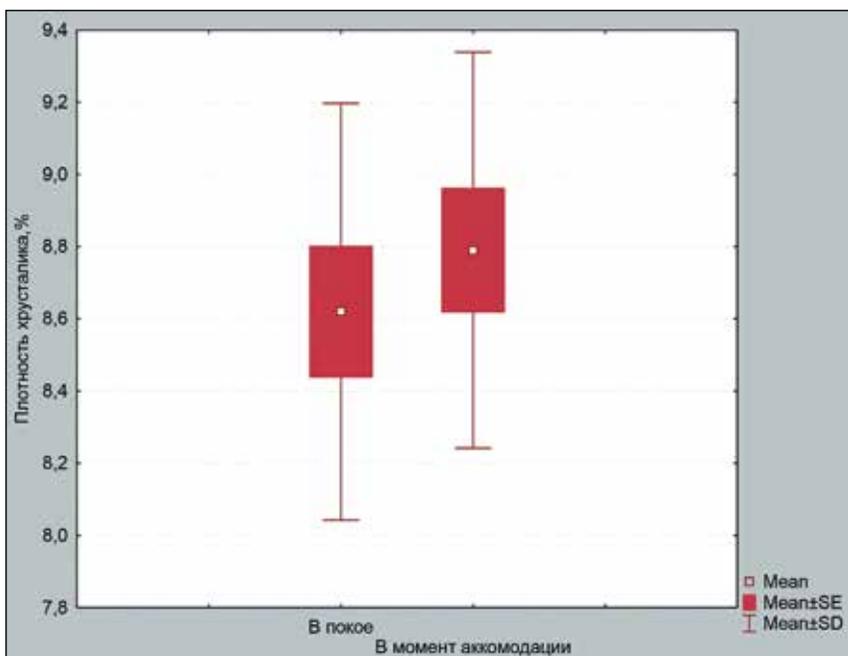


Рис. 3. Изменение денситометрических параметров хрусталика во время аккомодации

сдвиги. Помимо этого при интерактивной регистрации аккомодационного ответа выявлено статистически достоверное увеличение плотности кортикальных слоев хрусталика (рис. 3), уменьшение объема передней камеры и изменение оптических параметров глаза с усилением асферичности роговицы, увеличением оптической силы роговицы в горизонтальном меридиане, увеличением значений квадрафойла и уменьшением сферической аберрации 4 порядка. Степень трансформации со стороны анатомических структур различна (рис. 4, 5).

При исследовании аккомодационного ответа у пациентов с

пресбиопией выявлены не только уменьшение запаса относительной аккомодации до $1,6 \pm 0,8$ дптр и сдвиг ближайшей точки ясного зрения до $22,61 \pm 10,71$ см, но и наличие ряда оптико-морфологических преобразований в момент напряжения аккомодации.

Однако у пациентов с пресбиопией аккомодационный ответ имеет совершенно иной характер. Несмотря на отсутствие лентикулярной трансформации, биологические преобразования диаметра зрачка сохраняются. Распознавание Шеймпфлюг-образов (рис. б) выделяет различия в состоянии зрачковой диафрагмы в покое (границы выде-

лены зеленым цветом) и в момент аккомодации (границы выделены красным цветом). Также сохраняется биомеханический ответ со стороны передней поверхности роговицы в виде повышения ее асферичности и значений квадрафойла. Наряду с этим у пациентов с пресбиопией отмечены новые явления: уменьшение толщины цилиарного тела и появление существенной асферичности периферической части роговицы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты данного исследования показывают, что выполнение задачи ясного видения у пациентов с нормальной аккомодацией характеризуется трансформацией не только хрусталика, но и всего оптического аппарата, с активным участием в процессе роговицы и радужки. Этот факт указывает на то, что в нормальной зрительной системе процесс аккомодации, направленный на получение адекватного зрительного изображения на различных расстояниях, является следствием взаимодействия ряда биомеханических преобразований. С другой стороны, именно активная биомеханика интраокулярных структур поддерживает жизнеобеспечение всего глазного яблока, а активный аккомодационный ответ включает физиологические преобразования большей части структур глаза. В работе впервые представлены данные об изменении денситометрических показателей хрусталика у здоровых лиц в момент аккомодации.

У пациентов с пресбиопией утрата основного лентикулярного механизма аккомодации ведет к изменению биомеханического ответа и проявлению новых физиологических механизмов. Это является следствием выполнения функциональной системой зрительного восприятия [1, 4] задачи достижения адекватного зрительного образа и подключения всех имеющихся ресурсов для ее решения. Именно этим можно объяснить существенную контрактуру цилиарной мышцы и натяжение периферической части роговицы в сочетании с увеличением значений оптических



Рис. 4. Изменения показателей анатомических структур глаза во время аккомодационного ответа



Рис. 5. Изменение оптических характеристик в момент аккомодационного ответа

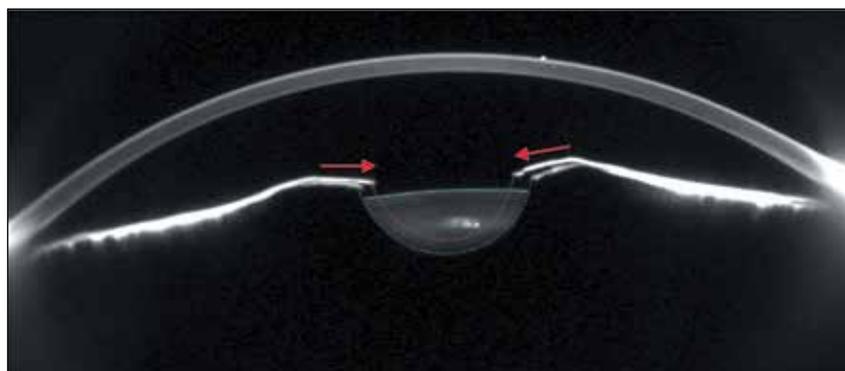


Рис. 6. Сравнительный анализ Шеймпфлюг-изображений переднего отрезка глаза у пациентов с пресбиопией в покое и при аккомодации

аббераций роговицы у пациентов с пресбиопией. На возможное участие роговицы в процессе аккомодации указывалось ранее [3, 6, 12, 20, 23, 25]. Так, по данным В.И. Лапочкина (1999), изменение оптических свойств роговицы может приводить в исполнение аккомодационного ответа от 1,5 до 6 дптр. Однако исследование Л.А. Минеевой с соавт. (2005) показало, что участие роговицы в акте аккомодации возможно за счет возникновения прямого роговичного астигматизма в среднем $0,75 \pm 0,25$ дптр. Результаты представленного исследования впервые говорят об изменении именно периферической части роговицы – увеличении ее асферичности и значений оптических aberrаций 4 порядка. В какой-то мере эти данные согласуются с исследованиями Y. Nochez, S. Salah, M. Bonneau et al. [17], в которых было показано, что именно оптические aberrации, вне зависимости от возраста и рефракции, определяют возможность аккомодационного ответа у пациентов с пресбиопией.

Следует особо подчеркнуть, что биомеханические преобразования в момент фокусировки у пациентов с пресбиопией сохраняются, но имеют свои особенности, которые оказывают положительное влияние на гидродинамику, гемодинамику и иные физиологические процессы глаза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты данного исследования наглядно показали, что аккомодационный ответ в норме является многокомпонентным процессом, в котором задействованы все структуры переднего отрезка глаза. Инволюционные физиологические изменения глаза с формированием пресбиопии ведут к искажению аккомодационного ответа, однако и в условиях пресбиопии сохраняется активная деятельность цилиарной мышцы, происходит активное сужение зрачка и трансформация корнеальной оптики, что должно приниматься во внимание при планировании хирургического лечения у пациентов с пресбиопией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. – М.: Медицина, 1975. – 447 с.
2. Аккомодация: Руководство для врачей / Под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель, 2012. – 136 с.
3. Лапочкин В.И. Динамические изменения роговицы при аккомодации глаза // Eye World (Россия). – 1999. – № 2. – С. 25.
4. Мальшев В.В., Розанова О.И., Гутник И.Н. и др. Трансформация функциональной системы зрительного восприятия из нормальной в патологическую // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2004. – № 2. – С. 19-26.
5. Малюгин Б.Э., Антонян С.А. Механизмы аккомодации: исторические аспекты и современные представления // Мир офтальмологии. – 2007. – № 6. – С. 22-25.
6. Минеева Л.А., Страхов В.В., Кузнецов Д.В. К вопросу об участии роговицы в аккомодации глаза человека // Биомеханика глаза: Материалы конф. – М., 2005. – С. 60-62.
7. Розанова О.И., Шуко А.Г., Михалевич И.М. и др. Закономерности структурно-морфологических изменений глазного яблока человека при развитии пресбиопии // РОЖ. – 2011. – Т. 44, № 1. – С. 62-66.
8. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Классификация и взаимодействие механизмов аккомодации глаза человека // Биомеханика глаза: Сб. науч. тр. – М., 2002. – С. 117-119.
9. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Современные представления о теории аккомодации Гельмгольца: Учеб. пособ. – СПб.: МАПО, 2002. – 39 с.
10. Страхов В.В., Минеева Л.А., Бузыкин М.А. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза человека по данным ультразвуковой биометрии и биомикроскопии // Вестн. офтальмологии. – 2007. – Т. 123, № 4. – С. 32-35.
11. Страхов В.В., Минеева Л.А., Кузнецов Д.В. Клинические проявления инволюционных изменений аккомодации глаза человека при зрении на разных расстояниях // Фёдоровские чтения. – 2006: Сб. тез. – М., 2006. – С. 340-343.
12. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Тарасова Н.А. и др. К вопросу об участии роговицы в аккомодации миопического глаза // Вестн. офтальмологии. – 2010. – № 6. – С. 15-17.
13. Coleman D.J., Fish S.K. Presbyopia, accommodation, and the mature catenary // Ophthalmol. – 2001. – Vol. 108, № 9. – P. 1544-1551.
14. Croft M.A., McDonald J.P., Katz A. et al. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2013. – Vol. 26, № 7. – P. 5035-5048.
15. Glasser A., Campbell M. C. Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia // Vision Research. – 1999. – Vol. 39, № 11. – P. 1991-2015.
16. Glasser A., Kaufman P.L. The mechanism of accommodation in primates // Ophthalmology. – 1999. – Vol. 106, № 5. – P. 863-872.
17. Nochez Y., Salab S., Bonneau M. et al. Impact of higher-order aberrations on accommodation in phakic presbyopic patients // J. Fr. Ophthalmol. – 2011. – Vol. 34, № 10. – P. 715-722.
18. Pallikaris I., Plainis S., Charman W.N. Presbyopia. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – 318 p.
19. Pavlin C.J., Foster F.S. Ultrasound biomicroscopy of the eye. – New York: Springer-Verlag, 1995. – 214 p.
20. Pierscionek B.K., Popiolek-Masajada A., Kasprzak H. Corneal shape change during accommodation // Eye. – 2001. – № 15. – P. 766-769.
21. Richdale K., Sinnott L.T., Bullimore M.A. Quantification of age-related and per diopter accommodative changes of the lens and ciliary muscle in the emmetropic human eye // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2013. – Vol. 26, № 7. – P. 1095-1105.
22. Timiras P.S. Physiological basis of aging and geriatrics. – New York: Informa Healthcare, 2007. – 467 p.
23. Tsukamoto M., Nakajima K., Nishino J. et al. Accommodation causes with-the-rule astigmatism in emmetropes // Optom. Vis. Sci. – 2000. – Vol. 77, № 3. – P. 150-155.
24. Win-Hall D.M., Glasser A. Objective accommodation measurements in pre-presbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer // J. Cataract Refract. Surg. – 2008. – Vol. 34, № 5. – P. 774-784.
25. Wold J.E., Hu A., Chen S., Glasser A. Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude // J. Cataract Refract. Surg. – 2003. – Vol. 29. – P. 1878-1888.

Поступила 27.03.2014

«Российская офтальмология онлайн» – Ваш информационный партнер!

**Электронные журналы:**

- Российская офтальмология онлайн
- Офтальмохирургия
- Новое в офтальмологии
- Российская детская офтальмология
- Современные технологии в офтальмологии
- Восток-Запад. Точка зрения

Электронные сборники:

- Материалы научных конференций
- Авторефераты диссертаций

Видеосборники:

- Научные доклады конференций
- Круглые столы
- Операции

Online-трансляции конференций

В базе данных более 3000 статей по офтальмологии