

## Оценка изменения цилиарной мышцы у пациентов с гиперметропией с помощью методов математического моделирования

Щуко А.Г.<sup>1,2,3</sup>, Новожилова Е.Т.<sup>1</sup>, Розанова О.И.<sup>1</sup>, Шолохов Л.Ф.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 337); <sup>2</sup> Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100); <sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России (664003, г. Иркутск, ул. Красного Восстания, 1); <sup>4</sup> ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (664003, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16)

Автор, ответственный за переписку: Новожилова Евгения Таировна, e-mail: Novojilova\_et@mail.ru

### Резюме

**Обоснование.** Возрастное снижение аккомодации у пациентов с эметропией, миопией и гиперметропией характеризуется разнонаправленными изменениями толщины цилиарной мышцы и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела. Структурно-функциональное состояние цилиарной мышцы и отдельных её компонентов и закономерности их изменения с возрастом у пациентов с гиперметропией остаются мало изученными.

**Цель:** изучить структурно-функциональное состояние цилиарной мышцы и её компонентов у пациентов с гиперметропией с использованием методов математического моделирования.

**Методы.** Было обследовано 110 пациентов (220 глаз) с осевой гиперметропией. Первую группу составили пациенты в возрасте 18–30 лет – 20 человек. Вторую группу составили 80 пациентов в возрасте 45–65 лет. Группу контроля составили 30 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 30 лет. Всем пациентам проводилась ультразвуковая биомикроскопия, на основании которой была построена пространственно-математическая модель с использованием программного комплекса ImageJ.

**Результаты и заключение.** У пациентов с гиперметропией в процессе старения наблюдается трансформация цилиарного тела и перестройка его мышечных компонентов.

Структурные иридо-цилиарные взаимоотношения у молодых пациентов с эметропией и гиперметропией существенно различаются по расположению и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела, степени акцентирования циркулярной порции цилиарной мышцы.

**Ключевые слова:** гиперметропия, цилиарное тело, циркулярная порция цилиарной мышцы, мышца Мюллера, ультразвуковая биомикроскопия

**Для цитирования:** Щуко А.Г., Новожилова Е.Т., Розанова О.И., Шолохов Л.Ф. Оценка изменения цилиарной мышцы у пациентов с гиперметропией с помощью методов математического моделирования. *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(4): 113-118. doi: 10.29413/ABS.2019-4.4.17

## Assessment of Changes in Ciliary Muscle in Patients with Hypermetropia Using Mathematical Modeling Methods

Shchuko A.G.<sup>1,2,3</sup>, Novozhilova E.T.<sup>1</sup>, Rozanova O.I.<sup>1</sup>, Sholokhov L.F.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (337 Lermontov str., 664033 Irkutsk, Russian Federation);

<sup>2</sup> Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education (100 Yubileyniy, 664049 Irkutsk, Russian Federation); <sup>3</sup> Irkutsk State Medical University (1 Krasnogo Vosstania str., 664003 Irkutsk, Russian Federation); <sup>4</sup> Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems (16 Timiryazev str., 664003 Irkutsk, Russian Federation)

Corresponding author: Evgeniya T. Novogilova, e-mail: Novojilova\_et@mail.ru

### Abstract

**Background.** Age-related decline in accommodation in patients with emmetropia, myopia and hyperopia is characterized by multidirectional changes in the thickness of the ciliary muscle and the configuration of the inner apex of the ciliary body. The structural and functional state of the ciliary muscle and its individual components and the patterns of their change with age in patients with hyperopia remain little studied.

**Aim:** to study the structural and functional state of the ciliary muscle and its components in patients with hyperopia using mathematical modeling methods.

**Methods.** 110 patients (220 eyes) with axial hyperopia were examined. The first group consisted of patients aged 18–30 years – 20 people. The second group consisted of 80 patients aged 45–65 years. The control group consisted of 30 healthy volunteers aged from 18 to 30 years. All patients underwent ultrasound biomicroscopy, on the basis of which a spatial-mathematical model was created using the ImageJ software package.

**Results and conclusion.** In patients with hyperopia, in the aging process there is a transformation of the ciliary body and the restructuring of its muscular components. Structural irido-ciliary relationships in young patients with emmetropia and hyperopia significantly differ in the location and configuration of the inner apex of the ciliary body, the degree of emphasis on the circular portion of the ciliary muscle.

**Key words:** hyperopia, ciliary body, circular portion of ciliary muscle, Müller muscle, ultrasound biomicroscopy

**For citation:** Shchuko A.G., Novozhilova E.T., Rozanova O.I., Sholokhov L.F. Assessment of Changes in Ciliary Muscle in Patients with Hypermetropia Using Mathematical Modeling Methods. *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(4): 113-118. doi: 10.29413/ABS.2019-4.4.17

### АКТУАЛЬНОСТЬ

При нормальном старении у пациентов с гиперметропией происходит снижение аккомодации, увеличение и уплотнение хрусталика и нарастание изменений цилиарной мышцы с увеличением доли соединительной ткани (коллагенизация) [1]. Увеличение толщины цилиарного тела в области внутренней вершины составляет, по данным A.L. Sheppard и L.N. Davies (2011), до 2,8–3 мкм в год [1, 2].

Порядок последующих возрастных изменений цилиарной мышцы по данным различных авторов значительно отличается. Так, по данным ряда авторов [3–5], при возрастном снижении аккомодации не исключена возможность вторичных дистрофических изменений в цилиарной мышце из-за её недостаточной активности. По данным других исследований, сократительная способность цилиарной мышцы благодаря приспособительно-компенсаторным механизмам сохраняется [6–8].

Состояние цилиарной мышцы зависит от исходных условий деятельности зрительной системы и, в первую очередь, от рефракции и исходного состояния аккомодации. Возрастное снижение аккомодации у пациентов с эметропией, миопией и гиперметропией характеризуется разнонаправленными изменениями толщины цилиарной мышцы и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела [9]. Для пациентов с гиперметропической рефракцией характерно постоянное тоническое напряжение аккомодации, сопровождающееся интенсивной деятельностью всей аккомодационной системы. При этом необходимая для аккомодационного ответа активность цилиарной мышцы не меняется с возрастом, вплоть до 60 лет [10]. По данным С. Oliveira (2006), у пациентов с осевой гиперметропией цилиарное тело более тонкое, чем в норме или при миопии [11]. Тогда как по мнению M.D. Bailey, у пациентов с гиперметропией отмечается утолщение передней части цилиарной мышцы [12].

Следует отметить, что наличие осевой гиперметропии напрямую взаимосвязано с наличием факторов риска формирования гидростатических блоков и развития закрытоугольной глаукомы [13]. Взаимосвязь между состоянием цилиарной мышцы и ВГД сохраняется на протяжении всей жизни (АВТ). Тем не менее, структурно-функциональное состояние цилиарной мышцы и отдельных её компонентов (мышцы Мюллера, мышцы Иванова, мышцы Брюкке) и закономерности их изменения с возрастом у пациентов с гиперметропией остаются мало изученными.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить структурно-функциональное состояние цилиарной мышцы и её компонентов у пациентов с гиперметропией с использованием методов математического моделирования.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

#### Характеристика групп исследования

Группа лиц для исследования была сформирована на добровольных началах, в соответствии с положениями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (1964–2013). Было обследовано 110 пациентов (220 глаз) с осевой гиперметропией. В зависимости

от возраста (классификация ВОЗ, 2007) пациенты были разделены на две клинические группы. Первую группу составили пациенты в возрасте 18–30 лет – 20 человек, средний возраст –  $22,2 \pm 3,3$  года. Вторую группу составили 80 пациентов в возрасте 45–65 лет (средний возраст –  $52,3 \pm 2,6$  года). Распределение по полу в группах было одинаковым. Критериями отбора пациентов в группы исследования было: наличие гиперметропии 1–2-й степени (объективная рефракция от +2,0 до +4,0 дптр.), отсутствие сопутствующей офтальмопатологии, ВГД ниже 21 мм рт. ст. Группу контроля составили 30 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 30 лет (средний возраст –  $22,3 \pm 3,2$  года). Критериями включения в группу контроля были отсутствие сопутствующей офтальмопатологии, объективная рефракция от +0,5 до –0,5 дптр, наличие астигматизма не более 0,5 дптр.

Кроме стандартных методов офтальмологического обследования всем пациентам и лицам группы контроля проводилось изучение строения цилиарного тела с использованием ультразвуковой биомикроскопии, на приборе «Hi Scan» (Optikon). Измерения проведены согласно критериям, описанным С. Pavlin и А. Sheppard [14], в 4 квадрантах, соответствующих меридианам 3, 6, 9 и 12 часов. Построение пространственно-математической модели проводилось с помощью графического анализа изображений сканов УБМ с использованием программного комплекса ImageJ. Оценка состояния цилиарного тела проводилась следующим образом.

1. Расчёт пространственных и угловых параметров – максимальная толщина цилиарного тела в проекции внутренней вершины (ТЦТ max), толщина цилиарного тела на расстоянии 1 мм и 2 мм от трабекулы (ТЦТ 1 и ТЦТ 2), угол внутренней вершины цилиарного тела (УВЦТ), угол примыкания «трабекула – радужка» (УТР), длина передней порции цинновой связки (ЦС).

2. Графический анализ изображений сканов УБМ с использованием программного комплекса ImageJ для обработки изображения, с расчётом параметров поперечного среза цилиарной мышцы.

3. Качественная оценка строения цилиарного тела и соотношения трёх порций мышц (циркулярной, радиальной, продольной) на основании сравнительного анализа их акустической плотности [15].

4. Оценка акустической плотности цилиарного тела проведена по баллам относительно плотности склеры. Плотность склеры принята за 5 усл. ед. [16].

#### Статистический анализ

Были вычислены средние арифметические ( $M$ ), стандартные отклонения от среднего ( $s$ ). Правильность распределения значений в группах оценена с использованием критерия Колмогорова – Смирнова. Проведён сравнительный анализ ( $t$ -критерий).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении сравнительного анализа структурных параметров цилиарного тела, у молодых пациентов с гиперметропией установлены значительные трансформационные сдвиги (табл. 1). Выявлено увеличение толщины цилиарного тела в проекции внутренней

вершины, уменьшение толщины плоской части цилиарного тела, уменьшение внутренней вершины цилиарного тела, увеличение передней зонулы, уменьшение угла примыкания «трабекула – радужка». В зрелом возрасте заданный вектор изменений у пациентов с гиперметропией усиливается.

Далее на УБМ-изображении поперечного среза цилиарного тела было выделено семь узловых анатомических точек (рис. 1), соответствующих наиболее значимым участкам крепления к склере, радужке и зонулярным порциям цинновой связки. На внутреннем крае цилиарного тела выделены: верхушка внутренней вершины цилиарного тела, точка перехода внутренней вершины в скат цилиарного тела, точка перехода ската в плоскую часть. На наружном крае цилиарного тела выделены: точка иридо-цилиарного перехода, на расстоянии 1 мм от трабекулы, на расстоянии 2 мм от трабекулы, пограничная точка плоской части с *ora serrata* (рис. 1).

Далее была построена сложная семигранная геометрическая фигура, отражающая поперечный срез цилиарного тела, и выделена зона циркулярной порции

цилиарного тела. Для этого через узловую точку 3 (точку перехода внутренней вершины в скат цилиарного тела) проведена параллельная линия до места пересечения с передним краем цилиарного тела, а точка пересечения явилась следующей узловой точкой (рис. 2).

На следующем этапе с использованием программы ImageJ проведён математический анализ площади поперечного среза цилиарного тела и площади внутренней вершины цилиарного тела. При сравнении полученных данных установлено, что у пациентов с гиперметропией наблюдается увеличение площади цилиарного тела и формирование более выраженной вершины цилиарного тела (рис. 3). Кроме того, возникает грубая деформация с перераспределением мышечной массы, в сторону увеличения и заострения внутренней верхушки цилиарного тела и уменьшением площади его плоской части.

Установлено, что у пациентов с гиперметропической рефракцией в двух исследуемых группах наблюдается постепенное увеличение площади цилиарного тела, достигая критических значений в старшей возрастной группе (табл. 2).

Структурные характеристики состояния цилиарной мышцы у пациентов с гиперметропией и эметропией (M ± s)

Structural characteristics of the state of the ciliary muscle in patients with hyperopia and emmetropia (M ± s)

Показатели	Эметропия (22,3 ± 3,2 года), n = 40	Гиперметропия (22,2 ± 3,3 года), n = 40	Гиперметропия (52,3 ± 2,6 года), n = 40	Критерий Манна – Уитни, p
	1	2	3	
Толщина цилиарного тела 1, верхний сегмент, мм	0,78 ± 0,15	0,81 ± 0,12	1,21 ± 0,17	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$
Толщина цилиарного тела 2, верхний сегмент, мм	0,6 ± 0,17	0,65 ± 0,15	0,5 ± 0,12	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$
Толщина цилиарного тела 3, верхний сегмент, мм	0,4 ± 0,11	0,35 ± 0,12	0,2 ± 0,15	$p_{1-2} < 0,01$ $p_{2-3} < 0,01$
Угол внутренней вершины ЦТ, °	105,2 ± 2,32	96,4 ± 5,25	89,2 ± 4,35	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,01$
Угол примыкания «трабекула – радужка», в верхнем сегменте, °	37,3 ± 10,41	28,1 ± 6,2	26,1 ± 5,25	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,05$
Длина передней порции цинновой связки в верхнем сегменте, мм	0,6 ± 0,16	1,21 ± 0,31	1,32 ± 0,21	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,06$

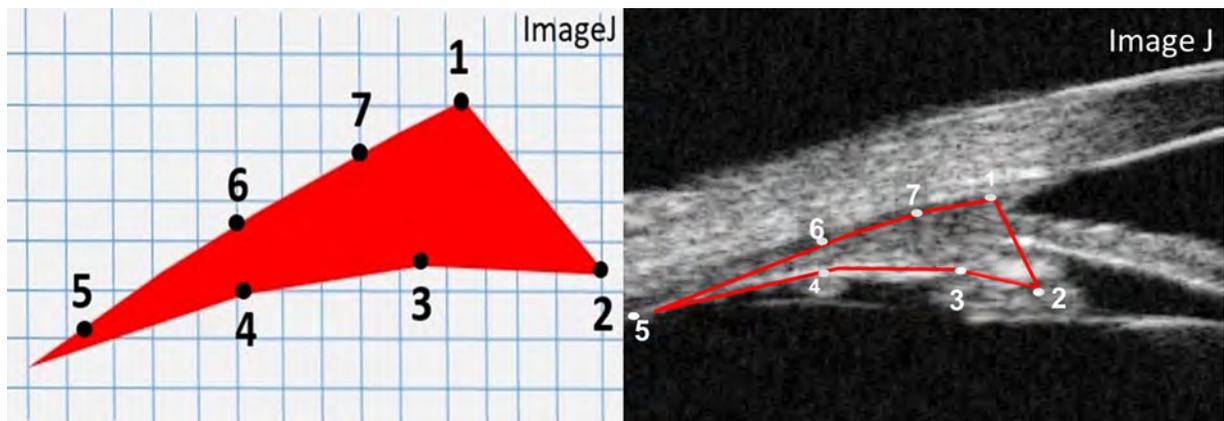
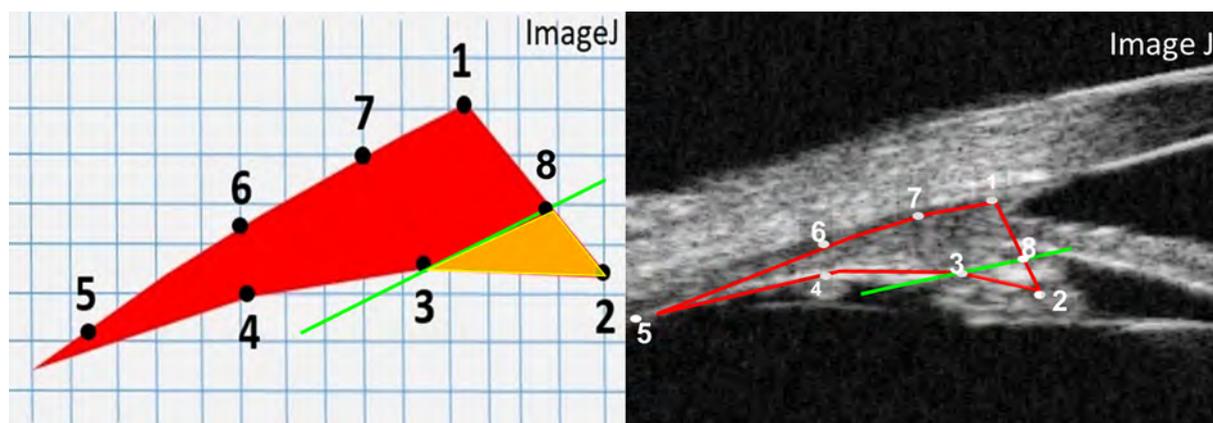


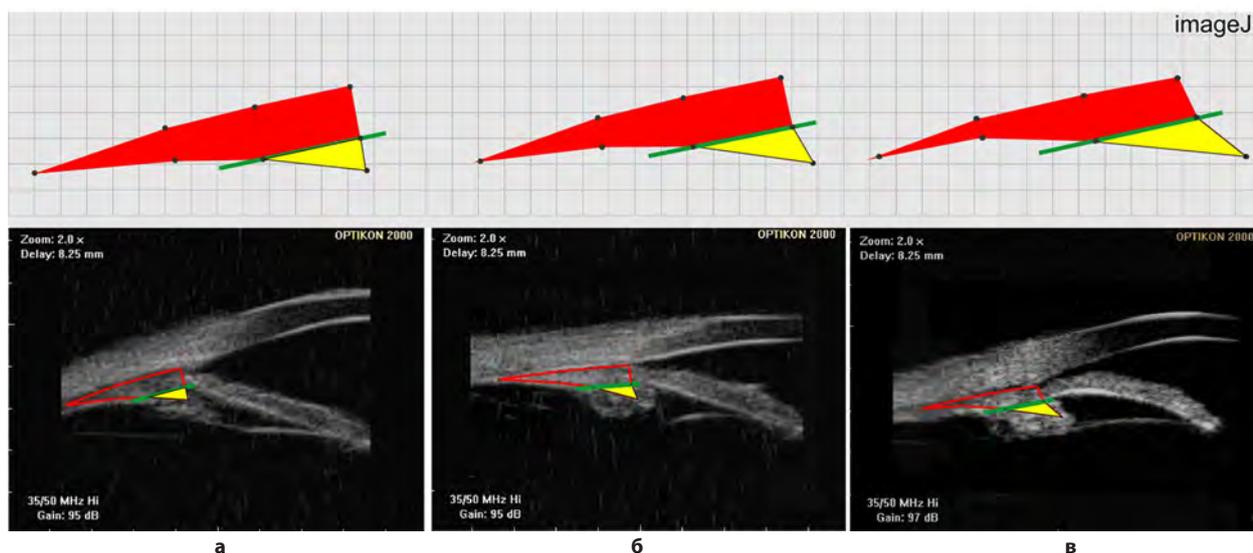
Рис. 1. Модель графического построения цилиарного тела с узловыми точками: точка иридо-цилиарного перехода (1), верхушка внутренней вершины цилиарного тела (2), точка перехода внутренней вершины в скат цилиарного тела (3), точка перехода ската в плоскую часть (4), пограничная точка плоской части с *ora serrata* (5), точка границы цилиарного тела со склерой на расстоянии 1 мм от трабекулы, точка границы цилиарного тела со склерой на расстоянии 2 мм от трабекулы.

Fig. 1. Model of graphic construction of the ciliary body with nodal points: irido-ciliary transition point (1), apex of the inner apex of the ciliary body (2), transition point of the inner vertex into the slope of the ciliary body (3), transition point of the slope into a flat part (4), the boundary point of the flat part with *ora serrata* (5), the point of the border of the ciliary body with the sclera at a distance of 1 mm from the trabecula, the point of the border of the ciliary body with the sclera at a distance of 2 mm from the trabecula.



**Рис. 2.** Схема графического отображения внутренней вершины цилиарного тела. Отображены: точка иридо-цилиарного перехода (1), верхушка внутренней вершины цилиарного тела (2), точка перехода внутренней вершины в скат цилиарного тела (3), точка перехода ската в плоскую часть (4), пограничная точка плоской части с *ora serrata* (5), точка границы цилиарного тела со склерой на расстоянии 1 мм от трабекулы (6), точка границы цилиарного тела со склерой на расстоянии 2 мм от трабекулы (7), пограничная точка внутренней вершины на переднем крае цилиарного тела (8).

**Fig. 2.** Graphic display of the internal vertex of the ciliary body. Irido-ciliary transition point (1), apex of the inner vertex of the ciliary body (2), transition point of the inner vertex into the slope of the ciliary body (3), transition point of the slope to the flat part (4), boundary point of the flat part with *ora serrata* (5), the point of the border of the ciliary body with the sclera at a distance of 1 mm from the trabeculae (6), the point of the border of the ciliary body with the sclera at a distance of 2 mm from the trabeculae (7), the boundary point of the inner vertex at the front edge of the ciliary body are displayed (8).



**Рис. 3.** Графическое изображение изменения цилиарного тела: **а** – при эмметропии; **б** – при гиперметропии, **в** – пациенты старшей возрастной группы с гиперметропией.

**Fig. 3.** Graphic representation of the changes in the ciliary body: **a** – with emmetropia; **б** – with hyperopia, **в** – patients of the older age group with hyperopia.

*Показатели состояния цилиарной мышцы у пациентов с гиперметропией и эмметропией (M ± s)*

Таблица 2

*Indices of the state of the ciliary muscle in patients with hyperopia and emmetropia (M ± s)*

Table 2

Показатели	Эмметропия, n = 40	Гиперметропия (молодого возраста), n = 40	Гиперметропия (старшего возраста), n = 40	Критерий Манна – Уитни, p
Площадь цилиарного тела, мм <sup>2</sup>	95 ± 15,15	100 ± 20,35	120 ± 18,15	p <sub>1-2</sub> < 0,001 p <sub>2-3</sub> < 0,001
Площадь верхушки цилиарного тела, мм <sup>2</sup>	12,5 ± 2,1	15,3 ± 3,5	20,5 ± 4,5	p <sub>1-2</sub> < 0,001 p <sub>2-3</sub> < 0,001

У пациентов с эмметропией акустическая плотность цилиарного тела в зоне вне вершины составила 0,85 ± 0,15 усл. ед., в зоне внутренней вершины цилиарного тела, соответствующей циркулярной порции цилиарной мышцы – 0,95 ± 0,15 усл. ед. При гиперметропии

установлено статистически значимое увеличение акустической плотности цилиарного тела. У молодых лиц акустическая плотность цилиарного тела вне внутренней вершины составила 1,75 ± 0,51 усл. ед. (p<sub>1-2</sub> < 0,001), в зоне внутренней вершины – 2,05 ± 1,51 усл. ед.

( $p_{1-2} < 0,001$ ); у пациентов старшего возраста аналогичные показатели составили  $2,75 \pm 0,75$  усл. ед. ( $p_{1-2} < 0,001$ ) и  $3,25 \pm 0,25$  усл. ед. ( $p_{1-2} < 0,001$ ).

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Впервые выполненное математическое моделирование мышечных компонентов цилиарной мышцы говорит о значительной трансформации цилиарного тела, изменении его мышечной структуры и наличии гипертрофии мышцы Мюллера, непосредственно участвующей в аккомодационном ответе глаза. Признаками повышенной функциональной нагрузки мышцы Мюллера (циркулярной порции цилиарной мышцы) являются увеличение площади верхушки цилиарного тела и усиление акустической плотности зоны верхушки. Иными словами, постоянное тоническое напряжение аккомодации при наличии гиперметропической рефракции с течением времени выражается в гипертрофии мышцы Мюллера и уменьшении диаметра внутреннего кольца. Полученные данные коррелируются с данными M.D. Bailey.

Уменьшение внутреннего пространства в задней камере глаза и увеличение размеров хрусталика при старении может служить факторами риска нарушения интраокулярной гидродинамики. Полученные данные позволяют сделать предположение, что снижение функциональной активности мышцы Мюллера при проведении ранней полной оптической коррекции может служить методом профилактики гидростатических блоков у пациентов с гиперметропией старшего возраста.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Методами УБМ и математического моделирования доказано, что у пациентов с гиперметропией в процессе старения наблюдается трансформация цилиарного тела и перестройка его мышечных компонентов.

Структурные иридо-цилиарные взаимоотношения у молодых пациентов с эметропией и гиперметропией существенно различаются по расположению и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела, степени акцентирования циркулярной порции цилиарной мышцы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Sheppard AL, Davies LN. The effect of ageing on in vivo human ciliary muscle morphology and contractility. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(3): 1809-1816. doi: 10.1167/iov.10-6447
2. Розанова О.И., Новожилова Е.Т., Шуко А.Г., Юрьева Т.Н. Реорганизация аккомодационной системы у пациентов с гиперметропией при формировании гидродинамических блоков. *Национальный журнал глаукома.* 2016; 15(2): 36-43.
3. Копяева В.Г. (ред.) *Глазные болезни.* М.: Медицина; 2002.
4. Страхов В.В., Минеева Л.А., Бузыкин М.А. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза человека по данным ультразвуковой биометрии и биомикроскопии. *Вестник офтальмологии.* 2007; 123(4): 32-35.
5. Страхов В.В., Минеева Л.А., Кузнецов Д.В. Клинические проявления инволюционных изменений аккомодации глаза человека при зрении на разных расстояниях. *Федоровские чтения – 2006: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.* М.; 2006.
6. Страхов В.В., Иомдина Е.Н. Аккомодация: анатомия, физиология, биомеханизмы. В: Катаргина Л.А. (ред.). *Аккомодация.* М.: Апрель; 2012. стр. 13-34.
7. Аветисов Э.С. Расстройства аккомодации и изменения рефракции. В: Пучковская Н.А. (ред.). *Офтальмогериятрия.* М.: Медицина; 1982.

8. Бочкарева А.А., Сутягина О.В., Болдырева Л.В., Бастриков Н.И. Инволюционные изменения в структурах, образующих заднюю камеру, их роль в возникновении патологических процессов. *Старение и глаз: Тез. 1-й науч. конф.* М.; 1976. с. 11-12.

9. Pavlin CJ, Foster FS. *Ultrasound biomicroscopy of the eye.* New York: Springer-Verlag; 1995.

10. Swegmark G. Studies with impedance cyclography on human ocular accommodation at different ages. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1969; 47(5): 1186-1206.

11. Oliveira C, Tello C, Liebmann JM. Ciliary body thickness increases with increasing axial myopia. *Am J Ophthalmol.* 2005; 140(2): 324-325. doi: 10.1016/j.ajo.2005.01.047

12. Bailey MD, Sinnott LT, Mutti DO. Ciliary body thickness and refractive error in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008; 49(10): 4353-4360. doi: 10.1167/iov.08-2008

13. Авдеев Р.В., Александров А.С., Арапиев М.У., Бакунина Н.А., Басинский А.С., Белая Д.А. и др. Подозрение и начальная стадия глаукомы: дифференциально-диагностические критерии. *Российский офтальмологический журнал.* 2017; 10(4): 5-15. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-4-5-15

14. Sheppard AL, Davies LN. In vivo analysis of ciliary muscle morphologic changes with accommodation and axial ametropia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51(12): 6882-6889. doi:10.1167/iov.10-5787

15. Pucker AD, Sinnott LT, Kao CY, Bailey MD. Region-specific relationships between refractive error and ciliary muscle thickness in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013; 54(7): 4710-4716. doi: 10.1167/iov.13-11658

16. Милингерт А.В., Егорова Э.В., Узунян Д.Г., Дробница А.А. Изменение акустических параметров склеры и цилиарного тела у пациентов с терминальной болящей глаукомой после проведения КТДЦК. *Современные технологии в офтальмологии.* 2015; (3): 110-113.

**REFERENCES**

1. Sheppard AL, Davies LN. The effect of ageing on in vivo human ciliary muscle morphology and contractility. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(3): 1809-1816. doi: 10.1167/iov.10-6447
2. Rozanova OI, Novozhilova ET, Shchuko AG, Iureva TN. Reorganization of the accommodation system in patients with hyperopia during the formation of hydrodynamic blocks. *National Journal Glaucoma.* 2016; 15(2): 36-43 (In Russ.)
3. Kopyeva VG. (ed.) *Ocular diseases.* Moscow: Meditsina; 2002. (In Russ.)
4. Strakhov VV, Mineeva LA, Buzykin MA. Involutional changes in the human eye accommodative apparatus as evidenced by ultrasound biometry and biomicroscopy. *The Russian Annals of Ophthalmology.* 2007; 123(4): 32-35. (In Russ.)
5. Strakhov VV, Mineeva LA, Kuznetsov DV. Clinical manifestations of involutional changes in the accommodation of a person's eye during vision at different distances. *Fedorovskie chteniya – 2006: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem.* Moscow; 2006. (In Russ.)
6. Strakhov VV, Iomdina EN. Accommodation: anatomy, physiology, biomechanisms. In: Katargina LA. (ed.). *Akkomodatsiya.* Moscow: Aprel; 2012. p. 13-34. (In Russ.)
7. Avetisov ES. Accommodation disorders and changes in refraction. In: Puchkovskaya NA. (ed.). *Oftal'mogeriatriya.* Moscow: Meditsina; 1982. (In Russ.)
8. Bochkareva AA, Sutyagina OV, Boldyreva LV, Batrikov NI. Involutional changes in the structures that form the posterior chamber, their role in the occurrence of pathological processes. In: *Starenie i glaz: Tezisy 1-y nauchnoy konferentsii.* Moscow; 1976. p. 11-12. (In Russ.)
9. Pavlin CJ, Foster FS. *Ultrasound biomicroscopy of the eye.* New York: Springer-Verlag; 1995.
10. Swegmark G. Studies with impedance cyclography on human ocular accommodation at different ages. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1969; 47(5): 1186-1206.

11. Oliveira C, Tello C, Liebmann JM. Ciliary body thickness increases with increasing axial myopia. *Am J Ophthalmol.* 2005; 140(2): 324-325. doi: 10.1016/j.ajo.2005.01.047
12. Bailey MD, Sinnott LT, Mutti DO. Ciliary body thickness and refractive error in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008; 49(10): 4353-4360. doi: 10.1167/iovs.08-2008
13. Avdeev RV, Alexandrov AS, Arapiev MU, Bakunina NA, Bainskiy AS, Belaya DA, et al. Suspicion and the initial stage of glaucoma: differential diagnostic criteria. *Russian Ophthalmological Journal.* 2017; 10(4): 5-15. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-4-5-15. (In Russ.)
14. Sheppard AL, Davies LN. In vivo analysis of ciliary muscle morphologic changes with accommodation and axial ametropia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51(12): 6882-6889. doi:10.1167/iovs.10-5787
15. Pucker AD, Sinnott LT, Kao CY, Bailey MD. Region-specific relationships between refractive error and ciliary muscle thickness in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013; 54(7): 4710-4716. doi: 10.1167/iovs.13-11658
16. Millingert AV, Egorova EV, Uzunyan DG, Drobnitsa AA. Changes in the acoustic parameters of the sclera and ciliary body in patients with terminal painful glaucoma after contact transscleral diode-laser cyclophotocoagulation. *Sovremennyye tekhnologii v oftal'mologii.* 2015; (3): 110-113. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

**Щуко Андрей Геннадьевич** – доктор медицинских наук, профессор, директор, Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России; заведующий кафедрой офтальмологии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; заведующий кафедрой глазных болезней, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: if@mntk.irkutsk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4264-4408>

**Новожилова Евгения Таировна** – врач-офтальмолог лечебно-консультационного отделения, Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, e-mail: Novojilova\_et@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6274-3203>

**Розанова Ольга Ивановна** – доктор медицинских наук, заведующая лечебно-консультационным отделением, Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, e-mail: olgrozanova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3139-2409>.

**Шолохов Леонид Федорович** – доктор медицинских наук, профессор, руководитель лаборатории физиологии и патологии эндокринной системы, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», e-mail: lfshol@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3588-6545>

#### Information about the authors

**Andrey G. Shchuko** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Director, Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; Head of the Department of Ophthalmology, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Head of the Department of Eye Diseases, Irkutsk State Medical University, e-mail: if@mntk.irkutsk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4264-4408>

**Evgeniya T. Novozhilova** – Ophthalmologist, Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: Novojilova\_et@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6274-3203>

**Olga I. Rozanova** – Dr. Sc. (Med.), Head of Diagnostic Department, Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: olgrozanova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3139-2409>

**Leonid F. Sholokhov** – Dr. Sc. (Med.), Head of the Laboratory of Physiology and Pathology of the Endocrine System, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, e-mail: lfshol@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3588-6545>

Статья получена: 19.04.2019. Статья принята: 26.06.2019. Статья опубликована: 26.08.2019.  
Received: 19.04.2019. Accepted: 26.06.2019. Published: 26.08.2019.