

ОФТАЛЬМОЛОГИЯ OPHTHALMOLOGY

DOI: 10.29413/ABS.2020-5.6.20

Дифференциальная реорганизация структурных элементов иридоцилиарной и перилентикулярной зоны в формировании гидродинамических блоков

Щуко А.Г.^{1,2,3}, Новожилова Е.Т.¹, Розанова О.И.¹, Шолохов Л.Ф.⁴

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

Автор, ответственный за переписку: Новожилова Евгения Таировна, e-mail: novozhilova_et@mail.ru

Резюме

Обоснование. Ключевым звеном патогенеза закрытоугольной глаукомы является формирование структурных блоков, инициирующих нарушение гидростатического равновесия. Однако при равных параметрах глазного яблока, состояния путей оттока, уровень внутриглазного давления и гидродинамика глаза могут иметь принципиальные различия. Было предположено, что формирование гидродинамических блоков у пациентов с гиперметропией может быть инициировано уже в молодом возрасте процессами избыточной аккомодации, которые усугубляются физиологическим старением, сопровождающимся формированием пресбиопии.

Цель исследования: выяснение факторов, провоцирующих и усугубляющих процессы формирования патологических изменений гидродинамики глаза, у пациентов старшего возраста с гиперметропией.

Материалы и методы. Проведено всестороннее исследование переднего отрезка глаза у 80 пациентов в возрасте 45–60 лет с гиперметропической рефракцией. Оценка структурных девиаций проводилась с использованием ультразвуковой биомикроскопии и интерактивной Шеймплфлюг-регистрации переднего отрезка глаза («Pentacam HR», Oculus, США) с расчётом параметров передней и задней камеры глаза и коэффициента Lowe. Тонотометрия и тонография проводилась на электронном тонографе «Mentor» (Tecnar Ophthalmic, США).

Результаты и заключение. Совокупность результатов исследования 80 пациентов с гиперметропией была обработана с помощью кластерного анализа, по результатам которого выявлена значительная и статистически значимая неоднородность для трёх кластеров. Сравнительный и регрессионный анализ установил, что преобразование параметров и положения внутриглазных структур исходно и в условиях нагрузочной пробы у лиц первого и третьего кластеров сопровождалось нарушением гидродинамики глаза с преобладающим включением, соответственно, лентикулярного или иридоцилиарного компонента. Изменения, выявленные у пациентов второго кластера, отличались сбалансированными умеренными изменениями структурных взаимоотношений и отсутствием клинически значимого повышения внутриглазного давления.

Ключевые слова: закрытоугольная глаукома, гидродинамика глаза, аккомодация

Для цитирования: Щуко А.Г., Новожилова Е.Т., Розанова О.И., Шолохов Л.Ф. Дифференциальная реорганизация структурных элементов иридоцилиарной и перилентикулярной зоны в формировании гидродинамических блоков. *Acta biomedica scientifica*. 2020; 5(6): 171-178. doi: 10.29413/ABS.2020-5.6.20.

Differential Reorganization of Structural Elements of the Iridociliary and Perenticular Zones in the Hydrodynamic Blocks Formation

Shchuko A.G.^{1,2,3}, Novozhilova E.T.¹, Rozanova O.I.¹, Sholokhov L.F.⁴

¹ Irkutsk Branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (Lermontova str. 337, Irkutsk 664033, Russian Federation); ² Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education (Yubileyniy 100, Irkutsk 664049, Russian Federation); ³ Irkutsk State Medical University (Krasnogo Vosstaniya str. 1, Irkutsk 664003, Russian Federation); ⁴ Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems (Timiryazeva str. 16, Irkutsk 664003, Russian Federation)

Corresponding author: Evgeniya T. Novozhilova, e-mail: novozhilova_et@mail.ru

Abstract

Background. The key link in the pathogenesis of angle-closure glaucoma is the formation of structural blocks that initiate a violation of hydrostatic balance. However, if the parameters of the eyeball are equal, the state of the outflow pathways, the level of intraocular pressure and the eye hydrodynamics may be different. It was suggested that the formation of hydrodynamic blocks in patients with hypermetropia may be initiated at a young age by the processes of excessive accommodation, which are aggravated by physiological aging, accompanied by the formation of presbyopia.

Aim. To find out the factors that provoke and aggravate the processes of formation of pathological changes in the eye hydrodynamics in patients with older hypermetropia.

Materials and methods. A comprehensive study of the anterior segment of the eye was performed in 80 patients aged 45–60 years with hypermetropic refraction. Structural deviations were evaluated using ultrasound biomicroscopy and interactive Scheimpflug registration of the anterior segment of the eye ("Pentacam HR", Oculus, USA) with the calculation of the parameters of the anterior and posterior chambers of the eye and the Lowe coefficient. Tonometry and tonography were performed on an electronic tonograph "Mentor" (Tecnar Ophthalmic, USA).

Results and conclusion. The total results of the study of 80 patients with hypermetropia were processed using cluster analysis, which revealed significant and significant heterogeneity for three clusters. Comparative and regression analysis found that the parameters transformation and intraocular structures position are initial and under the conditions of the load test in subjects of the first and third clusters was accompanied by a violation of the eye hydrodynamics with the predominant inclusion of the lenticular or iridociliary component, respectively. The changes detected in patients of the second cluster were characterized by balanced moderate changes in structural relationships and the absence of a clinically significant intraocular pressure increase.

Key words: angle-closure glaucoma, eye hydrodynamics, accommodation

For citation: Shchuko A.G., Novozhilova E.T., Rozanova O.I., Sholokhov L.F. Differential Reorganization of Structural Elements of the Iridociliary and Peritacular Zones in the Hydrodynamic Blocks Formation. *Acta biomedica scientifica*. 2020; 5(6): 171-178. doi: 10.29413/ABS.2020-5.6.20.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Известно, что гиперметропия является слабым типом рефракции, обуславливая недостаточное зрение без дополнительной оптической коррекции как вдаль, так и на близком расстоянии. У молодых пациентов избыточное напряжение аккомодации может компенсировать недостатки зрительного восприятия, но в то же время приводить к значительным структурным изменениям в иридоцилиарном и лентикулярном комплексах, которые, помимо обеспечения аккомодационного ответа, участвуют в продукции и оттоке внутриглазной влаги, то есть в процессах гидродинамики глаза [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Снижение фильтрационной функции трабекулы, ассоциированные с возрастом дегенеративные и дистрофические процессы на уровне венозного синуса и интрасклерального сосудистого сплетения являются ключевыми звеньями патогенеза первичной открытоугольной глаукомы [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], тогда как ключевым звеном патогенеза закрытоугольной глаукомы (ЗУГ) является формирование структурных блоков, инициирующих нарушение гидростатического равновесия [12, 14, 15, 16]. Многочисленные исследования доказали, что ведущим фактором риска ЗУГ является дисбаланс основных параметров глаза, связанный с его малым аксиальным размером, определяющим наличие гиперметропической рефракции. При этом увеличение в течение жизни объема внутриглазных структур рассматривают в качестве предиктора нарушения оттока внутриглазной влаги на претрабекулярном уровне [17, 18, 19, 20, 21, 22].

Однако при равных параметрах глазного яблока, состояния путей оттока уровень внутриглазного давления (ВГД) и гидродинамика глаза в целом у пациентов с гиперметропией могут иметь принципиальные различия. Подтверждением этого являются результаты наших предыдущих исследований, которые показали, что среди 1600 пациентов в возрасте 50–70 лет с гиперметропией 1-й и 2-й степеней в 23,5 % случаев установлен диагноз закрытоугольная глаукома различной степени выраженности, у 43,2 % обследуемых выявлены структурные изменения угла передней камеры в виде функциональ-

ного ангулярного блока с повышением ВГД в условиях нагрузочной пробы, а в 33,3 % случаев пациенты не имели гидродинамических нарушений. Таким образом, нерешёнными остаются вопросы о факторах риска и закономерностях, определяющих принципиальные отличия в строении, топографическом взаимоотношении и функциональной активности структур, обеспечивающих процессы аккомодации, у пациентов с гиперметропией при нарушении гидродинамики глаза и в случаях отсутствия ретенционных нарушений [23, 24, 25, 26]. Было предположено, что формирование гидродинамических блоков у пациентов с гиперметропией может быть инициировано уже в молодом возрасте процессами избыточной аккомодации, которые усугубляются физиологическим старением, сопровождающимся формированием пресбиопии.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выяснение факторов, провоцирующих и усугубляющих процессы формирования структурных нарушений, патологических изменений гидродинамики глаза у пациентов старшего возраста с гиперметропией.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Группа лиц для исследования была сформирована на добровольных началах, в соответствии с положениями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (1996, 2002). Проведено всестороннее исследование переднего отрезка глаза у 80 пациентов в возрасте 45–60 лет с гиперметропической рефракцией. Общими критериями отбора пациентов для исследования были: наличие гиперметропии 1-й степени (объективная рефракция в условиях циклоплегии в пределах от +1,0 до +3,0 дптр); острота зрения вдаль не менее 0,8; отсутствие сопутствующей офтальмопатологии и тяжёлой соматической патологии; ВГД ниже 21 мм рт. ст.; экскавация диска зрительного нерва не более 0,3 диаметра диска; разница экскавации на обоих глазах не более 0,2 диаметра диска зрительного нерва. Оценка структурных девиаций проводилась с использованием ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) и интерактивной Шеймпфлюг-регистрации переднего отрезка глаза («Pentacam HR»,

Oculus, США) с расчётом параметров передней и задней камеры глаза и коэффициента Lowe.

Расчёт пространственных и угловых параметров по данным УБМ проводился по следующему алгоритму:

- максимальная толщина цилиарного тела в проекции внутренней вершины (ТЦТ max);
- толщина цилиарного тела на расстоянии 1 мм от трабекулы (ТЦТ1);
- толщина цилиарного тела на расстоянии 2 мм от трабекулы (ТЦТ2);
- угол внутренней вершины цилиарного тела (УВЦТ);
- угол примыкания «трабекула – радужка» (УТР);
- длина передней порции цинновой связки (ЦС).

Тонометрия и тонография проводилась на электронном тонографе «Mentor» (Tecnar Ophthasonic, США) с количественной оценкой оттока внутриглазной жидкости (ВГЖ) и графической регистрацией показателя внутриглазного давления, а также коэффициента лёгкости оттока ВГЖ. Результаты исследования обработаны с применением пакета программ Statistica for Windows 8.0 (StatSoft Inc., США). Анализ статистической значимости различий признаков по представленным параметрам проведён с использованием методов непараметрической статистики – критерия U Манна – Уитни, регрессионного и кластерного анализа. Статистическую значимость различий считали установленной при уровне $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Совокупность результатов исследования 80 пациентов с гиперметропией была обработана с помощью кластерного анализа, по результатам которого выявлена значительная и статистически значимая неоднородность для трёх кластеров (рис. 1).

Кластер 1 был представлен 27 пациентами (средний возраст $55,95 \pm 7,49$ года); в кластер 2, соответствующий второй модели, вошли 20 человек (средний возраст $55,05 \pm 5,99$ года); кластер 3 составили 17 человек (средний возраст $53,94 \pm 5,22$ года).

Установлено, что кластер 1 характеризуется максимальной толщиной хрусталика, наименьшими размерами передней и задней камер глаза ($p = 0,001$), по сравнению с другими группами, при сопоставимой длине глазного яблока (табл. 1).

Кроме того, для данного кластера установлена максимальная толщина цилиарного тела во всех четырёх исследуемых квадрантах, а также минимальное расстояние между экватором хрусталика и цилиарными отростками и трабекулой, о чём свидетельствуют показатели длины передней порции цинновой связки, и расстояния «трабекула – цилиарные отростки». В целом это свидетельствует о том, что у пациентов данного кластера наблюдается максимальное увеличение объёмных характеристик хрусталика и циркулярной порции цилиарного тела, являющихся ключевыми компонентами аккомодации.

У пациентов, составляющих кластер 2, в отличие от групп сравнения, установлены минимальный размер толщины хрусталика, наибольшая глубина передней и задней камеры глаза; толщина цилиарного тела имела наименьшие значения в нижнем, наружном и внутреннем сегменте, что обуславливало максимальные показатели дистанции между экватором хрусталика, цилиарными отростками, трабекулой и внутренней вершиной цилиарного тела, которая имела заднее атипичное положение.

Исследование пациентов кластера 3 позволило установить умеренные изменения толщины хрусталика, глубины передней и задней камер глаза. При этом выявлено значительное уменьшение дистанции «трабекула – цилиарные отростки», минимальные значения угла внутренней вершины цилиарного тела, что свидетельствует о выраженных нарушениях на уровне структур иридоцилиарной зоны.

Уровень ВГД и показатель лёгкости оттока ВГЖ в покое у всех пациентов находился в пределах референтных значений, что определяло отсутствие клинически выраженных нарушений гидродинамики глаза. После проведения водно-позиционной нагрузочной пробы у пациентов кластеров 2 и 3 произошло умеренное повышение ВГД, а у пациентов кластера 1 разница в исходном и наблюдаемом уровнях ВГД после нагрузки в 75 % случаев достигала 7 мм рт. ст., что выходило за пределы значений физиологической нормы. Статистически значимым было и снижение лёгкости оттока ВГЖ – практически в 1,5 раза, по сравнению со средними значениями, полученными у пациентов кластера 2 (табл. 2).

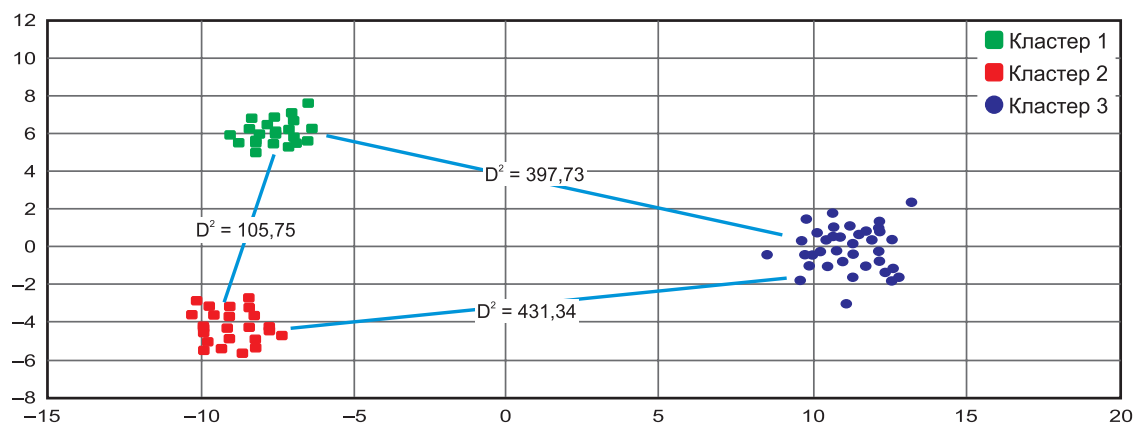


Рис. 1. Графическое представление кластерного анализа у пациентов старшего возраста с гиперметропией: D^2 – мера Махаланобиса ($p = 0,001$)

Fig. 1. Graphical representation of cluster analysis in older patients with hyperopia: D^2 – Mahalanobis measure ($p = 0.001$)

Таблица 1

Изменение анатомических показателей глаза у пациентов старшего возраста с гиперметропией в трёх кластерах

Table 1

Changes in eye anatomical parameters in older patients with hyperopia in three clusters

Показатели	Кластер 1 (n = 30)	Кластер 2 (n = 27)	Кластер 3 (n = 23)	p-критерий Манна – Уитни
Длина передне-заднего отрезка глаза, мм	21,95 ± 0,73	21,99 ± 0,62	21,41 ± 0,13	$p_{1-2} = 0,8$ $p_{1-3} = 0,04$ $p_{2-3} = 0,03$
Передняя камера, мм	2,39 ± 0,18	2,83 ± 0,17	2,61 ± 0,29	$p_{1-2} = 0,0001$ $p_{1-3} = 0,004$ $p_{2-3} = 0,007$
Толщина хрусталика, мм	4,79 ± 0,31	4,34 ± 0,34	4,66 ± 0,35	$p_{1-2} = 0,0001$ $p_{1-3} = 0,1$ $p_{2-3} = 0,008$
Задняя камера, мм	0,72 ± 0,18	1,11 ± 0,43	0,86 ± 0,21	$p_{1-2} = 0,0001$ $p_{1-3} = 0,02$ $p_{2-3} = 0,03$
Коэффициент Lowe	7,18 ± 0,25	7,17 ± 0,31	7,26 ± 0,25	$p_{1-2} = 0,8$ $p_{1-3} = 0,3$ $p_{2-3} = 0,3$
Толщина цилиарного тела в среднем, мм	1,16 ± 0,12	1,04 ± 0,31	0,97 ± 0,39	$p_{1-2} = 0,06$ $p_{1-3} = 0,04$ $p_{2-3} = 0,05$
Длина передней порции цинновой связки в наружном сегменте, мм	0,88 ± 0,12	1,31 ± 0,13	1,21 ± 0,13	$p_{1-2} = 0,02$ $p_{1-3} = 0,05$ $p_{2-3} = 0,8$
Расстояние «трабекула – цилиарные отростки» в наружном сегменте, мм	0,76 ± 0,11	0,91 ± 0,09	0,71 ± 0,09	$p_{1-2} = 0,03$ $p_{1-3} = 0,4$ $p_{2-3} = 0,0001$
Угол внутренней вершины ЦТ, °	98,05 ± 20,08	112,74 ± 3,68	89,58 ± 14,05	$p_{1-2} = 0,002$ $p_{1-3} = 0,1$ $p_{2-3} = 0,0001$

Таблица 2

Изменение показателей гидродинамики глаза в покое и после водно-позиционной нагрузочной пробы (M ± s)

Table 2

Changes in eye hydrodynamics parameters in a rest position and after a water-position exercise test (M ± s)

Показатели	Кластер 1 (n = 30)	Кластер 2 (n = 27)	Кластер 3 (n = 23)	p-критерий Манна – Уитни
ВГД в покое, мм рт. ст.	19,09 ± 2,39	18,91 ± 1,89	18,73 ± 1,61	$p_{1-2} = 0,7$ $p_{1-3} = 0,5$ $p_{2-3} = 0,7$
ВГД после нагрузки, мм рт. ст.	25,22 ± 2,11	20,51 ± 1,84	20,94 ± 2,01	$p_{1-2} = 0,001$ $p_{1-3} = 0,0001$ $p_{2-3} = 0,4$
Дельта ВГД, мм рт. ст.	4,63 ± 1,86	0,95 ± 0,63	1,29 ± 1,07	$p_{1-2} = 0,0001$ $p_{1-3} = 0,0001$ $p_{2-3} = 0,5$
Коэффициент лёгкости оттока ВГЖ, мм³/мин/мм рт. ст.	0,22 ± 0,19	0,39 ± 0,17	0,24 ± 0,19	$p_{1-2} = 0,01$ $p_{1-3} = 0,1$ $p_{2-3} = 0,05$

С целью выявления основных патогенетических механизмов нарушения гидродинамики глаза был проведён регрессионный анализ, в котором зависимой величиной выступал показатель, характеризующий изменения уровня ВГД до и после проведения водно-позиционной нагрузочной пробы.

У пациентов кластера 1 (табл. 3) установлена статистически значимая положительная взаимосвязь уровня ВГД с глубиной задней камеры глаза и коэффициентом Lowe, отражающим соотношение объёмных показателей хрусталика, передней и задней камер глаза. Также выявлена высоко значимая корреляция с углом вершины цилиарного тела.

Показатели регрессионного анализа кластера 2 продемонстрировали наличие высоко значимой положитель-

ной взаимосвязи с коэффициентом Lowe и отрицательной взаимосвязи с толщиной цилиарного тела (табл. 4).

Максимально сильные отрицательные взаимосвязи были выявлены в кластере 3 (табл. 5). Изменение уровня ВГД коррелировало с изменением структурных показателей, характеризующих в первую очередь положение радужки, величину угла передней камеры. Кроме того, имелись взаимосвязи с углом вершины и толщиной цилиарного тела.

Анализ данных регрессионного анализа убедительно продемонстрировал, что у пациентов с гиперметропией имеются значительные различия топографических взаимоотношений и объёмных показателей структур переднего отрезка глаза (рис. 2), участвующих в аккомодации, продукции и оттоке внутриглазной влаги.

Таблица 3

Итоги регрессионного анализа пациентов кластера 1

Table 3

Results of regression analysis of patients in cluster 1

Изменение ВГД до и после нагрузки ($R^2 = 0,51$; $F(3,23) = 10,125$; $p = 0,0001$)						
Показатели	β	Стандартная ошибка β	B	Стандартная ошибка B	t	p-критерий Манна – Уитни
Свободный член	–	–	8,67	8,15	1,06	0,29
Угол внутренней вершины цилиарного тела, °	–0,75	0,15	–1,94	0,39	–4,96	0,005
Глубина задней камеры, мм	0,35	0,15	4,16	1,79	2,32	0,02
Коэффициент Lowe	0,28	0,13	2,36	1,14	2,05	0,05

Таблица 4

Итоги регрессионного анализа пациентов кластера 2

Table 4

Results of regression analysis of patients in cluster 2

Изменение ВГД до и после нагрузки ($R^2 = 0,75$; $F(2,17) = 29,50$; $p = 0,0001$)						
Показатели	β	Стандартная ошибка β	B	Стандартная ошибка B	t (17)	p-критерий Манна – Уитни
Свободный член	–	–	–8,364	6,042	–1,384	0,18
Коэффициент Lowe	0,713	0,128	4,315	0,775	5,564	0,0003
Толщина цилиарного тела, мм	–0,287	0,128	–0,083	0,037	–2,244	0,03

Таблица 5

Итоги регрессионного анализа пациентов кластера 3

Table 5

Results of regression analysis of patients in cluster 3

Изменение ВГД до и после нагрузки ($R^2 = 0,97$; $F(6,10) = 99,56$; $p = 0,0001$)						
Показатели	β	Стандартная ошибка β	B	Стандартная ошибка B	t (10)	p-критерий Манна – Уитни
Свободный член	–	–	52,80	5,08	10,39	0,0001
Угол внутренней вершины цилиарного тела, °	–1,04	0,08	–6,34	0,53	–11,78	0,0001
Расстояние «трабекула – цилиарные отростки», мм	–0,39	0,07	–4,23	0,74	–5,66	0,0002
Угол передней камеры в наружном сегменте, мм	–0,19	0,05	–0,11	0,03	–3,57	0,005
Коэффициент Lowe	–0,21	0,07	–1,68	0,62	–2,70	0,02
Угол внутренней вершины, °	–0,24	0,09	–0,06	0,02	–2,59	0,02
Толщина цилиарного тела, мм	0,12	0,06	2,51	1,24	2,02	0,07

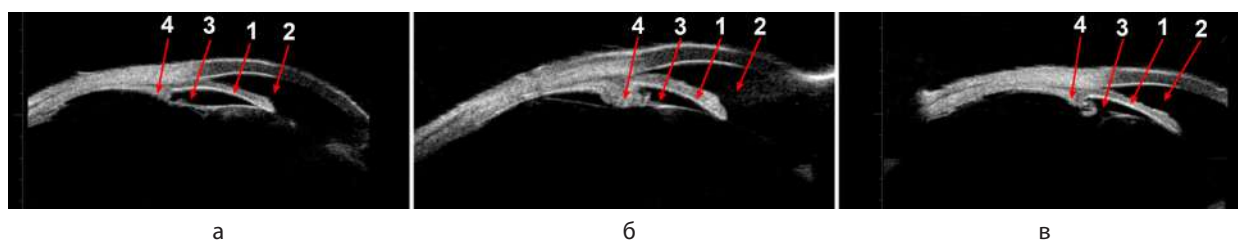


Рис. 2. УБМ-модель изменения структурных взаимоотношений переднего отрезка глаза у пациентов среднего возраста с гиперметропией: а – кластер 1; б – кластер 2; в – кластер 3; 1 – радужка; 2 – передняя камера; 3 – задняя камера; 4 – цилиарное тело

Fig. 2. Ultrasonic biomicroscopic model of changes in the structural relationships of the anterior segment of the eye in middle-aged patients with hyperopia: а – cluster 1; б – cluster 2; в – cluster 3; 1 – iris; 2 – anterior chamber; 3 – posterior chamber; 4 – ciliary body

Так, у пациентов с гиперметропией, составляющих кластер 1, отмечаются сочетанное изменение мышечного иридоцилиарного компонента, увеличение толщины и объёма хрусталика, смещение кпереди иридо-хрусталиковой диафрагмы, увеличение толщины и заострение угла внутренней вершины, укорочение передней порции цин-

новой связки, сокращение дистанции между трабекулой и цилиарными отростками. Участие хрусталика и мышечного компонента в нарушении гидродинамики глаза подтверждается результатом проведения водно-позиционной нагрузочной пробы в виде значительного повышения ВГД, выходящего за пределы физиологических колебаний.

У пациентов кластера 2 отмечается скудное количество взаимосвязей, характеризующих сбалансированный вклад как мышечного, так и хрусталикового компонентов.

У пациентов кластера 3 функциональная нагрузка сопровождается повышением уровня ВГД, изменением максимального количества параметров, характеризующих положение радужки и короны цилиарного тела, обуславливая перераспределение иридоцилиарных взаимоотношений.

То есть преобразование параметров и положения внутриглазных структур в условиях нагрузочной пробы у пациентов кластеров 1 и 3 сопровождалось нарушением гидродинамики глаза с преобладающим включением, соответственно, лентикулярного или иридоцилиарного компонентов. Изменения, выявленные у пациентов второго кластера, отличались сбалансированными умеренными изменениями структурных взаимоотношений и отсутствием клинически значимого повышения ВГД.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Известно, что наличие «слабой» гиперметропической рефракции ведёт к снижению разрешающей способности глаза как вдаль, так и вблизи, что можно рассматривать в качестве предрасполагающих факторов к структурной и функциональной перестройке глаза. У пациентов среднего возраста происходит существенная реорганизация аккомодационной системы, характеризующаяся развитием пресбиопии [27, 28, 29, 30]. Компенсация нарастающих рефракционных нарушений осуществляется за счёт увеличения размеров хрусталика, толщины цилиарного тела в проекции внутренней вершины, которое можно обозначить как его гипертрофию. В ходе исследования было установлено, что механизмы структурной реорганизации иридоцилиарной и перилентикулярной зоны могут иметь принципиальные различия в зависимости от преимущественного включения отдельных анатомических компонентов, участвующих в процессе аккомодации.

Структурные изменения в кластере 1, кроме гипертрофии цилиарного тела и изменения положения его вершины, ассоциированы с критическим увеличением размеров хрусталика, что является предпосылкой к формированию лентикулярного блока и, возможно, следствием гипернатяжения аккомодационного аппарата.

Изменения, выявленные в кластере 2, характеризуются умеренным сбалансированным увеличением объёма хрусталика, последовательными инволюционными процессами в цилиарном теле с явлениями дистрофии и уменьшением его толщины, что исключает условия для формирования гидродинамических блоков и обеспечивает в целом нормальную циркуляцию внутриглазной влаги.

Отличительными особенностями кластера 3 являются гипертрофия циркулярной порции цилиарной мышцы, изменение её положения, сопровождающееся сдвигом корня радужки кпереди и нарушением тока внутриглазной влаги между передней и задней камерами глаза, что соответствует характеристикам функционального ангулярного блока. Таким образом, оптически некомпенсированная гиперметропия на фоне тонического напряжения аккомодации, раннее формирование пресбиопии у пациентов с гиперметропической рефракцией сопровождаются структурно-функциональными изменениями, представляющими собой механизмы компенсации

недостаточного зрительного восприятия, которые для глаза являются патологическими, так как представляют основу для формирования гидродинамических нарушений, которые, как известно, являются ключевым звеном формирования закрытоугольной глаукомы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцова Т.Н., Бржеский В.В. К вопросу об обоснованности применения симпатомиметиков в лечении привычного-избыточного напряжения аккомодации. *Российский офтальмологический журнал*. 2016; 4(9): 80-85.
2. Кузнецова О.С., Балалин С.В., Солодкова Е.Г. Анализ состояния аккомодации у пациентов с гиперметропией. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2019; (4): 91-94. doi: 10.19163/1994-9480-2019-4(72)-91-94
3. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Гусева М.Г., Певко Д.В., Эгембердиев М.Б. Оптические особенности прохождения света через преломляющие структуры глаза. *Офтальмологический журнал*. 2017; (4): 60-73. doi: 10.31288/oftalmolzh201746073
4. Проскурина О.В. Гиперметропия. Стратегия и тактика коррекции в разные возрастные периоды. *Осенние рефракционные чтения: Материалы IV Международного симпозиума*. М.; 2013. URL: http://niigb.ru/doc/2013.11/6_2-proskurina.pdf.
5. Duane A. Normal values of the accommodation at all ages. *JAMA*. 1912; 59(12): 1010-1013. doi: 10.1001/jama.1912.04270090254042
6. De Gracia P, Dorronsoro C, Sánchez-González A, Sawides L, Marcos S. Experimental simulation of simultaneous vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(1): 415-422. doi: 10.1167/iov.12-11219
7. Золотарёв А.В., Карлова Е.В. Роль пресбиопических изменений в патогенезе первичной глаукомы. *IX съезд офтальмологов России: сборник тезисов научно-практической конференции*. М.; 2010: 150.
8. Загидуллина А.Ш., Саттарова Р.Р., Батыршин Р.А., Абрамов Р.А., Муллагалиева Г.Ф. Определение риска развития первичной закрытоугольной глаукомы на основании офтальмометрических параметров глаза. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2015; 10(2): 30-33.
9. Золотарев А.В., Карлова Е.В., Стебнева И.Г., Павлова О.В. Увеосклеральный отток и аккомодация: морфологическая и функциональная взаимосвязь. *РМЖ «Клиническая офтальмология»*. 2009; 10(1): 15-16.
10. Awadalla MS, Thapa SS, Hewitt AW, Burdon KP, Craig JE. Association of genetic variants with primary angle closure glaucoma in two different populations. *PLoS One*. 2013; 8(6): e67903. doi: 10.1371/journal.pone.0067903
11. Allingham RR, Damji KF, Freedman Sh, Maroi SE, Rhee DJ. *Shields' textbook of glaucoma*; 6th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Lippincott, Williams and Wilkins; 2011.
12. Arora KS, Jefferys JL, Maul EA, Quigley HA. The choroid is thicker in angle closure than in open angle and control eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53(12): 7813-7818. doi: 10.1167/iov.12-10483
13. Amerasinghe N, Zhang J, Thalamuthu A, He M, Vithana EN, Viswanathan A, et al. The heritability and sibling risk of angle closure in Asians. *Ophthalmology*. 2011; 118(3): 480-485. doi: 10.1016/j.ophtha.2010.06.043
14. Нестеров А.П. *Глаукома*. М.: Медицина; 1995.
15. Кизеев М.В., Ершова С.Ю., Красногорская В.С., Антипина С.Б., Нежкина Н.Н. Оценка эффективности комплексных реабилитационных мероприятий у детей и подростков с аномалиями рефракции в виде миопии, гиперметропии, спазма аккомодации. *Курортная медицина*. 2016; (2): 179-181.
16. Friedman DS, Foster PJ, Aung T, He M. Angle closure and angle-closure glaucoma: what we are doing now and what we will be doing in the future. *Clin Exp Ophthalmol*. 2012; 40(4): 381-387. doi: 10.1111/j.1442-9071.2012.02774.x
17. Заболотный А.Г., Мисакян К.С. Морфологические особенности строения гиперметропического глаза в норме и при развитии катаракты. *Практическая медицина*. 2016; 1(2): 7-10.

18. Маркова А.А., Горбунова Н.Ю., Поздеева Н.А. Замытоугольная глаукома с плоской радужкой. Национальный журнал Глаукома. 2018; 17 (4): 80-90. doi: 10.25700/NJG.2018.04.07

19. Марченко А.Н. Роль морфометрических изменений хрусталика в механизме развития первичной замытоугольной глаукомы на глазах с короткой передне-задней осью: дис. ... канд. мед. наук. М.; 2012.

20. Киселёва О.А., Косакян С.М., Якубова Л.В., Бессмертный А.М., Василенкова Л.В. Патологические особенности развития, клиника и лечение злокачественной глаукомы. Офтальмологические ведомости. 2019; 12(3): 59-65. doi: 10.17816/OV15379

21. Baskaran M, Ho SW, Tun TA, How AC, Pereras SA, Friedman DS, et al. Assessment of circumferential angle-closure by the iris-trabecular contact index with swept-source optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2013; 120(11): 2226-2231. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.04.020

22. Azuara-Blanco A, Burr J, Ramsay C, Cooper D, Foster PJ, Friedman DS, et al. Effectiveness of early lens extraction for the treatment of primary angle-closure glaucoma (EAGLE): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016; 388(10052): 1389-1397. doi: 10.1016/S0140-6736(16)30956-4

23. Юрьева Т.Н. Современные представления о структурно-функциональной организации иридоцилиарной системы. Медицинская визуализация. 2011; 2(2): 44-50.

24. Croft MA, Nork TM, McDonald J, Katz A, Lütjen-Drecoll E, Kaufman PL. Accommodative movements of the vitreous membrane, choroid and sclera in young and presbyopic human and nonhuman primate eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(7): 5049-5058. doi: 10.1167/iov.12-10847

25. Bordeianu CD. A new classification of glaucomas. *Clin Ophthalmol*. 2014; 8: 1801-1817. doi: 10.2147/OPTH.S65003

26. Егорова Э.В., Файзилова У.С., Узунян Д.Г., и др. Анатомо-топографические предпосылки нарушения офтальмотонуса при катарактах, осложненных псевдоэкзофалиативным синдромом. Практическая медицина. 2012; (4-1): 190-193.

27. Марченко А.Н., Сорокин Е.Л., Посвалюк В.Д., Данилов О.В. Прогностические возможности выявления факторов высокого риска фактоморфической глаукомы у лиц с гиперметропической рефракцией. Офтальмохирургия. 2011; (3): 57-62.

28. Тарутта Е.П., Аклаева Н.А., Ларина Т.Ю., Тарасова Н.А., Хведелидзе Т.З., Кушнаревич Н.Ю. Результаты объективной аккомодометрии при содружественном косоглазии. Российский офтальмологический журнал. 2017; 10(1): 49-54. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-1-49-54

29. Chatoux O, Touboul D, Buestel C, Balcou P, Colin J. Crystalline lens photodisruption using femtosecond laser: experimental study. *J Fr Ophthalmol*. 2010; 33(7): 472-480. doi: 10.1016/j.jfo.2010.06.008

30. Croft MA, McDonald JP, Katz A, Lin TL, Lütjen-Drecoll E, Kaufman PL. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(7): 5035-5048. doi: 10.1167/iov.12-10846

REFERENCES:

1. Vorontsova TN, Brzhesky VV. On the validity of using sympathomimetic drops in the treatment of habitually excessive tension of accommodation. *Russian Ophthalmological Journal*. 2016; 9(4): 80-85. (In Russ.)

2. Kuznetsova OS, Balalin SV, Solodkova EG. Analysis of accommodation state in patients with hypermetropia. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2019; (4): 91-94. doi: 10.19163/1994-9480-2019-4(72)-91-94. (In Russ.)

3. Koshits IN, Svetlova OV, Guseva MG, Pevko DV, Egemberdiev MB. Optical features of light passing through refractive structures of the eye. *Journal of Ophthalmology (Ukraine)*. 2017; (4): 60-73. doi: 10.31288/oftalmolzh201746073. (In Russ.)

4. Proskurina OV. Hypermetropia. Correction strategy and tactics in different age periods. *Osennie refraktsionnye chteniya: Materialy IV Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Moscow; 2013. (In Russ.)

5. Duane A. Normal values of the accommodation at all ages. *JAMA*. 1912; 59(12): 1010-1013. doi: 10.1001/jama.1912.04270090254042

6. De Gracia P, Dorronsoro C, Sánchez-González A, Sawides L, Marcos S. Experimental simulation of simultaneous vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(1): 415-422. doi: 10.1167/iov.12-11219

7. Zolotarev AV, Karlova EV. The role of presbyopic changes in the pathogenesis of primary glaucoma. *IX sjezd oftalmologov Rossii: sbornik tezisov nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow; 2010. (In Russ.)

8. Zagidullina AS, Sattarova RR, Batyrshin RA, Abrarov RA, Mullagalieva GF, Kutlugalyamova RR. Risk of primary angle-closure development based on eye ophthalmobiometric parameters. *Bashkortostan Medical Journal*. 2015; 10(2): 30-33. (In Russ.)

9. Zolotarev AV, Karlova EV, Stebneva IG, Pavlova OV. Morphologic and functional connection of uveoscleral outflow and accommodation. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2009; 10(1): 15-16. (In Russ.)

10. Awadalla MS, Thapa SS, Hewitt AW, Burdon KP, Craig JE. Association of genetic variants with primary angle closure glaucoma in two different populations. *PLoS One*. 2013; 8(6): e67903. doi: 10.1371/journal.pone.0067903

11. Allingham RR, Damji KF, Freedman Sh, Maroi SE, Rhee DJ. *Shields' textbook of glaucoma*; 6th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Lippincott, Williams and Wilkins; 2011.

12. Arora KS, Jefferys JL, Maul EA, Quigley HA. The choroid is thicker in angle closure than in open angle and control eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53(12): 7813-7818. doi: 10.1167/iov.12-10483

13. Amerasinghe N, Zhang J, Thalamuthu A, He M, Vithana EN, Viswanathan A, et al. The heritability and sibling risk of angle closure in Asians. *Ophthalmology*. 2011; 118(3): 480-485. doi: 10.1016/j.ophtha.2010.06.043

14. Nesterov AP. *Glaucoma*. Moscow: Meditsina; 1995. (In Russ.)

15. Kizeev MV, Yershova SYu, Krasnogorskaya VS, Antipina SB, Nezhkina NN. Assessment of the effectiveness of complex rehabilitation measures in children and adolescents with refractive errors in the form of myopia, hyperopia, accommodation spasm. *Kurortnaya meditsina*. 2016; (2): 179-181. (In Russ.)

16. Friedman DS, Foster PJ, Aung T, He M. Angle closure and angle-closure glaucoma: what we are doing now and what we will be doing in the future. *Clin Exp Ophthalmol*. 2012; 40(4): 381-387. doi: 10.1111/j.1442-9071.2012.02774.x

17. Zabolotny AG, Misakyan KS. Morphologic peculiarities of hypermetropic eye constitution in health and cataract progression. *Practical Medicine*. 2016; 1(2): 7-10. (In Russ.)

18. Markova AA, Gorbunova NY, Pozdeeva NA. Angle-closure glaucoma with plateau iris. *National Journal Glaucoma*. 2018; 17(4): 80-90. doi: 10.25700/NJG.2018.04.07. (In Russ.)

19. Marchenko AN. *The role of morphometric changes in the lens in the mechanism of development of primary angle-closure glaucoma in eyes with a short anteroposterior axis*: Dissertation of the Cand. Sc. (Med.). Moscow; 2012. (In Russ.)

20. Kiseleva OA, Kosakyan SM, Yakubova LV, Bessmertny AM, Vasilenkova LV. Pathophysiological features of development, clinical features and treatment of malignant glaucoma. *Ophthalmology journal*. 2019; 12(3): 59-65. doi: 10.17816/OV15379. (In Russ.)

21. Baskaran M, Ho SW, Tun TA, How AC, Pereras SA, Friedman DS, et al. Assessment of circumferential angle-closure by the iris-trabecular contact index with swept-source optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2013; 120(11): 2226-2231. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.04.020

22. Azuara-Blanco A, Burr J, Ramsay C, Cooper D, Foster PJ, Friedman DS, et al. Effectiveness of early lens extraction for the treatment of primary angle-closure glaucoma (EAGLE): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016; 388(10052): 1389-1397. doi: 10.1016/S0140-6736(16)30956-4

23. Iureva TN. Modern ideas about the structural and functional organization of the iridociliary system. *Medical visualization*. 2011; 2(2): 44-50. (In Russ.)
24. Croft MA, Nork TM, McDonald J, Katz A, Lütjen-Drecoll E, Kaufman PL. Accommodative movements of the vitreous membrane, choroid and sclera in young and presbyopic human and nonhuman primate eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(7): 5049-5058. doi: 10.1167/iov.12-10847
25. Bordeianu CD. A new classification of glaucomas. *Clin Ophthalmol*. 2014; 8: 1801-1817. doi: 10.2147/OPHTH.S65003
26. Egorova EV, Fayzieva US, Uzunian DG, Ivanova ES, Eremenko IL. Anatomic and topographic preconditions of intraocular pressure disorder in cataract, complicated by pseudoexfoliative syndrome. *Practical medicine*. 2012; (4-1): 190-193. (In Russ.)
27. Marchenko AN, Sorokin EL, Posvalyuk VD, Danilov OV. Prognostic possibilities revealing high risk factors of phacomor-

- phic glaucoma in individuals with hyperopic refraction. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2011; (3): 57-62. (In Russ.)
28. Taratutta EP, Aklaeva NA, Larina TYu, Tarasova NA, Khvelidze TZ, Kushnarevich NYu. Results of objective accommodation in concomitant strabismus. *Russian Ophthalmological Journal*. 2017; 1: 49-54. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-1-49-54. (In Russ.)
29. Chatoux O, Touboul D, Buestel C, Balcou P, Colin J. Crystalline lens photodisruption using femtosecond laser: experimental study. *J Fr Ophtalmol*. 2010; 33(7): 472-480. doi: 10.1016/j.jfo.2010.06.008
30. Croft MA, McDonald JP, Katz A, Lin TL, Lütjen-Drecoll E, Kaufman PL. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54(7): 5035-5048. doi: 10.1167/iov.12-10846

Сведения об авторах

Щуко Андрей Геннадьевич – доктор медицинских наук, профессор, директор, Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» 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, <http://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. Фёдорова» 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. Фёдорова» 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.N. 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, <http://orcid.org/0000-0002-4264-4408>

Evgeniya T. Novozhilova – Ophthalmologist at the Treatment and Consultative Department, Irkutsk Branch of S.N. 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 the Treatment and Consultative Department, Irkutsk Branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: olgrozanova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3139-2409>

Leonid F. Sholokhov – Dr. Sc. (Med.), Professor, 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: 02.11.2020. Статья принята: 11.12.2020. Статья опубликована: 26.12.2020.

Received: 02.11.2020. Accepted: 11.12.2020. Published: 26.12.2020.