

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОРНЕОСКЛЕРАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА ПРИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕЙ МИОПИИ ДО И ПОСЛЕ СКЛЕРОПЛАСТИКИ

*Л.П. Труфанова, С.В. Балалин, В.П. Фокин*

*ФГАУ НМИЦ МНТК «Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, Волгоградский филиал*

Обследованы 136 пациентов с прогрессирующей миопией (192 глаза) – основная группа и 113 пациентов (113 глаз) со стационарной миопией. Возраст пациентов от 8 до 17 лет, средний возраст ( $12,5 \pm 0,07$ ) лет. Срок наблюдения от 1 до 7 лет. Обследованы также 46 пациентов с эметропией (46 глаз) и 30 пациентов с гиперметропией слабой степени (30 глаз) от 6 до 17 лет. Установлено, что прогрессирование миопии характеризуется увеличением переднезаднего размера глазного яблока, уменьшением толщины склеры, снижением корнеального гистерезиса и ригидности корнеосклеральной оболочки, сопровождается в 83,3 % случаев повышением внутриглазного давления до верхних значений нормы и выше, что, в итоге, приводит к повышению напряжения корнеосклеральной оболочки глаза, снижению биомеханических свойств склеры и прогрессированию миопии.

*Ключевые слова:* прогрессирующая миопия, склеропластика, биомеханические свойства склеры.

DOI 10.19163/1994-9480-2018-3(67)-112-115

## BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THE CORNEOSCLERAL MEMBRANE OF THE EYE WITH PROGRESSIVE MYOPIA BEFORE AND AFTER SCREROPLASTICS

*L.P. Trufanova, S.V. Balalin, V.P. Fokin*

*The Volgograd branch of FSAI NMRC ISTC «Eye Microsurgery named after academician S.N. Fedorov» of Public Health Ministry of the Russian Federation*

There were examined 136 patients with progressive myopia (192 eyes) in the main group and 113 patients (113 eyes) with stationary myopia. The age of patients is from 8 to 17 years, mean age is ( $12,5 \pm 0,07$ ) years. The observation period is from 1 to 7 years. We also examined 46 patients with emmetropia (46 eyes) and 30 patients with low-grade hyperopia (30 eyes) from 6 to 17 years. It was established that the progression of myopia is characterized by an increase in the anteroposterior size of the eye, a decrease in the thickness of the sclera, a decrease in the corneal hysteresis and rigidity of the corneoscleral membrane is accompanied in 83,3 % of cases by an increase in intraocular pressure to the upper norm and above, which eventually leads to an increase in the strain of the corneoscleral membrane, a decrease in the biomechanical properties of the sclera and the progression of myopia.

*Key words:* progressive myopia, scleroplasty, biomechanical properties of sclera.

Прогрессирующая близорукость является одной из основных причин инвалидности по зрению, ограничению профессионального выбора и слепоты: от 23 до 45 % всех инвалидов по зрению – инвалиды вследствие миопии высокой степени [1–5].

Основными факторами возникновения и прогрессирования близорукости служат ослабленная accommodation, наследственная предрасположенность и ослабление прочностных свойств склеры [4, 7]. Прогрессирование миопии может протекать на фоне высоких значений нормы ВГД (18–22 мм рт. ст. – 31 % случаев), средней нормы (14–17 мм рт. ст. – 49 % случаев) и низкой нормы ВГД (8–13 мм рт. ст. – 20 %) [7–10]. Известно, что уровень внутриглазного давления оказывает влияние на напряжение корнеосклеральной оболочки глазного яблока и прогрессирование миопии [8, 9]. При этом увеличение переднезаднего размера глазного яблока, которое в основном связано с растяжением склеры, может сопровождаться уменьшением толщины склеры и дополнительным ослаблением ее биомеханических свойств [4, 8, 9].

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценить биомеханические свойства корнеосклеральной оболочки и изменение толщины склеры при прогрессирующей миопии до и после склеропластики.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследованы 136 пациентов с прогрессирующей миопией (192 глаза) – основная группа. Возраст пациентов от 8 до 17 лет [средний возраст – ( $12,5 \pm 0,07$ ) лет]. Срок наблюдения от 1 до 7 лет. Миопия слабой степени составляла 36 глаз (18,8 %), миопия средней степени – 72 глаза (37,5 %), миопия высокой степени – 84 глаза (43,8 %).

Для проведения сравнительного анализа изменений биомеханических свойств склеры при прогрессирующей миопии были выделены следующие контрольные группы: I контрольная группа – 113 пациентов (113 глаз) от 6 до 17 лет со стационарной миопией. Средний возраст ( $12,4 \pm 0,6$ ) лет. Среднее значение клинической рефракции было равно ( $2,2 \pm 0,3$ ) Дптр. Среднее значение ПЗО глаза ( $24,4 \pm 0,1$ ) мм. II контрольная

группа – 46 пациентов с эметропией (46 глаз). Возраст пациентов от 10 до 17 лет [средний возраст (13,4 ± 0,07) лет]. Среднее значение ПЗО глаза (22,6 ± 0,14) мм. III контрольная группа – 30 пациентов с гиперметропией слабой степени (30 глаз) от 6 до 17 лет. Средний возраст (13,1 ± 0,4) лет. Среднее значение клинической рефракции (2,4 ± 0,4) Дптр. Среднее значение ПЗО глаза (21,6 ± 0,3) мм.

У всех обследуемых проводилось стандартное офтальмологическое обследование: исследование остроты зрения, рефрактометрия, ультразвуковая биометрия, пахиметрия, измерение внутриглазного давления, измерение ригидности корнеосклеральной оболочки по данным компьютерной дифференциальной тонометрии по Фриденвальду, ультразвуковой биомикроскопии глаза, исследование биомеханических свойств глаза на анализаторе ORA (Reichert). Толщина склеры измерялась в проекции плоской части цилиарного тела. УБМ глазного яблока проводилась на приборе Sonomed Vu Max (США) с датчиком 35 Мгц. Измерение толщины склеры выполняли в проекции ресничной части цилиарного тела (ТС<sub>1</sub>) и на границе перехода плоской части цилиарного тела в хориоидею (ТС<sub>2</sub>). Известно, что глаз относится к тонкостенным сосудам – толщина стенки в 10 раз меньше его диаметра ( $t \leq 0,1D_0$ ) и напряжение склеральной оболочки глаза ( $\delta$ ) определяется по формуле Лапласа:  $\delta = P_{0E} \times \text{ПЗО} / (4 \times \text{ТС}2)$ , где  $P_{0E}$  – уровень внутриглазного давления с учетом ригидности корнеосклеральной оболочки (мм рт. ст.), ПЗО – переднезадний размер глазного яблока (мм), ТС2 – толщина склеры в проекции плоской части цилиарного тела (мм).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Средние значения рефракции, биометрических и биомеханических показателей глаз у пациентов с прогрессирующей миопией (192 глаза) до склеропластики и у лиц контрольных групп представлены в табл. 1.

Из табл. видно, что прогрессирование миопии сопровождается достоверным увеличением переднезаднего размера глазного яблока, уменьшением толщины склеры в проекции плоской части цилиарного тела, уменьшением ригидности корнеосклеральной оболочки и повышением напряжения корнеосклеральной оболочки глаза ( $p < 0,05$ ).

В табл. 2 представлены средние и максимальные значения напряжения склеры при стационарной миопии (113 глаз) – контрольная группа. Из табл. 2 видно, что прогрессирование миопии характеризуется повышением напряжения корнеосклеральной оболочки глаза.

В табл. 2 также представлены максимальные значения напряжения корнеосклеральной оболочки глаза у пациентов с различной степенью стационарной миопии. Данные результаты легли в основу способа прогнозирования прогрессирования близорукости (патент РФ на изобретение №2016139229 от 06.10.2016 г.), который основан на определении величины напряжения корнеосклеральной оболочки глаза. По формуле Лапласа рассчитывают напряжение склеры и полученное значение сравнивают с контрольными показателями напряжения склеры пациентов с разной степенью стационарной миопии: 280 мм рт. ст. для пациентов с миопией слабой степени, 300 мм рт. ст. для пациентов с миопией средней степени, 320 мм рт. ст. для пациентов

Таблица 1

### Средние значения рефракции, биометрических и биомеханических показателей глаз у пациентов с прогрессирующей миопией (192 глаза) до склеропластики и у лиц контрольных групп, $M \pm m$

Показатели	Пациенты с гиперметропией (30 глаз)	Пациенты с эметропией (46 глаз)	Пациенты с прогрессирующей миопией			p
			Слабая (36 глаз)	Средняя (72 глаза)	Высокая (84 глаза)	
Rf, дптр	+2,4 ± 0,4	-0,10 ± 0,06	-2,00 ± 0,12	-4,50 ± 0,14	-9,5 ± 0,6	<0,05
ПЗО, мм	21,6 ± 0,3*	22,60 ± 0,14*	23,90 ± 0,14**	24,70 ± 0,12***	26,6 ± 0,2****	<0,05
ЦТР, мкм	569,5 ± 4,1	552,0 ± 6,2	551 ± 6	558,5 ± 5,5	± 7,1	>0,05
ТС <sub>1</sub> , мм	0,440 ± 0,006*	0,430 ± 0,004*	0,420 ± 0,006	0,418 ± 0,005	0,410 ± 0,009**	<0,05
ТС <sub>2</sub> , мм	0,420 ± 0,007*	0,410 ± 0,004*	0,400 ± 0,007**	0,380 ± 0,005**	0,370 ± 0,006***	<0,05
P <sub>0</sub> , мм рт. ст.	13,7 ± 1,2*	13,90 ± 0,36*	12,10 ± 0,44	12,3 ± 0,43	10,60 ± 0,23**	<0,05
E <sub>0</sub> , 1/мм <sup>3</sup>	0,0183 ± 0,0020*	0,0164 ± 0,0030*	0,0120 ± 0,0004*	0,0110 ± 0,0003**	0,0100 ± 0,0004**	<0,05
P <sub>0E</sub> , мм рт. ст.	17,7 ± 1,0	17,1 ± 0,4	17,60 ± 0,57	17,10 ± 0,59	16,40 ± 0,43	>0,05
δ, мм рт. ст.	225,0 ± 5,3*	237,2 ± 5,4*	262,0 ± 5,5**	283,3 ± 6,0**	307,0 ± 7,3**	<0,05

Различие между средними значениями, отмеченными \* и \*\*, статистически достоверно ( $t > 2,0$ ;  $p < 0,05$ ).

Таблица 2

### Средние и максимальные значения напряжения склеры при стационарной миопии (113 глаз)

Показатель	Слабая степень миопии (37 глаз)		Средняя степень миопии (42 глаза)		Высокая степень миопии (34 глаза)		p
	$M \pm m$	Max	$M \pm m$	Max	$M \pm m$	Max	
δ, мм рт. ст.	218,5 ± 5,1	280,3	230,0 ± 5,3	299,2	246,6 ± 6,3	319,6	<0,05

с миопией высокой степени. При превышении полученных значений напряжения склеры контрольных показателей для каждого пациента с учетом степени миопии при показателе ригидности корнеосклеральной оболочки менее  $0,01^1/\text{мм}^3$  прогнозируют прогрессирование близорукости.

В табл. 3 представлены средние значения рефракции, биометрических и биомеханических показателей глаз у пациентов после склеропластики с прогрессирующей и стационарной формами миопии и у лиц контрольной группы.

Из табл. видно, что после склеропластики у пациентов с прогрессирующей миопией отмечается достоверное повышение внутриглазного давления и напряжения корнеосклеральной оболочки глаза, уменьшение толщины склеры в проекции плоской части цилиарного тела, снижение корнеального гистерезиса и показателя

ригидности корнеосклеральной оболочки глаза по сравнению с данными, которые были получены у пациентов со стационарной миопией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогрессирование миопии характеризуется увеличением переднезаднего размера глазного яблока, уменьшением толщины склеры, снижением корнеального гистерезиса и ригидности корнеосклеральной оболочки, сопровождается в 83,3 % случаев повышением внутриглазного давления до верхних значений нормы и выше, что в итоге приводит к повышению напряжения корнеосклеральной оболочки глаза, снижению биомеханических свойств склеры и прогрессированию миопии. Исследование биомеханических свойств корнеосклеральной оболочки глаза позволяет прогнозировать прогрессирование миопии.

Таблица 3

**Средние значения рефракции, биометрических и биомеханических показателей глаз у пациентов с миопией после склеропластики с прогрессирующей и стационарной формами и у лиц контрольной группы,  $M \pm m$**

Показатели	Пациенты с эметропией (46 глаз)	Стационарная миопия после склеропластики (156 глаз)	Прогрессирующая миопия после склеропластики (36 глаз)	$p$
Rf, дптр	$-0,10 \pm 0,06$	$-6,40 \pm 0,26$	$-6,19 \pm 0,40$	$<0,05$
ПЗО, мм	$22,60 \pm 0,14^*$	$25,90 \pm 0,13^*$	$26,0 \pm 0,22^*$	$<0,05$
ЦТР, мкм	$552,0 \pm 6,2$	$551,4 \pm 2,6$	$556,0 \pm 8,9$	$>0,05$
ТС <sub>2</sub> , мм	$0,410 \pm 0,004^*$	$0,3790 \pm 0,0035^{**}$	$0,370 \pm 0,012^{**}$	$<0,05$
P <sub>0</sub> , мм рт. ст.	$13,90 \pm 0,36^*$	$11,58 \pm 0,20^*$	$14,90 \pm 0,55^*$	$>0,05$
E <sub>0</sub> , $1/\text{мм}^3$	$0,0164 \pm 0,0020^*$	$0,0110 \pm 0,0002^{**}$	$0,0100 \pm 0,0003^{**}$	$<0,05$
P <sub>0E</sub> , мм рт. ст.	$17,1 \pm 0,4^*$	$16,60 \pm 0,24^*$	$20,20 \pm 0,45^{**}$	0,001
P <sub>0CC</sub> , мм рт. ст.	$16,50 \pm 0,34^*$	$16,20 \pm 0,28^*$	$19,9 \pm 0,4^{**}$	$<0,05$
СН, мм рт. ст.	$12,8 \pm 0,2^*$	$11,90 \pm 0,29^{**}$	$10,50 \pm 0,24^{**}$	0,001
$M \pm m$ , мм рт. ст.	$237,2 \pm 5,4^*$	$291,5 \pm 4,7^{**}$	$351,5 \pm 12,8^{**}$	0,001

Различие между средними значениями, отмеченными \* и \*\*, статистически достоверно ( $t > 2,0$ ;  $p < 0,05$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

- Деев Л.А., Нивеницын Э.Л., Третьяков А.Н., Лапшинов П.Н., Волосенкова М.В. Анатомические параметры глаз при эметропии и различной степени миопической рефракции // Вестник офтальмологии. – 2015. – № 5. – С. 32–36.
- Жабина О.А., Вудс Е.А., Плюхова А.А. Современный взгляд на миопическую макулопатию // Вестник офтальмологии. – 2016. – № 1. – С. 85–90.
- Косарев С.Н. Гипотензивное лазерное воздействие в системе массового лечения прогрессирующей миопии // Вестн. Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 14. – С. 197–202.
- Сомов Е.Е. Введение в клиническую офтальмологию. – СПб, 1993. – 198 с.
- Старикова Д.И. Результаты измерения внутриглазного давления у детей с прогрессирующей миопией // Точка зрения. Восток-Запад. – 2014. – № 1. – С. 234–236.
- Страхов В.В., Гулидова Е.Г., Алексеев В.В. Особенности течения и мониторинг прогрессирующей миопии

в зависимости от офтальмотонуса // Российский офтальмологический журнал. – 2011. – № 4. – С. 66–70.

- Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Ахмеджанова Е.В. Прогрессирующая миопия у детей: лечить или не лечить? // Вестник офтальмологии. – 2005. – № 2. – С. 5–8.
- Труфанова Л.П., Фокин В.П., Балалин С.В. Напряжение корнеосклеральной оболочки глаза при миопии // Вестник Тамбовского университета. – 2016. – № 21 (4). – С. 1698–1700.
- Труфанова Л.П., Фокин В.П., Балалин С.В. Анализ напряжения корнеосклеральной оболочки при миопии // Материалы научной конференции «Невские горизонты-2016», Санкт-Петербург. – 2016. – С. 141–143.
- Шарохин М.А. и др. Оценка эффективности лечения пациентов с прогрессирующей миопией // Вестн. Новосибирского государственного университета. – 2012. – № 5. – С. 141–143.
- Vitale S., Sperduto R.D., Ferris F.L. Increased prevalence of myopia in the United States between 1971–1972 and 1999–2004 // Arch. Ophthalmol. – 2009. – № 127 (12). – P. 1632–1639.

12. Saw S.M., Katz J., Schein O.D., Chew S.J., Chan T.K. Epidemiology of myopia // Epidemiol. Rev. – 1996. – № 18. – P. 175–187.

## REFERENCES

1. Deev L.A., Nivenicyn E.H.L., Tret'yakov A.N., Lopashinov P.N., Volosenkova M.V. Anatomicheskie parametry glaz pri ehmmetropii i razlichnoj stepeni miopicheskoy refrakcii [Anatomical parameters of the eyes with emmetropia and varying degrees of myopic refraction]. *Vestnik oftal'mologii* [Herald of Ophthalmology], 2015, no. 5, pp. 32–36. (In Russ.; abstr. in Engl.).
2. ZHabina O.A., Vuds E.A., Plyuhova A.A. Sovremennyy vzglyad na miopicheskuyu makulopatiyu [Modern view of myopic maculopathy]. *Vestnik oftal'mologii* [Herald of Ophthalmology], 2016, no. 1, pp. 85–90. (In Russ.; abstr. in Engl.).
3. Kosarev S.N. Gipotenzivnoe lazernoe vozdejstvie v sisteme massovogo lecheniya progressiruyushchej miopii [Hypotensive laser exposure in the system of mass treatment of progressive myopia]. *Vestn. Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University], 2011, no. 14, pp. 197–202. (In Russ.; abstr. in Engl.).
4. Somov E.E. Vvedenie v klinicheskuyu oftal'mologiyu [Introduction to Clinical Ophthalmology]. Saint Petersburg, 1993. 198 p.
5. Starikova D.I. Rezul'taty izmereniya vnutriglaznogo davleniya u detej s progressiruyushchej miopiej [Results of measurement of intraocular pressure in children with progressive myopia]. *Tochka zreniya. Vostok-Zapad* [Point of view. East-West], 2014, no. 1, pp. 234–236. (In Russ.; abstr. in Engl.).
6. Strahov V.V., Gulidova E.G., Alekseev V.V. Osobennosti techeniya i monitoring progressiruyushchej miopii v zavisimosti ot oftal'motonusa [Features of the course and monitoring of progressive myopia depending on the ophthalmotonus]. *Rossijskij oftal'mologicheskij zhurnal* [Russian Ophthalmological Journal], 2011, no. 4, pp. 66–70. (In Russ.; abstr. in Engl.).
7. Tarutta E.P., Iomdina E.N., Ahmedzhanova E.V. Progressiruyushchaya miopiya u detej: lechit' ili ne lechit'? [Progressing myopia in children: treat or not treat?]. *Vestnik oftal'mol.* [Herald of Ophthalmol.], 2005, no. 2, pp. 5–8. (In Russ.; abstr. in Engl.).
8. Trufanova L.P., Fokin V.P., Balalin S.V. Napryazhenie korneosklerochnoj obolochki glaza pri miopii [Stress of the corneal membrane of the eye in myopia]. *Vestnik Tambovskogo universiteta* [Вестник Тамбовского университета], 2016, no. 21 (4), pp. 1698–1700. (In Russ.; abstr. in Engl.).
9. Trufanova L.P., Fokin V.P., Balalin S.V. Analiz napryazheniya korneosklerochnoj obolochki pri miopii [Analysis of the strain of the corneal membrane in myopia]. In *Materialy nauchnoj konferencii «Nevskie gorizonty-2016»*, Sankt-Peterburg [Materials of the scientific conference «Nevsky Horizons-2016», St. Petersburg], 2016, pp. 141–143.
10. SHarohin M.A. i dr. Ocenka ehffektivnosti lecheniya pacientov s progressiruyushchej miopiej [Evaluation of the effectiveness of treatment of patients with progressive myopia]. *Vestn. Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Novosibirsk State University], 2012, no. 5, pp. 141–143. (In Russ.; abstr. in Engl.).
11. Vitale S., Sperduto R.D., Ferris F.L. Increased prevalence of myopia in the United States between 1971–1972 and 1999–2004. *Arch. Ophthalmol.*, 2009, no. 127 (12), pp. 1632–1639.
12. Saw S.M., Katz J., Schein O.D., Chew S.J., Chan T.K. Epidemiology of myopia. *Epidemiol. Rev.*, 1996, no. 18, pp. 175–187.

## Контактная информация

**Труфанова Лариса Петровна** – врач-офтальмолог офтальмологического детского отделения Волгоградского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: tlp0105@mail.ru