Сравнительный анализ динамики оптических аберраций и анатомо-оптических параметров роговицы в хирургии глаукомы

В.В. Нероев — член-корр. РАН, д-р мед. наук, профессор, директор¹

А.А.-Г. Алиев — канд. мед. наук, заместитель директора по ИНКР²

М.М. Нурудинов — врач-офтальмолог отделения новых технологий и витреоретинальной хирургии²

¹ ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, 105062, Москва, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19

² ГБУ НКО «Дагестанский центр микрохирургии глаза», 368300, Каспийск, ул. Набережная, д. 12

Цель работы — комплексная сравнительная оценка влияния антиглаукоматозных операций на анатомо-оптические параметры роговицы. **Материал и методы.** В исследование включено 38 пациентов (38 глаз) с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) в возрасте от 43 до 75 лет, разделенных на 2 группы. Пациентам I группы (15 глаз) была выполнена классическая глубокая склерэктомия (ГСЭ). Во II группе (23 глаза) была проведена непроникающая глубокая склерэктомия (НГСЭ). Все пациенты в пред- и послеоперационном периодах были обследованы с помощью комплекса методов, включающих прецизионную визометрию, корнеотопографию, пахиметрию с помощью оптической когерентной томографии. **Результаты.** У пациентов I группы на 3-и сутки после операции наблюдалось значительное изменение исследуемых параметров, в частности среднее значение роговичного астигматизма возросло с $-0,93$ до $-3,62$ дптр, радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане увеличился с $7,56 \pm 0,07$ до $8,34 \pm 0,04$ мм, толщина роговицы в центре выросла с $514,50 \pm 0,04$ до $520,60 \pm 0,06$ мкм. В то же время у пациентов II группы роговичный астигматизм вырос с $-0,86$ до $-2,75$ дптр, радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане увеличился с $7,72 \pm 0,05$ до $8,12 \pm 0,03$ мм, центральная толщина роговицы возросла с $515,40 \pm 0,04$ до $516,80 \pm 0,12$ мкм. **Заключение.** Степень выраженности индуцированных хирургией изменений анатомо-оптических параметров роговицы у пациентов с ПОУГ зависела от объема вмешательства: НГСЭ в меньшей степени воздействует на эти параметры, чем ГСЭ.

Ключевые слова: аберрации, пахиметрия, глаукома, роговица.

Для цитирования: Нероев В.В., Алиев А.А.-Г., Нурудинов М.М. Сравнительный анализ динамики оптических аберраций и анатомо-оптических параметров роговицы в хирургии глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2018; 11 (4): 24-8. doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-4-24-28

За последние 30 лет вопрос о роли хирургии в лечении глаукомы обсуждался неоднократно. Предлагались альтернативные, лазерные методы ее лечения, но, несмотря на все достижения современной лазерной хирургии, традиционные методы хирургии глаукомы продолжают оставаться основным мето-

дом снижения внутриглазного давления (ВГД) при недостаточности гипотензивной фармакотерапии. Методика трабекулэктомии, впервые предложенная J. Cairns в 1968 г. [1], а позднее модифицированная P. Watson в 1970 г. [2], до настоящего времени не претерпела значительных изменений и остается

наиболее часто применяемой методикой хирургического лечения глаукомы в мире [3].

После успешно проведенных антиглаукоматозных операций большинство пациентов предъявляет жалобы на снижение зрительных функций. Для выяснения причин происходящего был проведен ряд исследований. В частности, обнаружено изменение данных кератометрии в послеоперационном периоде [4].

Более детальное исследование изменений роговицы после хирургии глаукомы продемонстрировало повышение среднего значения центрального роговичного астигматизма на 1,4 дптр в вертикальном меридиане [5–7].

В литературе также встречаются единичные сообщения, посвященные детальному анализу рефракционных изменений роговицы в хирургии глаукомы [8–10]. Хирургические манипуляции на фиброзной оболочке глаза неизбежно приводят к вторичным изменениям его оптической структуры [11, 12]. Нам представляется, что более детальное и глубокое понимание происходящих при этом изменений позволит качественно повысить представление о биомеханике фиброзной капсулы глаза, более точно прогнозировать динамику изменений анатомо-оптических параметров роговицы и функциональных результатов микрохирургического лечения глаукомы.

ЦЕЛЬЮ данного исследования была комплексная сравнительная оценка влияния антиглаукоматозных операций на анатомо-оптические параметры роговицы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

С 2017 по 2018 г. в ГБУ НКО «Дагестанский центр микрохирургии глаза» нами обследованы 38 глаз у 38 пациентов с глаукомой в возрасте от 43 до 75 лет. Пациенты были разделены на 2 группы. Пациентам I группы (15 глаз) была выполнена классическая глубокая склерэктомия (ГСЭ). Во II группе (23 глаза) была использована методика непроникающей глубокой склерэктомии (НГСЭ).

Критерием включения в исследование явилось наличие у пациентов глаукомы различного генеза I, II или III стадии с сохранным центральным полем зрения (не менее 5° от точки фиксации) и остротой центрального зрения не менее 0,1.

Пациентам в пред- и послеоперационном периодах было проведено комплексное обследование, включающее прецизионную визометрию по оригинальной методике (заявка на изобретение № 201711820 от 24.05.2017), корнеотопографию, пахиметрию с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ).

Корнеотопографию проводили на приборе ALEGROTT Wave Topolyzer по стандартной методике. Для анализа полученных данных использовался режим Refractive map и Fourier analysis. Кератопа-

химетрия была проведена с использованием ОКТ (Optovue XR-100).

Все пациенты были обследованы до операции, на 3-й день и через 1 и 3 мес после нее.

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью компьютерных программ Statistica 7.0 по стандартным методам параметрической и непараметрической статистики. Показатели с нормальным распределением представлены как среднее значение (M) и стандартная ошибка (m), достоверность различий между группами с уровнем значимости не менее 95 % оценена с помощью параметрического t -критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средний показатель остроты зрения с максимальной коррекцией до операции составлял в обеих группах $0,42 \pm 0,17$. В I группе среднее значение роговичного астигматизма составило $-0,93 \pm 0,04$ дптр; среднее значение радиуса кривизны роговицы в вертикальном меридиане — $7,56 \pm 0,07$ мм; в горизонтальном меридиане — $7,73 \pm 0,60$ мм; индекс Фурье был равен $0,023 \pm 0,002$, а среднее значение минимального сферического радиуса кривизны роговицы составило $7,64 \pm 0,08$ мм. Во II группе среднее значение роговичного астигматизма равнялось $-0,86 \pm 0,04$ дптр; радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане составил $7,72 \pm 0,05$ мм; в горизонтальном меридиане — $7,71 \pm 0,05$ мм; индекс иррегулярности Фурье был равен $0,028 \pm 0,02$; среднее значение минимального сферического радиуса кривизны роговицы составило $7,68 \pm 0,06$ мм (табл.).

На 3-й день послеоперационного периода наблюдалась следующая динамика функциональных показателей роговицы. В I группе радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане увеличился на 0,49 мм; горизонтальный радиус кривизны роговицы уменьшился на 0,44 мм; отмечено усиление роговичного астигматизма на 2,69 дптр и рост индекса иррегулярности поверхности роговицы, который составил $0,056 \pm 0,002$. Значение минимального сферического радиуса кривизны роговицы в среднем выросло на 0,15 мм.

Во II группе средняя величина радиуса кривизны роговицы в вертикальном меридиане выросла на 0,40 мм; в горизонтальном меридиане снизилась на 0,22 мм; среднее значение роговичного астигматизма увеличилось на 1,79 дптр; индекс иррегулярности повысился до $0,046 \pm 0,002$; минимальный сферический радиус кривизны роговицы составил $7,68 \pm 0,06$ мм.

Через месяц после операции наблюдалось постепенное восстановление исследуемых параметров до предоперационного уровня. У пациентов I группы после ГСЭ средняя величина роговичного астигматизма снизилась на 2,52 дптр; средний радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане снизился на 0,11 мм; в горизонтальном меридиане вырос

Таблица. Сравнительная динамика анатомо-оптических параметров роговицы при непроникающей и проникающей хирургии глаукомы, $M \pm m$

Table. Comparative dynamics of anatomic and optical parameters of the cornea in penetrating and non-penetrating glaucoma surgery, $M \pm m$

Параметры Parameters	Сроки наблюдения Follow up period			
	до операции before surgery	3-й день 3 rd day	1 мес 1 month	3 мес 3 months
ГСЭ Trabeculectomy (n = 15)				
Rv, mm	7,56 $\pm$ 0,07	8,34 $\pm$ 0,04*, **	8,02 $\pm$ 0,05**	7,86 $\pm$ 0,07**
Rh, mm	7,73 $\pm$ 0,06	7,29 $\pm$ 0,30**	7,52 $\pm$ 0,09	7,67 $\pm$ 0,12
Ast, D	-0,93 $\pm$ 0,04	-3,62 $\pm$ 0,13*, **	-1,1 $\pm$ 0,2	-1,0 $\pm$ 0,3
И. ирр. Фурье Fourier C. sii	0,023 $\pm$ 0,002	0,056 $\pm$ 0,002**	0,038 $\pm$ 0,002	0,031 $\pm$ 0,002
Sph Rmin, mm	7,64 $\pm$ 0,08	7,79 $\pm$ 0,12	7,76 $\pm$ 0,21	7,71 $\pm$ 0,13
НГСЭ Nonpenetrating trabecular surgery (n = 23)				
Rv, mm	7,72 $\pm$ 0,05	8,12 $\pm$ 0,03**	7,83 $\pm$ 0,03	7,74 $\pm$ 0,05
Rh, mm	7,71 $\pm$ 0,05	7,49 $\pm$ 0,03**	7,54 $\pm$ 0,04	7,69 $\pm$ 0,06
Ast, D	-0,86 $\pm$ 0,04	-2,75 $\pm$ 0,15*, **	-0,99 $\pm$ 0,06	-0,97 $\pm$ 0,09
И. ирр. Фурье Fourier C. sii	0,028 $\pm$ 0,002	0,046 $\pm$ 0,002**	0,031 $\pm$ 0,002	0,028 $\pm$ 0,002
Sph Rmin, mm	7,68 $\pm$ 0,06	7,77 $\pm$ 0,12	7,71 $\pm$ 0,02	7,69 $\pm$ 0,02

Примечание. * — различие с предоперационным уровнем достоверно, $p < 0,05$; ** — различие между группами достоверно, $p < 0,05$; Rv — средний радиус кривизны в вертикальном меридиане, мм; Rh — средний радиус кривизны в горизонтальном меридиане, мм; Ast — среднее значение роговичного астигматизма, дптр; И. ирр. Фурье — индекс Фурье иррегулярности поверхности роговицы; Sph Rmin — минимальный сферический радиус кривизны роговицы, мм.

Note. * — difference as compared to initial level is significant, $p < 0,05$; ** — difference between groups is significant, $p < 0,05$; Rv — mean vertical radius of corneal curve, mm; Rh — mean horizontal radius of corneal curve, mm; Ast — mean corneal astigmatism, D; Fourier C. sii — Fourier corneal surface irregularity index; Sph Rmin — minimal spherical radius of corneal curve, mm.

на 0,23 мм; индекс иррегулярности составил 0,038 $\pm$ 0,002; минимальный сферический радиус кривизны роговицы снизился на 0,03 мм и составил 7,76 $\pm$ 0,21 мм. Во II группе роговичный астигматизм снизился на 1,76 дптр и составил -0,99 $\pm$ 0,06 дптр; радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане снизился на 0,07 мм; в горизонтальном меридиане вырос на 0,05 мм; индекс иррегулярности снизился на 0,015; минимальный сферический радиус кривизны роговицы составил 7,71 $\pm$ 0,002 мм.

Спустя 3 мес после операции у пациентов I группы обнаружены следующие значения исследуемых параметров: средняя величина роговичного астигматизма дополнительно снизилась на 0,1 дптр и составила -1,0 $\pm$ 0,3 дптр; радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане снизился еще на 0,16 мм — до 7,86 $\pm$ 0,07 мм; в горизонтальном меридиане повысился до 7,67 $\pm$ 0,12 мм; индекс иррегулярности составил 0,031 $\pm$ 0,002; минимальный сферический радиус кривизны роговицы снизился до 7,71 $\pm$ 0,13 мм. Во II группе отмечены следующие значения параметров роговицы: средняя величина роговичного астигматизма составила -0,97 $\pm$ 0,09 мм; радиус кривизны роговицы в вертикальном меридиане дополнительно снизился на 0,09 мм и составил 7,74 $\pm$ 0,05 мм; в горизонтальном меридиане вырос на 0,15 мм; индекс иррегулярности составил 0,028 $\pm$ 0,002; минимальный сферический радиус кривизны роговицы — 7,69 $\pm$ 0,02 мм.

Изменения толщины роговицы в центральных отделах носили следующий характер (рис.). В I группе до операции средняя толщина роговицы в оптической зоне составляла 514,50 $\pm$ 0,04 мкм, минимальная толщина — 508,4 мкм, толщина в парacentральной зоне — 529,87 $\pm$ 0,012 мкм. На 3-й день после операции наблюдалось значительное утолщение роговицы, при этом средняя толщина в оптической зоне составила 520,60 $\pm$ 0,06 мкм, минимальная толщина — 510,2 мкм, толщина в парacentральной зоне — 531,37 мкм. Через месяц после

Рис. Сравнительная динамика толщины роговицы после ГСЭ и НГСЭ.

Fig. Comparative dynamics of corneal thickness after T and NTS.

хирургического вмешательства центральная толщина роговицы составила $518,70 \pm 0,03$ мкм, минимальная толщина — $509,8$ мкм, средняя величина толщины роговицы в парацентральной зоне — $530,87$ мкм. Через 3 мес после операции средняя толщина в оптической зоне — $515,10 \pm 0,04$ мкм, минимальная толщина — $509,4$ мкм, толщина в парацентральной зоне — $531,17$ мкм. Таким образом, на 3-м месяце послеоперационного периода наблюдалось восстановление показателей толщины роговицы до предоперационного уровня.

У пациентов II группы до операции среднее значение центральной толщины роговицы составило $515,40 \pm 0,04$ мкм, минимальная толщина роговицы $510,20 \pm 0,08$ мкм, толщина роговицы в парацентральной зоне — $534,62 \pm 0,06$ мкм. В раннем послеоперационном периоде наблюдалось незначительное утолщение роговицы, при этом центральная толщина роговицы составила $516,80 \pm 0,12$ мкм, минимальная толщина роговицы — $509,20 \pm 0,07$ мкм, толщина парацентральной зоны — $534,85 \pm 0,06$ мкм. Через месяц после операции наблюдалось возвращение показателей толщины роговицы к исходному уровню: центральная толщина роговицы составила $515,80 \pm 0,11$ мкм, минимальная толщина — $509,70 \pm 0,04$ мкм, толщина в парацентральной зоне — $533,23 \pm 0,07$ мкм. На 3-й месяц наблюдений показатели пахиметрии оставались стабильными: центральная толщина роговицы равнялась $515,50 \pm 0,03$ мкм, минимальная толщина — $509,6 \pm 0,6$ мкм, толщина в парацентральной зоне — $532,25 \pm 0,09$ мкм.

Результаты исследования согласуются с данными литературы. Так, впервые изменение кератометрических данных после хирургии глаукомы отметил С. Hugkulstone в 1991 г. Им было обнаружено, что в раннем послеоперационном периоде наблюдается уменьшение радиуса кривизны роговицы в вертикальном меридиане с одновременным увеличением радиуса кривизны роговицы в горизонтальном [4].

P. Dietze и соавт. [5] предприняли попытку более детальной оценки функциональных изменений после хирургии глаукомы: оценивалась острота зрения, контрастная чувствительность и роговичный астигматизм по данным кератотопографии. Выявлено, что в послеоперационном периоде наблюдается снижение остроты зрения в среднем на 0,1, контрастная чувствительность не меняется, а среднее значение центрального роговичного астигматизма в вертикальном меридиане увеличивается на 1,4 дптр [5].

Более значительные колебания параметров роговицы после ГСЭ объясняются большей травматичностью и инвазивностью данной методики, что также было продемонстрировано в более ранних исследованиях на эту тему.

В работе S. Vernon и соавт. [11] проведен сравнительный анализ хирургически индуцированных изменений рефракции роговицы при традиционной

трабекулэктомии и микротрабекулэктомии. Среднее значение вектора изменения рефракции роговицы при микротрабекулэктомии составило 0,38 дптр, в то время как при классической трабекулэктомии этот показатель достигал 1,24 дптр [11].

Существующие на данный момент биомеханические модели глаза помогают объяснить причину колебаний показателей кератопахиметрии в послеоперационном периоде [13]. В первую очередь изменения толщины роговицы связаны со снижением внутриглазного давления и временным его несоответствием упруго-эластическим параметрам фиброзной капсулы глаза. Вторым значительным фактором, влияющим на толщину роговицы в послеоперационном периоде, является перераспределение механического напряжения фиброзной капсулы из-за дефекта ткани в зоне хирургического вмешательства. Полученные нами данные, очевидно, соответствуют перечисленным трактовкам.

Меньшая инвазивность операции НГСЭ способствует более раннему восстановлению нормального биомеханического статуса фиброзной капсулы по сравнению с ГСЭ, при которой выраженные изменения сохраняются в течение месяца наблюдений.

Для более полного понимания процесса адаптации фиброзной капсулы к новому биомеханическому состоянию необходимо провести наблюдение в отдаленном послеоперационном периоде.

ВЫВОДЫ

1. Проникающая хирургия глаукомы индуцирует более выраженные аберрации оптической системы глаза. Степень выраженности их снижается в течение 3 мес послеоперационного периода, но не достигает предоперационного уровня. В позднем послеоперационном периоде определяются в основном аберрации высших порядков.

2. НГСЭ в меньшей степени влияет на структурно-функциональные параметры роговицы и способствует более быстрой функциональной реабилитации пациента.

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Литература/References

1. Cairns J.E. Trabeculectomy: preliminary report of a new method. *Am. J. Ophthalmol.* 1968; 66: 673–9.
2. Watson P.G. Trabeculectomy: a modified ab externo technique. *Ann. Ophthalmol.* 1970; 2: 199–205.
3. Migdal C., Gregory W., Hitchings R. Long term functional outcome after early surgery compared with laser and medicine in open angle glaucoma. *Ophthalmology.* 1994; 101: 1651–6. doi: [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(94\)31120-1](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(94)31120-1)
4. Hugkulstone C. Changes in keratometry following trabeculectomy. *Br. J. Ophthalmol.* 1991; 75: 217–18.
5. Dietze P.J., Oram O., Kohnan T., et al. Visual function following trabeculectomy effect on corneal topography and contrast sensitivity. *J. Glaucoma.* 1997; 6: 99–103.

6. Ashai M., Ahmed A., Ahsan M., Imtiaz A. The effect of trabeculectomy on corneal astigmatism. JK-Practitioner. 2006; 13: 27–9.
7. Egrilmez S., Ates H., Nalcaci S., Andac K., Yagci A. Surgically induced corneal refractive change following glaucoma surgery: nonpenetrating trabecular surgeries versus trabeculectomy. J. Cataract Refract. Surg. 2004; 30: 1232–9. doi:10.1016/j.jcrs.2003.11.055
8. Jonatan H., Christopher T., Galor A., et al. Refractive outcome of combined cataract and glaucoma surgery. J. Glaucoma. 2015; 24 (2): 161–4. doi: 10.1097/01.jgg.0000435773.20279.56
9. Claridge K.G., Galbraith J.K., Karmel V., Bates A.K. The effect of trabeculectomy on refraction, keratometry, and corneal topography. Eye. 1995; 9: 292–8. doi:10.1038/eye.1995.57
10. Fukuoka S., Amano S., Honda N., et al. Effect of trabeculectomy on ocular and corneal higher order aberrations. Jpn. J. Ophthalmol. 2011; 55 (5 Sep.): 460–6. doi: 10.1007/s10384-011-0063-x
11. Vernon S.A., Zambarakji H.J., Potgieter F., et al. Topographic and keratometric astigmatism up to 1 year following small flap trabeculectomy (micro trabeculectomy). Br. J. Ophthalmol. 1999; 83: 779–82. doi: 10.1136/bjo.83.7.779
12. Алиев А.-Г.Д., Исмаилов М.И., Гительман Г.Н. Исследование аберраций оптической системы глаза при хирургическом лечении глаукомы. Национальный журнал глаукома. 2003; 3: 20–3. Aliyev A.-G.D., Ismailov M.I., Gitelman G.N. Investigation of aberrations of the eye optical system in the surgical treatment of glaucoma. National Journal of Glaucoma. 2003, 3: 20–3 (in Russian).
13. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. Москва: Реал Тайм; 2015. Iomdina E.N., Bauer S.M., Kotliar K.E. Biomechanics of the eye: theoretical aspects and clinical applications. Moscow: Real Time; 2015 (in Russian).

Поступила: 02.04.2018

Comparative analysis of optical aberrations, anatomical and optical parameters of the cornea in glaucoma surgery

V.V. Neroev — Corresponding member of RAS, Dr. Med. Sci., Professor, director¹

A.A-G. Aliev — Cand. Med. Sci., deputy director for Science²

M.M. Nurudinov — ophthalmologist, department of vitreoretinal surgery and new technologies²

¹Moscow Helmholtz Research Institute of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

²Dagestan Center of Eye microsurgery, 12, Naberezhnaya St., Kaspiysk, 368300, Russia
musail1988@gmail.com

Purpose. A combined comparative study of the impact of antiglaucomatous surgeries on the anatomical and optical parameters of the cornea. **Materials and methods.** The study involved 38 patients (38 eyes) aged 43 to 75 with primary open-angle glaucoma (POAG), which were divided into 2 groups. Patients of group I (15 eyes) underwent classical deep sclerectomy (DSE), while those of group II (23 eyes), had non-penetrating deep sclerectomy (NDSE). All patients underwent a comprehensive examination before and after surgery, including precision visometry, corneal topography, OCT pachymetry. **Results.** Group I revealed a significant change in the parameters on the 3rd day after the surgery; in particular, the average value of corneal astigmatism increased from -0.93 D to -3.62 D, the curvature radius of the cornea in the vertical meridian increased from 7.56 ± 0.07 mm to 8.34 ± 0.04 mm, the thickness of the central cornea changed from 514.5 ± 0.04 μ m to 520.6 ± 0.06 μ m. In group II, the corneal astigmatism increased from -0.86 D to -2.75 D, and the curvature radius of the cornea in the vertical meridian changed from 7.72 ± 0.05 mm to 8.12 ± 0.03 mm, the central thickness of the cornea increased from 515.4 ± 0.04 to 516.8 ± 0.12 μ m. **Conclusion.** The degree of surgically induced changes of anatomic and optical parameters of the cornea in POAG patients depended on the amount of intervention: NDSE has a lesser effect on these parameters than classical DSE.

Keywords: aberrations, pachymetry, glaucoma.

For citation: Neroev V.V., Aliev A.A-G., Nurudinov M.M. Comparative analysis of optical aberrations, anatomical and optical parameters of the cornea in glaucoma surgery. Russian ophthalmological journal. 2018; 11 (4): 24–8 (In Russian). doi: 10.21516/2072-0076-2018-11-4-24-28

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

Для контактов: Нурудинов Муса Муртазалиевич
E-mail: musail1988@gmail.com