

Особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза у пациентов после радиальной кератотомии

А.С. Апостолова¹А.В. Малышев²А.А. Бойко¹, А.А. Сергиенко³, В.А. Шипилов¹¹ ООО «Три-З»

ул. Красных Партизан, 18, Краснодар, 350047, Российская Федерация

² ГБУЗ «Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 им. профессора С.В. Очаповского»
Министерства здравоохранения Краснодарского края
ул. 1 Мая, 167, Краснодар, 350086, Российская Федерация³ ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» Министерства здравоохранения Краснодарского края
пл. Победы, 1, Краснодар, 350007, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2023;20(4):696–703

Цель: выявить особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза у пациентов после радиальной кератотомии. **Пациенты и методы.** Обследовано 87 глаз после радиальной кератотомии, средний возраст $59,8 \pm 0,83$ года, с глаукомой 47 глаз, без — 40 глаз. Были сформированы три группы: 17 глаз с ЦТР менее 530 мкм; 30 глаз с ЦТР 530–580 мкм; 40 глаз с ЦТР более 580 мкм. Группа контроля — близорукие пациенты без глаукомы, без ПЭС, старше 45 лет. Томографию роговицы и биомеханические параметры измеряли с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST соответственно. **Результаты.** В глазах после РК жесткость роговицы (DA ratio, R) была выше в сравнении с контролем и возрастает с увеличением ЦТР. Жесткость фиброзной оболочки глаза (SP-A1) после РК снижена в сравнении с контролем и возрастает с увеличением ЦТР. Анализ SSI показал более высокую жесткость глазного яблока, чем в контроле, независимо от ЦТР. BGF выше в глазах после РК в сравнении с контролем с максимальным значением при тонких роговицах. ГС после РК характерен для глаз с глаукомой, при ЦТР более 580 мкм — это клинический детектор глаукомы, при тонкой роговице — нет. **Заключение.** Для глаза после РК характерна более жесткая роговица, сниженная жесткость фиброзной капсулы глаза, общее возрастание жесткости глазного яблока, а также гиперметропический сдвиг рефракции.

Ключевые слова: радиальная кератотомия, центральная толщина роговицы, тонометрия, роговично-компенсированное давление, биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза, гиперметропический сдвиг рефракции

Для цитирования: Апостолова А.С., Малышев А.В., Бойко А.А., Сергиенко А.А., Шипилов В.А. Особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза у пациентов после радиальной кератотомии. *Офтальмология*. 2023;20(4):696–703. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-4-696-703>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует



Features of the Biomechanical Parameters of the Fibrous Capsule of the Eye in Patients after Radial Keratotomy

A.S. Apostolova¹, A.V. Malyshev², A.A. Boiko¹, A.A. Sergienko³, V.A. Shipilov¹

¹ 000 "Tri-Z"

Krasnykh Partizan str., 186 Krasnodar, 350047, Russian Federation

² Research Institute — Regional Clinical Hospital № 1 named. prof. S.V. Ochapovsky
1 May str., 167, Krasnodar, 350086, Russian Federation

³ Children's regional clinical hospital
Pobedy square str., 1, Krasnodar, 1350007, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2023;20(4):696–703

Objective: to identify the features of biomechanical parameters of the fibrous capsule of the eye in patients after radial keratotomy (RK). **Materials and methods.** 87 eyes were examined after radial keratotomy, the average age was 59.8 ± 0.83 years. With glaucoma 47 eyes, without — in 40 eyes. Patients were divided into three groups: 17 eyes with a central corneal thickness (CCT) of less than 530 microns; 30 eyes with a CCT of 530–580 microns; 40 eyes with a CCT of more than 580 microns. The control group consists of myopic patients without glaucoma, without PES, over 45 years old. Corneal tomography and biomechanical parameters were measured using Pentacam (Oculus) and CorVis ST, respectively. **Results.** in the eyes after RK, the corneal stiffness (DA ratio, R) is higher in comparison with the control and increases with an increase in CCT. The stiffness of the fibrous capsule of the eye (SP-A1) after RK is reduced in comparison with the control and increases with an increase in CCT. The SSI analysis showed a higher stiffness of the eyeball than in the control, regardless of the CCT. BGF is higher in the eyes after RK compared to the control with the maximum value for thin corneas. Hyperopic shift (HS) after RK is distinctive for eyes with glaucoma. With a CCT of more than 580 microns, HS is a clinical glaucoma detector, with thin corneas, it is not. **Conclusion.** The eye after RC is characterized by an increase in the stiffness of the cornea, a decrease in the stiffness of the fibrous capsule of the eye, a general increase in the stiffness of the eyeball and HS.

Keywords: radial keratotomy, central corneal thickness, tonometry, corneal-compensated pressure, biomechanical properties of the fibrous capsule of the eye, Hyperopic shift

For citation: Apostolova A.S., Malyshev A.V., Boiko A.A., Sergienko A.A., Shipilov V.A. Features of the Biomechanical Parameters of the Fibrous Capsule of the Eye in Patients after Radial Keratotomy. *Ophthalmology in Russia*. 2023;20(4):696–703. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-4-696-703>

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

There is no conflict of interests

Роговица — часть фиброзной оболочки глаза, сложная с точки зрения гистологической структуры ткань, которая обладает вязкоупругими биомеханическими свойствами [1]. Однако структура роговицы может быть нарушена в некоторых клинических ситуациях, которые могут быть физиологическими, патологическими, как при развитии эктатических заболеваний, или терапевтическими при кераторефракционных вмешательствах [2]. Эти события влияют на биомеханическое состояние роговицы, могут привести к изменениям в топографии и биомеханике роговицы и повлиять на точность измерения офтальмотонуса [3].

Одним из популярных вмешательств на роговице в 70–80-е годы прошлого столетия являлась радиальная кератотомия, которую широко применяли в клинической практике для хирургической коррекции сферической миопии и астигматизма. По примерным оценкам, в России только в системе МНТК «Микрохирургия глаза» к 2000 году было выполнено свыше 600 тысяч радиальных кератотомий, а в США к 1995 году — более 1 миллиона.

Передняя радиальная кератотомия (РК) — офтальмологическая операция, которая предполагает нанесение на роговицу глубоких неперфорирующих надрезов

(насечек) с целью изменения ее формы и, как следствие, оптической силы. Эти надрезы наносили от лимба до центральной зоны диаметром 3 мм, которая оставалась свободной от насечек. Итогом этой операции являлось изменение топографии роговицы. В центральной зоне роговицы происходит уплощение и увеличение радиуса кривизны, радиус кривизны средней периферии роговицы уменьшается. В настоящий момент эта кераторефракционная операция вытеснена эксимерлазерной хирургией из-за большого количества осложнений и отдаленных последствий. В современной клинической практике встречаются такие отдаленные последствия РК, как повышение риска контузионных травм, рефракционные ошибки при расчете оптической силы интраокулярных линз, влияние изменений роговицы на показатели тонометрии, прогрессирующий гиперметропический сдвиг в отдаленные сроки после операции [4].

Известно, что после кераторефракционных вмешательств изменяются биомеханические параметры роговицы. Существуют данные, что после проведения операции Ласик гистерезис роговицы и фактор рези-стентности значительно уменьшаются [5]. Однако вопрос о влиянии РК на биомеханические параметры фиброзной оболочки глаза недостаточно изучен.

В настоящее время одной из самых современных методик контроля ВГД является исследование при помощи анализатора биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза с использованием технологии визуализации роговицы (CorVis ST, Oculus), что позволяет измерить механические свойства, а также ее жесткость (SP) [6]. При этом пока отсутствуют нормативные значения показателей роговицы и склеры для разных групп пациентов, в клинической практике полученные данные чаще всего сравнивают со среднестатистической нормой, в некоторых случаях дополнительно учитывают рефракцию и стадию глаукомы [7]. Однако на данный показатель дополнительно оказывают влияние возраст, уровень внутриглазного давления, центральная толщина роговицы, величина переднезадней оси глаза, объем передней камеры глаза, состояние глазной поверхности, наличие псевдоэкзофалиативного синдрома, перенесенные кераторефракционные вмешательства, длительность гипотензивной терапии глаукомы, перенесенные антиглаукомные вмешательства в анамнезе [8, 9].

Анализ биомеханических показателей позволяет дополнительно оценить риск прогрессирования глаукомы, чему посвящен ряд научных работ [7, 10]. При помощи Oculus Corvis ST мы получили возможность провести скрининг риска развития глаукомы у пациентов при низких цифрах внутриглазного давления. По данным иностранных авторов, чувствительность данной методики составляет 76 %, специфичность — 77 % [11]. Данное исследование включало 70 глаз с глаукомой низкого давления, результаты сравнивали со здоровыми глазами, однако группы не были сходны по возрасту. Авторы обращают внимание, что эта методика применима в глазах без офтальмогипертензии и без применения гипотензивного режима, так как и тот и другой фактор меняют биомеханику фиброзной оболочки глаза.

Особенно сложную задачу представляет контроль ВГД в глазах после перенесенной РК. Для всех способов измерения ВГД, основанных на аппланационной методике, существуют общие недостатки, не позволяющие использовать их у пациентов с ранее проведенной РК. Диагноз глаукомы в таких глазах зачастую вызывает крайние затруднения в связи со сложностью контроля ВГД и оценки морфометрических изменений диска зрительного нерва и сетчатки. В России эта проблема активно изучается в связи с большим распространением ранее этой методики коррекции миопии и большим количеством пациентов, обращающихся за офтальмологической помощью [12].

В России разработана и запатентована авторская методика контроля ВГД у пациентов после перенесенной РК, характеризующаяся тем, что измерение проводят с помощью контактной точечной офтальмотонометрии, при этом зонд располагают на средней периферии роговицы в темпоральном или назальном секторе между насечками прибором Icare Pro [13].

Отечественными авторами разработан также способ прогнозирования риска развития глаукомы у пациентов,

перенесших переднюю радиальную кератотомию, при использовании ротационной Шаймпфлюг-камеры. При этом определяют значение суммарного отклонения точек передней поверхности роговицы в периферической зоне от референтных значений отдельно в утреннее и дневное время. Авторы прогнозируют риск развития глаукомы при изменении суммарного отклонения в дневное время на 20 % и более по сравнению с утренним значением и рекомендуют последующее наблюдение за пациентом [14].

Цель: выявить особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза у пациентов после перенесенной радиальной кератотомии.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В наше исследование были включены 465 глаз пациентов, обратившихся за диагностическим обследованием с клинику. Пациенты уже наблюдались с установленным диагнозом глаукома или обратились с диагнозом «Подозрение на глаукому».

В группу исследования были включены пациенты с ранее проведенной радиальной кератотомией — всего 87 глаз.

Средний возраст пациентов составил $59,80 \pm 0,83$ года. Группа имела неравное гендерное распределение, мужчин было 34 (39 %), женщин — 53 (61 %). Средняя длина переднезадней оси глаза составила $26,03 \pm 0,15$ мм.

Глаукома в исследуемой группе определена в 47 глазах, в 40 глазах диагноз был не подтвержден. У пациентов с глаукомой начальная стадия была диагностирована в 27 глазах (31 % случаев), развитая — в 11 (12,5 % случаев), далекозашедшая — в 8 (9 % случаев), терминальная — в 1 (1 % случаев).

В качестве группы контроля выбраны близорукие пациенты без глаукомы, без ПЭС с длиной переднезадней оси глаза более 24,00 мм в возрасте более 45 лет.

Диагностическое обследование на предмет глаукомы включало визометрию, тонометрию, пахиметрию, гониоскопию, оптическую когерентную томографию (Cirrus HD-OCT 5000 (CarlZeiss)), стандартную автоматизированную периметрию (САП) (периметр TomeyAP-1000) по программе «глаукома скрининг». Биометрические параметры глаза исследованы на приборе Zeiss IOL Master 700. Стандартную бесконтактную тонометрию выполняли с помощью Reichert 7 CR с возможностью определения роговично-компенсированного давления. Томографию роговицы и биомеханические параметры измеряли с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST соответственно. Показатель DA Ratio указывает на соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-мм зоне, позволяет судить о степени жесткости роговицы.

Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность, или обратное значение вписанного радиуса кривизны роговицы. SP-A1 — уникальный параметр жесткости, представляется в виде формулы силы, деленной на смещение роговицы, и определен

конечным значением давления, разделенным на амплитуду прогиба, который измеряется в мм рт. ст./мм и описывает жесткость фиброзной оболочки глазного яблока. Stress Strain Index (SSI) — индекс напряжения и деформации — параметр жесткости материала и включает функцию биомеханики всего глаза, а не только роговицы. Этот фактор был принят за 1,0 для среднего экспериментального поведения, полученного для ткани роговицы у пациентов в возрасте 50 лет [15]. SSI — это параметр для устранения зависимости роговично-компенсированного ВГД от биомеханики роговицы и оценки жесткости материала, которая отличается от параметра жесткости (SP). BGF — показатель, отражающий возможность развития глаукомы при низких цифрах ВГД, его можно считать скрининговым показателем для глаукомы низкого давления (ГНД).

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием стандартного пакета программ статистического анализа «SPSS 16.0 for Windows» с обработкой данных методами вариационной статистики, включающими вычисление средних значений, стандартных отклонений, ошибок средних, коэффициента корреляции Пирсона. Критический уровень статистической значимости составлял менее 0,05. Приводимые параметры с нормальным распределением были представлены в формате $M \pm m$, где M — среднее значение, m — стандартная ошибка среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пациенты с миопией и проведенной ранее радикальной кератотомией были разделены по параметрам

средней центральной толщины роговицы на три группы. В первую вошли 17 глаз с ЦТР менее 530 мкм, во вторую — 30 глаз с ЦТР 530–580 мкм, в третью — 40 глаз с ЦТР более 580 мкм.

В первой группе глаукома не выявлена в 6 глазах (35 %), выявлена — в 11 (65 %). Во второй группе не установлен диагноз глаукомы в 14 глазах (47 %), установлен — в 16 (53 %), в третьей группе — 20 глаз (50 %) и 20 глаз (50 %), соответственно. Интересен факт большего количества выявленных случаев глаукомы у пациентов после РК с тонкой роговицей.

Был проведен анализ уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов с кератотомическими насечками в 3 группах в зависимости от толщины роговицы. Данные представлены в таблице 1.

По показателям стандартной бесконтактной тонометрии мы получили достоверное отличие в группе с ЦТР более 580 мкм, в которой значение ВГД было достоверно ($p = 0,028$) выше, чем у пациентов 2-й группы, и выше, чем у пациентов 1 группы ($p = 0,004$). В то же время 1-я и 2-я группы достоверно не отличались, в том числе с группой контроля. Это еще раз подтверждает вывод, сделанный нами ранее о том, что погрешность значений ВГД в сторону «завышения» характерна при бесконтактной тонометрии лишь у пациентов с «толстой» роговицей независимо от выполненной кератотомии. При этом в случае «средней» и «тонкой» роговицы достоверных различий нет.

Интересен тот факт, что при контроле ВГД, исследованного с помощью анализатора биомеханических

Таблица 1. Показатели уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов после радиальной кератотомии в зависимости от центральной толщины роговицы

Table 1. Indicators of the level of IOP, biomechanical parameters of the fibrous capsule of the eye and the screening index for low-pressure glaucoma in patients after radial keratotomy, depending on the central corneal thickness

Показатели / Indicators	ЦТР менее 530 мкм / CCT (mkm)	ЦТР 530–580 мкм / CCT (mkm)	ЦТР более 580 мкм / CCT (mkm)	Группа контроля / Control group
ПЗО (мм) / Axial length (mm)	25,65 ± 0,29	26,28 ± 0,34	26,00 ± 0,18	25,55 ± 0,24
ЦТР (мкм) / CCT (mkm)	507,88 ± 5,01	556,00 ± 2,60	610,80 ± 3,90	566,89 ± 6,30
ВГД Po (мм рт. ст.) / IOP Po (mm Hg)	17,86 ± 0,18	20,60 ± 1,40	26,58 ± 2,30*	18,35 ± 0,73
ВГД Макл (мм рт. ст.) / IOP MacI (mm Hg)	-	20,20 ± 1,50	23,14 ± 2,08	-
bIOP мм рт. ст. / bIOP (mm Hg)	16,77 ± 1,32	16,72 ± 0,95	18,10 ± 0,09	16,37 ± 0,56
DA ratio	3,65 ± 0,16	3,33 ± 0,09	2,98 ± 0,09*	4,02 ± 0,08
Integr. Radius (R) (мм) / (mm)	6,58 ± 0,4	6,13 ± 0,30	5,00 ± 0,25*	7,63 ± 0,23
SP-A1 мм рт. ст./мм / (mm Hg/mm)	86,11 ± 5,08	97,19 ± 2,80*	110,21 ± 3,11*	115,64 ± 6,77
SSI	1,75 ± 0,20	1,67 ± 0,09	1,84 ± 0,07	1,21 ± 0,05
BGF	63,69 ± 7,60*	48,82 ± 3,70	38,68 ± 4,20*	7,44 ± 1,31

Примечание: * — показатель достоверности различия между группами. ПЗО — переднезадняя ось глаза, ЦТР — центральная толщина роговицы, ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; ВГД Макл — ВГД при измерении по методу Маклакова; bIOP — ВГД с учетом биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза, DA Ratio — соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-миллиметровой зоне, Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность; SP-A1 — разность между силой воздушного импульса на поверхности роговицы и биомеханически скорректированным ВГД; SSI — индекс напряжения-деформации; BGF — биомеханический глаукомный фактор.

Note: * — indicator of the reliability of the difference between groups. CCT — central corneal thickness, IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; IOP MacI — IOP, obtained by measurement using the Maclakov method; bIOP — IOP taking into account the biomechanical properties of the fibrous membrane of the eye, DA Ratio — the ratio between the amplitude of deformation of the cornea at the apex and in the 2-millimeter zone, Integr. Radius (R) — radius of the cornea inscribed in a concave surface; SP-A1 — difference between the strength of the air pulse on the surface of the cornea and the biomechanically corrected IOP; SSI — stress-strain index; BGF — biomechanical glaucoma factor

параметров глазного яблока, мы не установили достоверной разницы между группами, и показатель достоверности между 1-й и 3-й группами составил $p = 0,41$.

При анализе DA ratio в трех группах не было получено достоверной разницы между 1-й и 2-й группами, $p = 0,092$. Однако между 2-й и 3-й группами данный показатель отличался, и были зафиксированы более низкие значения, а следовательно, высокая жесткость роговицы в 3-й группе ($p = 0,005$). При сравнении между 1-й и 3-й группами показатель DA ratio был достоверно ниже в группе 3 ($p = 0,001$). Подобная же закономерность получена при анализе Integr. Radius (R). Не было достоверной разницы между 1-й и 2-й группами ($p = 0,37$), тогда как между 2-й и 3-й группа была достоверна ($p = 0,005$), а между 1-й и 3-й группами более выражена ($p = 0,002$). Анализируя эти данные, можно сделать вывод, что жесткость роговицы в глазах после радиальной кератотомии более высокая (фиксируется более низкая смещаемость центральной зоны) в сравнении с близорукими глазами без насечек. Обратим внимание на тот

факт, что к жесткости роговицы неизменного близорукое глаза приближена лишь жесткость тонкой роговицы после РК. Отметим также, что максимальную ригидность демонстрирует роговица после кератотомии и ЦТР более 580 мкм. Этот факт можно рассматривать как самостоятельный фактор риска, так как жесткость роговицы не связана с уровнем ВГД (bВГД в группах не отличалось).

Заслуживает внимания факт, что жесткость роговицы возрастает с увеличением ЦТР в глазах с РК. Подобная зависимость ригидности роговицы от ЦТР характерна и для глаз без РК, но значения жесткости превышают сравниваемые. Данные представлены рисунке 1.

При анализе жесткости всей фиброзной оболочки глаза (SP-A1) установлены интересные отличия. Пониженную жесткость фиброзной оболочки глаза демонстрируют глаза 1-й группы, отличия в жесткости между 1-й и 2-й группами при $p = 0,044$. Отличия между 2-й и 3-й группами также достоверны — $p = 0,003$. Между 1-й и 3-й группами получена высоко достоверная разница — $p = 0,000$. В сравнении со здоровым близоруким глазом отмечается значительное снижение параметров жесткости фиброзной капсулы в глазах после радиальной кератотомии при «тонкой» и «средней» роговицах. Данный факт крайне сложно объяснить, так как мы имеем сходное ПЗО и уровень bВГД в этих группах, а перенесенное вмешательство касалось лишь роговицы и не задействовало остальную часть фиброзной оболочки глаза.

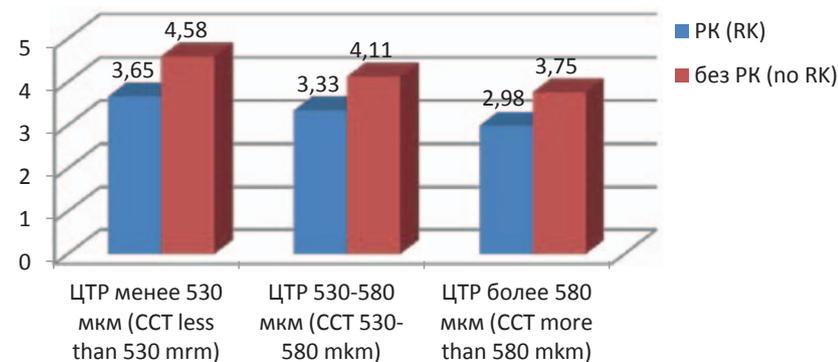


Рис. 1. Показатели индекса DA ratio в глазах после радиальной кератотомии и без тановой

Примечание: РК — радиальная кератотомия.

Fig. 1. Indicators of the DA ratio index in comparison in the eyes after radial keratotomy and without it

Note: RK — radial keratotomy.

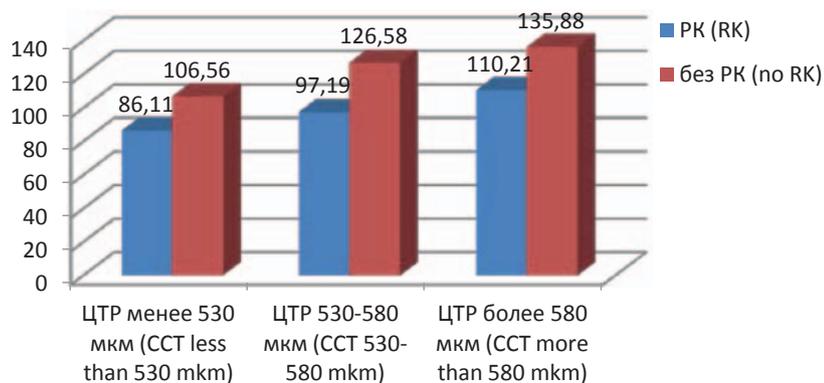


Рис. 2. Показатели индекса SP-A1 в глазах с кератотомическими насечками и без тановых

Примечание: РК — радиальная кератотомия.

Fig. 2. Indicators of the SP-A1 index in the eyes with and without keratotomy incisions

Note: RK — radial keratotomy.

Обратим внимание на тот факт, что жесткость фиброзной оболочки глаза возрастает с увеличением ее ЦТР в глазах с кератотомическими насечками. Подобная зависимость ригидности фиброзной капсулы глаза от ЦТР характерна и для глаз без РК, но значения жесткости значительно ниже в группе исследования. Сравнительные данные представлены на рисунке 2.

При анализе данных, касающихся индекса напряжения-деформации (SSI), демонстрирующих жесткость глазного яблока в общем, различия между группами не определены, во всех группах жесткость глаза была более высокой, чем в близорукоем глазу без насечек.

При анализе скрининга на глаукому низкого давления (BGF) оказалось, что максимальная возможность развития глаукомы при низких цифрах ВГД имеет в 1-й группе (самые высокие показатели скрининга), тогда как разница между 1-й и 2-й группами хотя и существенна, но не достоверна, $p = 0,056$; разница между

2-й и 3-й группами значительная и также недостоверна, $p = 0,077$. И только различия между 1-й и 3-й группами носят достоверный характер, $p = 0,008$. Заметим, что показатели скрининга в отношении развития глаукомы при низких цифрах ВГД возрастают со снижением ЦТР. Обратим внимание, что значение ВГФ значительно выше в глазах с кератотомическими насечками по сравнению с близорукими глазами без насечек. Предположим, что кератотомия может быть самостоятельным фактором риска развития глаукомы, что, вероятно, связано со сниженной жесткостью фиброзной капсулы глаза, которую демонстрируют глаза с насечками. С уровнем ВГД данный факт связать не удается, так как ВГД не отличалось между группами и в группе сравнения.

Ранее мы анализировали зависимость биомеханических параметров глазного яблока в зависимости от ЦТР и переднезадней оси глаза и не нашли отличий в bIOP между группами. При тонкой роговице в глазах без насечек отмечались более высокие значения DA ratio, Integr. Radius в сравнении с контролем (роговица более мягкая), тогда как после кератотомии эти значения резко снижены, следовательно, роговица ригидна. Интересен тот факт, что фактор жесткости фиброзной капсулы (SP-A1) в глазах с тонкой роговицей имеет более низкие значения по сравнению с контролем (полученное нами ранее значение $103,04 \pm 2,36$ мм рт. ст./мм), однако это значение в условиях кератотомии и «тонкой» роговицы принимает значительно более низкие значения. Этот факт может свидетельствовать о том, что РК — фактор, снижающий общую жесткость фиброзной оболочки глаза. При этом общая жесткость глазного яблока (SSI) в глазах с тонкой роговицей без кератотомии была более низкой наравне с жесткостью фиброзной оболочки, тогда как в глазах после кератотомии индекс напряжения-деформации резко повышен независимо от ЦТР.

Выявлено также, что в глазах с тонкой роговицей ВГФ выше, чем в контроле ($49,10 \pm 3,15$), однако этот параметр в глазах с насечками сильно превосходит данное значение. Данные, полученные нами ранее, свидетельствуют о том, что существует зависимость параметров жесткости фиброзной оболочки глаза от ЦТР, однако при проведении в таком глазу радиальной кератотомии эта зависимость резко изменяется, у некоторых параметров на противоположные. При проведенном нами ранее анализе зависимости биомеханических показателей фиброзной оболочки глаза от переднезаднего размера глаза мы получили более низкие значения DA ratio в близоруким глазах в сравнении с контролем ($3,996 \pm 0,050$), однако этот показатель в глазах после перенесенной кератотомии имеет более низкие значения.

Показано, что в глазах с ПЗО более 24,00 мм ВГФ выше, чем в контроле ($30,98 \pm 1,93$), однако этот параметр в глазах с насечками сильно превосходит данное значение.

В ряде отечественных работ авторы отмечают снижение жесткости роговицы после перенесенной РК (уменьшение корнеального гистерезиса и фактора резистентности роговицы), что позволяет предположить, что гиперметропический сдвиг после РК происходит на фоне повышения ВГД и снижения устойчивости роговицы (т.е. уменьшения жесткости) к воздействию, изменяющему ее форму. Авторы предполагают, что этот факт обусловлен исходными особенностями и возрастными изменениями биомеханики фиброзной оболочки глаза в целом и роговицы в частности. Дополнительным фактором, влияющим на формирование биомеханического ответа, могут быть миопические изменения склеры. Авторы делают выводы, частично отличающиеся от наших, что в механизме сдвига рефракции в сторону гиперметропии в отдаленном периоде после РК предположительно можно выделить две составляющие: повышение ВГД и снижение жесткости роговицы [12].

Помимо биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза, нами были исследованы параметры рефракции у наших пациентов, особенно обращает на себя внимание ослабление рефракции — гиперметропический сдвиг (ГС).

Было отмечено, что имеются различия в наличии ГС в глазах после перенесенной РК в зависимости от ЦТР. Распределение глаз в зависимости от гиперметропического сдвига при различных показателях ЦТР представлено на рисунке 3.

На рисунке 3 показано, что у пациентов с тонкой роговицей гиперметропическая рефракция встречается почти в половине случаев, а с возрастанием ЦТР встречаемость ГС снижается.

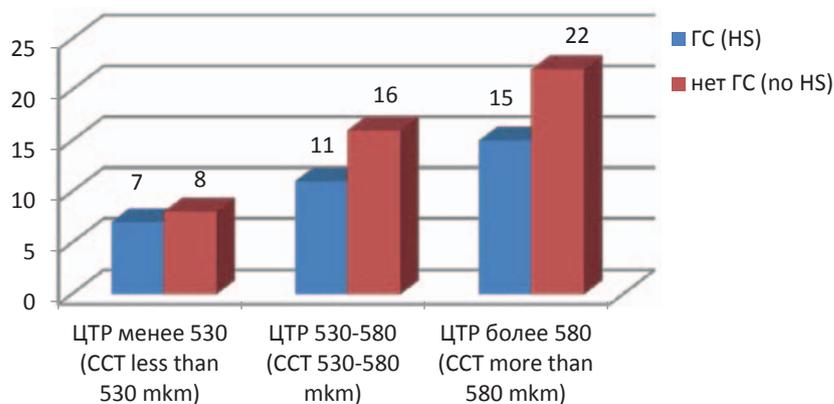


Рис. 3. Встречаемость ослабления рефракции (гиперметропического сдвига) у пациентов после перенесенной кератотомии в зависимости от центральной толщины роговицы

Примечание: ГС — гиперметропический сдвиг.

Fig. 3. The incidence of refraction attenuation in patients after keratotomy, depending on the central corneal thickness

Note: HS — hyperopic shift.

При анализе встречаемости ГС в зависимости от диагноза глаукомы получены следующие данные. В глазах без глаукомы, которых оказалось 40, не установлено нарушение рефракции по типу гиперметропии в 20 глазах (50 %), в 18 глазах (45 %) гиперметропический сдвиг отмечен, в 2 глазах произведена ранее замена хрусталика. В глазах с глаукомой, которых было 47, не установлено нарушения рефракции по типу гиперметропии в 13 глазах (28 %), в 28 глазах (60 %) гиперметропический сдвиг отмечен и в 6 глазах ранее произведена замена хрусталика. Таким образом, чаще ослабление рефракции в глазах после РК встречается в глазах с глаукомным повреждением.

При анализе встречаемости ГС у пациентов после РК в зависимости от толщины роговицы получены следующие данные. В глазах без глаукомы и с толщиной роговицы менее 530 мкм лишь в одном случае не установлена гиперметропическая рефракция против 5 глаз с ГС. Тогда как в глазах с глаукомой и тонкой роговицей не установлен ГС в 6 глазах против 3 глаз с гиперметропией. Таким образом, в глазах с тонкой роговицей после радиальной кератотомии ГС нельзя считать клиническим фактором, характерным для глаукомного поражения глаза. Однако в данной группе мало наблюдений, и исследование стоит продолжить.

В глазах без глаукомы с толщиной роговицы 530–580 мкм равное количество глаз с ГС и без такового составляло 7 и 7 соответственно, тогда как в глазах с глаукомой и «средней» роговицей не установлен ГС лишь в 4 глазах против 9. Можно предположить, что в группе с ЦТР 530–580 мкм после радиальной кератотомии ГС представляет клинический фактор, более характерный для глаукомного глаза. В глазах без глаукомы и с толщиной роговицы более 580 мкм в большем количестве глаз ГС не определяется (в 12 глазах против 6). Вместе с тем в глазах с глаукомой и «толстой» роговицей не было ГС лишь в 3 глазах, тогда как в 16 глазах ГС имел место. По данной группе можно сделать вывод, что в группе с ЦТР более 580 мкм после РК ГС — клинический фактор, характерный для глаукомного поражения глаз.

Таким образом, можно заключить, что в глазах после РК ослабление рефракции чаще встречается при тонкой роговице, характерно для глаз с глаукомой, однако наблюдается зависимость встречаемости от ЦТР. При тонкой роговице ГС чаще встречается в глазах без глаукомы, тогда как при толстой роговице встречаемость ГС в глазах с глаукомой на порядок выше.

ВЫВОДЫ

В представленной группе пациентов после РК глаукома чаще встречалась у пациентов с тонкой роговицей.

Исследуя параметры смещаемости роговицы в глазах после перенесенной радиальной кератотомии в сравнении с близорукими глазами без насечек, мы установили, что в глазах с насечками фиксируется большая жесткость центральной части роговицы (свободной от насечек). Максимальную ригидность демонстрирует роговица после РК и с параметрами ЦТР более 580 мкм. Однако повышенная ригидность центральной части роговицы не вносит значительную погрешность в данные стандартной бесконтактной тонометрии в глазах с «тонкой» и «средней» ВЮР.

Имеют место значительно сниженные параметры жесткости фиброзной капсулы в глазах после радиальной кератотомии в «тонкой» и «средней» роговицах в сравнении со здоровыми близорукими глазами. Сниженная жесткость фиброзной капсулы глаза, исключая глаза с толстой ЦТР, не характерна в общем для глаза с миопией и, возможно, является компенсаторным фактором повышенной ригидности роговицы и самостоятельным фактором риска развития глаукомы при более низких цифрах ВГД.

При этом совершенно необъяснимо повышение общей жесткости глазного яблока (индекса напряжения — деформации SSI), что существенно превосходит таковую в близоруким глазу.

В связи с перечисленными выше биомеханическими особенностями глаза после радиальной кератотомии в разы возрастает риск развития глаукомы при низком ВГД, что демонстрирует индекс ВГФ.

Близорукий глаз и глаз с тонкой роговицей можно рассматривать как фактор риска развития глаукомы. При выполнении в таком глазу кератотомии риск возникновения глаукомы возрастает разительно.

Помимо того, выявлено, что в глазах после РК ослабление рефракции характерно для глаз с глаукомой. В глазах после РК с ЦТР менее 530 мкм ГС встречается чаще, однако в нашей группе он не сопряжен с развитием глаукомы. В глазах со «средней» ЦТР встречаемость ГС меньше, и он больше характерен для глаз с глаукомой. В глазах с ЦТР более 580 мкм ГС встречается гораздо чаще в глазах с глаукомой, что можно рассматривать как детектор глаукомного поражения глаза.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Апостолова А.С. — концепция и дизайн исследования; сбор и обработка материала, статистическая обработка, научное редактирование;
Мальшев А.В. — концепция и дизайн исследования, научное редактирование;
Бойко А.А. — дизайн исследования, техническое редактирование, научное редактирование;
Сергиенко А.А. — статистическая обработка; написание текста; подготовка таблиц, оформление библиографии;
Шпилов В.А. — сбор материала, техническое редактирование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Meek KM, Knupp C. Corneal structure and transparency. *Prog Retin Eye Res*. 2015 Nov;49:1–16. doi: 10.1016/j.preteyeres.2015.07.001. PMC4655862
- Dawson DG, Randleman JB, Grossniklaus HE, O'Brien TP, Dubovy SR, Schmack I, Stulting RD, Edelhauser HF. Corneal ectasia after excimer laser keratorefractive surgery: histopathology, ultrastructure, and pathophysiology. *Ophthalmology*. 2008 Dec;115(12):2181–2191.e1. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.06.008.
- Okafor KC, Brandt JD. Measuring intraocular pressure. *Curr Opin Ophthalmol*. 2015 Mar;26(2):103–109. doi: 10.1097/ICU.0000000000000129.
- Аветисов С.Э. Радиальная кератотомия: история и реальность. *Вестник офтальмологии*. 2021;137(2):123–131.
Avetisov SE. Radial keratotomy: history and current state. *Vestnik oftal'mologii*. 2021;137(2):123–131 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma2021137021123.

5. Ortiz D, Piñero D, Shabayek M, Arnalich-Montiel F, Alió JL. Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconic eyes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2007 August;33(8):1371–1375. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.04.021.
6. Roberts CJ, Mahmoud AM, Bons JP, Hossain A, Elsheikh A, Vinciguerra R, Vinciguerra P, Ambrósio R Jr. Introduction of Two Novel Stiffness Parameters and Interpretation of Air Puff-Induced Biomechanical Deformation Parameters With a Dynamic Scheimpflug Analyzer. *J Refract Surg*. 2017 Apr 1;33(4):266–273. doi: 10.3928/1081597X-20161221-03.
7. Francis BA, Wang M, Lei H, Du LT, Minckler DS, Green RL, Roland C. Changes in axial length following trabeculectomy and glaucoma drainage device surgery. *Br J Ophthalmol*. 2005 Jan;89(1):17–20. doi: 10.1136/bjo.2004.043950.
8. Pradhan ZS, Deshmukh S, Dixit S, Sreenivasaiah S, Shroff S, Devi S, Webers CAB, Rao HL. A comparison of the corneal biomechanics in pseudoexfoliation glaucoma, primary open-angle glaucoma and healthy controls using Corvis ST. *PLoS One*. 2020 Oct 26;15(10):e0241296. doi: 10.1371/journal.pone.0241296. eCollection 2020.
9. Wu N, Chen Y, Yang Y, Sun X. The changes of corneal biomechanical properties with long-term treatment of prostaglandin analogue measured by Corvis ST. *BMC Ophthalmol*. 2020 Oct 20;20(1):422. doi: 10.1186/s12886-020-01693-6.
10. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg*. 2005 Jan;31(1):156–162. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.10.044.
11. Pillunat KR, Herber R, Spoerl E, Erb C, Pillunat LE. A new biomechanical glaucoma factor to discriminate normal eyes from normal pressure glaucoma eyes. *Acta Ophthalmol*. 2019 Nov;97(7):e962–e967. doi: 10.1111/aos.14115.
12. Аветисов С.Э., Антонов А.А., Аветисов К.С., Ведмеденко И.И. Анатомо-функциональные особенности роговицы при прогрессирующей гиперметропии после радиальной кератотомии. Точка зрения. Восток — Запад. 2019;1:34–38. Avetisov SE, Antonov AA, Avetisov KS, Vedmedenko II. Anatomical and functional features of the cornea in progressive hypermetropia after radial keratotomy. *Point of view. East-West*. 2019;1:34–38 (In Russ.).
13. Аветисов С.Э., Антонов А.А., Вострухин С.В. Способ измерения внутриглазного давления у пациентов, перенесших радиальную кератотомию. Патент RU на изобретение 2610556, 13.02.2017. Ссылка активна на 16.11.20. https://yandex.ru/patents/doc/RU2610556C1_20170213 Avetisov SE, Antonov AA, Avetisov KS, Vostrukhin SV. A method for measuring intraocular pressure in patients undergoing radial keratotomy. RU patent for the invention 2610556, 13.02.2017 (In Russ.).
14. Аветисов С.Э., Вострухин С. В., Антонов А. А. Способ прогнозирования риска развития глаукомы у пациентов, перенесших переднюю радиальную кератотомию. Патент RU 2591621, 20.07.2016. Avetisov SE, Antonov AA, Avetisov KS, Vostrukhin SV. A method for predicting the risk of developing glaucoma in patients undergoing anterior radial keratotomy. RU patent for the invention 2591621 (In Russ.).
15. Elsheikh A, Geraghty B, Rama P, Campanelli M, Meek KM. Characterization of age-related variation in corneal biomechanical properties. *J R Soc Interface*. 2010 Oct 6;7(51):1475–485. doi: 10.1098/rsif.2010.0108.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ООО «Три-З»

Апостолова Анастасия Станиславовна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, врач диагностического отделения
ул. Красных Партизан, 18, Краснодар, 350047, Российская Федерация

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края

Малышев Алексей Владиславович
доктор медицинских наук, заведующий офтальмологическим отделением края, главный офтальмолог Министерства здравоохранения Краснодарского края
ул. 1 Мая, 167, Краснодар, 350086, Российская Федерация

ООО «Три-З»

Бойко Александр Александрович
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог высшей квалификационной категории, офтальмохирург
ул. Красных Партизан, 18, Краснодар, 350047, Российская Федерация

ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» Министерства здравоохранения Краснодарского края

Сергиенко Алексей Анатольевич
врач-офтальмолог высшей квалификационной категории
пл. Победы, 1, Краснодар, 1350007, Российская Федерация

ООО «Три-З»

Шипилов Владимир Александрович
врач-офтальмолог диагностического отделения, заместитель медицинского директора по общим вопросам
ул. Красных Партизан, 18, Краснодар, 350047, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Tri-Z

Apostolova Anastasiya S.
PhD, ophthalmologist of Diagnostic department, ophthalmologist of the highest qualification category
Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation

Research Institute — Regional Clinical Hospital No. 1 named after prof. S.V. Ochapovsky Malyshev Alexey V.

MD, head of the Ophthalmology department, chief ophthalmologist of the Ministry of Health of the Krasnodar Territory
1 May str., 167, Krasnodar, 350086, Russian Federation

Tri-Z

Boiko Aleksandr A.
PhD, ophthalmologist of Diagnostic department, ophthalmologist of the highest qualification category, ophthalmosurgeon
Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation

Children's Regional Clinical Hospital

Sergienko Aleksey A.
ophthalmologist of the highest qualification category
Pobedy sq., 1, Krasnodar, 1350007, Russian Federation

Tri-Z

Shipilov Vladimir A.
ophthalmologist of Diagnostic department
Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation