

Особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя биомеханического глаукомного фактора в различных клинических ситуациях

А.С. Апостолова¹А.В. Малышев^{2,4}А.А. Сергиенко³И.А. Петросян⁴, М.А. Славова¹, Н.Н. Пономарева¹¹ 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 Федерация⁴ ФГБОУ ВО «Нубанский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Митрофана Седина, 4, Краснодар, 350063, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(2):413–422

Цель: провести анализ биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и биомеханического глаукомного фактора (показателя скрининга на глаукому низкого давления), исследованных прибором «Oculus Corvis ST» в различных клинических ситуациях. **Пациенты и методы.** Исследование включало 382 глаза, с глаукомой 181 глаз (47 %), без глаукомы — 201 глаз (53 %). Пациентов разделили на группы: без глаукомы, с глаукомой (ПОУГ, ГНД, ПЭГ), с кератотомией, в зависимости от ЦТР и ПЗО. Томографию роговицы и биомеханические параметры измеряли с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST соответственно. **Результаты.** У пациентов без глаукомы с возрастом происходит увеличение жесткости глаза (возрастание SSI), еще более высокое SSI в группе ПЭГ, более высокие значения BGF по сравнению с контролем. При ПЭГ ЦТР более тонкая, $p = 0.005$, bIOP выше $p = 0.038$, SSI выше $p = 0.00$, чем в контроле. При ГНД ЦТР тоньше, $p = 0.002$, bIOP ниже $p = 0.000$, DA ratio, R выше ($p = 0.000$), чем в контроле. Во всех группах BGF выше, чем в контроле (ПОУГ $p = 0.016$, ПЭГ и ГНД $p = 0.000$). При кератотомии DA ratio, R и SP-A1 $p = 0.000$, ниже, чем при миопии, а SSI выше, $p = 0.000$, BGF почти вдвое выше. При тонкой роговице ниже, чем в контроле DA ratio, R, SP-A1 ($p = 0.000$) и SSI $p = 0.044$, BGF выше $p = 0.000$. При ПЗО более 24,00 мм ниже DA ratio $p = 0.034$, BGF выше $p = 0.000$. **Заключение.** С возрастом при разной ЦТР, при возрастании ПЗО, при разных формах глаукомы и кератотомии меняются показатели фиброзной оболочки глаза.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, псевдоэксфолиативная глаукома, глаукома низкого давления, кератотомия, центральная толщина роговицы, тонометрия, роговично-компенсированное давление, биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза

Для цитирования: Апостолова А.С., Малышев А.В., Сергиенко А.А., Петросян И.А., Славова М.А., Пономарева Н.Н. Особенности биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя биомеханического глаукомного фактора в различных клинических ситуациях. *Офтальмология*. 2022;19(2):413–422. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-413-422>

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 Eye Fibrous Membrane and the Index of the Biomechanical Glaucoma Factor in Various Clinical Situations

A.S. Apostolova¹, A.V. Malyshev^{2,4}, A.A. Sergienko³, I.A. Petrosyan⁴, M.A. Slavova¹, N.N. Ponomareva¹

¹ "Tri-Z" Ltd

Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation

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

³ Children's Regional Clinical Hospital
Victory sq., 1, Krasnodar, 350007, Russian Federation

⁴ Kuban State Medical University
Mitrofan Sedin str., 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(2):413–422

Objective: to analyze the biomechanical parameters of the eye fibrous membrane and the biomechanical glaucoma factor (screening index for low-pressure glaucoma) studied by the Oculus Corvis ST device in various clinical situations. **Patients and Methods:** the study included 382 eyes, 181 eyes with glaucoma (47 %), 201 eyes without glaucoma (53 %). Patients were divided into groups: without glaucoma, with glaucoma (POAG, NTG, PEG), with keratotomy, depending on the CCT and axial length. Corneal tomography and biomechanical parameters were measured using Pentacam (Oculus) and Corvis ST, respectively. **Results** in patients without glaucoma, the stiffness of the eye increases with age (increasing SSI). Even higher SSI in the PEX group. Higher BGF values compared to the control. With PEG, the CCT is thinner, $p = 0.005$, bIOP is higher than $p = 0.038$, SSI is higher than $p = 0.00$ than in the control. With NTG, the CCT is thinner, $p = 0.002$, bIOP is lower than $p = 0.000$, DA ratio, R is higher ($p = 0.000$) than in the control. In all groups, BGF is higher than in the control (POAG $p = 0.016$, PEG and NTG $p = 0.000$). With keratotomy, DA ratio, R and SP-A1 $p = 0.000$, lower than with myopia, and SST is higher, $p = 0.000$, BGF is almost twice as high. With a thin cornea, the DA ratio, R, SP-A1 ($p = 0.000$) and SSI $p = 0.044$ are lower than in the control, BGF is higher than $p = 0.000$. With a axial length of more than 24.00 mm below the DA ratio $p = 0.034$, BGF above $p = 0.000$. **Conclusion:** with age, with different CCT, with increasing axial length, with different forms of glaucoma and keratotomy, the indicators of the fibrous membrane of the eye change.

Keywords: primary open angle glaucoma, pseudoexfoliative glaucoma, low-pressure glaucoma

For citation: Apostolova A.S., Malyshev A.V., Sergienko A.A., Petrosyan I.A., Slavova M.A., Ponomareva N.N. Features of the Biomechanical Parameters of the Eye Fibrous Membrane and the Index of the Biomechanical Glaucoma Factor in Various Clinical Situations. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(2):413–422. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-413-422>

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

There is no conflict of interests

Роговица — уникальная биологическая ткань, которая отвечает за четкую фокусировку световых лучей на сетчатке. Для этого она имеет идеально построенную асферическую форму, которая должна быть достаточно жесткой, чтобы противостоять случайным внешним воздействиям и выдерживать внутриглазное давление (ВГД), не теряя своей формы или прозрачности. Это возможно благодаря гистологической структуре роговицы, которая придает ткани сложные вязкоупругие биомеханические свойства [1], играющие важную роль в краткосрочной эластичности, а также в долгосрочных изменениях жесткости.

Однако структура роговицы может быть нарушена некоторыми клиническими ситуациями, которые могут быть физиологическими, как процессе старения, патологическими, как при развитии эктатических заболеваний, или терапевтическими при операциях по лазерной коррекции зрения на роговице [2]. Эти события влияют на биомеханическое поведение роговицы и могут привести к изменениям в геометрии роговицы при изменениях ВГД и воздействовать на точность измерения офтальмотонуса, влияя на лечение глаукомы [3].

В России, по данным статистики, от глаукомы страдает около 1 млн человек (711 пациентов на 100 тыс. населения), а среди 218 тыс. слепых и слабовидящих значительная доля приходится на больных глаукомой. В Краснодарском крае на долю глаукомы приходится не менее трети всех случаев первичного выхода на инвалидность. Наибольшее количество исследований посвящено выявлению и изучению факторов риска развития и прогрессирования глаукомы. Среди них ведущее место занимают: неконтролируемое высокое внутриглазное давление и его суточные колебания, позднее выявление глаукомы, неполноценное диспансерное наблюдение [4, 5].

В настоящее время мы имеем возможность измерять механические свойства роговицы *in vivo* с помощью таких параметров, как гистерезис роговицы (CH) и коэффициент сопротивления роговицы (CRF), получаемые при помощи анализатора биомеханических свойств роговицы — прибора ORA [6], и параметр жесткости (SP) [7] от CorVis ST, Oculus. Эти параметры достаточно хорошо изучены при эктазиях роговицы, коррелируют с диагнозом «кератоконус» и показали значительное

улучшение после проведения кросслинкинга. Однако они не отражают состояние фиброзной оболочки глаза в динамике, при этом не имея зависимости от влияния геометрии роговицы и уровня ВГД.

Многими авторами признана наиболее оптимальной методика измерения ВГД по методу эластотонометрии и двунаправленной пневмоаппланации роговицы [6, 8, 9], методик с возможностью получения роговично-компенсированного ВГД.

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), которая, однако, широкого клинического применения в глаукомной практике в России пока не имеет. 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 (здоровым эметропичным глазом), в некоторых случаях дополнительно учитывают рефракцию и стадию глаукомы [10]. Однако на данный показатель дополнительно оказывают влияние возраст, уровень внутриглазного давления, длительность гипотензивной терапии, переднезадняя ось глаза, объем передней камеры глаза, состояние глазной поверхности, антиглаукомные вмешательства в анамнезе, наличие псевдоэксфолиативного синдрома, перенесенные кераторефракционные вмешательства [11, 12].

Анализ биомеханических показателей позволяет дополнительно оценивать риски прогрессирования глаукомы, чему посвящен ряд научных работ [6, 10].

Особый интерес представляет возможность прогнозирования при помощи «Oculus Corvis ST» развития глаукомы у пациента при низких цифрах внутриглазного давления. Зарубежными авторами проведено исследование на 70 глазах с глаукомой низкого давления, которое показало 76 %-ную чувствительность и 77 %-ную специфичность метода. Однако, по мнению авторов, данная методика для оценки глаукомы низкого давления (ГНД) применима в случае низких цифр офтальмотонуса и ранее не леченого глаза, так как и тот и другой фактор меняют биомеханику фиброзной оболочки глаза [13].

Цель: провести анализ биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и биомеханического глаукомного фактора (показателя скрининга на глаукому низкого давления), исследованных с помощью прибора «Oculus Corvis ST» в различных клинических ситуациях.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 382 глаза пациентов, обратившихся за диагностическим обследованием в клинику. У всех пациентов была нормальная топография роговицы. Пациенты уже наблюдались с установленным диагнозом глаукомы или обратились с диагнозом «подозрение на глаукому».

Средний возраст пациентов составил $59,90 \pm 0,68$ года. Группа имела не равное гендерное распределение, мужчин было 110 (29 %), женщин — 272 (71 %). Средняя центральная толщина роговицы составила $555,110 \pm 2,404$ мкм.

Диагноз глаукомы был установлен в 181 глазу (47 %), глаукома не установлена — в 201 глазу (53 %).

У пациентов с глаукомным повреждением начальная стадия была диагностирована в 81 глазу (45 % случаев), развитая — в 50 глазах (28 % случаев), далекозашедшая — в 37 глазах (20 % случаев), терминальная — в 13 глазах (7 % случаев). Пациенты с глаукомой с целью выявления особенностей биомеханических параметров глаза были разделены на несколько групп: глаукома низкого давления (ГНД), первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ), псевдоэксфолиативная глаукома (ПЭГ). Пациентов без признаков глаукомы мы также разделили на клинические группы: в зависимости от величины передне-задней оси глаза и наличия либо отсутствия ПЭС синдрома.

Мы также выделили группу пациентов после перенесенной кератотомии — 29 глаз, в которой в 18 глазах мы верифицировали глаукому, в 11 глазах глаукома отсутствовала.

В группу сравнения вошли 18 глаз — без глаукомы, с размером глаза не более 24,00 мм, в возрасте до 45 лет, без признаков ПЭС. Среднее значение ПЗО составило $23,29 \pm 0,13$ мм, средняя ЦТР — $566,89 \pm 6,3$ мкм. Среднее ВГД, измеренное пневмотонометрически, составило $18,35 \pm 0,73$ мм рт. ст., среднее скорректированное ВГД (bIOP) — $16,37 \pm 0,56$ мм рт. ст., средний DA ratio — $4,02 \pm 0,08$, средний интегральный радиус (R) — $7,63 \pm 0,23$ мм, средний SP A1 — $115,64 \pm 6,77$ мм рт. ст./мм, среднее значение SSI — $1,21 \pm 0,05$, BGF (скрининг на глаукому низкого давления) составил $7,44 \pm 1,31$.

Диагностическое обследование на глаукому включало визометрию, тонометрию, пахиметрию, гониоскопию, оптическую когерентную томографию (Cirrus HD-OCT 5000 (CarlZeiss)), стандартную автоматизированную периметрию (САП) на периметре «TomeyAP-1000» по программе «глаукома скрининг». Биометрические параметры глаза исследовали на приборе «Zeiss IOL Master 700». Стандартную бесконтактную тонометрию проводили с помощью прибора «Reichert 7 CR» с возможностью получения роговично-компенсированного давления. Томографию роговицы и биомеханические параметры измеряли с помощью Pentacam (Oculus) и CorVis ST соответственно.

Технология CorVis ST внедрена в 2010 году и в настоящее время достаточно изучена. Позже, в 2017 году были введены два параметра жесткости — один при первом применении (SP-A1) и один — при наибольшей глубине (SP-HC). SP-A1 — уникальный параметр жесткости, описывается в виде формулы силы, деленной на смещение роговицы, и определен конечным значением давления, разделенным на амплитуду прогиба, который

измеряется в мм рт. ст./мм. Это разность между силой воздушного импульса на поверхности роговицы и биомеханически скорректированным ВГД.

Показатель DA Ratio указывает на соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-мм зоне, а также позволяет судить о степени жесткости роговицы. Чем жестче роговица, то есть чем более устойчива к деформациям, тем меньше разброс значений в центре и 2-мм зоне. Очень большой пик, указывающий на соотношение деформации в центре и на периферии в 2-мм зоне, говорит о том, что в центре роговица очень растянута, это, в свою очередь, косвенно указывает на увеличение эластичности ткани.

Integr. Radius (R) — радиус роговицы, вписанный в вогнутую поверхность, или обратное значение вписанного радиуса кривизны роговицы. Чем меньше вдавливание (то есть «жесткая» роговица), тем больше радиус, следовательно, обратное значение этого радиуса меньше. Другими словами, чем выше значения R, тем больше жесткость роговицы.

Stress Strain Index (SSI) — индекс напряжения и деформации, характеризующий жесткость роговицы. SSI — индекс напряженно-деформированного состояния — параметр жесткости материала. Этот фактор был принят за 1,0 для среднего экспериментального поведения, полученного для ткани роговицы с возрастом 50 лет [15]. Более высокие значения SSI в этом случае будут свидетельствовать о более высокой жесткости ткани, и наоборот. SSI — параметр, направленный на устранение зависимости роговично-компенсированного ВГД

от биомеханики роговицы и оценки жесткости материала, которая отличается от параметра жесткости (SP). Алгоритм SSI был основан на прогнозировании поведения роговицы с использованием численного моделирования методом конечных элементов, имитирующего влияние ВГД и воздушного потока Corvis ST на поведение роговицы. SSI включает функцию биомеханики всего глаза, а не только роговицы.

BGF — биомеханический глаукомный фактор — показатель, отражающий возможность развития глаукомы при низких цифрах ВГД в глазу. Его можно считать скринингом на глаукому низкого давления.

Статистическую обработку полученных результатов проводили 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

Был проведен анализ уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов без глаукомы, которые были разделены на группы. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов без глаукомы в зависимости от клинической ситуации

Table 1. Indicators of the level of IOP, biomechanical parameters of the eye fibrous membrane and the screening index for low-pressure glaucoma in patients without glaucoma, depending on the clinical situation

Показатели / Indicators	Без ПЭС / Without PEX	ПЭС / PEX	Миопия / Myopia	Группа контроля / Control group
ЦТР (мкм) / CCT (mkm)	565,30 ± 4,50	558,68 ± 8,37	548,73 ± 9,64	566,89 ± 6,30
ВГД По (мм рт. ст.) / IOP Po (mm Hg)	18,48 ± 0,60	19,00 ± 1,06	18,23 ± 0,83	18,35 ± 0,73
ВГД Макл (мм рт. ст.) / IOP Makl (mm Hg)	22,83 ± 0,52	19,00 ± 0,58	22,67 ± 1,80	-
biOP мм рт. ст. / biOP (mm Hg)	15,41 ± 0,30	14,97 ± 0,62	16,47 ± 0,48	16,37 ± 0,56
DA ratio	4,19 ± 0,07	4,14 ± 0,12	4,15 ± 0,07	4,02 ± 0,08
Integr. Radius (R) (мм / mm)	7,78 ± 0,13	7,49 ± 0,24	7,73 ± 0,19	7,63 ± 0,23
SP-A1 мм рт. ст./мм. / mm Hg/mm	122,15 ± 3,10	126,5 ± 4,40	120,88 ± 2,27	115,64 ± 6,77
SSI	1,34 ± 0,03	1,42 ± 0,05	1,15 ± 0,03	1,21 ± 0,05
BGF	19,41 ± 2,3*	33,76 ± 5,21**	26,55 ± 2,90**	7,44 ± 1,31

Примечание: * — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля. ЦТР — центральная толщина роговицы; ВГД По — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; ВГД Макл — ВГД, полученное 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 напряженно-деформации; BGF — биомеханический глаукомный фактор.

** — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля $p = 0,000$.

Note: * — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group. CCT — central corneal thickness; IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; IOP Mcl — IOP, obtained by measurement using the Maklakov 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.

** — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group $p = 0,000$.

В первую группу вошли лица без глаукомы, без признаков ПЭС, с размером глаза не более 24,00 мм, в возрасте более 45 лет. Данная группа включала 85 глаз с ПЗО $23,10 \pm 0,70$ мм.

Во вторую группу вошли лица без глаукомы, с признаками ПЭС, с размером глаза не более 24,00 мм, в возрасте старше 45 лет. Данная группа включала 22 глаза с ПЗО $23,11 \pm 0,15$ мм.

В третью группу вошли лица без глаукомы, без признаков ПЭС, с размером глаза более 24,00 мм, старше 45 лет. Данная группа включала 62 глаза с ПЗО $25,51 \pm 0,25$ мм.

Было получено отличие в первой группе по сравнению с группой контроля, касающееся значения индекса SSI, где показатель достоверности составил $p = 0,025$, что связано с увеличением жесткости глаза с возрастом, в то время как по остальным параметрам достоверных различий не было. Эти данные согласуются с результатами зарубежных авторов, которые выяснили, что этот параметр не коррелирует с ЦТР и ВГД, однако имеет значительную корреляцию с возрастом [14].

По данным китайских авторов, SSI также был связан с возрастом, осевой длиной глаза, ВГД, наибольшим радиусом передней кривизны роговицы, и не связан с полом, объемом передней камеры (ACV), bIOP, наименьшим радиусом передней кривизны роговицы и ЦТР [16].

Мы получили также еще более высокое значение индекса SSI в группе пациентов с ПЭС в сравнении с группой контроля, $p = 0,007$, что свидетельствует об увеличении

жесткости глаза при ПЭС-синдроме. Мы получили также очевидные более высокие значения SP-A1 в данной группе, однако показатель достоверности составил $p = 0,175$.

По данным обследования найдено достоверное различие при анализе биомеханического глаукомного фактора, по сравнению с группой контроля в 1-й группе $p = 0,016$, во 2-й группе $p = 0,000$, в 3-й группе $p = 0,000$. Эти данные демонстрируют, что с возрастом риск глаукомного повреждения даже при относительном благополучии уровня офтальмотонуса возрастает независимо от наличия миопии и ПЭС, и можно рассматривать возраст как независимый фактор риска глаукомы.

Далее были проанализированы показатели при различных видах глаукомы и проведено сравнение их с группой контроля. Показатели представлены в таблице 2.

В первой группе представлены глаза с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ), которых было большинство — 88 глаз, во второй группе глаза с псевдоэксфолиативной глаукомой — 71 глаз. Пациентов с глаукомой низкого давления оказалось меньшинство — 11 глаз, у которых ПЗО составило $24,78 \pm 39,55$ мм.

В группе пациентов с ПЭГ мы получили отличие относительно центральной толщины роговицы, которая оказалась тоньше, $p = 0,005$. Также мы получили более высокие значения ВГД пневмотонометрического, $p = 0,04$, и роговично-компенсированного, $p = 0,038$. Уровень SSI в группе ПЭГ оказался достоверно выше, $p = 0,001$, что вновь демонстрирует повышенную жесткость глаза при ПЭС синдроме.

Таблица 2. Показатели уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов с глаукомой в зависимости от клинической ситуации

Table 2. Indicators of the level of IOP, biomechanical parameters of the eye fibrous membrane and the screening index for low-pressure glaucoma in patients with glaucoma, depending on the clinical situation

Показатели / Indicators	Группы / Groups	ПОУГ / POAG	ПЭГ / PEG	ГНД / NTG	Группа контроля / Control group
ЦТР мкм / CCT (mkm)		554,97 $\pm$ 3,80	544,30 $\pm$ 4,06*	522,45 $\pm$ 13,30*	566,89 $\pm$ 6,30
ВГД По мм рт. ст. / IOP Po (mm Hg)		20,26 $\pm$ 0,92	20,86 $\pm$ 0,95*	12,82 $\pm$ 0,64**	18,35 $\pm$ 0,73
ВГД Макл мм рт. ст. / IOP Makl (mm Hg)		23,00 $\pm$ 1,40	24,57 $\pm$ 1,00	-	-
bIOP мм рт. ст. / bIOP (mm Hg)		17,93 $\pm$ 0,67	18,1 $\pm$ 0,60*	12,83 $\pm$ 0,28**	16,37 $\pm$ 0,56
DA ratio		4,08 $\pm$ 0,07	4,02 $\pm$ 0,08	4,93 $\pm$ 0,15**	4,02 $\pm$ 0,08
Integr. Radius (R) (мм / mm)		7,64 $\pm$ 0,18	7,51 $\pm$ 0,17	9,40 $\pm$ 0,26**	7,63 $\pm$ 0,23
SP-A1 мм рт. ст./мм / mm Hg/mm		125,87 $\pm$ 2,52	127,22 $\pm$ 2,9	103,10 $\pm$ 6,61	115,64 $\pm$ 6,77
SSI		1,22 $\pm$ 0,03	1,42 $\pm$ 0,04*	1,10 $\pm$ 0,06	1,21 $\pm$ 0,05
BGF		19,83 $\pm$ 2,27*	27,48 $\pm$ 2,54**	67,27 $\pm$ 9,60**	7,44 $\pm$ 1,31

Примечание: * — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля. ЦТР — центральная толщина роговицы; ВГД По — ВГД измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; ВГД Макл — ВГД, полученное 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.

** — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля $p = 0,000$.

Note: * — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group. CCT — central corneal thickness; IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; IOP Mcl — IOP, obtained by measurement using the Maklakov 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.

** — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group $p = 0,000$.

Из проведенного анализа следует, что в группе с глаукомой низкого давления центральная толщина роговицы достоверно отличается от группы контроля, $p = 0.002$, что позволяет считать, что «тонкая» роговица — часть клинической картины болезни ГНД. Некоторые авторы называют ЦТР самостоятельным фактором риска глаукомы, однако мы не можем сделать такой вывод из-за малого количества наблюдений. В группе с ГНД отмечается более низкий уровень ВГД, полученный пневмотонометрически, $p = 0,000$. Такие же данные по уровню офтальмотонуса имеются при использовании Corvis ST, это позволяет сделать вывод, что низкое значение ВГД не определяется более низкими показателями ЦТР, данные которой скорректированы при проведении исследования. Показатель DA ratio и интегральный радиус вдавления в группе с ГНД имеет достоверно более высокие цифры по сравнению с группой контроля и с другими формами глаукомы, $p = 0,000$, что свидетельствует о пониженной жесткости фиброзной оболочки глаза. Вместе с тем показатель SP-A1 в группе ГНД хотя и имеет более низкое значение в сравнении с контролем, но эта разница недостоверна, $p = 0,225$. Кроме того, было получено более низкое значение индекса SSI в группе ГНД, но разница не была достоверна, $p = 0,17$.

Во всех группах получены завышенные показатели биомеханического глаукомного фактора по сравнению с контролем. В группе ПОУГ $p = 0,016$, в группах ПЭГ и ГНД $p = 0,000$.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что фиброзная оболочка глаза при ГНД более эластичная и мягкая, тогда как при ПЭГ она обладает повышенной жесткостью.

Надо отметить, что в группе ПОУГ не обнаружены отличия в показателях фиброзной оболочки глаза от группы контроля. В то время как по данным зарубежных авторов существует достоверная разница между глазами с ПОУГ и нормальными глазами относительно биомеханических параметров роговицы и уровня получаемого ВГД, биомеханические параметры не достигают хорошего уровня прогностической точности для выявления ПОУГ [17].

Интересные данные получены при исследовании глаз с ПЗУГ. Обнаружено, что больший объем передней камеры (ACV) был связан с меньшей максимальной амплитудой на вершине наибольшей вогнутости (DA) и более высоким параметром жесткости (SP-A1) в глазах с первичным закрытием угла [18].

Особый интерес вызывают пациенты с кератотомией. Диагноз глаукомы в таких глазах зачастую вызывает крайние затруднения в связи со сложностью контроля ВГД и оценки морфометрических изменений диска зрительного нерва и сетчатки. Для России и постсоветского пространства эта проблема наиболее актуальна в связи с наибольшим распространением этой методики коррекции миопии и достаточно изучена [19]. С учетом того, что пациенты, перенесшие радиальную кератотомию

Таблица 3. Показатели уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов с кератотомией в сравнении со здоровыми близорукими глазами

Table 3. Indicators of the level of IOP, biomechanical parameters of the eye fibrous membrane and the screening index for low-pressure glaucoma in patients with keratotomy in comparison with healthy myopic eyes

Показатели / Indicators	Группы / Groups	Кератотомия / Keratotomy	Группа контроля / Control group
ПЗО (мм) / AxL-axial length (mm)		26,06 ± 0,28	25,55 ± 0,24
ЦТР (мкм) / CCT (mkm)		566,0 ± 8,14	548,73 ± 9,64
ВГД Po (мм рт. ст.) / IOP Po (mm Hg)		20,90 ± 1,20	18,23 ± 0,83
ВГД Макл (мм рт. ст.) / IOP Makl (mm Hg)		20,00 ± 1,00	22,67 ± 1,80
biOP (мм рт. ст. / mm Hg)		16,95 ± 0,92	16,46 ± 0,48
DA ratio		3,26 ± 0,10**	4,15 ± 0,07
Integr. Radius (R) (мм / mm)		5,96 ± 0,30**	7,73 ± 0,19
SP-A1 мм рт.ст./мм / mm Hg/mm		99,98 ± 3,07**	120,88 ± 2,27
SSI		1,78 ± 0,01**	1,15 ± 0,03
BGF		47,52 ± 4,68**	26,55 ± 2,90

Примечание: * — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля. ПЗО — передне-задняя ось глаза, ЦТР — центральная толщина роговицы; ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; ВГД Макл — ВГД, полученное 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.

** — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля $p = 0,000$.

Note: * — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group. AxL — axial length; CCT — central corneal thickness; IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; IOP Makl — IOP, obtained by measurement using the Maklakov 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.

** — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group $p = 0,000$.

в юности, в данное время перешли в старшую возрастную группу, риск развития глаукомы у них возрастает. Отечественными авторами разработана наиболее точная методика контроля ВГД — точечная контактная методика контроля ВГД между насечками в парацентральной зоне.

Мы исследовали 29 глаз после перенесенной кератотомии, в 11 глазах (38 %) глаукома не верифицирована, в 18 (62 %) — диагноз установлен. Средний возраст в группе составил $61,45 \pm 1,26$ года.

Для данной группы в качестве контроля выбраны пациенты без глаукомы, без ПЭС с переднезадней осью глаза более 24,00 мм, в возрасте более 45 лет.

При анализе этих данных не отмечена достоверная разница в ЦТР между группами, $p = 0,258$. Также не отмечена достоверная разница в уровне ВГД, измеренного разными способами, в том числе методом пневмотонометрии, где $p = 0,072$, тогда как при исследовании Corvis ST $p = 0,613$.

Однако установлена высоко достоверная разница в показателях биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза у пациентов с кератотомией по сравнению со здоровыми глазами с миопией: показатели жесткости и эластичности глаза изменены в сторону уменьшения (DA ratio, Integr. Radius и SP-A1 $p = 0,000$), а показатель SST увеличен в сравнении с контролем, $p = 0,000$.

Обращает на себя внимание биомеханический глаукомный фактор, который почти вдвое увеличен в глазах после кератотомии в сравнении с близоруким глазом без насечек. Это свидетельствует о повышенном риске

развития глаукомы при низких цифрах офтальмотонуса в глазах, перенесших кератотомию.

Мы обратили внимание на то, что параметры фиброзной оболочки глаза отличаются в зависимости от толщины роговицы в центральной зоне. Данные представлены в таблице 4.

Глаза были разделены на две группы: с ЦТР менее 520 мкм — 67 (17,6 %) глаз и с ЦТР более 520 мкм — 314 (82,14 %).

Из представленных данных видно, что ВГД, полученное пневмотонометрически, занижено в группе с тонкой роговицей, $p = 0,000$, тогда как компенсированное ВГД не различается, $p = 0,21$.

Было получено высоко достоверное отличие между группами по таким показателям, как DA ratio, Integr. Radius и SP-A1, где $p = 0,000$, индекс SSI тоже был снижен в группе с тонкой роговицей, $p = 0,044$, что свидетельствует о том, что тонкая роговица встречается в глазах с пониженной жесткостью фиброзной оболочки глаза. Обращает на себя внимание более чем двукратное возрастание возможности развития глаукомы при низких цифрах офтальмотонуса в глазах с тонкой роговицей. Из этих данных следует вывод, что тонкая роговица — фактор риска развития глаукомы низкого давления.

Примечательно, что параметры фиброзной оболочки глаза отличаются в зависимости от переднезаднего размера глаза. Данные представлены в таблице 5.

Пациенты были разделены на две группы: с ПЗО менее 24,00 мм — 217 глаз, с ПЗО более 24,00 мм — 164.

Было получено достоверное отличие между группами по показателю DA ratio $p = 0,034$, значения SP-A1

Таблица 4. Показатели уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов в зависимости от центральной толщины роговицы

Table 4. Indicators of the level of IOP, biomechanical parameters of the eye fibrous membrane and the screening index for low-pressure glaucoma in patients, depending on the central corneal thickness

Показатели / Indicators	Группы / Groups	ЦТР менее 520 мкм / CCT less than 520 microns	ЦТР более 520 мкм / CCT more than 520 microns
ЦТР (мкм) / CCT (mkm)		491,61 ± 6,80	558,66 ± 1,76
ВГД По (мм рт. ст.) / IOP Po (mm Hg)		15,85 ± 0,82**	20,05 ± 0,39
biOP (мм рт. ст. / mm Hg)		16,03 ± 0,60	16,85 ± 0,26
DA ratio		4,6 ± 0,08**	3,97 ± 0,035
Integr. Radius (R) (мм / mm)		8,88 ± 0,18**	7,34 ± 0,08
SP-A1 мм рт. ст./мм / mm Hg/mm)		103,04 ± 2,36**	125,81 ± 1,34
SSI		1,24 ± 0,04*	1,33 ± 0,02
BGF		49,10 ± 3,15**	20,29 ± 1,14

Примечание: * — показатель достоверности различия между группами. ЦТР — центральная толщина роговицы; ВГД По — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; ВГД Макл — ВГД, полученное 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.

** — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля $p = 0,000$.

Note: * — an indicator of the reliability of the difference in clinical indicators between groups. CCT — central corneal thickness; IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; IOP Mcl — IOP, obtained by measurement using the Maklakov 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.

** — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group $p = 0,000$.

Таблица 5. Показатели уровня ВГД, биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза и показателя скрининга на глаукому низкого давления у пациентов в зависимости от передне-задней оси глаза**Table 5.** Indicators of the level of IOP, biomechanical parameters of the eye fibrous membrane and the screening index for low-pressure glaucoma in patients, depending on the axial length

Показатели / Indicators	ПЗО менее 24,00 / Axial length less than 24.00 mm	ПЗО более 24,00 / Axial length more than 24.00 mm
ПЗО (мм) / AxL axial length (mm)	23,03 ± 0,05	25,67 ± 0,13
ЦТР (мкм) / CCT (mkm)	557,86 ± 2,70	551,47 ± 4,30
ВГД Po (мм рт. ст.) / IOP Po (mm Hg)	19,30 ± 0,48	19,33 ± 0,54
blOP (мм рт. ст. / mm Hg)	16,60 ± 0,33	16,84 ± 0,34
DA ratio	4,14 ± 0,05*	4,00 ± 0,05
Integr. Radius (R) (мм / mm)	7,67 ± 0,01	7,52 ± 0,13
SP-A1 мм рт. ст./мм / mm Hg/mm	123,97 ± 1,81	119,16 ± 1,68
SSI	1,34 ± 0,02	1,28 ± 0,03
BGF	20,52 ± 1,50**	30,98 ± 1,93

Примечание: * — показатель достоверности различия между группами. ЦТР — центральная толщина роговицы; ВГД Po — ВГД, измеренное методом стандартной бесконтактной тонометрии; ВГД Макл — ВГД, полученное при измерении по методу Маклакова; blOP — 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.

** — показатель достоверности различия по сравнению с группой контроля $p = 0,000$.

Note: * — an indicator of the reliability of the difference in clinical indicators between groups. AxL — axial length; CCT — central corneal thickness; IOP Po — intraocular pressure, measured by standard non-contact tonometry; IOP Mcl — IOP, obtained by measurement using the Maklakov method; blOP — 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.

** — the indicator of the reliability of the difference compared to the control group $p = 0,000$.

и индекса SSI, хотя они были ниже в глазах с ПЗО более 24,00 мм, но эта разница была недостоверна, $p = 0,059$ и $p = 0,055$ соответственно. Обращает на себя внимание почти двукратное возрастание возможности развития глаукомы при низких цифрах офтальмотонуса в глазах с ПЗО более 24,00 мм. Из этих данных следует вывод, что близорукий глаз можно рассматривать как фактор риска глаукомы низкого давления.

Выводы

При анализе пациентов без глаукомы можно отметить, что с возрастом происходит увеличение жесткости глаза, о чем свидетельствует возрастание индекса SSI. Также отмечено еще более высокое значение индекса SSI в группе пациентов с ПЭС, более высокие значения SP-A1 (однако $p = 0,175$), что говорит об увеличении жесткости глаза при ПЭС-синдроме. По нашим данным получены более высокие значения биомеханического глаукомного фактора, по сравнению с группой контроля, а это показывает, что с возрастом риск глаукомного повреждения даже при относительном благополучии уровня ВГД возрастает и можно рассматривать возраст как независимый фактор риска глаукомы.

При анализе данных пациентов с глаукомой были сделаны следующие выводы. В группе пациентов с ПЭГ центральная толщина роговицы оказалась меньше, $p = 0,005$, тогда как значения ВГД оказались выше по сравнению с группой контроля (пневмотонометрического $p = 0,04$ и blOP $p = 0,038$). Показатель SSI вновь

продемонстрировал повышенные значения в группе ПЭГ ($p = 0,001$). Установлено, что в группе с ГНД центральная толщина роговицы меньше, чем в контроле ($p = 0,002$), это позволяет считать, что тонкая роговица является самостоятельным фактором риска глаукомы. В группе с ГНД отмечается более низкий уровень blOP, $p = 0,000$, в сравнении с контролем. Показатель DA ratio и интегральный радиус вдавления в группе с ГНД имеют более высокие цифры по сравнению с группой контроля и с другими формами глаукомы, $p = 0,000$, что свидетельствует о сниженной жесткости фиброзной оболочки глаза. Показатели SP-A1 и индекса SSI в группе ГНД имели более низкое значение в сравнении с контролем, но эта разница недостоверна, $p = 0,225$ и $p = 0,17$ соответственно. В группе ПОУГ мы не обнаружили отличий в показателях фиброзной оболочки глаза от группы контроля. Во всех группах мы получили повышенные показатели биомеханического глаукомного фактора по сравнению с контролем, в группе ПОУГ $p = 0,016$, в группах ПЭГ и ГНД $p = 0,000$.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что фиброзная оболочка глаза при ГНД является более эластичной и мягкой, тогда как при ПЭГ она обладает повышенной жесткостью. Эти наблюдения не позволяют прибегать к сочетанию диагнозов «глаукома низкого давления» и «псевдоэксфолиативная глаукома» в одном глазу в связи с противоположными биомеханическими параметрами фиброзной капсулы глаза при этих состояниях.

В группе пациентов с кератотомией в сравнении с группой контроля не отмечена достоверная разница в ЦТР ($p = 0,258$) и в уровне ВГД, измеренном разными способами (пневмотонометрия $p = 0,072$, Corvis ST $p = 0,613$). Однако установлена разница в показателях биомеханических параметров фиброзной оболочки глаза у пациентов с кератотомией по сравнению со здоровыми глазами с миопией: показатели жесткости и эластичности глаза характеризовались изменениями в сторону уменьшения (DA ratio, Integr. Radius и SP-A1 $p = 0,000$), а индекс SST — увеличения в сравнении с контролем, $p = 0,000$. Таким образом, при общем уменьшении жесткости глаза была увеличена жесткость локально роговицы. Биомеханический глаукомный фактор почти вдвое увеличен в глазах после кератотомии в сравнении с близоруким глазом без насечек, что свидетельствует о повышенном риске развития глаукомы на фоне низких цифр офтальмотонуса в глазах, перенесших кератотомию.

Из анализа зависимости биомеханических показателей фиброзной оболочки глаза и ВГД от ЦТР следует, что ВГД, полученное пневмотонометрически, занижено в группе с тонкой роговицей, $p = 0,000$, тогда как bIOP не отличается, $p = 0,21$. Были получены при тонкой роговице более низкие значения DA ratio, Integr. Radius и SP-A1, где $p = 0,000$, индекс SSI тоже был снижен, $p = 0,044$, что свидетельствует о том, что тонкая роговица

встречается в глазах со сниженной жесткостью фиброзной оболочки глаза. Обращает на себя внимание более чем двукратное возрастание возможности развития глаукомы при низком ВГД в глазах с тонкой роговицей. Из этих данных также следует вывод, что тонкая роговица — фактор риска развития глаукомы низкого давления.

При анализе зависимости биомеханических показателей фиброзной оболочки глаза и ВГД от передне-заднего размера глаза было получено достоверное отличие между группами по показателю DA ratio $p = 0,034$, значения SP-A1 и индекса SSI, хотя показатели и были ниже в глазах с ПЗО более 24,00 мм, но эта разница была недостоверна, $p = 0,059$ и $p = 0,055$ соответственно. Обращает на себя внимание почти двукратное возрастание возможности развития глаукомы при низком ВГД в глазах с ПЗО более 24,00 мм. Из этих данных следует вывод, что близорукый глаз можно рассматривать как фактор риска глаукомы низкого давления.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Малышев А.В. — концепция и дизайн исследования, научное редактирование; Апостолова А.С. — концепция и дизайн исследования; сбор и обработка материала, научное редактирование; Сергиенко А.А. — статистическая обработка; написание текста; подготовка таблиц, оформление библиографии; Петросян И.А. — статистическая обработка; написание текста; подготовка таблиц, оформление библиографии; Славова М.А. — сбор материала, техническое редактирование; Пономарева Н.Н. — сбор материала, техническое редактирование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Meek K.M., Knapp C. Corneal structure and transparency. *Prog Retin Eye Res.* 2015;49:1–16. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2015.07.001
- Dawson D.G., Randleman J.B., Grossniklaus H.E., O'Brien T.P., Dubovy S.R., Schmack L., Stulting R.D., Edelhauser H.F. Corneal ectasia after excimer laser keratorefractive surgery: histopathology, ultrastructure, and pathophysiology. *Ophthalmology.* 2008;115(12):2181–2191.e1. DOI: 10.1016/j.ophtha.2008.06.008
- Okafor K.C., Brandt J.D. Measuring intraocular pressure. *Curr Opin Ophthalmol.* 2015;26(2):103–109. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000129
- Мачехин В.А., Фабрикантов О.Л. К вопросу о раннем выявлении и диспансеризации больных глаукомой. *Практическая медицина. Офтальмология.* 2013;3-1(69):44–47. [Machekhin V.A., Fabrikantov O.L. With regard to early detection and medical examination of patients with glaucoma. *Ophthalmology = Oftalmologiya.* 2013;3-1(69):44–47 (In Russ.).]
- Rossetti L., Digiuni M., Giovanni M. Blindness and Glaucoma: A Multicenter Data Review from 7 Academic Eye Clinics. *PLoS ONE.* 2015;10:8(e0136632). DOI: 10.1371/journal.pone.0136632
- Luce D.A. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31(1):156–162. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.10.044
- Roberts C.J., Mahmoud A.M., Bons J.P., 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;33(4):266–273. DOI: 10.3928/1081597X-20161221-03
- Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А. Исследование влияния биомеханических свойств роговицы на показатели тонометрии. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук.* 2009;138(4):30–33. [Avetisov S.E., Bubnova I.A., Antonov A.A. Study of the influence of the biomechanical properties of the cornea on tonometry parameters. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences = Bülleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN.* 2009;138(4):30–33 (In Russ.).]
- Еричев В.П., Еремина М.В., Якубова Л.В., Арефьева Ю.А. Анализатор биомеханических свойств глаза в оценке вязкоэластических свойств роговицы в здоровых глазах. *Глаукома.* 2007;6(1):11–15. [Erichiev V.P., Eremina M.V., Yakubova L.V., Arefyeva Yu.A. Analyzer of biomechanical properties of the eye in the assessment of viscoelastic properties of the cornea in healthy eyes. *Glaucoma = Glaucoma.* 2007;6(1):11–15 (In Russ.).]
- Francis B.A., Wang M., Lei H., Du L.T., Minckler D.S., Green R.L., Roland C. Changes in axial length following trabeculectomy and glaucoma drainage device surgery. *Br J Ophthalmol.* 2005;89(1):17–20. DOI: 10.1136/bjo.2004.043950
- Pradhan Z.S., Deshmukh S., Dixit S., Sreenivasiah S., Shroff S., Devi S., Webers C.A.B., Rao H.L. A comparison of the corneal biomechanics in pseudoexfoliation glaucoma, primary open-angle glaucoma and healthy controls using Corvis ST. *PLoS One.* 2020;15(10):e0241296. DOI: 10.1371/journal.pone.0241296. eCollection 2020. PMID: 33104764
- 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;20(1):422. DOI: 10.1186/s12886-020-01693-6. PMID: 33081750
- Pillunat K.R., Herber R., Spoerl E., Erb C., Pillunat L.E. A new biomechanical glaucoma factor to discriminate normal eyes from normal pressure glaucoma eyes. *Acta Ophthalmol.* 2019;97(7):e962–e967. DOI: 10.1111/aos.14115
- Eliasy A., Chen K.J., Vinciguerra R. Determination of Corneal Biomechanical Behavior in-vivo for Healthy Eyes Using CorVis ST Tonometry: Stress-Strain Index. *Front Bioeng Biotechnol.* 2019;7:105. Published 2019 May 16. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00105
- Elsheikh A., Geraghty B., Rama P., Campanelli M., Meek K.M. Characterization of age-related variation in corneal biomechanical properties. *J R Soc Interface.* 2010;7(51):1475–1485. DOI: 10.1098/rsif.2010.0108
- Liu G., Rong H., Pei R. Age distribution and associated factors of cornea biomechanical parameter stress-strain index in Chinese healthy population. *BMC Ophthalmol.* 2020;20:436. DOI: 10.1186/s12886-020-01704-6
- Lei Tian, Dajiang Wang, Ying Wu, Xiaoli Meng, Bing Chen, Mei Ge, Yifei Huang. Corneal biomechanical characteristics measured by the CorVis Scheimpflug technology in eyes with primary open-angle glaucoma and normal eyes. *Acta Ophthalmol.* 2016;94(5):e317–324. DOI: 10.1111/aos.12672
- Cui X., Yang Y., Li Y., Huang F., Zhao Y., Chen H., Xu J., Mashaghi A., Hong J. Correlation Between Anterior Chamber Volume and Corneal Biomechanical Properties in Human Eyes. *Front Bioeng Biotechnol.* 2019;7:379. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00379
- 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 S.E., Antonov A.A., Avetisov K.S., Vedmedenko I.I. Anatomical and functional features of the cornea in progressive hypermetropia after radial keratotomy. *Point of view. East-West = Tochka zreniya. Vostok — Zapad.* 2019;1:34–38 (In Russ.).] DOI: 10.25276/2410-1257-2019-1-34-38

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. профессора С.В. Очаповского» Министерства здравоохранения Краснодарского края

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Малышев Алексей Владиславович

доктор медицинских наук, заведующий офтальмологическим отделением; главный офтальмолог Министерства здравоохранения Краснодарского края; профессор

ул. 1 Мая, 167, Краснодар, 350086, Российская Федерация

ул. Митрофана Седина, 4, Краснодар, 350063, 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

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Петросян Ирина Александровна

студентка

ул. Митрофана Седина, 4, Краснодар, 350063, Российская Федерация

ООО «Три-З»

Славова Марина Алексеевна

врач-офтальмолог диагностического отделения

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

ООО «Три-З»

Пономарева Надежда Николаевна

врач-офтальмолог диагностического отделения

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

ABOUT THE AUTHORS

“Tri-Z” Ltd

Apostolova Anastasiya S.

PhD, ophthalmologist of Diagnostic department, ophthalmologist of the highest qualification category

Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation

Regional Clinical Hospital № 1 named. prof. S.V. Ochapovsky

Kuban State Medical University

Malyshev Alexey V.

MD, head of the Ophthalmology department; chief ophthalmologist of the Krasnodar Territory; Professor

1 May str., 167, Krasnodar, 350086, Russian Federation

Mitrofan Sedin str., 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation

Children's Regional Clinical Hospital

Sergienko Aleksey A.

ophthalmologist of the highest qualification category

Pobedy sq., 1, Krasnodar, 1350007, Russian Federation

Kuban State Medical University

Petrosyan Irina A.

student

Mitrofan Sedin str., 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation

“Tri-Z” Ltd

Slavova Marina A.

ophthalmologist of Diagnostic department

Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation

“Tri-Z” Ltd

Ponomareva Nadezda N.

ophthalmologist of Diagnostic department

Krasnykh Partizan str., 18, Krasnodar, 350047, Russian Federation