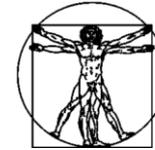


DOI: 10.15593/RZhBiomech/2018.4.08
УДК 531/534: [57+61]



**Российский
Журнал
Биомеханики**
www.biomech.ru

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА НА ТОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ВНУТРИГЛАЗНОЕ ДАВЛЕНИЕ

А.Б. Качанов^{1,2}, С.М. Бауэр³, Е.Б. Воронкова³, В.В. Корников³, Б.А. Зимин⁴

¹ Санкт-Петербургский филиал федерального государственного автономного учреждения межотраслевого научно-технического комплекса «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова Минздрава России, Россия, 192283, Санкт-Петербург, ул. Ярослава Гашека, 21, e-mail: Andrey_Kachanov@yahoo.com

² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Минздрава России, Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, e-mail: s.bauer@spbu.ru, e.voronkova@spbu.ru, v.kornikov@spbu.ru

⁴ Балтийский технический университет «Военмех», Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, 1

Аннотация. Проводится статистический анализ измерений тонометрического внутриглазного давления двумя различными тонометрами – тонометром Маклакова и бесконтактным пневмотонометром. Исследуется зависимость тонометрического внутриглазного давления от ряда характеристик глазного яблока. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что на тонометрическое внутриглазное давление, измеренное пневмотонометром, сильное влияние оказывает центральная толщина роговицы. Значения тонометрического внутриглазного давления, полученные с помощью тонометра Маклакова, в меньшей степени зависят от показателей центральной толщины роговицы, но они более подвержены влиянию радиуса кривизны роговицы и длины передне-задней оси глаза, которые практически не влияют на результаты тонометрии, полученные с помощью пневмотонометра.

Ключевые слова: внутриглазное давление, тонометр Маклакова, пневмотонометр, центральная толщина роговицы, кривизна роговицы, передне-задняя ось глаза.

ВВЕДЕНИЕ

Офтальмотонус, или уровень внутриглазного давления, является одной из важнейших физиологических характеристик живого глаза [8, 9, 12]. Если рассматривать глаз как биомеханическую систему, состоящую из эластичной фиброзной капсулы и жидкого несжимаемого содержимого, то внутриглазное давление представляет собой результат взаимодействия упругих сил, возникающих в фиброзной капсуле глаза при растяжении ее внутриглазной жидкостью. Таким образом, на внутриглазное давление влияют не только объемные изменения глаза (кровенаполнение внутриглазных сосудов и главным образом изменение объема водянистой влаги), но и свойства (эластичность) его наружной оболочки [10].

Эластичность роговицы зависит от различных морфометрических параметров, в первую очередь ее толщины в центральной зоне, кривизны, размера горизонтального диаметра и коэффициента упругости. Модуль упругости роговицы сложно измерить клинически [5]. В клинической практике гораздо легче измерять и учитывать именно морфометрические параметры роговицы, а не свойства ее ткани (модули Юнга, коэффициенты Пуассона и т.п.).

Иными словами, на результаты тонометрии будут оказывать влияние биомеханические свойства роговицы и склеры, кривизна роговой оболочки, горизонтальный диаметр роговицы и ее толщина, и при одинаковом модуле упругости в однотипной возрастной группе показатели внутриглазного давления будут выше в первую очередь у пациентов с более толстой роговицей [1, 2, 6].

Тонометры различных типов в разной степени подвержены влиянию этих факторов. Например, тонометрическое внутриглазное давление, измеренное пневмотонометром, главным образом зависит от толщины роговицы [2, 11–13]. А у пациентов, перенесших кераторефракционные эксимерные и фемтосекундные операции с целью исправления аномалий рефракции, показатели тонометрического внутриглазного давления будут всегда достоверно ниже, чем до рефракционной операции [3, 11].

Адекватное измерение уровня внутриглазного давления с помощью офтальмологических тонометров необходимо для выявления различных случаев патологии офтальмотонуса, например, повышение уровня внутриглазного давления при глаукоме и офтальмогипертензиях. Значения тонометрического внутриглазного давления, определенного с помощью тонометров различных типов, всегда отличаются от значений абсолютного (истинного) внутриглазного давления [1–7, 10, 13].

При офтальмологическом обследовании необходимо учитывать, какие факторы влияют на уровень тонометрического внутриглазного давления, что позволило бы адекватно оценивать и уровень абсолютного (истинного) внутриглазного давления, так называемое P_0 .

Целью данной работы было изучение влияния параметров глазного яблока на показатели внутриглазного давления, полученные с помощью тонометрии по Маклакову и пневмотонометрии.

КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В данной работе рассмотрены результаты измерений тонометрического внутриглазного давления с помощью двух различных тонометров – тонометра Маклакова и бесконтактного пневмотонометра фирмы *TOPCON*. При стандартной тонометрии по методу Маклакова (ВГД-М) на роговицу устанавливают грузик фиксированного веса (10 г). Давление оценивается по диаметру зоны контакта тонометра и роговицы.

При проведении процедуры измерения тонометрического внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра (ВГД-П), на роговицу направляется струя воздуха, уплощающая ее в центральной зоне, и регистрируется время восстановления исходной формы роговицы. Далее эти данные времени восстановления исходной формы роговицы пересчитываются в показатели тонометрического внутриглазного давления, мм рт. ст., и поэтому в клинической практике всегда необходимо калибровать применяемые бесконтактные пневмотонометры.

Пневмотонометры получили широкое распространение в практике рефракционной хирургии на этапе дооперационного обследования, а также в тех ситуациях, когда проведение контактной тонометрии по Маклакову или Гольдману

нежелательно из-за риска инфицирования обследуемого глаза, а также благодаря скорости и унификации пневмотонометрии.

Вопросы о том, какие параметры глазного яблока могут влиять на показатели тонометрического внутриглазного давления в ходе пневмотонометрии и аппланационной тонометрии по Маклакову, требуют дальнейшего изучения.

В настоящей работе проанализировано влияние толщины роговицы (ЦТР), радиуса кривизны роговицы в центре (РК) и размеров передне-задней оси глаза (ПЗО) на величину тонометрического давления, полученного с помощью тонометрии по Маклакову и пневмотонометрии, на основании клинических данных 183 пациентов (385 глаз), обследованных и в дальнейшем прооперированных по технологии ЛАЗИК в Санкт-Петербургском филиале «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова с целью лазерной коррекции близорукости слабой, средней и высокой степени.

Особый интерес представляло изучение влияния данных центральной толщины роговицы на показатели тонометрического внутриглазного давления, поскольку именно они являются одними из ключевых в интерпретации тонометрических показателей в норме и у пациентов с глаукомой и офтальмогипертензиями.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По имеющимся экспериментальным данным был проведен корреляционный анализ [4], результаты которого подтвердили полученные ранее выводы. Коэффициент корреляции между значением внутриглазного давления по Маклакову и толщиной роговицы равен 0,39, между показанием внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра и толщиной роговицы, – 0,6. Оба они значимы на уровне $\alpha = 0,001$. Статистически значимая прямая зависимость между тонометрическим внутриглазным давлением и толщиной роговицы сильнее для пневмотонометра (см. рис. 1).

Вычислены коэффициенты корреляции между показателями внутриглазного давления, полученными с помощью двух тонометров, и другими параметрами глаза.

На этом этапе исследования была обнаружена обратная взаимосвязь между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением по Маклакову, а также между длиной передне-задней оси глаза и внутриглазным давлением по Маклакову. Рассмотрим более подробно влияние данных параметров глаза на показатели внутриглазного давления.

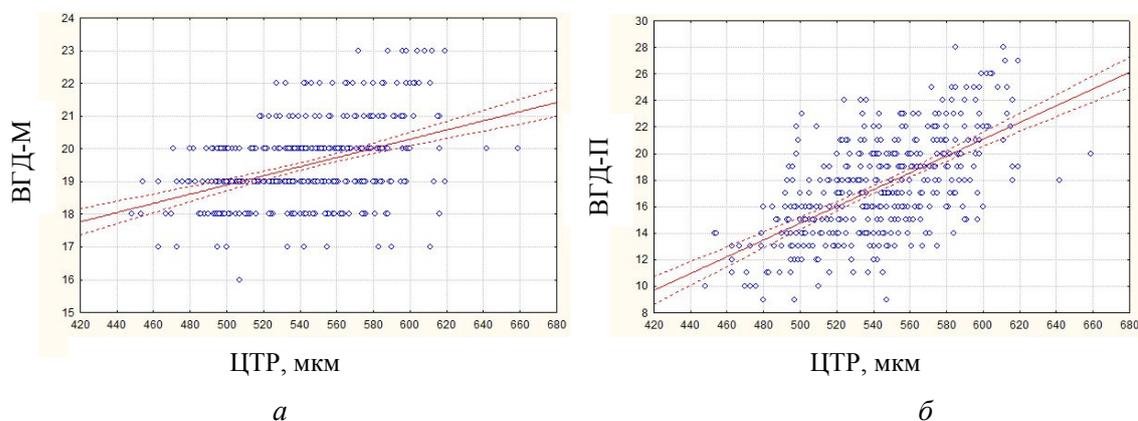


Рис. 1. Зависимость между показателями внутриглазного давления и ЦТР:
а – тонометрия по Маклакову; *б* – пневмотонометрия

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции между показателями внутриглазного давления
и параметрами глазного яблока**

Показатель	Значение коэффициента корреляции r	Наличие или отсутствие корреляции
ВГД-М и <i>Shape</i>	$r = -0,07$	Зависимость не значима
ВГД-М и ПЗО	$r = -0,26$	Зависимость значима
ВГД-М и РК	$r = -0,31$	Зависимость значима
ВГД-П и <i>Shape</i>	$r = 0,03$	Зависимость не значима
ВГД-П и ПЗО	$r = 0,02$	Зависимость не значима
ВГД-П и РК	$r = -0,07$	Зависимость не значима

Примечание: Здесь *Shape*-фактор – показатель формы роговицы.

Исследование связи между длиной передне-задней оси и внутриглазным давлением

В первую очередь исследуем зависимость между внутриглазным давлением и длиной передне-задней оси глаза. Длина передне-задней оси определяется как расстояние от передней поверхности роговицы до заднего полюса глаза (сетчатки).

Все глаза были разделены на группы по толщине роговицы в центральной зоне: ультратонкие (441–480 мкм) – 13 шт., тонкие (481–520 мкм) – 91 шт., нормальные – 160 шт. (521–560 мкм), толстые – 104 шт. (561–600 мкм), ультратолстые – 17 шт. (601–644 мкм).

Для оценки различия в средних значениях параметров между группами был использован дисперсионный анализ. Для параметра передне-задней оси значение критерия $F = 2,606$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ критическое значение критерия равно 2,4, что меньше полученного в расчетах. Можно сделать вывод, что при данном уровне значимости не все группы однородны по среднему значению передне-задней оси.

Для внутриглазного давления по Маклакову значение критерия $F = 16,183$, что превышает критическое значение ($F_{кр} = 3,4$) при уровне значимости $\alpha = 0,01$, следовательно, различия между группами статистически значимы. Для внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра, различия между группами также статистически значимы ($F = 53,422$) при уровне $\alpha = 0,01$.

Для того чтобы определить, между какими группами есть различия в среднем значении внутриглазного давления по Маклакову, внутриглазного давления, полученного с помощью пневмотонометра, и в особенности передне-задней оси, был применен критерий Ньюмена-Кейлса, чувствительность которого выше чувствительности критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони [4]. В результате для внутриглазного давления по Маклакову при $\alpha = 0,01$ статистически значимые различия были найдены для всех пар, за исключением двух: глаз с тонкими и ультратонкими роговицами, а также с толстыми и ультратолстыми роговицами, что можно объяснить снижением чувствительности критерия за счет маленького числа глаз в выборках (13 ультратонких и 17 ультратолстых). Для внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра, при $\alpha = 0,01$ статистически значимые различия были выявлены для всех пар без исключения.

Для передне-задней оси при уровне значимости $\alpha = 0,01$ ни для каких пар статистически значимых различий выявлено не было, однако для $\alpha = 0,05$ были обнаружены статистически значимые различия для пары глаз с ультратонкими и толстыми роговицами.

Далее глаза с ультратолстыми, нормальными и тонкими роговицами были объединены в одну группу. В результате получили три группы глаз, различающихся по среднему значению передне-задней оси.

Для этих групп были получены следующие результаты:

- объединенная группа (268 глаз): зависимость между передне-задней осью и внутриглазным давлением по Маклакову статистически значима при уровне значимости 0,01;

- толстые (104 глаза): зависимость между передне-задней осью и внутриглазным давлением по Маклакову статистически значима при уровне значимости 0,05, но не значима при $\alpha = 0,01$;

- ультратонкие (13 глаз): зависимость между передне-задней осью и внутриглазным давлением по Маклакову не является статистически значимой при $\alpha = 0,05$.

Следующим шагом было разделение глаз на три группы по длине передне-задней оси:

- глаза, длина передне-задней оси которых находится в пределах [22; 25] мм (141 глаз);

- глаза, длина передне-задней оси которых находится в пределах [25; 26,6] мм (185 глаз);

- глаза с длиной передне-задней оси в пределах (26,62; 29,69] мм (59 глаз).

Оценки параметров распределения для данных групп представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры распределения для различных групп глаз

Группа	ВГД-М		ВГД-П	
	среднее, мм рт. ст.	дисперсия, мм рт. ст. ²	среднее, мм рт. ст.	дисперсия, мм рт. ст. ²
1	19,78	1,47	17,24	12,84
2	19,47	1,59	17,77	15,02
3	18,81	1,01	17,22	13,62

Было установлено, что в полученных группах отсутствует линейная зависимость между показателями внутриглазного давления и передне-задней оси на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Вычисленные коэффициенты корреляции между параметрами представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между длиной передне-задней оси и показателями внутриглазного давления

Группа	ПЗО и ВГД-М	ПЗО и ВГД-П
1	$r = -0,10$	$r = -0,07$
2	$r = -0,08$	$r = -0,03$
3	$r = -0,06$	$r = -0,12$

Кластеризация

С помощью метода k -средних все глаза были разделены на четыре кластера по двум параметрам: передне-задняя ось и центральная толщина роговицы. Результаты исследования взаимосвязи между тонометрическим внутриглазным давлением и передне-задней осью в полученных кластерах:

- первый (122 глаза) и второй (89 глаз) кластеры: зависимость между передне-задней осью и внутриглазным давлением по Маклакову статистически значима при уровне значимости 0,01.

- для третьего (95 глаз) и четвертого (79 глаз) кластеров: зависимость между передне-задней осью и внутриглазным давлением по Маклакову была выявлена при уровне значимости 0,05.

Между внутриглазным давлением, измеренным с помощью пневмотонометра, и передне-задней осью при уровне значимости 0,05 зависимости не было выявлено ни в одном из кластеров.

Далее все глаза были объединены в одну выборку. Между внутриглазным давлением по Маклакову и передне-задней осью была выявлена статистически значимая обратная зависимость ($p < 0,01$), для внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра, и передне-задней оси зависимости при уровне значимости 0,05 выявлено не было.

Исследование связи между кривизной роговицы и внутриглазного давления

Еще одним параметром, влияние которого на тонометрическое внутриглазное давление необходимо рассмотреть, является радиус кривизны роговицы. Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и передне-задней осью равен $r = 0,349$, зависимость между ними прямая и статистически значимая ($p < 0,001$) (рис. 2).

Для исследования зависимости показателей внутриглазного давления от радиуса кривизны роговицы все глаза также были объединены в одну выборку. Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением по Маклакову равен $r = -0,306$. Обратная зависимость между ними статистически значима ($p < 0,001$). Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением, измеренным с помощью пневмотонометра, равен $r = -0,07$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимой зависимости ($p > 0,1$) (рис. 3).

Для более детального исследования влияния толщины роговицы на внутриглазное давление глаза были распределены по группам в зависимости от толщины роговицы, и в этих группах была исследована взаимозависимость КР и показателей внутриглазного давления:

• *Нормальные роговицы*

Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением по Маклакову $r = -0,4696$, зависимость между ними статистически значима ($p < 0,001$).

Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением, измеренным с помощью пневмотонометра, $r = -0,08$, зависимость между ними не является статистически значимой, $p > 0,1$.

• *Объединенная группа, ультратолстые и толстые роговицы.*

Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением по Маклакову $r = -0,26$, зависимость между ними статистически значима, $p < 0,01$.

Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением, измеренным с помощью пневмотонометра, $r = -0,16$, зависимость между ними не является статистически значимой, $p > 0,05$.

- *Объединенная группа, ультратонкие и тонкие роговицы.*

Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением по Маклакову $r = -0,244$, зависимость между ними статистически значима, $p < 0,05$.

Коэффициент корреляции между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением, измеренным с помощью пневмотонометра, $r = 0,006$, зависимость между ними не является статистически значимой, $p > 0,9$.

При исследовании влияния радиуса кривизны роговицы на тонометрическое внутриглазное давление с помощью метода k -средних все глаза были также разделены на кластеры по двум параметрам: радиус кривизны и центральная толщина роговицы.

Результаты исследования взаимосвязи между тонометрическим внутриглазным давлением и радиусом кривизны роговицы в трех полученных кластерах:

- Зависимость между внутриглазным давлением по Маклакову и радиусом кривизны роговицы статистически значима во всех кластерах ($p < 0,05$).
- Между радиусом кривизны роговицы и внутриглазным давлением, измеренным с помощью пневмотонометра, при уровне значимости 0,05 зависимости выявлено не было ни в одном из кластеров.

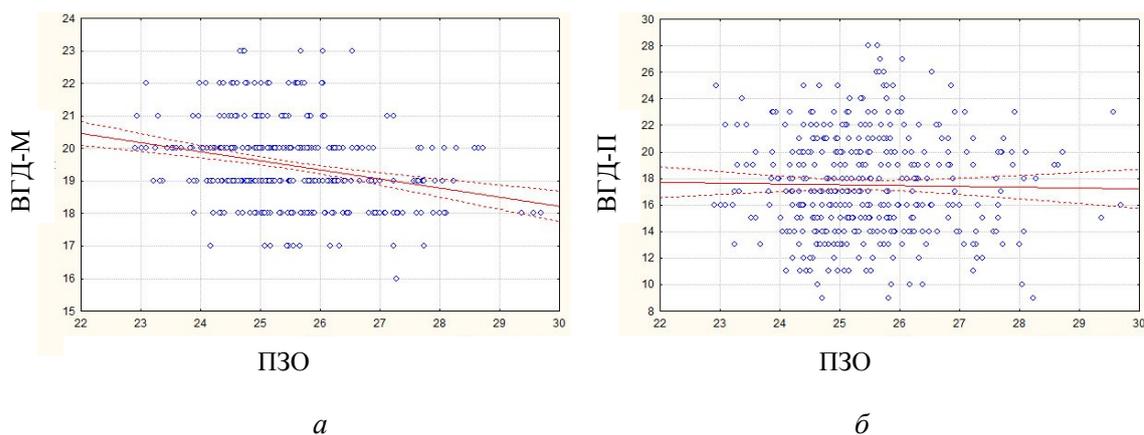


Рис. 2. Зависимость между показателем внутриглазного давления и длиной передне-задней оси глаза: *а* – тонометрия по Маклакову; *б* – пневмотонометрия

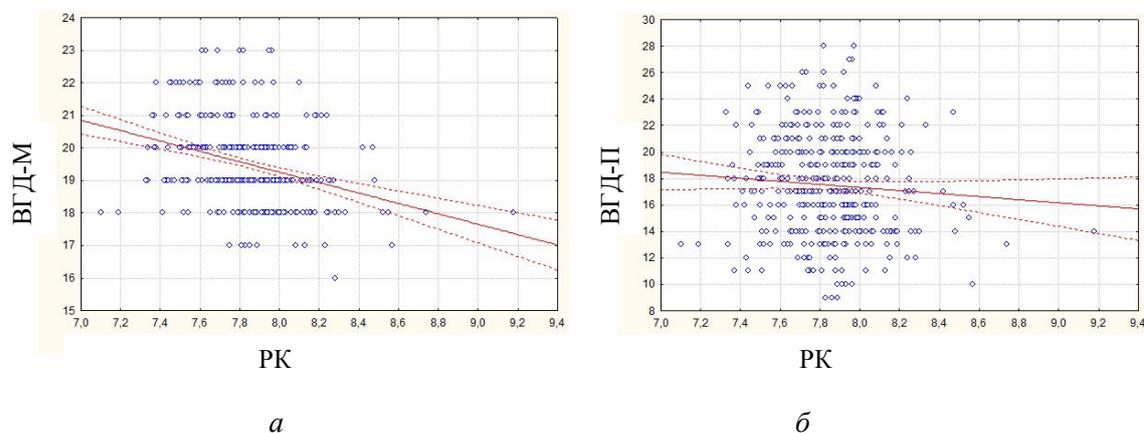


Рис. 3. Зависимость между показателями внутриглазного давления и радиусом кривизны глаза: *а* – тонометрия по Маклакову; *б* – пневмотонометрия

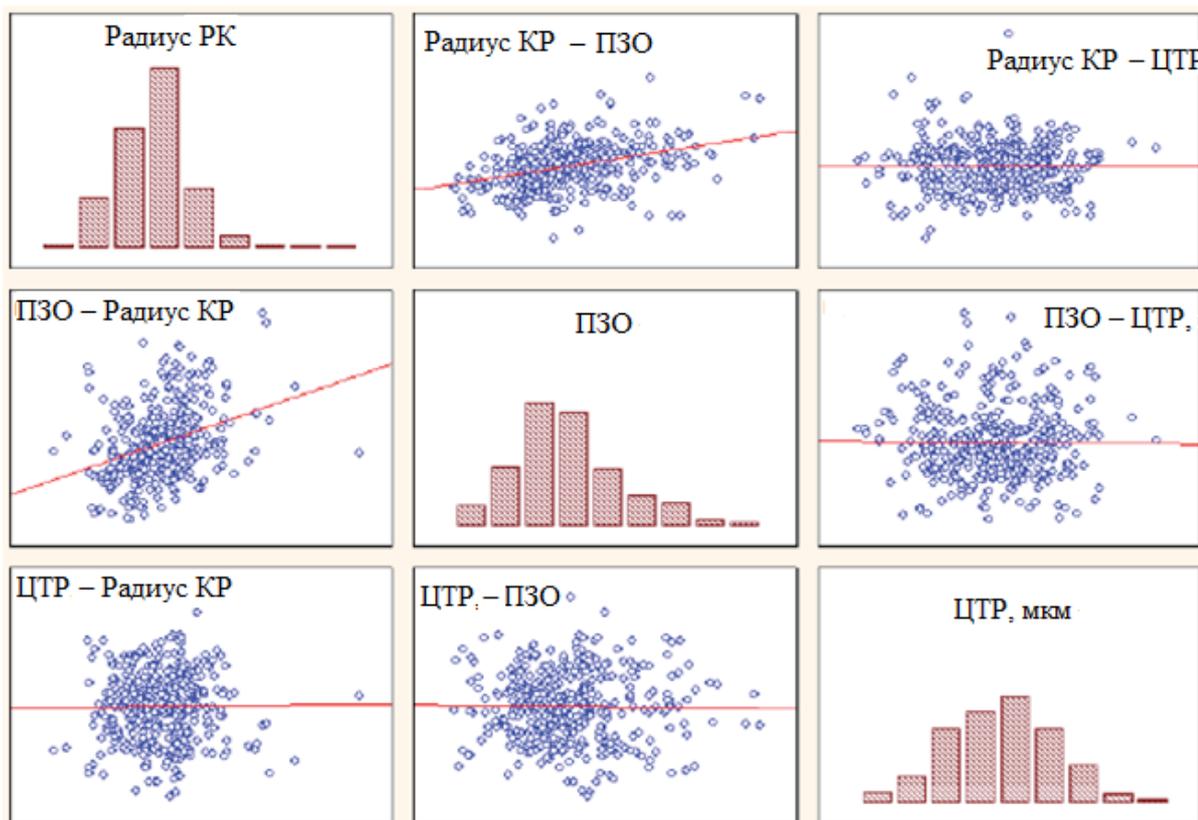


Рис. 4. Зависимость между показателями внутриглазного давления и радиусом кривизны глаза

Далее все глаза вновь были объединены в одну выборку. Между внутриглазным давлением по Маклакову и передне-задней осью была выявлена статистически значимая обратная зависимость ($p < 0,01$), для внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра, и передне-задней оси зависимости при уровне значимости 0,05 выявлено не было.

Гистограммы частот и графики парных зависимостей для радиуса кривизны роговицы, передне-задней оси и толщины роговицы представлены на рис. 4.

Построим модель множественной регрессии, отражающую зависимость внутриглазного давления по Маклакову от группы факторов: радиуса кривизны роговицы, толщины роговицы и передне-задней оси. Методом наименьших квадратов была получена следующая модель:

$$\text{ВГД-М} = 26,778 - 1,241 \text{ РК} - 0,190 \text{ ПЗО} + 0,013 \text{ ЦТР} + \varepsilon.$$

Полученная модель статистически значима ($p < 0,05$), коэффициент детерминации равен 0,53, значение F -статистики 50,25. К тому же все независимые переменные вносят значимый вклад в модель.

Так как данные выводы справедливы только при нормальном распределении остатков, необходимо рассмотреть нормальный вероятностный график остатков. Все точки на графике расположены очень близко к прямой линии, что свидетельствует о нормальности их распределения и отсутствии выбросов (рис. 5).

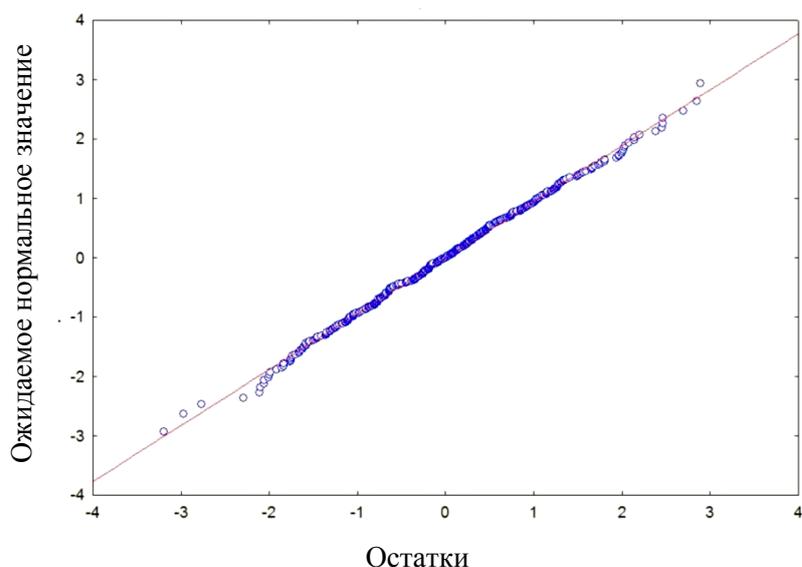


Рис. 5. Нормальный вероятностный график остатков

При построении модели множественной регрессии для внутриглазного давления, измеренного с помощью пневмотонометра с такими же независимыми переменными: радиус кривизны роговицы, толщина роговицы и длина передне-задней оси, была получена модель, в которую не вносят значимого влияния радиус кривизны роговицы и длина передне-задней оси.

Таким образом, на тонометрическое внутриглазное давление, измеренное пневмотонометром, сильное влияние оказывает центральная толщина роговицы. Результаты измерений, полученные тонометром Маклакова, не в такой степени зависят от толщины роговицы, но они подвержены влиянию радиуса кривизны роговицы и длины передне-задней оси глаза.

Выводы

Проведен статистический анализ взаимосвязи параметров глаза и тонометрического внутриглазного давления. По результатам работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Между толщиной роговицы и уровнем тонометрического внутриглазного давления существует сильная прямая корреляция, максимально выраженная при пневмотонометрии и в меньшей степени, но также статистически значимо, при аппланационной тонометрии по Маклакову.

2. Результаты тонометрии по Маклакову статистически значимо зависят от параметров центральной толщины роговицы, кривизны роговицы в центре, а также от длины передне-задней оси глаза.

3. Результаты пневмотонометрии статистически значимо в наибольшей степени зависят от показателей центральной толщины роговицы, но практически не подвержены влиянию таких параметров глазного яблока, как кривизна роговицы в центре и длина передне-задней оси.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00832-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А., Головатенко С.П., Бауэр С.М., Зимин Б.А. Влияние толщины роговицы на пневмотонометрические показатели внутриглазного давления // Офтальмохирургия. – 2005. – № 1. – С. 29–31.
2. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Новак Я.Н., Бауэр С.М., Зимин Б.А. О влиянии толщины роговицы на показатели внутриглазного давления // Биомеханика глаза – 2005: сб. тр. I конф. Моск. НИИ глазных болезней им. Гельмгольца. – М., 2005. – С. 119–120.
3. Балашевич Л.И., Литвин И.Б., Качанов А.Б. Внутриглазное давление и толщина роговицы до и после эксимерлазерных вмешательств // ЕАКО: материалы VI Евро-азиатской конференции по офтальмохирургии. – Екатеринбург, 2012 г. – С. 68–69.
4. Боровиков В. *Statistica*. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
5. Волков В.В. Глаукома, преглаукома, офтальмогипертензия. – М., 1985. – 216 с.
6. Еременко А.А., Бауэр С.М., Корников В.В., Качанов А.Б. Влияние радиуса кривизны роговицы и длины передне-задней оси глаза на показатели внутриглазного давления // Практическая биомеханика, Саратов, Материалы Всероссийской конф. молодых ученых с международным участием. – 2016. – С. 60–61.
7. Еремина М.В., Еричев В.П., Якубова Л.В. Влияние центральной толщины роговицы на уровень внутриглазного давления в норме и при глаукоме // Глаукома. – 2006. – № 4. – С. 78–83.
8. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения. – М.: Реал Тайм, 2015. – 208 С.
9. Любимов Г.А. О тонометрических методах измерения внутриглазного давления. Биомеханика глаза. – М., 2005. – С. 127–135.
10. Нестеров А.П. Глаукома. – М.: Медицина, 1995. – 130 с.
11. Bauer S.M., Lyubimov G.A., Tovstik P.E. Mathematical modeling of Maklakoff's method for measuring the intraocular pressure // Fluid Dynamics. – 2005. – Vol. 40, № 1. – P. 20–33.
12. Faucher A., Gregoire J., Blondeau P. Accuracy of Goldmann tonometry after refractive surgery // J. Cataract. Refract. Surg. – 1997. – Vol. 23. – P. 832–838.
13. Huang Y., Tham C.C., Zhang M. Central corneal thickness and applanation tonometry // Journal of cataract and refractive surgery. – 2008. – Vol. 34. – P. 347.
14. Kohlhaas M., Boehm A.G., Spoerl E. Effect of central corneal thickness, corneal curvature, and axial length on applanation tonometry // Archives of ophthalmology. – 2006. – Vol. 124. – P. 471–476.

STATISTICAL EVALUATION OF THE IMPACT OF OCULAR PARAMETERS ON INTRAOCULAR PRESSURE READINGS

**A.B. Kachanov, S.M. Bauer, E.B. Voronkova, V.V. Kornikov, B.A. Zimin
(Saint-Petersburg, Russia)**

The purpose of this study was to estimate the impact of ocular parameters on tonometrically measured intraocular pressure using statistical analysis. Two different tonometers (the Maklakov applanational and pneumatonometer) are discussed. Intraocular pressure readings obtained by pneumatonometer are significantly correlated with central corneal thickness. Maklakov's tonometer readings are more affected by corneal curvature and the length of the anterior–posterior axis of the eye than by central corneal thickness, whilst pneumatonometer measurements are not correlated with corneal curvature and the anterior–posterior axis length.

Key words: intraocular pressure, the Maklakov applanational tonometer, pneumatonometer, central corneal thickness, corneal curvature, the length of the anterior–posterior axis.

Получена 3 июля 2018