

УДК 617.7-073.178

Корреляции и поправочные коэффициенты при различных видах тонометрии. Сообщение 1

Волкова Н.В., к.м.н., заведующая научно-образовательным отделом¹;

Юрьева Т.Н., д.м.н., заместитель директора по научной работе¹;

Швец Л.В., ассистент кафедры глазных болезней²;

Михалевич И.М., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой информатики и компьютерных технологий³.

¹Иркутский филиал ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, 664033, Российская Федерация, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 337;

²Иркутский государственный медицинский университет, 664003, Российская Федерация, Иркутск, ул. Красного Восстания, д. 1;

³ГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования» Минздрава России, 664079, Российская Федерация, Иркутск, м/р Юбилейный, д. 100.

Авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.
Конфликт интересов: отсутствует.

Резюме

ЦЕЛЬ. Сравнительный анализ результатов тонометрии по Маклакову (MT), аппланационной тонометрии по Гольдману (Goldman applanation tonometry, GT) и микроконтактной тонометрии с помощью тонометра Icare (Icare rebound tonometry, RT) в группах: «все пациенты», «низкая», «средняя» и «высокая» нормы внутриглазного давления (ВГД) с целью их правильной интерпретации, определения единых поправочных коэффициентов и точек приложения в клинической практике.

МЕТОДЫ. В каждом из 294 случаев (147 человек) выполнено измерение офтальмотонуса указанными способами в последовательности — RT, GT, MT. Для сравнительного анализа результатов измерений и определения поправочных коэффициентов применены методы Bland-Altman и простой регрессионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Разница значений уровней ВГД в группе «все пациенты» составила: GT — MT $4,6 \pm 1,9$; GT — RT $1,9 \pm 2,9$; MT — RT $6,7 \pm 2,7$ мм рт.ст. В группах «средней» и «низкой» норм разница значений ВГД сопоставима с группой «все пациенты». Наиболее существенной оказалась разница в диапазоне «высокой» нормы ВГД: GT — MT $5,6 \pm 2,1$; GT — RT $2,49 \pm 3,5$; MT — RT $8 \pm 3,6$ мм рт.ст. Высокое значение коэффициента детерминации (r^2) при

сравнении методов MT — GT подтверждает точность полученных значений офтальмотонуса. Низкое значение r^2 при сравнении методов MT — RT и GT — RT свидетельствуют об ориентировочном определении уровня ВГД методом Icare.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Методы тонометрии по Goldmann (P_0) и по Маклакову (P_1) являются «эталонными». Альтернативная методика Icare указывает на уровень ВГД, приближенный к уровню истинного ВГД, но имеет большой разброс отклонений, что не позволяет отнести её к разряду прецизионных. Существенный разброс разницы измерений в диапазоне «высокой» нормы ВГД подчеркивает необходимость оценки его с позиции «стартового понятия», с использованием исключительно прецизионных методик. Тонометрия Icare применима для скрининговых профилактических осмотров (в т. ч. в педиатрической практике), суточного мониторинга и самоконтроля уровня ВГД, а также в широкой практике раннего послеоперационного периода, с учетом использования выявленных поправочных коэффициентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глаукома, тонометрия, тонометрия по Маклакову, тонометрия по Goldman, тонометр Icare, истинное и тонометрическое внутриглазное давление, методы тонометрии.

Для контактов:

Волкова Наталья Васильевна, e-mail: vnv-mntk@mail.ru

ENGLISH

Correlation and correction factors for different types of tonometry. Report 1

VOLKOVA N.V., Ph.D., Chief of Scientific and Educational Department¹;

YURIEVA T.N., M.D., Ph.D., Deputy Director for Science¹;

SHVETZ L.V., Assistant Professor of the Ocular Diseases Department²;

MIKHALEVICH I.M., Ph.D. in Geological-Mineralogical Sciences, Head of the Department of Computer Science and Technology³.

¹Irkutsk Branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 337 Lermontova Str., Irkutsk, Russian Federation, 664033;

²Irkutsk State Medical University, 1 Krasnogo Vosstania Str., Irkutsk, Russian Federation, 664003;

³Irkutsk Institute of Continuing Medical Education, 100 Yubileiniy microdistrict, Irkutsk, Russian Federation, 664079.

Conflicts of Interest and Source of Funding: none declared.

Abstract

PURPOSE: Comparative analysis of the results of Maklakov tonometry (MT), Goldman applanation tonometry (GT) and Icare rebound tonometry (RT) in the following groups: «all patients», «low», «medium» and «high» IOP rate for the purpose of its proper interpretation, determination of unified correction coefficients and the points of application in the clinical practice.

METHODS: In each of 294 cases (147 persons) IOP was measured by the above methods in the following order — RT, GT, MT. For a comparative analysis of measurement results and determination of correction factors Bland-Altman methods and simple regression analysis were applied.

RESULTS: The difference in IOP level values in the «all patients» group: GT — MT was 4.6 ± 1.9 ; GT — RT 1.9 ± 2.9 ; MT — RT 6.7 ± 2.7 mm Hg. In the groups of «average» and «low» standards IOP difference is comparable with the «all patients» group. The most significant difference was found in the range of «high» rate of IOP: GT — MT 5.6 ± 2.1 ; GT — RT 2.49 ± 3.5 ; MT — RT 8.0 ± 3.6 mm Hg. The high value of the coefficient of determination (r^2) MT and GT confirms

the accuracy of data. The low value of r^2 when comparing the MT — RT and GT — RT indicates the approximate determination of IOP level by means of the Icare tonometer.

CONCLUSION: Goldmann (P_0) and Maklakov tonometry (P_i) are considered to be the tonometry benchmark. Alternative method of Icare rebound tonometry indicates the level of IOP, close to the level of true IOP, but has a large spread of deviations that cannot be attributed to the category of its precision. The significant dispersion in the measurement differences in range of «high» rate of IOP emphasizes the need to assess it in terms of «starting concepts», using only high-precision techniques. Icare tonometry is applicable for screening examinations (including pediatric), daily monitoring and self-control of IOP level, as well as in the general practice of «early» post-operative period, taking into account the use of identified correction factors.

KEYWORDS: glaucoma, tonometry, Maklakov tonometry, Goldman tonometry, Icare tonometer, actual and tonometric intraocular pressure, tonometry methods.

О общеизвестно, что офтальмотонус — это единственный управляемый биомаркер триады глаукомного синдрома. Именно уровень внутриглазного давления (ВГД), правильно определенный и интерпретированный, играет существенную роль в диагностике и лечении глаукомы. Достоверная количественная оценка этого показателя является важнейшей, так как позволяет правильно поставить диагноз, сделать вывод об эффективности проводимого лечения и прогнозировать ход патологического процесса в целом.

Методы косвенной количественной оценки уровня ВГД появились в XIX веке [1]. В современной практике офтальмолога для измерения этого пока-

зателя применяют различные способы: ориентировочные, аппланационные и импрессионные, контактные и бесконтактные. Офтальмотонус, являясь вариабельной величиной, зависит от показателей артериального давления, частоты сердечных сокращений, работы гидродинамической системы, кровенаполнения внутриглазного сосудистого русла, а также времени суток, объема принимаемой жидкости, лекарственных препаратов и даже оказываемого анестезиологического пособия, например, в детской практике [2]. Показатель офтальмотонуса принято соотносить с данными ультразвуковой пахиметрии, а также с характеристиками биомеханических свойств фиброзной капсулы (фактор резистентности роговицы и корнеальный гистерезис) [3-9].

В современной офтальмологии меняются взгляды на использование уже известных приборов в связи с внедрением новых бесконтактных методов измерения ВГД, устройств с одноразовыми накопечниками, что продиктовано тенденциями современной медицины. Однако диапазон допустимых отклонений получаемых значений уровня ВГД от разных тонометров до сих пор не имеет четко обозначенных границ. Детализация вновь внедряемых методик, корреляция получаемых значений ВГД при различных способах измерения и клинические рекомендации по использованию полученных поправочных коэффициентов отсутствуют. Все это вносит «хаос» в оценку значений ВГД. В ежедневной рутинной практике, внедряя новые методики, «мы позволяем допускать неточности, стоящие порой пациенту очень дорого» [10]. Становится целесообразным, опираясь на данные литературы и собственный клинический опыт, окончательно разобраться с оценкой результатов тонометрии при использовании наиболее распространенных в современной практике методов измерения ВГД с целью их правильной интерпретации, возможности сопоставления получаемых значений и определения точек приложения тех или иных тонометров в клинической практике.

Единые усредненные поправочные коэффициенты позволят правильно оценить уровень истинного ВГД в различных клинических ситуациях, а также облегчат работу с иностранной литературой и общение с коллегами в обсуждении вопросов диагностики и лечения патологии ВГД.

Все это и послужило поводом к проведению данного исследования.

Цель исследования — сравнительный анализ результатов тонометрии по Маклакову (MT), Goldmann applanation tonometry (GT) и Icare rebound tonometry (RT) и определение поправочных коэффициентов при этих способах измерения в группах: «все пациенты», «нижняя», «средняя» и «высокая» нормы ВГД, для дальнейшего их использования в клинической практике у пациентов с разными формами глаукомы.

Необходимо отметить, что измерение офтальмотонуса у каждого субъекта проводилось в один прием в определенной последовательности, описываемой ниже, для создания максимально равных условий оценки измерений и их сравнения.

Материалы и методы

В сравнительный анализ были включены пациенты, направленные на консультацию или наблюдающиеся в глаукомном кабинете (табл. 1).

Критериями исключения явились: патологические изменения роговицы, аметропия высокой степени (более 5,0 дптр, астигматизм более 3,0 дптр), состояние после рефракционных операций, острота зрения менее 0,1.

У всех пациентов строго соблюдали последовательность измерений. Принцип последовательности был сформирован в зависимости от требований к проведению различных видов тонометрии (необходимость или противопоказание к применению инстилляционной анестезии, красителей), а также определялся весом и площадью апплилирующей части прибора. В первую очередь выполняли Icare rebound tonometry (RT), которая не требует эпibuльбарной анестезии и проводится в положении пациента сидя [11]. Далее после инстилляций в конъюнктивальную полость анестетика и раствора флуоресцеина проводили Goldmann applanation tonometry (GT) [12]. Затем в положении пациента лежа на спине выполняли тонометрию по Маклакову (MT) грузом массой 10,0 г [1, 13].

Кроме того, для оценки возможной зависимости между уровнем ВГД и толщиной центральной части роговой оболочки (ЦТР) всем пациентам выполнена ультразвуковая пахиметрия накануне серии измерений (результаты этих исследований будут изложены во второй части работы).

Обработка данных

Статистический анализ и оценка достоверности получаемых результатов проведены с помощью программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 8.0. Для сравнительного анализа результатов измерений, полученных различными способами, применены метод Bland – Altman и простой регрессионный анализ.

J.M. Bland и D.G. Altman в 1983 г. предложили метод оценки согласованности измерений, выполненных разными способами [14, 15]. Для клинических исследований ценность метода заключается в возможности верификации вновь внедряемых

Таблица 1

Клиническая характеристика пациентов

Показатели	Значение (единицы)
Число пациентов, n	147
Число глаз, n	294
Возраст, лет	66,83±4,51
Пол (жен/муж)	89/58
Первичная открытоугольная глаукома, число пациентов, n	43
Первичная закрытоугольная глаукома, число пациентов, n	35
Подозрение на глаукому, число пациентов, n	32 (64 глаза)
Другая офтальмопатология, осложненная глаукомой, число пациентов, n	37

Таблица 2

Средняя разница уровня ВГД, измеренного разными способами, среди всех обследованных, мм рт.ст. (n=147 пациентов, 294 глаза)

Показатели	Методы измерения		
	MT – GT	GT – RT	MT – RT
Средняя разность (Bias)	4,622	1,864	6,694
Среднее отклонение разности (SD)	1,926	2,902	2,727

Примечание: MT — тонометрия по Маклакову; GT — тонометрия по Goldman; RT — Rebound тонометрия.

в практику методик в сравнении с уже применяемыми. Для каждой выполненной одним и другим способами пары измерений вычисляется их разность. Средняя разность характеризует систематическое расхождение (Bias), а стандартное отклонение — степень разброса полученного результата (Standard Deviation (SD)). Полученный график Bland – Altman представляет собой обычную диаграмму рассеяния, по оси X которой откладывается среднее значение для двух методов измерения в одном случае, а по оси Y — разность значений в одном испытании. На графике проводятся две линии, обозначающие диапазон средней разности методов плюс/минус стандартное отклонение в доверительном интервале 95%, который и определяет возможный разброс разности значений двух измерений [15].

Для прогнозирования зависимости значения одной (зависимой) переменной от значения другой (независимой) переменной, с целью оценки точности получаемых значений далее применен простой регрессионный анализ [14, 16]. Полученные коэффициенты детерминации (r^2) позволили определить качество построенных регрессионных моделей, оценить точность разницы измерений в графиках Bland – Altman и, соответственно, возможность её использования в качестве поправочного коэффициента при сравнении исследуемых способов измерения ВГД.

Результаты и обсуждение

Современные требования, предъявляемые к приборам для измерения ВГД, можно охарактеризовать несколькими словами: безопасность, простота использования, надежность и, главное, точность. Поэтому внедрение и использование в клинической практике новых методик исследования всегда сопряжено с оценкой этих параметров. Кроме того, для правильной интерпретации искомого показателя новым способом всегда требуется выяснение корреляций результатов измерений с уже известными, эталонными. В отношении оценки уровня ВГД это является весьма актуальным. Так, офтальмогипертензия и стойкое повышение уровня ВГД на 1 мм рт.ст. приводит к 10-кратному риску развития глаукомы [17, 18]. Но нельзя не оговорить тот факт, что 1 мм рт.ст. может явиться погрешностью прибора, использованного при измерении ВГД, или нюансами техники измерения, что явится в результате предпосылкой недооценки или переоценки полученного показателя. Кроме того, при латентной стадии глаукомного процесса, синдромальных состояниях, редких формах глаукомы определение точного значения офтальмотонуса не менее важно для своевременной диагностики манифестации глаукоматозного процесса [19]. Соответственно, неточная оценка уровня ВГД и тем более неверная его интерпретация при использовании новых альтернативных методик могут привести к грубым диагностическим ошибкам.

Известно, что в подавляющем большинстве случаев в практике отечественных офтальмологов тонометр Маклакова является инструментом выбора в оценке ВГД. Не вызывают сомнения результаты этого вида тонометрии, многолетним использованием которого подтвержден факт «действительно объективного, точного клинического изучения офтальмотонуса» [20]. В некоторой степени именно этим и объясняется ограниченное использование в практике российских офтальмологов Goldmann applanation tonometry, являющейся «золотым стандартом» в мире [11, 18, 21]. Однако тонометр Маклакова фиксирует показатели тонометрического ВГД (P_I), а малая сила воздействия GT на глазное яблоко позволяет определить истинное ВГД (P_0), и именно на этот вид тонометрии опирается мировая офтальмология при тестировании вновь появляющихся тонометров [22, 23].

Тонометр Icare основан на методе обратной аддукции и феномене отскока от поверхности роговой оболочки, и его место среди других методов до конца не определено. Как известно, это устройство позволяет измерить давление в положении пациента сидя, без анестезии, в интервале 20 с, с последующим автоматическим расчетом среднего значения уровня ВГД после серии измерений [11]. Несомненным преимуществом прибора является использование одноразовых игл-наконечников, применение в педиатрической практике и в качестве самоконтроля. Однако ограничения в применении данного тонометра обусловлены отсутствием четких рекомендаций об отнесении полученного значения ВГД к P_0 или P_I . Разноречивы данные и о разнице между показателями ВГД, измеренного с помощью тонометров Goldmann и Icare, а также рекомендации об отнесении этого прибора к разряду «точных» или «скрининговых» [18, 22, 24]. Отсутствие ответов на эти вопросы на фоне стоимости Icare ограничивают его использование в широкой практике российских офтальмологов.

На первом этапе работы проведено измерение уровня ВГД среди всех включенных в исследование 147 пациентов (294 глаза) в последовательности, описанной ранее.

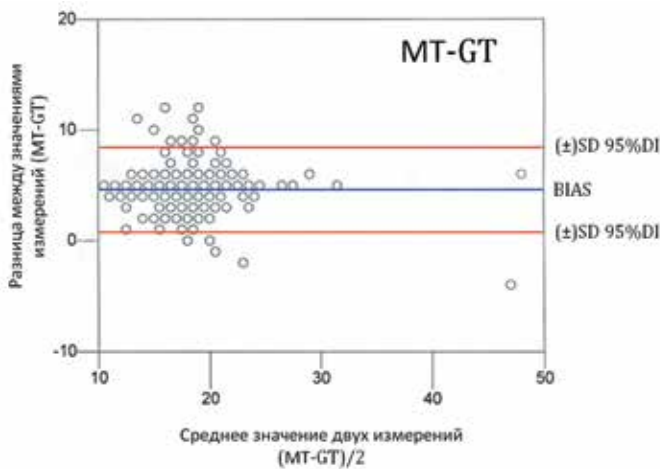


Рис. 1. График Bland – Altman. Средняя разница (bias) уровня ВГД (мм рт.ст.) между тонометрией по Goldmann и по Маклакову (ось y). По оси x указан диапазон средних значений двух измерений $((MT + GT)/2)$

В табл. 2 представлены средние значения разности уровней ВГД (Bias) и степень разброса результатов (SD) при сравнении измерений, проведенных различными способами. Данные обработаны методом Bland – Altman.

Далее дифференциация между сравниваемыми методами представлена на диаграммах рассеяния Bland – Altman (рис. 1-3).

Рис. 1 демонстрирует согласованность между способами измерения ВГД по Goldmann (P_0) и Маклакову (P_1).

Средняя разность между этими методами составила 4,6 мм рт.ст., а стандартное отклонение разности составило $\pm 1,9$ мм рт.ст. По данным «Национального руководства по глаукоме», средняя разность в значениях измерений по Goldmann (P_0) и Маклакову (P_1) составляет 5 мм рт.ст. [17, 25].

Однако в исследовании стандартное отклонение разности составило $\pm 1,9$ мм рт.ст., что с клинической точки зрения является существенным разбросом. Кроме того, любой тонометр, как всякий прибор, имеет определенную погрешность. В отношении тонометра Маклакова в большинстве случаев она связана с материалом, из которого изготовлены грузики, и техническим исполнением процедуры [10, 26]. Все это явилось предпосылкой к более тщательному анализу согласованности двух методов с целью уточнения диапазона разницы с применением простого линейного регрессионного анализа.

Уравнение регрессионного анализа для методов Маклаков – Goldmann имеет следующий вид:

$$MT = f(GT) = 6,973 + 0,85 \times GT,$$

где MT — тонометрия по Маклакову;

GT — тонометрия по Goldmann;

f — показатель, определяющий взаимосвязь предикторной переменной и переменной отклика.

Высокое значение коэффициента детерминации (r^2) 0,78 в построенном уравнении свидетельствует

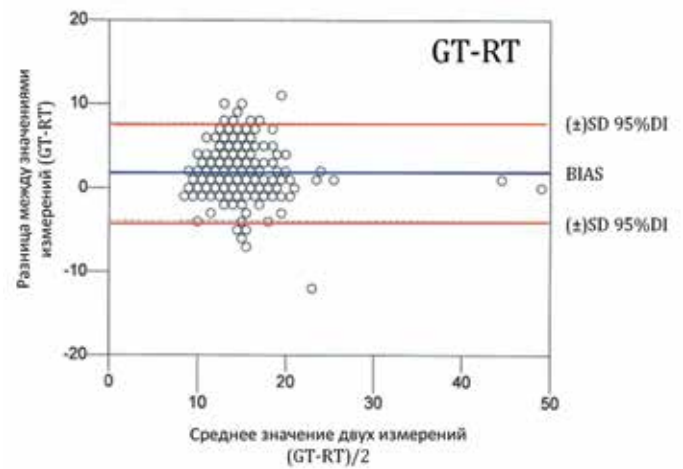


Рис. 2. График Bland – Altman. Средняя разница (bias) уровня ВГД (мм рт.ст.) между тонометрией по Goldman и тонометрией по Icare (ось y). По оси x указан диапазон средних значений двух измерений $((GT + RT)/2)$

о высокой корреляции между тестируемыми методами и высокой точности найденного поправочного коэффициента для тонометрии Маклакова в сравнении с тонометрией по Goldmann. То есть в 78% случаев измерений величину $4,6 \pm 1,9$ мм рт.ст. (в среднем 5 мм рт.ст.) можно считать поправочным коэффициентом для оценки уровня ВГД по Маклакову, что подтверждается высоким качеством построенной регрессионной модели, свидетельствует о точности значения ВГД, полученного тем и другим способами измерений, и доказывает постоянство разницы между значениями по Goldmann (P_0) и Маклакову (P_1) в диаграмме рассеяния Bland – Altman.

Таким образом, лишь в 26% случаев логично предположить влияние иных факторов, которые необходимо учитывать и по возможности исключать при проведении процедуры офтальмотонометрии этими способами.

Далее по той же схеме выполнен анализ разницы измерений между видами тонометрии по Goldman и Icare (рис. 2).

Средняя разность между значениями, определенными этими методами, составила 1,9 мм рт.ст., а стандартное отклонение разности оказалось существенным и составило $\pm 2,9$ мм рт.ст. Причем более низкими были значения, определенные тонометром Icare. Учитывая столь высокую степень разброса полученной в исследовании разницы ($SD = \pm 2,9$ мм рт.ст.), на следующем этапе применен простой регрессионный анализ для оценки согласованности этих методов.

Уравнение регрессионного анализа для методов Goldmann — Icare имеет следующий вид:

$$RT = f(GT) = 1,34 + 0,78 \times GT,$$

где RT — тонометрия Icare;

GT — тонометрия по Goldmann;

f — показатель, определяющий взаимосвязь предикторной переменной и переменной отклика.

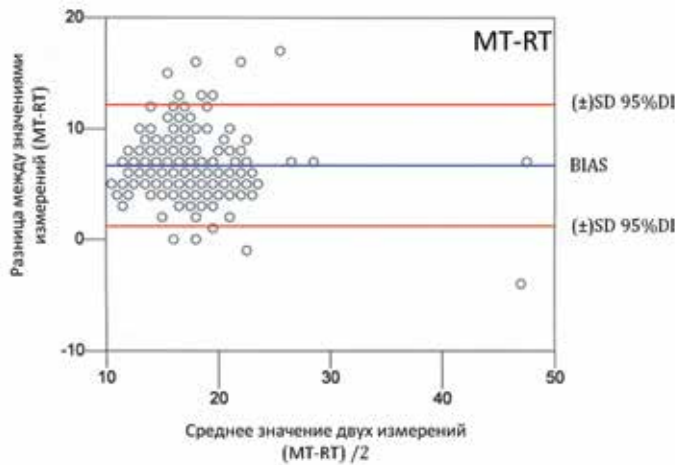


Рис. 3. График Bland – Altman. Средняя разница (bias) уровня ВГД (мм рт.ст.) между тонометрией по Маклакову и тонометрией по Icare (ось y). По оси x указан диапазон средних значений двух измерений $((MT+RT)/2)$

Коэффициент детерминации (r^2) данного уравнения составил 0,59, то есть в 59% (практически в каждом втором случае) использования тонометра Icare можно ожидать ошибку измерения ВГД до 3 мм рт.ст. Низкое значение коэффициента детерминации свидетельствует о возможности лишь ориентировочного определения поправочного коэффициента для Rebound-тонометрии в сравнении с GT.

По данным публикаций, разница между тонометрией по Goldman и Icare составляет от 0 до 3 мм рт.ст. [22-24]. По данным «Terminology and guidelines for glaucoma», разница в ВГД между методами Icare – Goldmann составляет 0,9 мм рт.ст. Однако доверительный интервал составляет от (+) 0,5 до (+) 1,5, а предел согласия от (-) 4,3 до (+) 6,3. При этом в 50% случаев разница ВГД при Rebound-тонометрии в сравнении с тонометрией по Goldmann составляет более 2 мм рт.ст. [18]. Следовательно, при практическом использовании Icare на точность прибора и корректные показатели уровня ВГД можно ориентироваться лишь в половине случаев. Полученные с помощью двух способов доказательной медицины данные позволяют нам уточнить показания к использованию этого вида тонометрии.

При сравнительном анализе методов Маклаков – Icare разница составила $6,7 \pm 2,7$ мм рт.ст., что не противоречит всем имеющимся в сумме исследованиям (рис. 3), если еще раз оценить рис. 1 и 2 (см. выше).

Уравнение регрессионного анализа для методов Маклаков – Icare имеет следующий вид:

$$MT = f(RT) = 10,41 + 0,73 \times RT,$$

где MT — тонометрия по Маклакову;

RT — тонометрия Icare;

f — показатель, определяющий взаимосвязь предикторной переменной и переменной отклика.

Таблица 3

Разница уровня ВГД, измеренного разными способами, в «среднем» диапазоне офтальмотонуса, мм рт.ст. (n=151)

Показатели	Методы исследования		
	MT – GT	GT – RT	MT – RT
Средняя разница (Bias)	4,56	2,13	6,68
Среднее отклонение разности (SD)	1,94	2,72	2,23

Таблица 4

Разница уровня ВГД, измеренного разными способами, в «низком» диапазоне офтальмотонуса, мм рт.ст. (n=76)

Показатели	Методы исследования		
	MT – GT	GT – RT	MT – RT
Средняя разница (Bias)	3,95	1,59	5,53
Среднее отклонение разности (SD)	1,4	2,14	1,9

Таблица 5

Разница уровней ВГД, измеренного разными способами, в «высоком» диапазоне, мм рт.ст. (n=67)

Показатели	Методы исследования		
	MT – GT	GT – RT	MT – RT
Средняя разница (Bias)	5,55	2,49	8,05
Среднее отклонение разности (SD)	2,1	3,57	3,63

Коэффициент детерминации уравнения равен 0,59, что демонстрирует низкое качество построенной регрессионной модели для методов Маклаков – Icare и подтверждает данные диаграммы рассеяния, где стандартное отклонение составляет $\pm 2,7$ мм рт.ст. Средняя разница между методами Маклаков – Icare, составившая $6,7 \pm 2,7$ мм рт.ст., указывает на тенденцию отнесения значения ВГД, полученного методом Icare, к уровню P₀. С другой стороны, высокий разброс значения стандартного отклонения в сравниваемых методах (рис. 2 и 3) и коэффициента детерминации свидетельствуют о погрешности полученных с помощью Icare измерений.

На заключительном этапе уточнения поправочных коэффициентов для исследуемых способов нами оценена разница офтальмотонуса в диапазонах его «низкой», «средней» и «высокой» норм. Как известно, для пациентов, страдающих глаукомой, важно не просто снизить ВГД, а достичь его

индивидуальной нормы, т. е. того уровня ВГД, при котором будут созданы условия для сохранения зрительных функций у конкретного пациента [17]. В данной ситуации точность его оценки становится еще более актуальной.

Обращаясь к вопросу диапазонов уровня ВГД, необходимо отметить деление его в «здоровой» популяции на три уровня [2]. Зона «низкой» нормы составляет от 18 мм рт.ст. и ниже (20,3% пациентов); зона «средней» нормы — 19-22 мм рт.ст. (72,2% пациентов) и зона «высокой» нормы — 23-26 мм рт.ст. (6,5%) (указаны цифры P_0).

Далее в табл. 3-5 представлены цифровые значения диаграмм рассеяния Bland – Altman, выполненные для указанных диапазонов ВГД.

Так, в диапазоне «средней» нормы (19-22 мм рт.ст.) ($n=151$) значения средней разности измерений и стандартного отклонения (табл. 3) практически совпадают с таковыми при обследовании группы «все пациенты» (табл. 2), то есть дополнительных уточняющих поправок в «среднем» диапазоне уровня ВГД не требуется.

При сравнительной оценке низкого диапазона уровня ВГД ($n=76$) (табл. 4) и группы «все обследованные» (табл. 2) определяются уменьшение значений как средней разности, так и степени разброса отклонений между методами Маклаков – Goldmann и Маклаков – Icare. Однако эта разница оказалась несущественной и составила в случае МТ – GT в среднем 0,5 мм рт.ст., а в случае МТ – RT 0,7 мм рт.ст.

В первом приближении величина $\pm 0,5$ мм рт.ст. является погрешностью прибора, рекомендованной производителем, которой можно пренебречь. Соответственно, в диапазоне «низкой» нормы ВГД также можно ориентироваться на поправочные коэффициенты, обнаруженные для сравниваемых методов в группе «все обследованные».

При сравнении методов измерений в диапазоне «высокой» нормы ВГД обращают на себя внимание более существенная средняя разность и стандартное отклонение при всех способах исследования офтальмотонуса (табл. 5 и 2). При сравнении методов МТ – GT в диапазоне «высокой» нормы средняя разность между измерениями увеличилась еще на 1 мм рт.ст., показатель стандартного отклонения совпал с таковым в табл. 2. При оценке методов МТ – RT разность между средними значениями увеличилась до 1,5 мм рт.ст., стандартное отклонение достигло $\pm 3,6$ мм рт.ст. В методах GT и Icare для «высокой» нормы ВГД диапазон разницы с группой «все обследованные» составил $\pm 0,5$ мм рт.ст., что вероятнее всего также можно отнести к допустимой погрешности (табл. 2).

Следовательно, точная оценка высокого уровня ВГД методом Rebound tonometry является некорректной. К значению ВГД, находящемуся в диапазоне «высокой» нормы, должны быть применены все

требования «стартового понятия уровня ВГД» при подозрении на глаукому: измерение ВГД точными способами, не менее трех раз в различное время суток, соотнесение с уровнем артериального давления и другими факторами для исключения возможных диагностических ошибок уже на этапе постановки диагноза «подозрение на глаукому». В этой ситуации показано измерение ВГД с использованием максимально прецизионных методик.

Заключение

Таким образом, при проведении сравнительного анализа трех различных видов тонометрии для оценки уровня ВГД сформирован диапазон средней разности уровня ВГД (поправочных коэффициентов) между этими методами. Наше исследование показало, что за «эталонные» могут быть приняты методы тонометрии по Goldmann и по Маклакову.

Тонометрия по Маклакову грузом массой 10,0 г показывает уровень ВГД выше истинного, определенного по Goldmann, на $4,6 \pm 1,9$ (в среднем 5) мм рт.ст. Причем в диапазоне «низкой» и «средней» норм ВГД разность остается прежней, а в диапазоне «высокой» нормы достигает 6 мм рт.ст. Это подчеркивает необходимость оценки ВГД в диапазоне «высокой» нормы с позиции «стартового понятия», используя исключительно точные методики.

Альтернативная методика Rebound-тонометрии (Icare) указывает на уровень ВГД, приближенный к уровню истинного ВГД (P_0), но имеет большой разброс отклонений, более значимый в диапазоне «высокой» нормы, что не позволяет отнести ее к разряду прецизионных.

Отсутствие значительных отклонений от поправочных коэффициентов в диапазонах «низкой» и «средней» норм ВГД позволяет рекомендовать тонометрию Icare для скрининговых профилактических осмотров различных категорий и возрастных групп (в т. ч. в педиатрической практике), для суточного мониторинга и самоконтроля уровня ВГД, а также в широкой практике раннего послеоперационного периода, с учетом использования выявленных поправочных коэффициентов.

Литература / Reference

1. Любимов Г.А. История развития и биомеханическое содержание измерения внутриглазного давления по методу Маклакова. *Глаукома* 2006; 1:43-49. [Lubimov G.A. History of the development and biomechanical content of intraocular pressure measuring by Maklakov method. *Glaucoma* 2006; 1:43-49. (In Russ.)].
2. Нестеров А.П., Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А. Внутриглазное давление. Физиология и патология. М.: Наука, 1974; 381 с. [Nesterov A.P., Bunin A.Ya., Katsnel'son L.A. Vnutriglaznoe davlenie. Fiziologiya i patologiya [Intraocular pressure. Physiology and pathology]. Moscow, Nauka Publ., 1974; 381 p. (In Russ.)].

3. Gordon M.O., Beiser J.A., Brandt J.D. The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):714-720.
4. Copt R.P., Thomas R., Mermoud A. Corneal thickness in ocular hypertension, primary open-angle glaucoma, and normal tension glaucoma. *Arch Ophthalmol* 1999; 117:14-16.
5. Manni G., Oddone F., Parisi V. et al. Intraocular pressure and central corneal thickness. *Prog Brain Res* 2008; 173:25-30.
6. Shimmyo M., Ross A.J., Moy A. et al. Intraocular pressure, Goldmann applanation tension, corneal thickness, and corneal curvature in Caucasians, Asians, Hispanics and African-Americans. *Am J Ophthalmol* 2003; 136:603-613.
7. Doughty M.J., Zaman M.L. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review end metaanalysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000; 44:367-408.
8. Mansouri K., Leite M.T., Weinreb R.N. et al. Association between corneal biomechanical properties and glaucoma severity. *Am J Ophthalmol* 2012; 153(3):419-427.
9. Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Петров С.Ю. и др. Особенности биомеханических свойств фиброзной оболочки глаза у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Национальный журнал глаукома* 2012; 4:7-11. [Avetisov S.E., Bubnova I.A., Petrov S.Yu. Features of the biomechanical properties of the fibrous layer of the eye in patients with primary open-angle glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2012; 4:7-11. (In Russ.)].
10. Лебедев О.И., Калижникова Е.А., Яровский А.Е. Топ-лист ведения пациентов с глаукомой: тонометрия. *Национальный журнал глаукома* 2013; 4:43-51. [Lebedev O.I., Kalizhnikova E.A., Yarovskiy A.E. Top-list of management of patients with glaucoma: tonometry. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2013; 4:43-51. (In Russ.)].
11. Еричев В.П., Антонов А.А. Сравнение результатов тонометрии с помощью прибора Icare и метода двунаправленной пневмоаппланации роговицы. *Национальный журнал глаукома* 2012; 4:14-19. [Erichov V.P., Antonov A.A. Comparison of the results of tonometry using Icare device and method of bidirectional pneumo applanation of cornea. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2012; 4:14-19. (In Russ.)].
12. Goldmann H., Schmidt T. Applanation tonometry. *Ophthalmologica* 1957; 134:221-242.
13. Маклаков А.Н. Офтальмотонометрия. *Мед Образование* 1884; 24:1092-1095. [Maklakov A.N. Ophthalmotonometry. *Medical Education* 1884; 24:1092-1095. (In Russ.)].
14. Ланг Т.А., Сесик М. Как описать статистику в медицине. Аннотированное руководство для авторов, редакторов и рецензентов / Под ред. В.П. Леонова. М.: Практическая медицина; 2011; 480 с. [Kak opisat' statistiku v meditsine. Annotirovannoe rukovodstvo dlya avtorov, redaktorov i retsenzентов. [How to describe statistics in medicine. Annotated guidelines for authors, editors and reviewers] Ed. V. P. Leonov. M.: Practical Medicine Publ., 2011; 480 p. (In Russ.)].
15. Altman D.G., Bland J.M. Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *The Statistician* 1983; 32:307-317. doi:10.2307/2987937
16. Godfrey K. Simple linear regression in medical research. In: Bailer J.C., Mosteller F., eds. *Medical Uses of Statistics*, 2nd ed. Boston: NEJM Book; 1992:201-232.
17. Глаукома. Национальное руководство / Под ред. Е.А. Егорова. М: ГОЭТАР-Медиа, 2013; 824 с. [Glaukoma. Natsional'noe rukovodstvo. [Glaucoma. National leadership] Ed. E.A. Egorov]. Moscow, GOETAR-Media Publ., 2013; 824 p. (In Russ.)].
18. Terminology and guidelines for glaucoma. 4th Edition/ Ed. EGS-European Glaucoma Society. London: Publicomm, 2014: 191 p.
19. Шуко А.Г., Юрьева Т.Н. Чекмарева Л.Т. и др. Дифференциальная диагностика редких форм глаукомы. Иркутск: Облмашинформ, 2004; 192 с. [Shchuko A.G., Iureva T.N., Chekmareva L.T. Differential'naya diagnostika redkih form glaukomy [Differential diagnostics of rare forms of glaucoma]. Irkutsk, Oblmashinform Publ., 2004; 192 p. (In Russ.)].
20. Нестеров А.П., Вургафт М.Б. Калибровочные таблицы для эластотонметра Филатова-Кальфа. *Вестник офтальмологии* 1972; 88(2):20-25. [Nesterov A.P., Vurgaft M.B. Calibrating tables for Filatov-Kalf elastotonometer. *Vestn Oftalmol* 1972; 88(2):20-25. (In Russ.)].
21. Baily C., Dooley I., Collins N. et al. The difference in intraocular pressure readings between 3 applanation tonometers is independent of central corneal thickness, in glaucomatous and nonglaucomatous eyes. *J Glaucoma* 2014; 23 (9):14-19.
22. Davies L.N., Bartlett Y., Vallen E. et al. Clinical evaluation of Rebound Tonometer. *Acta Ophthalmol Scand* 2004; 122: 1117-1121.
23. Thu S.Y., Sheu M.M., Thu A.H. et al. Comparisons of intraocular pressure measurements: Goldmann applanation tonometry, noncontact tonometry, Tonopen tonometry, and dynamic contour tonometry. *Eye (Lond)* 2009; 23:1582-1588.
24. Brusini P., Salvetat M.L., Zeppieri M. et al. Comparison of Icare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. *Glaucoma* 2006; 15(3):213-217.
25. Национальное руководство по глаукоме: для практикующих врачей / Под ред. проф. Е.Ф. Егорова, проф. Ю.С. Астахова, проф. А.Г. Шуко. Изд. 2-е. М.: ГОЭТАР-Медиа, 2011; 280 с. [Natsional'noe rukovodstvo po glaukome: dlya praktikuyuschih vrachei. [National guidelines for glaucoma: for practitioners]. Ed. E.F. Egorov, Y.S. Astakhov, A.G. Shchuko. Moscow, GOETAR-Media Publ., 2011; 280 p. (In Russ.)].
26. Казанова С.Ю. Ошибки измерения внутриглазного давления по Маклакову. *Национальный журнал глаукома* 2013; 4:72-80. [Kazanova S.U. Errors of intraocular pressure measurement by Maklakov method. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2013; 4:72-80. (In Russ.)].

Поступила 10.04.2015