

УДК 617.7–007.681–073.178(001.8)

О выборе эффективной стратегии и тактики в ранней диагностике, профилактике и лечении открытоугольной глаукомы

О. В. Светлова¹, А. А. Рябцева², И. Н. Кошиц³, Ф. Н. Макаров⁴, М. Г. Гусева¹, М. В. Засеева¹

¹ ГБОУ ВПО Северо-Западный ГМУ им. И. И. Мечникова; Санкт-Петербург (Россия)

² ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского, Москва (Россия)

³ ЗАО «Питерком-Сети / МС»; Санкт-Петербург (Россия)

⁴ ФГУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН; Санкт-Петербург (Россия)

E-mail: svetlova.ov@bk.ru

On the choice of an effective strategy and tactics in the early diagnosis, prevention and treatment of open — angle glaucoma

O. V. Svetlova, A. A. Ryabtseva, I. N. Koshits, F. N. Makarov, M. G. Guseva, M. V. Zaseeva

Summary. Discussion aspects of the pathogenesis of open — angle glaucoma (OAG) were considered in view of the pathophysiological processes occurring in the fibrous layer of the eye (FOG) in this disease. The new medical technology of early diagnosis prevention and treatment of OAG, tested in the clinic was described, using the following author's techniques:

— Evaluation of functional stability of the scleral lamina cribrosa deflection (CPF);

Evaluation of the functional state of FOG according of levels rigidity and scleral fluctuations ;

— Evaluation of the eyes belonging to the area with low, medium or high rates of IOP;

— Determination of the IOP values of the patient in the elderly and in young age;

— Methods to reduce stiffness of FOG and to restore the functional capacity of the sclera to the fluctuations with hypotensive gentle therapeutic effects of a new generation of non — invasive laser — hypotensive sclerotomy (LNGS).

Using a modified by authors the measurement platform of the pneumoanalyzer ORA the functional regulatory features of the fluctuations of the sclera in healthy and glaucoma eyes were revealed and described, and it was found also that the level of rigidity FOG uniquely identifies the current level of the average IOP in the eye ($p < 0,001$).

The problems of metrological assurance of IOP accuracy of IOP measurement were examined. It was revealed relatively low instrumental accuracy of IOP measurement using any of the conventional methods. The low quality of the elaboration of GOST R ISO 8612–2010 «Ophthalmic Instruments» Tonometers» was marked, which legally allows to apply in Russia even ophthalmomanometers with unacceptably high level of relative error (more 70 %). The conclusion about the absolute necessity of accelerated development of the international standard of measurement accuracy of IOP and adequate program of certification of ophthalmomanometers was made.

It was revealed partial contradictions in pathogenetic validity of recommendations of the European Society Glaucoma for reducing of IOP level at 20, 30 or 40 % as a way to stop the progression of glaucoma. It is noted that such recommendations to achieve target pressure (CD) in the traditional sense, lead to a deterioration of the metabolism and accelerate the growth of FOG rigidity, and therefore IOP.

We examine the uncertainty and inconsistency of the concept of «target pressure» (CD). It was found that while there are no full — fledged independent pathogenetic criteria for CSDs, and physiological basis of the comparison as reliably worked norms / standards for healthy IOP or glaucoma eyes. These facts, and the lack in the eye of the mechanism of physiological control of level of IOP and relatively low instrumental accuracy of IOP measurements in any of the traditional ways, has led the authors to the conclusion about the lack of reliable criteria for «IOT level» and the «target pressure» at this stage.

As prognostic criteria for early diagnosis and effective treatment of OAG authors suggest to use not so only the level of IOP, but to use more pathogenetically based criteria: as rigidity FOG and the fluctuation of the sclera, the stability of the CPF

to deflection gradually expanding, if possible, its use in clinical practice. In the prevention and treatment of OAG authors recommend direct efforts to preserve visual function by simultaneously restoring function of the scleral fluctuations, reduce stiffness of FOG and increase resistance of CPF to deflection.

Введение. Классическая «триада глаукомы» по А. von Graefe (1857) такова:

1. Прогрессирующая экскавация диска зрительного нерва.
2. Дефекты в поле зрения.
3. «Плотный глаз».

Прогрессирующая экскавация ДЗН — сегодня определяется с помощью визуального осмотра ретикулярной пластинки склеры (РПС) или оценки её пространственно-анатомических параметров, а также толщины слоев аксонов ганглиозных клеток в сетчатке с помощью современных офтальмотомографов.

Дефекты в поле зрения в настоящее время определяются иногда на периметре, например, Ауберта и Ферстера (1857), а в основном — используя возможности кинетической и статической периметрии на современных компьютерных периметрах.

«Плотный глаз» до последнего момента определялся напрямую только пальпаторно, а косвенно — через измерение интегральной текущей ригидности глаза и её последующего, но не всегда корректного, пересчёта во «внутриглазное давление» (ВГД). Первый импрессионный тонометр был создан А. von Graefe (1862). Аппланационный метод определения уровня текущего ВГД был разработан и применён на практике А. Н. Маклаковым (1884) [17, 30, 31]. Позднее было разработано множество других косвенных методов определения уровня ВГД разного по «плотности» глаза на основе измерения ответной реакции роговицы при аппланационном или импрессионном воздействии на её поверхность.

Характерно, что «плотный глаз» может быть только при высоком уровне ригидности (жесткости) его фиброзной оболочки — это аксиома механики. В «мягком» (молодом) глазу с обычным внутриглазным объёмом и с низкой ригидностью наружного слоя фиброзной оболочки глаза (ФОГ) невозможно создать высокий уровень ВГД из-за не утраченной физиологической способности склеры к растяжению. Ведь склера молодого, не глаукомного глаза весьма «податлива» (термин механики), а высоко ригидная склера глаукомного глаза — нет.

Как видно, Albrecht von Graefe хорошо понимал важность учёта ригидности фиброзной оболочки глаза (читай — «плотного глаза») при развитии глаукомного процесса. Современные российские исследователи недавно даже предложили ввести термины «жесткий» и «мягкий» глаз для трактовки результатов тонометрии и оценки изменения биомеханических свойств ФОГ при заболеваниях, после хирургических вмешательств и с возрастом [3].

Однако, к сожалению, мировая офтальмология не пошла по пути прямой фиксации ригидности ФОГ как одного из ведущих механизмов прогрессирования ОУГ, а практическим критерием выбора способа и/или эффективности лечения ОУГ предопределила **уровень ВГД**. Заметим, что большинство известных методик определения уровня офтальмотонуса являются, по своей сути, не прямыми, а *косвенными*, и по этим методикам исследователи фактически всегда определяют сначала *интегральную* ригидность ФОГ, а потом пересчитывают её разными способами в уровень ВГД [30]. Отметим также, что все известные способы исследований офтальмотонуса, к сожалению, имеют различные методические, инструментальные и субъективные погрешности измерений, неучёт которых может приводить к существенным ошибкам при их последующей трактовке по ряду объективных и субъективных причин. Причины таких ошибок мы обсудим ниже.

В исторической перспективе есть ряд исследователей, пытавшихся ранее с помощью измерений ригидности ФОГ, а теперь и измерений нового функционального параметра — *флуктуации склеры* — получить дополнительные представления о физиологическом состоянии глаза не только по уровню ВГД, степени экскавации РПС и состоянию полей зрения, но и по состоянию *регуляторных* функций «контроля объёма глаза». Их представления, основанные на том, что «плотный глаз» занимает равноправное положение в «триаде Грефе», а также на том, что в «непримиримой» борьбе за снижение ВГД необходимо учитывать значимую роль и место ригидности ФОГ и флуктуации склеры в ранней диагностике ОУГ. И такой подход пока во многом непонятен адептам традиционных представлений. Но мы надеемся, что так будет продолжаться недолго. Ведь общая тенденция такова: офтальмологи постоянно расширяют свои представления о функциональных особенностях глаза, чтобы одновременно поддерживать их не только в процессе лечения ОУГ, но и учитывать при создании теории её патогенеза.

Несколько лет назад нам стало понятно, что вековая эпоха **безраздельного господства ВГД** как прогностического критерия в диагностике и, самое главное — в лечении ОУГ закончилась, поскольку на новом витке знаний «количество переросло в качество» и появились вполне современные методы оценки состояния других характеристик глаза [15, 16, 21–29, 35–54, 56, 73]. Это позволило создать уже апробированную в клинике и, возможно, работоспособную теорию о нормальной и патологической

физиологии ФОГ, её ригидности и флуктуации склеры и их непосредственной связи с текущим уровнем ВГД, а также основанные на этой теории новейшие способы ранней динамической диагностики ОУГ, её профилактики и лечения [37, 45–52]. Рекомендуем читателю для более углублённого понимания изложенного в этой статье материала сначала ознакомиться с нашей программной статьёй, опубликованной в «Офтальмологическом журнале» № 6 за 2010 г. и размещённой на сайте www.organum-visus.com / физиология глаза [29].

Анализ традиционных и современных представлений об этиологии ОУГ показал явную ограниченность наших знаний об этом заболевании. Ведь, несмотря на периодическое появление очередных теорий о патогенезе ОУГ, ни одна из них не позволяет разработать такие лечебные технологии, которые реально остановят глаукомный процесс [24, 56]. Фактически сегодня по вопросу патогенеза ОУГ мы пришли к самой яркой аксиоме Сократа: *«scio me nescire»* — я знаю, что ничего не знаю... о глаукоме.

А значит, на новом витке знаний необходимо вернуться «к истокам» и попытаться определить ключевое звено в возникновении одной из самых распространённых глазных патологий. Такой подход заставил нас обратить пристальное внимание на катастрофическую потерю физиологических функций у ФОГ, а также на первостепенное влияние этого патофизиологического механизма на весь глаукомный процесс и, самое главное — на безусловную необходимость его учёта в диагностике и лечении ОУГ [37, 40–44, 47–53].

Первые практические успехи в создании новейших способов и методик динамической диагностики состояния функций склеры, а также и в патогенетическом обосновании эффективности альтернативных медикаментозных или хирургических воздействий, ещё более укрепили эти наши ранние представления о весомой роли морфофункциональных изменений ФОГ в патогенезе ОУГ [15, 16, 24, 35–47, 73]. Но сначала необходимо было научиться измерять и оценивать функциональные возможности ФОГ *высокоточно*, а, следовательно, достоверно.

Относительно безусловной важности достоверных измерений Дж. Стиглиц — иностранный член РАН, инженер и лауреат Нобелевской премии по экономике (2001) — высказался так (цитируем по [11]): *«То, что мы измеряем, влияет на то, что мы делаем. Если у нас неверное измерение, мы будем иметь неверные результаты»*. Безусловную важность учёта метрологии в научных исследованиях прекрасно понимал военный врач, биофизик, механик, психолог и физиолог Г. Л. Ф. фон Гельмгольц: *«...В 1888 году он назначается директором вновь учрежденного правительственного физико-технического институ-*

та в Шарлотенбурге — Центра немецкой метрологии, в организации которого он принимал самое активное участие» (см. <http://to-name.ru/biography>).

Известные нам статьи со сравнительной оценкой качества однотипного офтальмооборудования по критерию оценки погрешностей измерений можно пересчитать по пальцам [57]. А значит, начиная со времён Гельмгольца, преодолеть барьер под названием «Метрологическая обеспеченность наблюдений» современная офтальмология так и не смогла. И в клинической практике мы фактически не оцениваем *точность измерений*, подменяя это понятие данными *«разброса»* полученных величин [12], без учёта *погрешностей* измерения каждой из них. Но сегодня мы, всё-таки, находимся в XXI веке, и практическое отсутствие объективной оценки относительных погрешностей измерений офтальмологических параметров, зачастую, не даёт оснований рассматривать их как вполне надёжные. И вот почему.

I. О достоверности клинических измерений офтальмотонуса.

1.1. Метрологическая достоверность измерений уровня ВГД. Более века офтальмологи при постановке диагноза традиционно используют, в том числе, текущее значение ВГД, полученное, зачастую, различными способами и на принципиально разном диагностическом оборудовании. Как правило, ни методические, ни инструментальные, ни систематические погрешности точности измерений ВГД при этом не учитываются. Заметим, что в технических или физических исследованиях измерения считаются достоверными при уровне относительной погрешности измерений **не более 2 %**.

При измерениях уровня ВГД любым из традиционных способов тонометрии, минимальная *относительная погрешность* измерения, как правило, составляет **не менее 10–15 %**. Это подтверждает анализ паспортных данных на разные тонометры, результаты которого мы рассмотрим чуть позже. Погрешность не менее 10–15 %, видимо, вполне соответствует практике, однако в некоторых случаях определения уровня ВГД, например, ручными тонометрами, относительная погрешность измерений иногда достигает 25–60 %, в основном, из-за неучёта текущего уровня ригидности ФОГ [18, 29, 38, 62]. И здесь сразу возникает вопрос влияния точности измерений ВГД на правильность постановки диагноза.

Если говорить об относительной погрешности измерений в 2 %, то это означает следующее. Например, что при уровне истинного ВГД в 20 мм рт.ст., измеренного с помощью иглы в передней камере глаза, абсолютная погрешность измерений с помощью тонометра с погрешностью 2 % составит $\pm 0,4$ мм рт.ст. ($20 \times 0,02 = 0,4$). Т.е. результат измерения будет находиться в диапазоне от 19,6 до

20,4 мм рт.ст. При реальном уровне относительной погрешности у современных тонометров не менее 10 % абсолютная погрешность измерения в этом случае будет составлять $\pm 2,0$ мм рт.ст. ($20 \times 0,1 = 2,0$). А результат измерения будет, соответственно, лежать в пределах **от 18,0 до 22,0 мм рт.ст.**

И только эти значения, реально учитывающие погрешность измерений, следует считать безусловно доверительными, и только их, с метрологической и юридической точек зрения, правомерно использовать в дальнейшей статистической обработке и в анализе полученных результатов. Но если этим пренебрегать, то не всегда возможно получить адекватный научный результат. Приведём три примера.

Пример 1. Автором работы [10] решалась задача (цитируем): «...провести сравнительный анализ показателей ВГД при использовании современных методов тонометрии, таких как ручная аппланационная тонометрия, транспальпебральная тонометрия и динамическая двунаправленная пневмоаппланация, у пациентов без патологии роговицы в контрольной группе». «...В одной из групп пациентов были выявлены превышения значений уровня роговично-компенсированного ВГД, полученного на пневмоанализаторе ORA (США) через расположенную на роговице мягкую контактную линзу, над данными транспальпебральной тонометрии **на 0,4 мм рт.ст.**, а над показаниями ручной аппланационной тонометрии — **на 1,4 мм рт.ст.**».

Заметим, что относительные погрешности, т.е. инструментальная точность измерений при использовании вышеуказанных типов тонометров в проведённом исследовании не учитывались. Кроме того, указанные автором превышения значений ВГД **на 0,4 и 1,4 мм рт.ст.** лежат **в области погрешности измерений** ВГД этими методами тонометрии, и потому также не могут объективно считаться полностью достоверными. А если мы «неточно измеряем», то делать по таким ненадёжным клиническим данным какие-либо научные выводы, по-видимому, не вполне корректно. Любая попытка сравнительной оценки точности современных способов измерения ВГД с помощью клинических данных, получаемых без сравнения с показаниями **эталонного тонометра**, нам сегодня действительно представляется сложной научной задачей. К сожалению, до сегодняшнего дня в мировой офтальмологии не определена процедура выбора эталонного тонометра, по показаниям которого будут в обязательном порядке определяться погрешности измерений у всех остальных тонометров. А это уже «метрологический нонсенс».

Пример 2. В офтальмологической литературе достаточно часто можно увидеть приведённые значения ВГД с точностью до второго знака (например, 17,73 мм рт.ст.), т.е. определяемые авторами с точностью до сотых (!) долей мм рт.ст. Подобные «высокоточные» результаты авторы, зачастую, по-

лучают с помощью простой арифметической оценки **разброса** величин наблюдений, **но без учёта погрешностей инструментального определения каждой из них.** Однако заметим, что достоверные инструментальные значения ВГД с точностью до 0,01 мм рт.ст., могут были получены только с помощью такого *эталонного тонометра*, который способен измерять ВГД с точностью на **порядок** выше — до 0,001 мм рт.ст. Нам пока такие высокоточные офтальмотонометры неизвестны.

Пример 3. Многие зарубежные авторы традиционно приходят к выводу о том, что при определении уровня ВГД предпочтение следует отдавать измерениям по Шиотцу, а не пневмотонометрам, у которых они отмечают, как правило, большую **погрешность** измерения ВГД [61, 69, 74]. Пренебрежение метрологической обеспеченностью тонометрических наблюдений привело этих авторов к такому выводу, который вызывает вполне определённые сомнения, поскольку он был сделан без учёта относительной **погрешности** измерений ВГД на пневмотонометре и методом Шиотца, т.е. без их объективного сравнения по основному метрологическому параметру. Объясним, почему.

Ведь во-первых, время воздействия на глазное яблоко любых пневмотонометров не более 0,04 секунды, а вот тонометрия по Шиотцу, да и по Маклакову, продолжается не менее, чем 1 секунду. Т.е. продолжительность воздействия на глаз у пневматических способов измерения ВГД в 25 раз меньше, чем у способов Шиотца и Маклакова. А значит, пневмоспособы должны априори иметь значительно меньшую погрешность измерений.

Если попытаться объяснить это утверждение на языке механики, то следует подчеркнуть, что с помощью способов Шиотца или Маклакова уровень ВГД фактически определяется в «**полуоткрытой**» гидравлической системе, когда продолжительность воздействия на роговицу составляет около 1 секунды, т.е. когда временная частичная фильтрация водянистой влаги возможна, и, значит, объём глаза меняется. Снижение внутриглазного давления при длительном контакте своего тонометра с глазным яблоком отмечал и сам Шиотц (1905): и этот результат, согласно законам гидравлики, абсолютно закономерен, поскольку в этот момент в глазу временно возрастает уровень фильтрационного давления. Тонотристы с многолетним стажем обычно делают 15-минутный «восстановительный» перерыв перед повторным измерением ВГД по Маклакову, поскольку знают о физиологическом снижении уровня ВГД сразу после первого измерения: ведь фильтрационное давление во время проведения такого «продолжительного» измерения при этом методе также возрастает, стимулируя отток водянистой влаги (ВВ) **на протяжении всего измерения.**

В полностью «закрытой» глазной системе, как например, при измерениях на пневмотонометрах, когда продолжительность воздействия составляет всего 0,04 секунды, уменьшение объёма глаза из-за минимального времени воздействия практически становится невозможным (ВВ не «успевает» вытечь). *Т.е. продолжительность воздействия на глаз при любом методе тонометрии имеет первостепенное значение для обеспечения высокой точности измерений.* И это означает, что при грамотном проведённых измерениях уровня ВГД, когда погрешность измерений в каждом отдельном случае будет учитываться, пневмотонометрия, безусловно, выиграет бой за точность у методов Шиотца и Маклакова.

Мы привели эти примеры исследований уровня ВГД не для того, чтобы в чём-то упрекнуть их искренне и по-настоящему уважаемых нами авторов. Ведь производители медтехники и тонометров, в частности, иногда лукаво не указывают погрешности измерений в паспорте прибора и потому заставляют врача использовать такой не в полной мере корректный подход. И в этом заключается грустная особенность большинства исследований в современной «высокотехнологичной» медицине, включая офтальмологию, когда погрешности измерений часто вообще не учитываются. Но ведь, как уже говорилось выше: «...если у нас неверное измерение, мы будем иметь неверные результаты». На постулате о безусловной необходимости оценки точности наблюдений основаны любые методики исследования законов природы во многих областях знаний. Поэтому даже ставить научную задачу *сравнения методов* исследования без учёта погрешностей измерений каждым из них в современных условиях вряд ли правомерно.

В связи с этим возникает вопрос: понятие «доказательная медицина», если, конечно, мы правильно его понимаем, должно предполагать обязательную оценку точности измерений или нет?! Многочисленные «мнения» о том, что мы, дескать, «исследуем не какую-то мёртвую ткань, а биологическую живую систему» (для которой общие законы природы — физики и механики, «очевидно», не всегда применимы), по сути своей не вполне корректны, ибо могут приводить к фатальным ошибкам.

Например, автором работы [18] в процессе специально организованного на конференции «РГО-2012» семинара было выявлено следующее [34]. При анонимной обработке в одинаковых условиях с помощью измерительной тонометрической линейки пяти пар клинических отпечатков ВГД по Маклакову грузом 10 гр. у здоровых и глаукомных пациентов, 78 присутствующих на семинаре офтальмологов устойчиво получали в разных группах пациентов абсолютные «индивидуальные отклонения» в пределах **от 3 до 16 мм рт.ст.** (!) от рассчитанного с учётом всех измерений среднего значения ВГД. И это

без учёта *инструментальной* погрешности измерений. При этом, автором была «отмечена возможность *системной* (выделено нами) ошибки», когда некоторые врачи занижают результаты измерений по Маклакову, а другие — завышают. Заметим, что автором использовано неизвестное в метрологии понятие *системной ошибки*. Возможно, автор хотел использовать принятое в метрологии понятие *систематическая погрешность измерений*, хотя в данном случае следует говорить о *методической и субъективной* погрешностях обработки результатов отпечатков ВГД разными исследователями. Эта «путаница с терминами» в работе [18] — яркий пример того, что знание основ метрологии сегодня врачам-офтальмологам явно необходимо.

Например, авторы работы [2] утверждают, что при исследовании достоверности показаний транспальпебрального индикатора внутриглазного давления ИГД-02 для оценки целесообразности его применения врачами общей практики (цитируем): «...в подавляющем большинстве исследований (85 %) погрешности не выявлено или она укладывалась в заявленную паспортную погрешность индикатора ИГД-02 «ПРА», составляющую $\pm 2,0$ мм рт.ст.». При этом авторы, видимо, даже не понимают того, что «разброс данных наблюдений», полученных без учёта погрешности измерений, они принимают именно за погрешность измерений. Но они в этом не виноваты — скорее всего, в ВУЗовской программе их обучения отсутствовал подраздел «Метрология» [24, 26, 31]. И, следовательно, такая «доказательная медицина», без соответствующего современного уровня врачебного образования, пока останется во многом только лозунгом.

В международной классификации погрешностей присутствуют *абсолютная, относительная и приведённая* погрешности измерения, а также *инструментальные, методические и субъективные* погрешности [32]. Часть офтальмологов не всегда представляет себе те объективные критерии, по которым можно оценить достоверность и точность полученных данных. А ведь сегодняшняя современная офтальмология в области диагностики, а также различных приборных методов хирургического и лазерного лечения — это практически область экспериментальной физики, но в программах обучения врачей эта «прикладная наука», как правило, отсутствует.

Недостаточность в сегодняшних условиях начальных базовых знаний в области фундаментальных наук, как показывает практика, иногда существенно затрудняет деятельность офтальмолога, например, при использовании современных средств диагностики, основанных на последних достижениях прикладной физики. Это, зачастую, приводит к неоправданным ошибкам — как при постановке задачи и при выполнении исследова-

ний, так и в трактовке полученных результатов. В настоящее время офтальмологу уже не обойтись без привлечения накопленных знаний в сопредельных дисциплинах: в первую очередь в области метрологии, механики, гидравлики, теории оболочек и теории управления биологическими системами. В сегодняшней офтальмологии уже требуется **синергетический** междисциплинарный подход с использованием опыта специалистов разных отраслей. О современных требованиях к офтальмологическому образованию в РФ см. наши работы [24–27].

Ряд авторов, да и мы тоже, уже ранее писали о необходимости учёта погрешностей при офтальмологических измерениях [1, 18, 29], однако поставщики офтальмотонометров не всегда дают возможность это сделать. Например, многочисленные поставщики различных типов глазных тонометров в их технических паспортах, как правило, не указывают на то, какова **относительная или абсолютная погрешность измерений ВГД данным методом** и на данном приборе. Однако есть и приятные исключения.

Для пневмотонометра HNT-7000 (Huvitz, Ю. Корея) в рекламном проспекте всё-таки указана **абсолютная** погрешность измерений — 1 мм рт.ст. на весь возможный диапазон измеряемой величины ВГД от 0 до 60 мм рт.ст. (поставщик — компания Stormoff). Относясь с должным уважением к поставщику этого тонометра, следует подчеркнуть, что правомерность указания производителем в его паспорте только постоянной положительной величины абсолютной погрешности измерений в таком широком диапазоне уровней ВГД вызывает определённые сомнения, поскольку величина **относительной** погрешности будет в этом случае «плавать» — от 20 % при уровне ВГД, например, в 5 мм рт.ст. ($1 : 5 \times 100 \% = 20 \%$), доходя при ВГД в 60 мм рт.ст. до небывало низкого значения 1,7 % (!) ($1 : 60 \times 100 \% \approx 1,7 \%$). Т.е. такой тонометр на верхней границе измерений следует считать для офтальмологии **эталонным**, хотя это далеко не так.

Заметим, что представление погрешности измерений не в относительном, а в абсолютном значении, в принципе, не является в полной мере корректным для использования в клинической практике, поскольку, по сути, противоречит основам метрологии. Подчёркнём, что если бы в паспорте пневмотонометра HNT-7000 была указана только величина относительной погрешности измерений, например, 10 %, то это бы более соответствовало истинному положению дел применительно к «доказательной» медицине. Этот «барьер» сумели частично преодолеть разработчики других тонометров.

Например, для ручного отечественного склеротонометра Г. К. Пилецкого, (этот способ изме-

рений обладает мировой новизной — патент RU № 2303943 с приоритетом от 24.06.2005 г.), работающего по принципу измерения уровня отскока груза от системы двух оболочек: «веко+склера», в паспорте прибора указана **«абсолютная погрешность измерений 2 мм рт.ст. при ВГД до 26 мм рт.ст. и относительная погрешность измерений 10 % при ВГД от 26 до 60 мм рт.ст.»**. А для современного финского ручного тонометра «Icage» точность измерения по паспорту прибора определяется так: **«...в диапазоне от 5 до 30 мм рт.ст. «предел допускаемой погрешности измерения» — не более 2,8 мм рт.ст., а в диапазоне от 30 до 80 мм рт.ст. относительная погрешность составляет не более 15 %»**.

Несмотря на то, что разработчики этих тонометров представили погрешности измерений в некорректном «смешанном» виде для разных диапазонов уровня ВГД, объективная оценка **относительной** погрешности измерений ВГД у тонометра Пилецкого в диапазоне до 26 мм рт.ст. составляет 7,7 % ($2 : 26 \times 100 \% = 7,7 \%$), а у тонометра «Icage» — 10,8 % ($2,8 : 26 \times 100 \% = 10,8 \%$). Теперь чётко видна сравнительно более высокая точность измерений у склеротонометра Г. К. Пилецкого по сравнению с тонометром «Icage» во всех диапазонах измерений. При оценке качества тонометров любого типа достаточно сравнить их по уровню погрешности измерений, если производитель указал их в паспорте прибора.

Но здесь следует обратить пристальное внимание на значительные величины абсолютной и относительной погрешностей у двух последних офтальмотонометров. Ведь, например, относительная погрешность измерений 15 % у тонометра «Icage» при реальном уровне тонометрического ВГД в 30 мм рт.ст. даёт уровень абсолютной погрешности $\pm 4,5$ мм рт.ст., который, с одной стороны, достоверно приводит нас в диапазон 25,5 мм рт.ст. ($30 - 4,5 = 25,5$), т.е. в зону высокой нормы истинного офтальмотонуса (17–22 мм рт.ст.) по А. П. Нестерову [33] или в подобный диапазон тонометрического ВГД 23–26 мм рт.ст. согласно работе [4]. Это формально говорит о «нормализации» уровня ВГД на фоне, например, фармакотерапии в терминах «доказательной» медицины. Хотя, с другой стороны, это может быть совершенно не так, поскольку уровень ВГД составит 34,5 мм рт.ст. ($30,0 + 4,5 = 34,5$) при учёте верхнего значения абсолютной погрешности измерений.

На основании такой «доказательной» медицины, не учитывающей погрешности измерений, пациенту, с учётом состояния его РПС, в первом случае, скорее всего, будет рекомендована фармакотерапия, а во втором, возможно, уже проницающее хирургическое вмешательство. **Т.е. несовершенство методики измерения будет «объективно» приводить к выбору разных методов лечения.**

1.2. Погрешности измерений, поверка и сертификация тонометров.

При заказе любого медицинского оборудования необходимо в обязательном порядке требовать от поставщика указывать в паспорте прибора **относительную погрешность измерений** по всем поддиапазнам измеряемой величины, чтобы заранее понимать, насколько мы будем ошибаться, например, при измерениях уровня ВГД. А при проведении клинических исследований и при анализе получаемых результатов необходимо в обязательном порядке учитывать относительную погрешность измерений, чтобы полученные результаты объективно могли быть вписаны в жёсткие рамки «доказательной» медицины.

В мире *status quo* определяется классическим соотношением «цена / качество», где в стандартном сертификате на измерительную технику указана объективная оценка ошибки измерений, т.е. КАЧЕСТВО прибора. Для этого в мире существуют аккредитованные центры сертификации каждого вида продукции. Однако, например, в «Ростесте» проводится (цитируем): *«поверка, испытания системы измерений медицинского назначения и его инструментальный контроль в рамках технического обслуживания изделий медицинской техники для тонометров внутриглазного давления, периметров поля зрения, синоптофоров и офтальмометров»*, т.е. того медоборудования, которое выпускает отечественная промышленность.

ГОСТ Р ИСО 8612–2010 «Приборы офтальмологические. Тонометры», строго обязательный для выполнения на территории РФ, так формулирует методику их сертификации по сравнению с тонометром Гольдманна, который принят за эталон (!) — см. табл. 1: *«Эти требования считают выполненными, если не более 5 % парных разностей между показаниями эталонного и испытываемого тонометров в каждом диапазоне давления не превышают пределы, приведенные в таблице 1 для соответствующих диапазонов ВГД. Причём допустимая погрешность испытательной аппаратуры (читай — эталона, выделено нами) должна составлять половину предела по табл. 1. (п. 4.3.2. ГОСТа).*

Примеч. — Пределы в табл.1 представляют значения, в 1,96 раз превышающие среднее квадратическое отклонение, допустимое для парных измерений. Поэтому они учитывают не только допускаемую погрешность тонометра, проходящего

Таблица 1.

Диапазон ВГД, мм рт.ст.		Пределы, мм рт.ст.	Минимальное число глаз
От	До, включительно		
7	16	± 5,0	40
Св.16	23	± 5,0	40
Св. 23	?	± 5,0	40

испытания, но также систематическую погрешность, связанную с эталонным тонометром.

А что по такому «ГОСТу» означает абсолютная погрешность измерений $\pm 5,0$ мм рт.ст. во всём диапазоне измерений, да, вдобавок, с неуказанной границей верхнего уровня измеряемого ВГД? Это означает, что при реальном тонометрическом давлении у пациента 23,0 мм рт.ст. измеренное давление будет объективно лежать в пределах от 18,0 до 28,0 мм рт.ст. И в случае учёта только нижней границы измеренной тонометрической величины ВГД в 18,0 мм рт.ст. не потребуются никаких врачебных действий, а в случае учёта верхней границы ВГД 28,0 мм рт.ст. фармакотерапия, вполне возможно, понадобится. Принятый в РФ «ГОСТ» фактически допускает относительную погрешность измерений по «плавающей» шкале: от **70 %** ($5 : 7 \times 100 \% = 70 \%$) в нижней части шкалы измерений до 11,1 % при реальном ВГД, например, в 45 мм рт.ст. ($5:45 \times 100 \% = 11,1 \%$).

Такой ГОСТ открывает границы для применения в РФ любых, даже самых неточных тонометров, вместо того, чтобы ограничивать применение последних для обеспечения качественной постановки диагноза у российского пациента с ОУГ. Складывается впечатление, что разработчикам этого ГОСТа, а также поставщикам офтальмотонометров низкой точности, было важно сымитировать факт измерения ВГД. А как инструментально точно, с какой достоверительной вероятностью — уже неважно.

Однако даже выбранный за эталон сравнения в российском ГОСТе тонометр Гольдманна тоже, с точки зрения точности измерений, далеко «не безгрешен». По данным работы [8], (цитируем): *«В США проведено исследование [66] воспроизводимости ВГД с помощью тонометра Гольдмана. Было исследовано 420 глаз. Время между двумя измерениями не превышало 30 минут. Различие результатов в 3 и более 3-х мм рт.ст. отмечено в 30 % случаев. Один исследователь заподозрил глаукому в 47 глазах, второй — в 30 глазах и только в 22 заподозрили одновременно. Такое различие результатов измерений свидетельствует о неточности наших измерительных приборов, а также об ошибках при измерении и значительном субъективизме метода тонометрии, проводимого современными тонометрами [55, 66]. Поэтому-то так выражено стремление к созданию тонометров, дающих наиболее точные результаты».*

Объективным экспериментом (с контролем истинного ВГД через иглу в передней камере) установлены достоверные различия тонометрического и истинного ВГД в одном и том же глазу **от 1,2 до 10,0 мм рт.ст. (!)** при измерениях с помощью аппланационных тонометров «Perkins» и «Топорен». Причём, вдобавок, полученные значения офтальмотонуса достоверно не зависят от толщины роговицы [62], что подтверждается и в работе [60].

Вывод. Вышеуказанные большие погрешности измерений, на наш взгляд, заставляют обратить пристальное внимание на сравнительно низкий уровень достоверности критерия «уровень ВГД» в диагностике ОУГ в современных условиях.

К существенным недостаткам импрессионных тонометров Шиотца, широко распространённых за рубежом, относится трудность их стандартизации. Несмотря на существование комитета по стандартизации тонометров Шиотца и специальных станций по их поверке в Европе и Америке, до сих пор не удалось создать адекватную программу стандартизации этих тонометров [67], а поэтому показания различных экземпляров тонометров Шиотца не вполне идентичны. Сходные проблемы и со стандартизацией метода Маклакова. Подобные недостатки присущи и другим относительно долговременным (продолжительным по времени) способам определения уровня ВГД.

По нашему мнению, это во многом связано с главной особенностью всех **долговременных** методов определения офтальмотонуса: они работают в условиях «полуоткрытой» гидравлической системы, когда при продолжительности измерений около 1 секунды объём глаза может изменяться. А если может изменяться объём глаза, то эти методы должны иметь существенную зависимость от величины текущего уровня ригидности фиброзной оболочки глаза: чем больше ригидность ФОГ, тем меньше должна быть погрешность измерений. Из этого следует важнейший вывод: программа сертификации подобных методов определения ВГД должна обязательно учитывать уровень текущей ригидности ФОГ при проведении *поверочных* (калибровочных) измерений.

И здесь мы столкнулись с главной инженерно-медицинской проблемой в проведении сертификационных испытаний офтальмотонометров: собственно программа сертификации должна быть проработана настолько глубоко, чтобы было возможно оценить влияние не учитываемых пока физиологических характеристик глаза и биомеханических факторов. Нам абсолютно понятно, что совместные усилия офтальмологов и инженеров из разных стран должны быть направлены на разработку согласованных международных программ и методик сертификации тонометров.

И пока этого нет, офтальмологи будут вынуждены пользоваться не вполне достоверными данными измерений ВГД из-за не вполне адекватных методик сертификации тонометров. Чтобы преодолеть этот барьер, необходима разработка международного регламента по сертификации офтальмотонометров. Именно так и делается в технике для разных серьёзных исследовательских и диагностических задач, обычно, в национальных научно-исследовательских институтах метрологии. Но,

без решения вопроса о грамотной сертификации любых тонометров на основе выбранного международного эталона, правомочность и обоснованность использования критерия ВГД для диагностики и оценки эффективности различных способов лечения ОУГ сегодня возникает с новой силой.

А ведь формально, согласно обязательному для выполнения в РФ техническому регламенту, зарубежные сертификаты производителей специальных средств медицинской измерительной техники должны передаваться в уполномоченный орган сертификации в РФ для последующего оформления отечественных сертификатов соответствия на медицинское оборудование в системе сертификации «Средств Измерения Медицинского Назначения» (СИМН), а также последующей выдачи регистрационных удостоверений Минздрава РФ. Получение разрешительного документа в этой системе необходимо и для российских, и для зарубежных устройств. И в этих сертификатах в обязательном порядке должна указываться **погрешность измерений** для каждого типа СИМН. И если этого нет, то и эксплуатация такого прибора на территории РФ **юридически неправомерна**.

Ведь даже при измерениях в квартире с помощью индивидуальных счётчиков объёма потребляемой холодной и горячей воды требуется паспорт прибора с указанием его точности и непросроченное подтверждение времени его последней метрологической *поверки* (калибровки). И если этого нет, то и нет юридических оснований, например, для льготной оплаты услуг. Также, например, просрочка времени указанного в паспорте очередного техосмотра автомашины является юридическим основанием для невыплаты страховки и требования оплаты самим автовладельцем **всех расходов после аварии**.

Ещё один поучительный пример. Разрешённые Минздравом РФ к применению газоанализаторы Alcotest серии 7410 фирмы «Drager Safety AG & Co. KGaA» (Германия) для автоматического контроля содержания паров этилового спирта в выдыхаемом воздухе имеют **относительную погрешность измерений** $\pm 20\%$ (!). При таких «высокоточных» измерениях даже трезвый водитель может лишиться водительских прав. У профессионального алкотестера Alert J4X относительная погрешность составляет не более $\pm 10\%$ от измеряемого значения, однако, и эта «точность» также может быть «небезопасна» для трезвого водителя. А надёжно выявить такими «высокоточными» медицинскими приборами малую степень опьянения у водителя достоверно невозможно, поскольку сама измеряемая величина **сравнима** с погрешностью измерений.

На практике это приводит к судебным искам о нарушении прав граждан на защиту от последствий неправильных результатов измерения, поскольку нарушаются положения п.7 ст.2 Федерального за-

кона от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», в котором говорится, что результаты измерений выражаются «*в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы*» (выделено нами). И этому закону должны соответствовать измерения на любом оборудовании, разрешённом к эксплуатации согласно регистрационному удостоверению Минздрава РФ.

Однако Минздрав РФ до последнего времени фактически игнорировал выполнение этого ФЗ, и понадобилось вмешательство премьер-министра и решение Верховного суда РФ (!), признавших незаконным определение степени опьянения водителя по алкотестеру без учёта погрешности измерения, а также обязывающее Минздрав России внести поправки в текст инструкции на медицинское освидетельствование уровня алкоголя в крови, когда врачи отныне будут обязаны учитывать погрешность алкотестеров ($\pm 10\%$) — т.е. фиксировать только превышение порога 0,16 миллиграмма этилового спирта на 1 литр выдыхаемого воздуха.

Стоит отметить, что и на пути к достоверным измерениям офтальмотонуса и других характеристик глаза будет объективно стоять недопонимание многими руководящими медицинскими специалистами безусловной необходимости учёта погрешностей измерений. И вполне допустимо, что и в этом случае потребуется похожее судебное вмешательство.

Напомним, что на практике в паспорте на медицинское оборудование иногда не указывается относительная погрешность измерений и периодичность его «технического обслуживания», а также необходимая дата его ближайшей метрологической проверки в сертификационном центре по международному стандарту, например, для тонометров — в системе ISO 8612:2009. Оплата этих юридически необходимых процедур, как правило, даже не складывается топ-менеджерами в цену контракта на приобретение высокотехнологичной медтехники, поскольку она обычно составляет не менее четверти контрактной стоимости. В результате такие явные нарушения технического регламента могут приводить к обоснованным судебным искам. И фактически, клиническое звено зачастую заставляют пренебрегать метрологией и, возможно, поэтому иногда ошибаться в диагнозе, увеличивая расходы государства, страховых компаний и самих пациентов «на медицину».

Выход из этого непродуманного административного тупика один — предупреждать и страховую компанию, и пациента о том, что диагностическое оборудование не прошло очередную проверку и/или не даёт возможности оценить погрешность наблюдений. Но будет ли правомерна в этом случае такая

«доказательная» медицина?! Ведь, например, в РФ раз в 5 лет проводится обязательное обучение врачей на сертификационном цикле, однако зачастую они продолжают работать на оборудовании, не прошедшем обязательную очередную метрологическую поверку и необходимое техническое обслуживание, да, вдобавок — часто проводят измерения без учёта относительной погрешности измерений. А вот эти обстоятельства уже являются существенными при рассмотрении судебного иска как страховой компании, так и пациента к лечебному учреждению. И это уже, по-видимому, становится мировой проблемой. Ведь такие недопустимые с точки зрения метрологии «условия» проведения инструментальных клинических измерений более напоминают некие... «ритуальные действия», а не объективное и метрологически обеспеченное исследование.

Если анализировать данные многочисленных исследований по сравнительной эффективности разных фармакопрепаратов для гипотензивной терапии, то можно заметить, что в качестве основного критерия используется критерий снижения ВГД. И этот параметр у разных фармакопрепаратов иногда различается всего **на 1–2 мм рт.ст.**, т.е. не является, по сути, достоверным, поскольку расположен в области погрешности измерений косвенными методами тонометрии. Но так как учёт погрешности при измерениях ВГД разными методами, как правило, не входит в систему доказательств достоверности проведённых исследований по эффективности различных фармакопрепаратов, то здесь имеется обширное поле для взаимных судебных претензий их производителей друг к другу или страховых компаний к ним.

В попытке как-то «спасти ситуацию» и уйти от потенциально возможных судебных исков, международное глаукомное общество (AIGS) рекомендует для оценки вариабельности результатов измерения ВГД от исследования к исследованию использовать показатель *repeatability factor* (RF) — «коэффициент повторяемости» [58, 59]. Этот коэффициент, по их мнению, представляет собой двойное стандартное отклонение разницы, например, величин ВГД, полученных последовательными измерениями, выполненными данному пациенту при «постоянных комнатных условиях», одним исследователем и на одном и том же тонометре. Чем меньше разница результатов между измерениями, тем ниже RF. Т.е. предлагается оценивать не фактический результат наблюдений **с учётом погрешностей измерения**, а двойное стандартное отклонение *медианы* (т.н. *разброс*) измеряемой величины и без учёта погрешности при каждом измерении.

Такой «хитроумный подход» провоцирует врача на проведение заведомо некорректного эксперимента, поскольку предлагает ему представить РАЗ-БРОС полученных данных, а не их реальное **каче-**

ство на основе учёта погрешности измерений, для обоснования достоверности полученных результатов и диагноза в поле «доказательной медицины». На практике, например, при измерениях ВГД, учёт погрешности измерений может обеспечить благоприятный прогноз на основании низкого разброса результатов наблюдений, однако может привести и к диаметрально противоположным клиническим выводам при учёте этой, как правило, высокой погрешности. Такой, по меньшей мере, странный подход не позволяет относиться с большим пиететом к экспертам AIGS из-за их направленного пренебрежения метрологией.

Вывод. С точки зрения «доказательной» медицины, в клинической практике необходимо обязательно учитывать погрешность измерений ВГД, не использовать тонометры, которые вовремя не были поверены или не прошли вовремя очередное техническое обслуживание, а также тонометры, не имеющие в паспорте прибора указания на величину погрешности по поддиапазнам измерений.

Проиллюстрируем сказанное на примере динамического контурного тонометра (ДКТ) Pascal (разработчики метода — X. Kanngiesser и Y. Rober [65]). В ДКТ фактически применена модификация метода пьезогидрокации, не менее полувека используемого в военных и мирных целях. Во время каждого активного электрического импульса контурный пьезокерамический излучатель-приёмник тонометра Pascal минимально изменяет свою форму и «толкает» в водную внутриглазную среду импульс давления 100 раз в секунду через вибрирующую с малой амплитудой, но с частотой в 100 Гц, роговицу. После отражения от внутренней поверхности склеры, этот импульс давления возвращается к внутренней поверхности роговицы, вызывает её ответное (отражённое) микроперемещение (вибрацию), что создаёт ответные электрические сигналы в пьезоприёмнике, параметры которых фиксируются анализатором прибора. По изменению величины и времени прихода отражённого сигнала можно судить о ригидности ФОГ и о «плотности глаза» по A. von Graefe. Чем выше уровень отражённого сигнала — тем больше жёсткость ФОГ и, соответственно, тем больше уровень ВГД. Фактически, как и во всех известных методах тонометрии, ДКТ первоначально измеряет не уровень ВГД, а интегральную ригидность ФОГ.

Отметим, что в идеологии метода ДКТ скрываются возможные большие погрешности, связанные с внутриглазными *резонансными явлениями* при прохождении многократных импульсов давления, когда отражённый от склеры импульс давления будет непредсказуемо «гулять» внутри глаза, многократно отражаясь от склеры к роговице и обратно. При этом его величина может увеличиваться в разы из-за попадания в область резонансных частот со-

гласно биомеханике оболочек, что может быть неверно истолковано исследователем как высокий уровень ВГД.

Метод имеет также априори низкую чувствительность при сохраняющейся функциональной способности склеры к флуктуации. Но самый главный, на наш взгляд, недостаток метода таков: при сравнительно продолжительном вибрационном воздействии на глаз (около 1 секунды) метод ДКТ создаёт в глазу скачки фильтрационного давления, которое «выталкивает» из глаза дополнительные частички водянистой влаги, что приводит к естественному непредсказуемому падению уровня ВГД в момент исследования. Но тогда становится не вполне понятно, какой уровень ВГД, в конечном счёте, этот тонометр измеряет: ведь объём глаза в процессе таких исследований не остаётся неизменным.

Для лучшего понимания принципа работы ДКТ напомним, что большинство внутриглазных структур, в основном, несжимаемы, поскольку в основе своей состоят из воды, поэтому любой импульс давления практически мгновенно распространяется во все стороны внутри глаза: например, по его оптической оси примерно за 0,0002 секунды. Кроме того, как показали наши исследования, уровень ВГД однозначно определяется уровнем ригидности склеры ($p < 0,0001$) [15, 16, 23, 29, 37]. Т.е. уровень отражённого сигнала в ДКТ в молодом глазу с низкой ригидностью склеры будет минимальным, а в глаукомном глазу с патологически высоким уровнем ригидности — максимальным. С другой стороны, чем больше время прихода отражённого от склеры импульса, тем выше её физиологическая способность к микрофлуктуации.

Однако, если задаться целью вывести ДКТ на качественно новый диагностический уровень и провести апгрейд его идеологии, то можно сказать заранее, что данный тонометр будет способен не только измерять напрямую ригидность ФОГ, начиная с определённого уровня, но и измерять, на наш взгляд, не менее важный функциональный параметр ФОГ — уровень флуктуации склеры как объективный критерий достижения уровня целевого давления [39, 47]. Подробно понятия *ригидность ФОГ* и *флуктуация склеры* мы обсудим позже.

Заметим, что нам не удалось обнаружить абсолютную или относительную погрешность измерений ВГД в паспортных данных тонометра ДКТ. Однако проведённые группой авторов на 60 пациентах высококачественные специализированные исследования точности данного метода с манометрическим контролем уровня истинного ВГД через иглу в передней камере глаза показали следующее [60]. При заданном уровне манометрического ВГД в 15 мм рт.ст. средняя разница между ВГД — ДКТ и внутрикамерным ВГД составила — $(0,02 \pm 1,32)$ мм рт.ст.; при заданном уровне манометрического ВГД в 20 мм

рт.ст. эта разница составила — $(0,2 \pm 1,44)$ мм рт.ст., а для 35 мм рт.ст. разница составила — $(0,84 \pm 1,90)$ мм рт.ст. Эти данные позволяют оценить относительную погрешность измерений у ДКТ, однако, авторы этого почему-то не сделали. Этого не смогли сделать даже авторы специального сертификационного исследования точности ДКТ [64].

Наш расчёт для данных, полученных в работе [60], дал следующие величины относительной погрешности измерений уровня истинного ВГД методом ДКТ: при уровне истинного ВГД 15 мм рт.ст. относительная погрешность измерений составила 8,9 %, при уровне истинного ВГД 20 мм рт.ст. — 7,3 %, а при уровне истинного ВГД 35 мм рт.ст. — 7,8 %. Хорошо видно, что метод ДКТ имеет относительную погрешность измерений уровня истинного ВГД не более 10 %, что является, по нашему мнению, хорошим показателем, но *объективно* не является более точным по сравнению, например, с ручным отечественным склеротометром Г. К. Пилецкого [20]. Однако все вышеуказанные исследователи, как и сами авторы методики ДКТ, никак не учитывали значения текущей ригидности ФОГ, а также вклад в это значение уровня возрастной ригидности пациентов, что, может существенно повлиять на относительную погрешность измерений.

В частности, разработчики ДКТ, по-видимому, предполагают, что и в диапазоне истинного ВГД от 5 до 15 мм рт.ст. прибор будет надёжно работать с относительной погрешностью не более 10 %. Однако, это явно не так. Он будет иметь возможность работать в этой зоне, согласно закону механики, только при превышении определённого порога уровня ригидности ФОГ молодого (т.е. «мягкого») глаза. И сравнительные исследования отечественных офтальмологов [6,7] уже показали, что ДКТ Pascal практически не может надёжно измерять давление в глазах с уровнем истинного ВГД ниже 14 мм рт.ст.

Это, по нашему мнению, в первую очередь, связано с тем, что, согласно нашим клиническим данным, здоровые молодые глаза, глаза низкой зоны нормы истинного ВГД — от 9 до 12 мм рт.ст. по А. П. Нестерову [33], как и глаза с гипотонией, имеют минимальный уровень ригидности ФОГ и высокую способность к флуктуации склеры, т.е. способность *к нивелированию скачков ВГД* [29, 37].

И, по-видимому, именно высокая способность склеры этих глаз к флуктуации и, соответственно, нивелированию скачков ВГД, не позволяет (на фоне минимальной суммарной статической нагрузки на роговицу $\approx 1,2$ г) зафиксировать через роговицу отражённые от внутренней задней поверхности склеры слабые или затухающие динамические импульсы, вызванные ответной вибрацией роговицы.

Если оценивать происходящее в «поликлиническом плане», то следует отметить, что амплитуда

глазного пульса (АГП) может надёжно выявляться на ДКТ только в тех глазах, у которых ригидность ФОГ значительно отличается от *одинакового* уровня ригидности в молодости в эметропических глазах и в глазах гиперметропов и миопов слабой степени (8,1 мс, $p < 0,001$) [37, 38]. Т.е., по сути, идеология метода ДКТ имеет заметные ограничения в использовании, и сам прибор точно не может качественно работать при уровнях ВГД от 5 до 14 мм рт.ст. и при высокой функциональной способности склеры к флуктуации.

Авторы работы [63] на основании собственных исследований с помощью ДКТ Pascal, утверждают, что уровень АГП не зависит от уровня АД, а также величин систолического и диастолического давления, *но зависит от среднего уровня ВГД и, предположительно, от жёсткости склеры* (выделено нами). С механической точки зрения для метода, основанного на фиксации отражённых от внутренней поверхности склеры волн давления, посылаемых внутрь глаза микровибрирующей роговицей, это абсолютно адекватное утверждение, поскольку уровень АГП однозначно определяется ригидностью (жёсткостью) ФОГ, а также эффективностью работы механизмов флуктуации склеры. А. Н. Маклаков [31] отмечал, что после процедуры вибрационного массажа внутриглазное давление у больных глаукомой понижается значительно меньше, чем у здоровых лиц. Это положение подтверждает и клинический факт, установленный многочисленными тонометристами, о том, что после компрессии у больных глаукомой офтальмотонус быстрее возвращается к исходному уровню, чем у здоровых лиц. И разгадка этого «парадокса» безусловно связана с разным уровнем ригидности фиброзных оболочек этих глаз.

В частности, в молодости, при «мягкой», т.е. эластичной ФОГ, в норме глазной пульс отсутствует, поскольку эластичная склера способна эффективно нивелировать скачки ВГД за счёт функциональной способности к флуктуации [37, 38]. Затем, по мере увеличения уровня возрастной ригидности ФОГ, собственно АГП проявляется и становится уже заметной. В начале и в ходе глаукомного процесса, характеризующегося в ранней стадии скачкообразным, а затем постепенным патологическим ростом ригидности [37, 38, 39], АГП значительно и постепенно возрастает [5]. Но далее, АГП опять пропадает при уровне ВГД выше 33 мм рт.ст. [8], когда внутриглазное давление обжимает сосуды хороидеи снаружи с такой силой, что они теряют способность изменять свой диаметр во время систолы-диастолы, т.е. теряют способность изменять внутренний объём глаза. Объясним это явление так.

Если рассматривать глаз как своеобразный барабан с внутренним источником импульсов давления из-за пульсации объёма сосудов хороидеи (вну-

триглазные структуры несжимаемы), то его дальняя стенка, — склера — становится при росте ригидности ФОГ более натянутой, жёсткой и частично уже неспособной демпфировать колебания ВГД, но это существенно увеличивает *отражающую* способность склеры. А вот передняя стенка этого барабана — роговица — неспособна в принципе заметно демпфировать колебания ВГД из-за отсутствия в её строме эластических волокон [29, 37–40].

Но если бы роговица была функционально «растяжимой», то она также принимала бы участие в нивелировании скачков ВГД. В этом случае её преломляющая способность изменялась бы в широких пределах, и она бы уже не смогла выполнять роль жёсткой оптической линзы с постоянной или мало изменяемой рефракцией. Именно поэтому многочисленные попытки исследования *in vivo* «эластических свойств» роговицы без учёта фонового уровня ригидности ФОГ и флуктуации склеры не имеют, на наш взгляд, серьёзной диагностической перспективы.

Обобщая, следует подчеркнуть, что метод ДКТ фактически измеряет напрямую не уровень ВГД, а интегральный уровень текущей ригидности ФОГ и флуктуации склеры. И, в принципе, не способен измерять ВГД при малых уровнях ригидности, когда импульсы давления, исходящие от смещаемой пьезокерамическим излучателем внутри глаза роговицы, будут гаситься за счёт нормальной работы функционального механизма микрофлуктуаций склеры в молодых здоровых или в гипотоничных глазах.

И вот теперь мы вынуждены констатировать, что не всё пока складно в области определения офтальмотонуса: ведь работа на некорректно сертифицированном оборудовании и без учёта погрешности измерений уровня ВГД может приводить к явным ошибкам в диагностике ОУГ. Видимо, не зря высокопрофессиональный офтальмолог-исследователь S. Shah, выбрал такое яркое название для своей статьи (перевод наш): *«Точное измерение ВГД — это миф современной офтальмологии?»* [71]. Само появление такой работы уже говорит о многом.

К сожалению, общемировой метрологический подход с обязательным учётом точности измерений не прижился в офтальмологии, и в клинической практике точность полученных результатов измерения уровня ВГД практически не учитывается. Поэтому неоднократные попытки сравнения различных способов измерения ВГД без учёта погрешностей, по своей сути, логично констатируют лишь невозможность проведения такого объективного сравнения [6, 7].

Именно отсутствие учёта погрешностей измерений не только не позволяет объективно оценивать эффективность каждого способа измерений ВГД,

но, на наш взгляд, является одним из главных препятствий, не позволяющих надёжно выделять с помощью этого критерия группу риска с подозрением на ОУГ. Ведь погрешности измерений ВГД бывают, зачастую, настолько высоки, что верить этим измерениям неправомерно.

1.3. Нормы и нормативы ВГД. Мы неоднократно указывали на то, что в мировой офтальмологии фактически отсутствуют нормы ВГД для здоровых и нормативы ВГД для глаукомных глаз [22, 24, 36–41], обязательно учитывающие регион проживания и расу пациента, возраст пациента согласно классификации ВОЗ, уровень его артериального давления, вид рефракции, принадлежность к диапазону офтальмотонуса в молодости по А. П. Нестерову (низкий, средний или высокий), а также фоновое значение текущей ригидности ФОГ этого пациента.

Последнее, как уже говорилось, связано с тем, что фактически, при любом способе измерений ВГД, мы **сначала определяем интегральную ригидность ФОГ**, а затем с помощью косвенных расчётов переводим её в давление, используя, например, линейку Поляка, в номограммах которой заложено постоянное значение ригидности эластичного молодого глаза ($\sim 0,0215 \text{ м}^3$), что, безусловно, приводит к значительным погрешностям [15, 19, 21–23, 29, 37], поскольку в пожилом возрасте значения ригидности в глаукомном глазу может измениться в 2–3 раза и более [15, 19, 21–23, 29, 37, 54].

Кроме того, при определении собственно значения объёмной ригидности в этих косвенных методах используется неадекватная законам механики, но общепринятая офтальмологами формула J. S. Fridenwald (1937):

$$E = \frac{\log P_2 - \log P_1}{V_2 - V_1} \text{ [мм}^3\text{]}, \text{ а не формула P. Römer (1918): } Ri = \frac{P_2 - P_1}{V_2 - V_1}$$

[мм рт.ст./мм³], полностью адекватная законам механики [15, 37, 64, 70, 71]. Заметим, что ригидность (жёсткость) по J. S. Fridenwald измеряется в довольно неожиданных единицах — мерой объёма (!) — [мм³], а у P. Römer, как и положено, — отношением давления к объёму [мм рт.ст./мм³]. Не нужно даже объяснять явную методическую некорректность вышеуказанного традиционного подхода определения уровня ВГД в каждом из его «расчётных звеньев» и удивляться такому разбросу полученных данных по уровню ВГД у 78 вышеуказанных практикующих врачей.

Проф. В. В. Волков в своих докладах часто подчёркивает, что конгресс World Glaucoma Association (WGA) (2005) принял «историческое» решение исключить уровень ВГД из перечня прогностических значимых критериев оценки стадии развития ОУГ. Образно говоря, очевидно, что на этом конгрессе «партия экскавации» временно победила

«партию офтальмотонуса». Однако, возможно, что объективная существенная методическая неточность определения текущего уровня ВГД имеющимися приборными средствами, а также отсутствие надёжных методов определения уровня ВГД у данного пациента в молодости, были дополнительными аргументами при принятии этого неоднозначного решения. Позднее, в 2007г. на WGA были сформулированы рекомендации по **ступеням подхода** к определению «давления цели» (*цитируем по В. В. Волкову [14]*):

- оценка продвинутой глаукомы;
- предположение о безопасном диапазоне ВГД;
- оценка вероятной продолжительности жизни пациента;
- роль других (кроме ВГД) факторов риска прогрессирования глаукомы (особенности наследуемой глаукомы, состояние второго глаза и др.);
- предполагаемые темпы прогрессирования уже существующих нарушений — как по степени, так и по скорости (*прогрессирование более 2 db в год, определяемое периметрически, признано недопустимым*).

Эти «вековые ступени», вновь предложенные WGA на современном этапе, были «истёрты» офтальмологами ещё в прошлом веке, но их удивительное «возрождение» в новейшей истории на новом витке обобщений наглядно демонстрирует глубину нашего непонимания ключевых процессов в патогенезе глаукомы. Ведь эти, во многом «интуитивные», критерии определения целевого давления явно не позволяют надёжно, объективно и, главное, численно оценить его необходимый физиологический уровень. Такая «доказательная медицина», на наш взгляд, не облегчает, а только затрудняет процесс принятия решения по каждому конкретному пациенту. Например, критерии «вероятной продолжительности жизни пациента» не могут быть достоверно разработаны в принципе: ведь человек, к сожалению, часто «внезапно смертен» (М. Булгаков). А предлагаемые физиологические критерии якобы «безопасного» для пациента диапазона ВГД расплывчаты и противоречивы. Обезопасить врачей на местах от возможных судебных исков пациентов, используя такой «узаконенный» мировым сообществом подход, по-видимому, удастся. Но качественно лечить пациента, опираясь на такую шаткую «теоретическую основу», скорее всего, будет невозможно.

Поэтому часто используемая фраза «**давление в пределах статистической нормы**» не всегда означает то адекватное для глаза давление, которое будет способствовать стабилизации глаукомного процесса, поскольку отсутствует общепринятая и **статистически достоверная база учёта вышеперечисленных**

взаимосвязанных данных по ареалу обитания и морфофункциональным особенностям человеческих кластеров. Т.е., если всерьёз говорить о необходимости иметь базу сравнения уровня ВГД по диапазонам «статистической нормы», то следует признать, что такой достоверно разработанной базы на данный момент нет, и имеются только отдельные попытки её создания, но, к сожалению, без учёта возраста и других вышеуказанных необходимых параметров [4]. Учитывая низкую точность современных способов измерения ВГД, создание такой базы сравнения пока представляется нам невозможным до момента появления высокоточных тонометров или новых методов исследования.

Но тогда возникает такая «крамольная» мысль: а надо ли вообще разрабатывать статистически полно обоснованные нормы для здоровых и нормативы ВГД для глаукомных глаз?! Может быть, информационная полезность и достоверность этих знаний о текущем уровне ВГД настолько мала, что в сегодняшних условиях уже не даёт оснований для надёжной постановки диагноза или достоверного определения клинической эффективности целого ряда фармакопрепаратов? И, возможно, на новом витке знаний уже нужно применять другие, более достоверные и объективные критерии диагностики?

Но почему же мы уже более века с таким упорством измеряем уровень ВГД?! Да потому, что мы только сравнительно недавно получили возможность использовать в центральных региональных клиниках такое современное диагностическое оборудование, которое позволяет высокоточно и достоверно исследовать и другие параметры глаза. Но пока наша поликлиническая сеть, особенно «в районной глубинке», будет по-прежнему «вооружена» лишь «инновационным» тонометром Маклакова и «высокотехнологичным» определителем полей зрения по Фёрстеру, мы будем продолжать использовать эти архаичные методы в практической офтальмологии. Ведь они пока дают хоть какой-то практический результат, не позволяя, однако, надёжно выявлять ОУГ ещё на ранней стадии.

Вывод. Достоверные нормы / нормативы ВГД для здоровых и глаукомных глаз, если это необходимо, должны быть проработаны с учётом региона проживания, расы и возраста пациента согласно классификации ВОЗ, уровня его артериального давления, вида рефракции, принадлежности к диапазону офтальмотонуса в молодости по А. П. Нестерову (низкий, средний или высокий), а также фоновых значений текущей ригидности и флуктуации фиброзной оболочки глаза этого пациента.

Литература

1. **Абрамов В. Г., Акпатров А. И.** Коэффициент ригидности глаза в свете повторных измерений // Вестн. офтальмол. — 1983. — № 1. — С. 14–17.
2. **Абрамова Т. В., Смердов И. Л.** Исследование достоверности показаний транспальпебрального индикатора внутриглазного давления ИГД — 02 и целесообразность его применения врачами общей практики // Поликлиника. — 2012. — № 1. — С. 60–61.
3. **Аветисов С. Э., Бубнова И. А., Антонов А. А.** Биомеханические свойства роговицы: клиническое значение, методы исследования, возможности систематизации подходов // Вестн. офтальмол. — 2010. — Т. 126. — № 6. — С. 3–7.
4. **Алексеев В. Н., Мартынова Е. Б.** Новые подходы к гипотензивной терапии первичной открытоугольной глаукомы // Consilium Medicum. — 2001. — С.3–9.
5. **Астахов Ю. С.** Глазо-орбитальный пульс и клиническое значение его исследования: Дисс.... докт — ра мед. наук. — Л., 1990.
6. **Астахов Ю. С., Акопов Е. Л., Потёмкин В. В.** Аппланационная и динамическая контурная тонометрия: сравнительный анализ // Офтальм. ведомости. — 2008. — Т.1. — № 1. — С.4–12.
7. **Астахов Ю. С., Акопов Е. Л., Потёмкин В. В.** Сравнительная характеристика современных методов тонометрии // Вестн. офтальмол. — 2008. — № 5. — С.11–14.
8. **Бакбардин Ю., Кондратенко Ю.** Тонометрические, топографические и гониоскопические методы исследования. — Киев, 1997. — 59с.
9. **Бакшинский П. П.** Влияние консервативной терапии и хирургического лечения на регионарную гемодинамику глаза при первичной открытоугольной глаукоме: Автореф. дисс.. канд. мед. наук. — М., 2000. — 20 с.
10. **Белоусова Е. В.** Оптимизация методов определения внутриглазного давления при патологических и послеоперационных изменениях роговицы. — Авторефер...дисс.канд.мед.наук. — М., 2011. — 26 с.
11. **Богомолов О. Т., Симчера В. М.** Экономике нужны надежные показатели. — Развитие и экономика. — Март, 2012. — № 2. — С.84.
12. **Боровиков В.** STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. — СПб.: Питер, 2003. — 688 с.
13. **Волков В. В.** Блеск и нищета современной фармакотерапии // Всеросс. конф., посв. 25-летию СПб. филиала ФГБУ «МНТК МГ». — СПб., 2012. — Доклад. — www.eye — portal.ru.
14. **Засеева М. В.** Исследование ригидности склеры в здоровых и глаукомных глазах. Дисс... канд. мед. наук. — ВМА, СПб. — 2009. — 145 С.
15. **Засеева М. В., Светлова О. В., Кошиц И. Н.** Практический способ определения индивидуального внутриглазного давления в молодости по измерениям его текущего значения в пожилом возрасте методом Маклакова двумя разными грузами. (Планирование требуемых параметров гипотензивных операций нового типа). — Ерошевские чтения 2007: Сб. научн. тр. — Самара. — 2007. — С. 65–77.
16. **Емельянова Н. А.** А. Н. Маклаков — изобретатель, ученый, врач // Глаукома. — 2002. — № 2. — С.52–55.
17. **Казанова С. Ю.** Тонометрия. Цена ошибки измерения. — Сб. научн.стат. X Междунар. конгресса Глаукома: Теории, Тенденции, Технологии. — М., 2012. — С. 151–153.
18. **Козлов В. И.** Новый метод изучения растяжимости и эластичности оболочек глаза при изменении офтальмотонуса. — Вестн. офтальм. — 1967. — № 2. — С. 5–9.
19. **Костова С., Ангелов Б., Петкова Н.** Сравнительное исследование внутриглазного давления при первичной открытоугольной глаукоме, измеренное с помощью контурного динамического тонометра Pascal, аппланационного тонометра Goldmann и аппланационного тонометра Маклакова. — Клинич. офтальмол. — 2009. — Том10. — № 4. — С.123–125.
20. **Котляр К. Е., Кошиц И. Н.** Ригидность глаза. Биомеханические и клинические аспекты. — Научн. — практ. конф. «Биомеханика глаза 2009» МНИИ ГБ им. Гельмгольца: Сб. тр. — М. — 2009. — С.121–126.
21. **Котляр К. Е., Светлова О. В., Кошиц И. Н.** Биомеханическое обоснование разработки современных методов лечения открытоугольной глаукомы. — Фундаментальные исследования в технических университетах: Мат. научн. — технич. конф. — 1997, СПб. — Издат. СПб. ГТУ. — С. 278–279.
22. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Засеева М. В., Макаров Ф. Н.** Ригидность и эластичность фиброзной оболочки глаза. Биомеханические и клинические аспекты. — Научн. — практ. конф. «Биомеханика глаза 2009» МНИИ ГБ им. Гельмгольца: Сб. тр. — М., 2009. — С.126–133.
23. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Котляр К. Е., Макаров Ф. Н., Смольников Б. А.** Биомеханический анализ традиционных и современных представлений о патогенезе первичной открытоугольной глаукомы // Глаукома. — 2005. — № 1. — С. 41–62.
24. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Макаров Ф. Н.** О современных требованиях к офтальмологическому образованию в Российской Федерации. — Ерошевские чтения — 2012: Тр. Всеросс. конф., посв. 110-летию со дня рожд. Т. И. Ерошевского / Под ред. Г. П. Котельникова, Г. Н. Гридасова, В. М. Малова. — Самара: ООО «Офорт»: ГБОУ ВПО «СамГМУ». — С.18–23.
25. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Макаров Ф. Н.** О современных требованиях к высшему и постдипломному офтальмологическому образованию. — Росс. детск. офтальмол. — 2012. — № 4. — С.23–27.
26. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Макаров Ф. Н.** О современных требованиях к офтальмологическому образованию в РФ. — Офтальмол. журн. — 2013. — №1. — С. 74–83.
27. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Рябцева А. А., Дроздова Г. А., Засеева М. В.** Использование данных пневмоанализатора ОРА или двукратной тонометрии по Маклакову для расчёта параметров лазерной непроникающей гипотензивной склеротомии (ЛНГС). Научн. — практ.конф. «Глаукома: реальность и перспективы» ГУ НИИ ГБ РАМН: В Сб. тр. — М. — 2008. — С. 110–119.
28. **Кошиц И. Н., Светлова О. В., Рябцева А. А., Макаров Ф. Н., Засеева М. В., Мустяца В. Ф.** Роль ригидности фиброзной оболочки глаза и флуктуации склеры в ранней диагностике открытоугольной глаукомы //

- Офтальмол. журн. — 2010. — № 6. — С.76–88. (www.organtum-vistus.com).
29. Любимов Г. А. История развития и биомеханическое содержание измерения внутриглазного давления по Маклакову // Глаукома. — 2006. — № 1. — С. 43–49.
 30. Маклаков А. Н. Офтальмометрия. — 1892. — 35 с.
 31. Назаров Н. Г. Метрология. Основные понятия и математические модели. — М.: Высшая школа, 2002. — 348 с.
 32. Нестеров А. П. Основные принципы диагностики первичной открытоугольной глаукомы // Вестн. офтальмол. — 1998. — № 2 — С.3–6.
 33. Новости глаукомы. Какие ошибки делают офтальмологи при измерении ВГД? — 2012. — www.eye-portal.ru
 34. Рябцева А. А., Сергушев С. Г., Хомякова Е. Н., Кошиц И. Н. Биомеханическое обоснование и эффективность лазерной непроникающей гипотензивной склеротомии. — «Фёдоровские чтения 2008»: Сб. тр. научн. — практ. конф. МНТК МГ им.акад. С. Н. Фёдорова. — М. — 2007. — С.158–159.
 35. Рябцева А. А., Сергушев С. Г., Хомякова Е. Н., Светлова О. В., Кошиц И. Н. Лазерная гипотензивная непроникающая склеротомия. Биомеханика глаза 2007: Сб. тр. МНИИ ГБ им. Гельмгольца. — М., 2007. — С. 147–151.
 36. Светлова О. В. Функциональные особенности взаимодействия склеры, аккомодационной и дренажной систем глаза при глаукомной и миопической патологии. — Автореф. дисс... д.м.н.. — М., 2010. — 55 с.
 37. Светлова О. В., Балашевич Л. И., Засеева М. В., Дроздова Г. А., Макаров Ф. Н., Кошиц И. Н. Физиологическая роль ригидности склеры в формировании уровня внутриглазного давления в норме и при глаукоме // Глаукома. — 2010. — № 1. — С.26–40.
 38. Светлова О. В., Балашевич Л. И., Рябцева А. А., Макаров Ф. Н., Засеева М. В., Кошиц И. Н. Определение принадлежности глаза к индивидуальной зоне нормы офтальмотонуса по критерию ригидности его фиброзной оболочки // «Российская глаукомная школа. Конф. «Глаукома: теория и практика»: Сб.научн.тр. — Санкт — Петербург, 2011. — С.97–109.
 39. Светлова О. В., Дроздова Г. А., Балашевич Л. И., Засеева М. В., Рябцева А. А., Макаров Ф. Н., Кошиц И. Н. Морфофизиологические особенности строения склеры глаза человека как ключевого звена в формировании уровня внутриглазного давления в норме и при глаукоме // Морфология. — 2009. — Т.136. — № 5. — С. 5–10.
 40. Светлова О. В., Засеева М. В., Кошиц И. Н. Ригидность склеры — достоверный критерий оценки уровня и диапазона скачков ВГД в здоровых и глаукомных глазах // Съезд офтальмол. России, 8–й: Сб. науч. тр., М., 2005. — С. 214–215.
 41. Светлова О. В., Засеева М. В., Суржиков А. В., Кошиц И. Н. Развитие теории оттока водянистой влаги и перспективные гипотензивные воздействия // Глаукома. — 2003. — № 1. — С.51–59.
 42. Светлова О. В., Кошиц И. Н. Биомеханические аспекты профилактики индивидуальных расстройств офтальмотонуса // «Биомеханика глаза 2001»: Сб.научн.тр. — МНИИ ГБ им. Гельмгольца. — М. — 2001. — С.65–94.
 43. Светлова О. В., Кошиц И. Н. Старение оболочек глаза — возможное ключевое звено в патогенезе открытоугольной глаукомы // Съезд офтальмол. России, 7–й: Сб.науч.тр. — М. — Ч.1. — 2000. — С.193.
 44. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Дроздова Г. А., Засеева М. В., Ленкевич А. В. Практический способ определения индивидуального давления в молодости и уровня снижения ригидности склеры в старости для расчёта параметров гипотензивных операций нового типа (Часть I) // Глаукома. — 2008. — № 4. — С.49–64.
 45. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Дроздова Г. А., Засеева М. В., Ленкевич А. В. Практический способ определения индивидуального давления в молодости и уровня снижения ригидности склеры в старости для расчёта параметров гипотензивных операций нового типа (Часть II) // Глаукома. — 2009. — № 1. — С.46–53.
 46. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Засеева М. В. Восстановление функциональной способности склеры к микрофлуктуациям объёма — объективный критерий момента достижения давления цели // Съезд офтальмол. России, 9–й: Сб. науч. тр., М., — 2010. — С. 170.
 47. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Засеева М. В. Ригидность склеры — независимый и достоверный критерий в диагностике открытоугольной глаукомы // Съезд офтальмол. России, 9 — й: Сб. науч. тр., М., — 2010. — С. 171.
 48. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Макаров Ф. Н. О патогенезе открытоугольной глаукомы и физиологических требованиях к её профилактической или лечебной фармакотерапии // Сб. тр. всеросс. конф., посв. 25 — летию СПб. филиала ФГБУ «МНТК МГ». — 2012. — СПб. — С.265–272.
 49. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Рябцева А. А., Макаров Ф. Н. О патогенетической обоснованности традиционных и новых способов профилактики, ранней диагностики и лечения открытоугольной глаукомы. Части 1–3. — Ерошевские Чтения — 2012: Тр. Всеросс.конф., посв. 110 — летию со дня рожд. Т. И. Ерошевского / Под ред. Г. П. Котельникова, Г. Н. Гридасова, В. М. Малова. — Самара: ООО «Офорт»: ГБОУ ВПО «СамГМУ». — С. 208–223.
 50. Светлова О. В., Кошиц И. Н., Рябцева А. А., Макаров Ф. Н. Патогенез открытоугольной глаукомы и инновационные динамические методы её ранней диагностики. Ч.1. Патогенез / Ч.2. Диагностика. — Сб.тр. X Конгресса «Глаукома: теории, тенденции, технологии. НРТ Клуб Россия». — М. — 2012. — С.67–79.
 51. Светлова О. В., Рябцева А. А., Макаров Ф. Н., Кошиц И. Н. Устойчивость к прогибу решётчатой пластинки и функциональные нарушения микрофлуктуации склеры — два ключевых звена в ранней диагностике и профилактике глаукомы. — Российская глаукомная школа: Сб. научн. тр. конф. «Глаукома: теория и практика». — СПб., 2012. — С.196–197.
 52. Светлова О. В., Суржиков А. В., Кошиц И. Н. Биомеханическое обоснование эффективности новых гипотензивных воздействий // Биомеханика глаза 2002. — МНИИ ГБ им.Гельмгольца: Сб.науч.тр. — М., 2002. — С.70–78.
 53. Светлова О. В., Суржиков А. В., Соболев Д. А., Смольников Б. А., Засеева М. В., Иомдина Е. Н., Кошиц И. Н. Биомеханическая оценка достоверного диапазона модуля Юнга склеры для разработки норм ригидности здоровых и глаукомных глаз // Биомеха-

- ника глаза 2002. — МНИИ ГБ им. Гельмгольца: Сб. науч. тр. — М., 2002. — С.96–100.
54. **Сорочкин Е. К.** — Об эффективности повторной тонометрии и погрешности измерения тонометрических объектов. — Вестн. офтальм. — 1981. — N 3. — С.45–47.
 55. **Хомякова Е. Н., Рябцева А. А., Сергушев С. Г., Кошиц И. Н.** Новый подход к лечению пациентов с далекозашедшей глаукомой. — Врач — аспирант. — М. — 2007. — № 4(19). — С. 305–310.
 56. **Шпак А. А., Малаханова М. К., Шормаз И. Н.** Оценка стереометрических параметров диска зрительного нерва и слоя нервных волокон сетчатки на приборе НРТ III. Сообщ. 3. Сравнение ошибки методов гейдельбергской ретинотомографии и спектральной оптической когерентной томографии // Глаукома. — 2011. — № 2. — С.8–11.
 57. AIGS Consensus on Intraocular Pressure. Draft Statement. The Measurement of Intraocular Pressure. Preliminary Report. — 2007. — P. 49.
 58. **Bland J. M., Altman D. G.** Statistical methods for assessing agreement between measurement // *Biochimica Clinica*. — 1987. — Vol. 11. — P. 399–404.
 59. **Boehm A. G., Weber A., Pillunat L. E., Koch R., Spoerl E.** Dynamic Contour Tonometry in Comparison to Intracameral IOP Measurements // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* — 2008. — Vol.49. — № 6. — P.2472–2477.
 60. **Bordon A. F., Katsumi O., Hirose T.** Tonometry in pediatric patients: a comparative study among Tono — pen, Perkins, and Schiottz tonometers // *J. of pediatric ophthalmology and strabismus*. — 1995. — 32(6). — P.373–377.
 61. **Feltgen N., Leifert D., Funk J.** Correlation between central corneal thickness, applanation tonometry, and direct intracameral IOP readings // *Br.J. Ophthalmol.* — 2001. — Vol.85. — P.85–87.
 62. **Griehaber M. C.** at.al. Relationship between ocular pulse amplitude and systemic blood pressure measurements. — *Acta ophthalmologica*. — 2009. — Vol.87. — H.3. — P.329–334.
 63. **Hoffmann E. M., Pfeiffer N., Barleon L., Grus F. H.** Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry: comparison of intraocular pressure measurements in the course of product certification according to EN ISO 8612:2001 (in German) // *Ophthalmology*. — 2006. — 103(4). — P.317–320.
 64. **Kanngiesser H. E., Kniestedt C., Robert Y. C.** Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer // *J. Glaucoma*. — 2005. — 14. — P.344–350.
 65. **Karakan C. E., Wilke K.** О повторяемой тонометрии // *МРЖ*. — 1972. — № 5. — С.289.
 66. **Moses Robert A.** Theory of the Schiottz tonometer and its empirical calibration // *Tr. Am. Ophth. Soc.* — 1971. — vol. 69. — P. 494–562.
 67. **Phelps C. D., Phelps G. K.** Измерение ВГД: исследование его воспроизводимости // *МРЖ*. — 1976. — № 7. — С.9. — N 564.
 68. **Elliot M.** Kirstein, Ahmed Elsheikh and Pinakin Gunvant. Tonometry — Past, Present and Future.// *Glaucoma — Current Clinical and Research Aspects*. — In Tech,2011. — 376 p./ P. 85–108.
 69. **Rumer P.** Neues zur Tonometrie des Auges // *Bericht der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*. — 1918. — P. 62–68.
 70. **Rumer P.** Руководство по глазным болезням в форме клинических лекций. Второй том. Пер. с немецкого издания д-ра мед. Г. С. Канцеля, под ред. проф. Императорской Военно-Медицинской Академии академика Л. Г. Белярминова. — С. Петербург. — Издательство «Практическая медицина (В. С. Этингер)». — 1913. — 805 с.
 71. **Shah S.** Accurate intraocular pressure measurement — the myth of modern ophthalmology? // *Ophthalmology*. — 2000. — Vol. 07. — P. 1805–1807.
 72. **Svetlova O. V., Zinovieva N. V., Krylova I. S., Koshitz I. N., Smolnikov B. A., Fyodorova E. M., Kotliar K. E.** Elaboration of the Conception of the Biomechanical Model of the Aqueous Outflow // *Russian Journal of Biomechanics*. — 2001. — № 3. — P. 23–29.
 73. **Tonnu P.-A., Ho T., Newson T.** et al. The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotonometry, non — contact tonometry, the Tono — Pen XL and Goldmann applanation tonometry // *British J. of Ophthalmolog.* — 2005. — Vol. 89. — P. 851–854.

Поступила 31.01.2014