

А.А. Федотов, В.Ю. Азима



РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ
ИЗМЕРЕНИЯ
ВНУТРИГЛАЗНОГО
ДАВЛЕНИЯ

Рязань • 2015

А.А. Федотов,

к.м.н., заведующий 4 офтальмологическим отделением
ГБУ РО «Клиническая больница им. Н.А. Семашко», г. Рязань

В.Ю. Азима,

врач-офтальмолог 4 офтальмологического отделения
ГБУ РО «Клиническая больница им. Н.А. Семашко», г. Рязань

Среди причин необратимой слепоты одно из первых мест в мире занимает первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ). По данным Flanagan J.G.¹ в мире страдают первичной открытоугольной глаукомой более 60 млн. человек, а в структуре первичного выхода на инвалидность это заболевание выходит на 1 место.² Ее распространенность увеличивается с возрастом, достигая у лиц старше 70-ти лет 10%.³

Внутриглазное давление (ВГД) – наиболее значимый фактор риска развития глаукомной оптической нейропатии (ГОН), снижение которого достоверно уменьшает опасность ее прогрессирования.⁴ Знание уровня ВГД необходимо для:

1. Скрининга больных глаукомой.
2. Контроля лечения.
3. Прогноза течения заболевания.

Внутриглазное давление (синоним: офтальмотонус, тензия глаза) – давление, под которым находится содержимое глазного яблока в замкнутой полости его плотных оболочек – роговицы и склеры. Постоянный уровень внутриглазного давления играет важную роль в сохранении гомеостаза глаза⁵. Внутриглазное давление расправляет все оболочки глаза, создает определенный тургор, придает сферическую форму глазу и поддерживает ее, обеспечивает правильное функционирование оптической системы глаза, выполняет трофическую функцию.

Постоянный уровень внутриглазного давления определяется главным образом гидродинамическим балансом между притоком и оттоком внутриглазной жидкости. Исследование гидродинамики глаза осуществляют с помощью тонографии – метода, основанного на регистрации изменений внутриглазного давления, возникающих при давлении, производимом на глазное яблоко⁵. Изменения кровенаполнения в сосудистой оболочке глаза могут отражаться на величине внутриглазного давления, однако эти колебания быстро выравниваются благодаря балансу притока и оттока внутриглазной жидкости и существенного значения не имеют. Так, практически не существует зависимости между уровнем АД у больных гипертонической болезнью и величиной внутриглазного давления.⁶

Толерантное внутриглазное давление – это такое давление, при котором отсутствует отрицательная клиническая динамика зрительных функций диска зрительного нерва.⁷

Прижизненное измерение истинного (манометрического) ВГД без причинения тяжелой травмы глаза невозможно, а все используемые сегодня методы измерения регистрируют тонометрическое давление, значение которого сопоставляется с истинным ВГД математическими методами.

История научного изучения глаукомы во многом связана с поиском инструмента для измерения давления внутри глаза.

Во второй половине XIX века возникла идея об изобретении прибора, измеряющего офтальмотонус с помощью определения деформации глазного яблока под влиянием внешнего воздействия.⁹

В 1884 году А.Н. Маклаковым⁸ был предложен собственный тонометр (рис. 1). При его установке происходило сплющивание (аппланация) роговицы, точный след которого обозначался белым пятном на закрашенной пластинке тонометра. Полученное изображение переводилось на бумагу. А диаметр кружка измерялся линейкой, которая также предложена Маклаковым.

Этот аппланационный метод, который основан на зависимости упругости глазного яблока от уровня ВГД. Методика тонометрии Маклакова заключается в следующем: на роговицу, строго перпендикулярно устанавливаются небольшие металлические грузики с конфигурацией, напоминающей цилиндрическую. Предварительно для устранения чувствительности, в глаз закапывается местный анестетик. Поверхность грузика, соприкасающаяся с глазным яблоком,

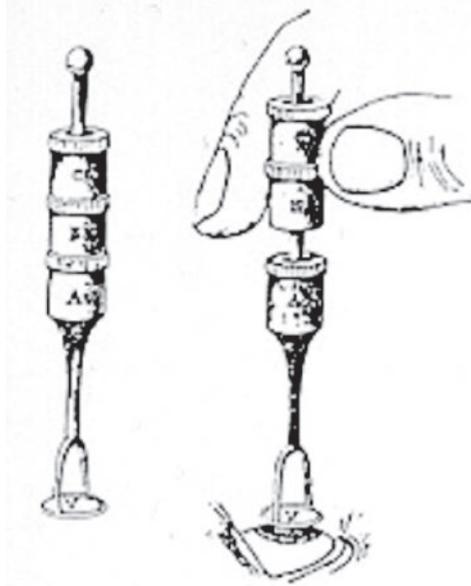


Рис. 1 Тонометр Маклакова, 1885.

предварительно окрашивается. Чем больше ВГД, тем меньшая площадь грузика соприкасается с роговицей и, соответственно, меньше площадь стертой краски.

Преимуществами данного прибора являются простота, низкая стоимость, высокая точность определения ВГД.

Недостатками принято считать необходимость использования красителя и анестетика, невозможность дифференцировать кольцо слезы от диаметра плоскости сплющивания роговицы, риски контаминации.

Для получения точного результата при тонометрии по Маклакову важно аккуратное соблюдение методики измерения.

Средняя величина тонометрического давления для тонометра Маклакова составляет 19-21 мм рт. ст. Диапазон показателей для здорового глаза варьирует от 18,0 до 25,0 мм рт. ст. Истинное ВГД всегда ниже тонометрического на 4,5-5,0 мм рт. ст. (измеренного с массой груза 10 г). Средняя величина истинного ВГД составляет 14-16 мм рт. ст., верхняя граница нормы – 21 мм рт. ст.

Академик В.П. Филатов в 1913 г.¹⁰ впервые предложил проводить комбинированное исследование ВГД с помощью четырех тонометров Маклакова различной массы. Чем тяжелее был тонометр, тем большую реакцию он вызывал со стороны глаза и, соответственно, выше оказывались показатели ВГД. Ученик Филатова С.Ф. Кальфа^{10, 11} предложил эластотонметрические исследования. Повторная тонометрия с применением всевозрастающих грузов приводила к постепенному повышению показателей офтальмотонуса при каждом повторном измерении. Измерение эластоподъема по методу Кальфа позволяло оценить индивидуальную ригидность глаза и реакцию внутриглазных сосудов на быстрое повышение офтальмотонуса.

Методика эластотонметрии состоит в последовательном измерении внутриглазного давления тонометрии Маклакова массой в 5; 7,5; 10 и 15 гр. Измерение каждым тонометром проводят 2 раза. Для анализа используют среднюю величину из двух измерений.

Результат тонометрии наносят на систему координат: по линии абсцисс – массу каждого тонометра, по линии ординат – соответствующее тонометрическое давление. Линия, соединяющая четыре точки, называется кривой эластотонметрической кривой.

При анализе эластотонметрической кривой учитывают: ее начало (т.е. показания тонометра массой 5 гр.): форму кривой и её размах или эластоподъем – разность показаний тонометров большей и меньшей массы (15 и 5 гр.).

Другим аппланационным методом является **тонометрия Гольдмана**¹²

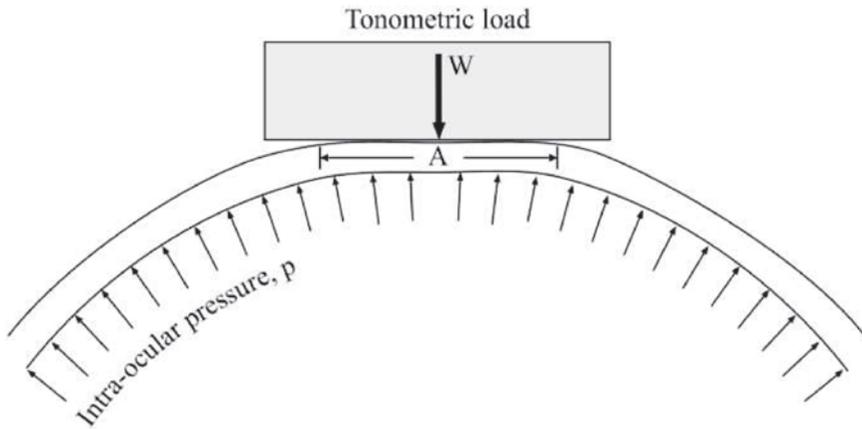


Рис. 2 Тонometr Гольдмана, 1950.

Аппланационная тонометрия по Гольдману^{12, 14} — «золотой стандарт», наиболее часто применяемый в мире метод тонометрии. Если в тонометре Маклакова одинаковое воздействие приводит к сжатию разной площади роговицы, то принцип Гольдмана прямо противоположен. По тому, какую силу нужно приложить для того, чтобы сжать роговицу до определенного уровня (диаметр площади сжатия — 3,06 мм.), можно судить о величине ВГД. Метод применяют в положении пациента у щелевой лампы. Роговицу осматривают через двойную призматическую линзу, находящуюся на вершине конического наконечника прибора, подсвечиваемого косо, кобальтовым синим светом. При неподвижном положении головы пациента уплощенный наконечник осторожно перемещают напротив окрашенной флуоресцеином обезволенной роговицы. Врач видит в щелевой лампе мениск слезной пленки вокруг наконечника тонометра. Эти флуоресцирующие кольца совмещаются, когда давление наконечника становится равным ВГД. Градуированная шкала на приборе измеряет силу в граммах и переводит их в мм. рт. ст. путем умножения на десять.

При диаметре окружности сплющивания 3,06 мм поверхностное натяжение слезной пленки уравнивает силу, необходимую для преодоления её ригидности. Таким образом, приложенная сила соответствует ВГД. Наконечник уплощает поверхность роговицы менее чем на 0,2 мм смещает 0,5 мкл влаги, повышает ВГД на 3% и обеспечивает достоверный результат измерения.

Данный способ измерения в сравнении с тонометром Маклакова является более точным, его значения колеблются в пределах от 11 до 13 мм. рт. ст.

Неточный флуоресцеиновый рисунок получается при избыточном нанесении вещества, в этом случае полукольца получаются слишком толстые, а их радиус слишком маленьким, в то время как недостаточное количество флуоресцеина приводит к образованию слишком тонких полуколец с очень большим радиусом.

Для точной оценки риска развития глаукомы или ее прогрессирования важно сочетать измерение внутриглазного давления и центральной толщины роговицы. Хотя еще достоверно не известны отношения между истинным внутриглазным давлением, центральной толщиной роговицы и внутриглазным давлением, полученным в результате измерения аппланационным тонометром Goldmann. Считается, что давление изменяется на 1 мм рт. ст. при каждом изменении на 20 мкм толщины роговицы выше или ниже значения 540 мкм.

Аппланационный тонометр Keeler работает по «методу Гольдмана» посредством измерения внутриглазного давления на базе измерения силы, необходимой для уплощения (аппланации) постоянной поверхности (3,06 мм) роговицы. Специальная дезинфицируемая (или одноразовая) призма устанавливается на головке тонометра и затем придвигается к роговице.

Врач, проводящий обследование, используя биомикроскоп со щелевой лампой и увеличением 10х, оборудованный синим фильтром, видит два флуоресцирующих зеленых полукруга. После этого сила, прилагаемая к головке тонометра, регулируется при помощи вращающегося градуированного регулятора так, чтобы внутренние края этих зеленых полукругов совместились.

Первые импрессионные тонометры (тонометр Шиотца) появились на заре офтальмологической практики¹³. При тонометрии пациент должен лежать на спине. Степень вдавления роговицы тонометром Шиотца пропорциональна ВГД. Такая деформация создает непредсказуемые и относительно большие смещения внутриглазного объема. Тонometr Шиотца весит 16,5 г, его основной грузик прикреплен плунжеру и весит 5,5 г. При высоких цифрах ВГД этот грузик можно увеличивать до 7,5; 10 или 15г. Калиброванное основание тонометра осторожно перемещают на роговицу после её предварительной анестезии, и свободное движение прикрепленного плунжера по вертикали вниз определяет показания по шкале. Для оценки ВГД используют конверсионные таблицы, основанные на эмпирических данных исследований трупных глаз и исследований *in vivo*. Эти таблицы предполагают стандартную ригидность глаз, поэтому при нарушении ригидности склер (например, после операции при отслойке сетчатки), тонометр может показывать искаженные результаты.

На точность измерения ВГД тонометром Шиотца значимое влияние оказывают биомеханические свойства фиброзной оболочки глаза, кривизна роговицы, что привело к вытеснению другими типами тонометров. Типично занижение показателей офтальмотонуса у миопов и завышение у гиперметропов.

Воздействие на глазное яблоко было болезненным, а достоверность результатов – низкой. Поэтому тонометры данного типа практически не используются.

В 1959 году Маккей и Марг представили тонометр¹⁵, который основан на сочетании импрессионных и аппланационных процессов. Тонометр имеет диаметр 3.06 мм аппланационной поверхности. Выступающий в центре крошечный поршень имеет тензодатчик. Когда тонометр приходит в контакт с роговицей, плунжер получает сопротивление соответствующее ВГД, записываемому с помощью тензодатчиков.

Тоно-ручка¹⁶ представляет собой карманный и компьютерный вариант тонометра. Наконечник имеет защитное латексное покрытие. Тоно-ручка не реагирует на пульс и дыхание, особенно полезна для индикации ВГД у больных с травмированными, отечными или пересаженными роговицами. Тоно-ручкой можно измерить глазное давление через мягкую контактную линзу и в любом положении пациента. Однако, возможны значительные вариации показаний при сравнении тонометрией по Гольдману. Тоно-Пен дает похожие с пневмотонометром результаты измерения ВГД.

Тонометр Icare¹⁷ работает по технологии «рикошета»: легкий (26,5 мг) и медленно перемещаемый датчик на мгновение соприкасается с роговицей глаза, после чего анализируются параметры смещения датчика. В момент контакта датчика с роговицей уровень падения скорости движения датчика зависит от внутриглазного давления. Чем выше ВГД, тем быстрее падает скорость движения датчика. Кроме того, время контакта меньше при высоком ВГД и дольше при низком. Параметры смещения измеряются косвенным образом при помощи системы с катушкой-сенсором, определяющей индукцию смещения магнитного датчика. Общая кинетическая энергия датчика очень низка, составляет примерно 1 микроджоуль, и только небольшая часть этой энергии поглощается глазом непосредственно.

Швейцарской компанией Sensimed разработаны контактные линзы с датчиком внутриглазного давления¹⁸. Данная разработка направлена на решение проблемы ранней диагностики глаукомы. Повышенное внутриглазное давление приводит к деформации роговицы. В контактную линзу встроен тензометр, измеряющий деформацию глазного яблока в режиме реального времени. Так, изменение ВГД на 1 мм рт. ст. приводит к изменению радиуса базовой кривой на 3 мкм. Показания датчика по беспроводному

каналу постоянно передаются на портативный электронный регистратор – устройство хранения информации, с которого данные, в свою очередь, могут быть переданы на компьютер офтальмолога по bluetooth. Таким образом, у врачей появляется четкая информация о круглосуточном изменении внутриглазного давления. Зрению датчики не мешают. В настоящее время создана промышленная технология производства таких «интеллектуальных» контактных линз Triggerfish. Датчик обеспечивает измерение давления на протяжении суток. Ему не нужен собственный источник питания — энергию он получает от радиоволн, излучаемых регистратором, который пациент легко может носить с собой.

Динамическая контурная тонометрия (Pascal)

Основу динамического контурного тонометра Pascal составляет наконечник из эластичного материала с вогнутой поверхностью, при контакте образующий единый контур с роговицей. Внутри наконечника находится пьезодатчик, реагирующий на изменение давления.

Тонометр представляет собой электронный прибор, который крепится на щелевую лампу, наподобие тонометра Гольдмана. Контактующая с роговицей насадка имеет вогнутую форму, контур которой повторяет кривизну передней поверхности роговицы и позволяет свести к минимуму влияние свойств роговицы на результаты измерений. В контур вмонтирован пьезоэлектрический датчик давления.

Радиус кривизны контура составляет 10,4 мм (32,5 дптр) при пересчете на кератомические данные, что позволяет использовать прибор для роговиц с радиусом кривизны более 5-6 мм (55-65 дптр) и толщиной центральной зоны от 300 до 700 мкм. При этих условиях кривизна роговицы и кривизна контура в определенной зоне совпадают при минимальном давлении на глазное яблоко (менее 1 гр) и датчик регистрирует ВГД «прямым транскорнеальным методом».

Принцип динамической тонометрии реализован благодаря тому, что ВГД регистрируется в течение 5-7 пульсовых волн и окончательная величина вычисляется как среднее из диастолических (минимальных) значений.

Тонометр Pascal является полностью автоматизированным прибором для измерения ВГД. Результат каждого измерения отражается на ЖК экране с точностью до десятых долей мм.рт.ст.

Ошибки измерения учитываются автоматически и регистрируются в виде показателей качества исследования. Он зависит от правильности центрации

датчика, стабильности центрации датчика, стабильности фиксации взора, наличия остаточной слезной пленки, сжатия век пациентом. По заключению ученых-разработчиков, точность измерений ВГД тонометром PASCAL не зависит от ЦТР и выше, чем при тонометрии по Гольдману [19].

Пневматическая тонометрия — бесконтактная тонометрия с использованием струи воздуха изобретена Bernard Grolman в 1971 г. Бесконтактная тонометрия была создана для измерения ВГД у широкого круга лиц без привлечения врача офтальмолога. Это скрининговая методика, не требующая применения местных анестетиков. Аппланация роговицы производится кратковременным воздушным импульсом. Оптические датчики, расположенные по бокам от воздушной пушки, регистрируют перемещение роговицы. При измерении сила воздушной струи увеличивается со временем. Сфокусированный пучок света отражается от роговицы и попадает в приемник. Яркость отраженного сигнала максимальна при уплощении роговицы в зоне диаметром 3.06 мм (как при тонометрии по Гольдману) в этот момент выключается воздушная пушка и регистрируется показатель ВГД. Поскольку воздушный тонометр является аппланационным, различие свойств роговицы у пациентов приводит к тем же погрешностям, что и при тонометрии по Гольдману^{14, 20}. Дополнительный источник погрешности при бесконтактной тонометрии — короткое время измерения (десятки миллисекунд). ВГД измеряется в зависимости от кровенаполнения сосудистой оболочки в течение сердечного цикла (глазной пульс). В некоторых случаях различие отдельных измерений может составлять 5-6 мм.рт.ст. в течение одной секунды, в то время, как сосудистая оболочка заполняется и пустеет. При пневмотонометрии невозможно определить, в какую фазу глазного пульса произведено измерение, поэтому для получения достоверного результата необходимо выполнять не менее трех измерений каждого глаза.

ORA – анализатор Ocular Response Analyzer позволяет измерить биомеханические параметры роговицы и ВГД, используя динамический двунаправленный процесс аппланации роговицы. Прибор позволяет получить данные о ВГД, сопоставить их с результатами измерения по Гольдману и оценить новый параметр, характеризующий вязкое затухание в роговичной ткани, названный корнеальным гистерезисом (КГ). Роговицу можно рассматривать как вязко-эластичную структуру, а величина КГ является индикатором вязкого затухания колебаний в роговичной ткани²¹.

В ORA используется быстрый воздушный импульс в качестве внешнего воздействия и специальная электронно-оптическая система для мониторинга деформации роговицы. Установочные процедуры полностью автоматизированы.

Точно дозированное воздействие воздушной струи заставляет роговицу двигаться назад, уплощаясь и прогибаясь кзади. Продолжительность

воздействия составляет несколько миллисекунд, после чего давление снижается до исходного уровня, и роговица приобретает обычную конфигурацию. Детекторная система регистрирует два независимых аппланационных значения давления: при первом уплощении роговицы,двигающейся кзади, и при втором уплощении роговицы, возвращающейся к исходной конфигурации. Разница между этими двумя показателями является корнеальным гистерезисом.

Кроме показателя гистерезиса, двойное аппланационное измерение позволяет получить дополнительную важную информацию, заключенную в понятиях роговично-компенсированного ВГД и фактора резистентности роговицы (ФРР). Оба этих параметра вычисляются с помощью специальных алгоритмов.

ФРР представляет собой кумулятивный эффект эластичного и вязкого сопротивления, оказываемого деформируемой поверхностью роговицы при воздействии воздушной струи и является показателем общей резистентности роговицы. Хотя КГ и ФРР взаимосвязаны, в некоторых случаях они значительно различаются, предоставляя исследователю определенную информацию о роговице. Значение ФРР увеличивается при повышенных значениях по Гольдману и достоверно коррелирует с показателями толщины роговицы.

Роговично-компенсированное ВГД – это значение давления, рассчитанное с учетом данных о биомеханических свойствах роговицы. Таким образом, ORA позволяет получить данные о трех новых параметрах. Хотя этот комплекс показателей изучен ещё не до конца, его большое клиническое значение не вызывает сомнения.

Достоинства роговичной тонометрии:

1. На открытом глазу роговица более доступна для тонометрии, чем склера;
2. Между тонометром и полостью глаза нет интерпозиции других структур (конъюнктивы, веко, цилиарное тело), кроме роговицы;
3. Индивидуальные размеры, толщина и кривизна роговицы различаются в меньшей степени по сравнению с другими отделами фиброзной оболочки глаза.

Вместе с тем роговичной тонометрии присущи и серьезные недостатки:

1. Роговица обладает высокой болевой чувствительностью и тонометрию нельзя производить без анестетиков, которые у некоторых больных вызывают раздражение конъюнктивы, отек эпителия роговицы, кратковременное повышение ВГД, аллергический конъюнктивит.

2. Роговица имеет правильную сферическую форму только в центральной зоне и уплощается к периферии, ее толщина увеличивается от 0,5-0,6 мм в центре до 0,8 мм на периферии. Кроме этого, существующие индивидуальные различия как в кривизне, так и в толщине роговицы, значительно влияют на результаты тонометрии.

3. При роговичной тонометрии трудно предупредить увеличение тонуса орбикулярной и пальпебральной мышц, что приводит к повышению ВГД. Увеличение офтальмотонуса может быть связано также и с повышением артериального давления при приближении к открытому глазу тонометра.

4. Известно, что слеза может содержать бактерии и опасные вирусы (вирус гепатита В, герпеса, аденовирусы, ВИЧ). Однако, проблема стерилизации тонометров далека от разрешения.

5. Роговичная тонометрия противопоказана при отеке век или роговицы, нистагме, конъюнктивите, роговичных эрозиях, язвах, кератитах, бельмах и рубцах.

Еще до изобретения первых тонометров ВГД оценивалось приближённо с помощью пальпации глазного яблока через верхнее веко. Пальпаторный метод страдает субъективизмом, но вместе с тем до настоящего времени используется в клинической практике, особенно в послеоперационном периоде, что свидетельствует о принципиальной возможности транспальпебральной тонометрии.

Техническая реализация этой идеи – транспальпебральные тонометры, у которых воздействие на глаз осуществляется через верхнее веко. Это самый «молодой» метод офтальмотонометрии в мире, существующий всего 20 лет. Сегодня для офтальмологов предлагается линейка портативных транспальпебральных тонометров внутриглазного давления. Последнее поколение приборов – **индикатор ИГД-03** и **тонометр ТГДц-03** для определения тонометрического ВГД, сопоставимого с ВГД по Маклакову²².

Принцип действия приборов основан на динамическом воздействии маленького легкого наконечника на глаз через веко на склере в области проекции цилиарного тела.

Транспальпебральное измерение ВГД не требует применения анестезии, проводится с помощью устройства, которое удерживается в руках, и занимает доли секунды. Считается, что короткое время измерения позволяет снизить влияние биомеханических свойств роговицы на точность определения ВГД. При этом ошибки измерения могут быть связаны с нарушением техники измерения. Также важен опыт применения прибора у исследователя.

Достоинства транспальпебральной склеральной тонометрии:

1. Определение ВГД без контакта с роговицей, что необходимо при её патологии, после лазерных рефракционных операций др.,
2. Проведение мониторинга ВГД при подборе медикаментозного лечения (измерение возможно проводить многократно в течение дня),
3. Использование при работе на выезде (приборы портативные, не требуют специальных условий для проведения тонометрии).

Возможность применения транспальпебральной тонометрии в этих условиях открывает перспективы для широкого распространения новых портативных приборов, измеряющих офтальмотонус путем воздействия на склеру через верхнее веко.

Наиболее целесообразно использование транспальпебральных тонометров при скрининге глаукомы, в частности, на уровне первичной медицинской помощи. Особенности этих приборов позволяют избежать риска инфицирования, снизить стоимость обследования при достаточной точности измерения. Кроме того, учитывая простую методику измерения ВГД, транспальпебральные тонометры можно рекомендовать для использования не только офтальмологами, но и врачами общей практики, неврологами, а также пациентами и их родственниками.

Методы аппланационной тонометрии целесообразно использовать в стационарах и центрах диспансеризации больных глаукомой.

Не будет преувеличением сказать, что развитие методов тонометрии прошло долгий путь. В настоящее время отсутствует единое мнение авторов о наиболее точных способах определения ВГД. Однако, несмотря на недостатки и ошибки в измерении, ВГД остается наиболее важным, доступным для определения фактором риска глаукомы. Решение этого вопроса клинической офтальмологии видится в выявлении наиболее простого, доступного и вместе с тем достоверного способа офтальмотонометрии на базе имеющегося арсенала современных приборов, а, возможно, и в разработке новых оригинальных приемов.

Литература

1. Flanagan J. G. Glaucoma update: epidemiology and new approaches to medical management / J. G. Flanagan // *Ophthalmic Physiol Opt.* 1998. - Vol. 18, №2. - P. 126-132.
2. Либман Е.С. Заболеваемость и инвалидность вследствие глаукомы в России. Потребность в реабилитации / Е.С. Либман, Е.В. Шахова, Е.А. Чумаева // VII съезд офтальмологов России: тез. докладов, часть 2.-Москва, 2000.-С.251.
3. Либман Е.С. Эпидемиологические характеристики глаукомы / Е.С. Либман, Е.А. Чумаева, Я.Э. Елькина НРТ Клуб России: сб. науч. ст.—Москва, 2006.—С. 75-78.
4. Нестеров А.П. Глаукома/А.П. Нестеров.—М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2008. -360с.
5. Нестеров А.П. Гидродинамика глаза/А.П.Нестеров.—М.: Медицина, 1968.—144с.
6. Нестеров А.П., Бунин А.Я. и Канцельсон Л.А. Внутриглазное давление. М., 1974.-381 с.
7. Водовозов А.М. Толерантное и интолерантное внутриглазное давление при глаукоме// Волгоград, 1991.—160 с.
8. Маклаков А.Н. Офтальмотонометрия. Мед. обзор.—1884.— Т. 22.— № 24. — С. 1092.
9. Elliot M. Kirstein, Ahmed Elsheikh and Pinakin Gunvant/ *Tonometry – Past, Present and Future/ Chapter 6/ Glaucoma - Current Clinical and Research Aspects* Edited by Dr. Pinakin Gunvant ISBN 978-953-307-263-0 Hard cover, 376 pages Publisher InTech Published online 09, November, 2011/Published in print edition November, 2011.
10. Кальфа С.Ф., Вургафт М.Б., Грудский А.З. Пути развития и современное состояние эластотонометрии глаза. *Офтальмол журн* 1959; 8:451—462.
11. Кальфа С.Ю. Эластометрия глаза// *Русский офтальмологический журнал*, 1928, Т. VIII; № 2, с.250-262.
12. Goldmann, H. *Uber Applanationstonometrie* / H. Goldmann, T. Schmidt // *Ophthalmologica.* — 1975. — Vol. 134. — P. 221–242.
13. Schiotz H. *Tonometry* // *Brit. J. Ophthalmol.* – 1925.—Vol. 9.— No. 2. – P. 145-153.

14. Bhan A., Browning A.C., Shah S. et al. // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* – 2002. – Vol. 43.– P. 1389-1392.
15. Kaufman HE, Wind CA, Waltman SR: Validity of Mackay-Marg electronic applanation tonometer in patients with scarred irregular corneas. *Am J Ophthalmol.* 1970 Jun;69(6):1003-7.
16. Deuter CM, Schlote T, Hahn GA, Bende T, Derse M.: Measurement of intraocular pressure using the Tono-Pen in comparison with Goldmann applanation tonometry—a clinical study in 100 eyes. *Klin Monbl Augenheilkd.* 2002 Mar;219(3):138-42.
17. Егоров Е.А., Романенко И.А. Исследование уровня внутриглазного давления тонометром i-care в сравнении с тонометром Гольдмана с учетом центральной толщины роговицы (ЦТР). X съезд офтальмологов России. Тезисы докладов. 2010.-Т. 1.- С.167.
18. Mansouri, T. Shaarawy. Непрерывный мониторинг уровня внутриглазного давления с помощью беспроводного телеметрического сенсора: предварительные результаты, полученные у пациентов с открытоугольной глаукомой. *Новое в офтальмологии*, №1.- 2012.-с. 16.
19. Iliev M.E., Goldblum D., Katsoulis K. et al. // *Br. J. Ophthalmol.* – 2006. – Vol. 90.— No. 7. – P. 833-835.
20. Пасенова И.Г., Стренёв Н.В. Сравнительный анализ методов тонометрии. Тезисы VII Евро-Азиатской конференции по офтальмохирургии.- 2015.-С.75.
21. Еричев В.П., Еремина М.В., Якубова Л.В., Арефьева Ю.А. Анализатор биомеханических свойств глаза в оценке вязко-эластичных свойств роговицы в здоровых глазах // *Глаукома.* – 2007. – № 1. – С. 11-15.
22. Аветисов С.Э., Еричев В.П., Антонов А.А. Сравнение показателей тонометрии, измеренных с помощью индикатора ИГД-03, тонометра Маклакова и метода двунаправленной роговицы // *Поле зрения.*- 2014.-№1. С. 36-37

