

Транспальпебральный тонометр для измерения внутриглазного давления

Кафедра глазных болезней лечебного факультета РГМУ, Москва. ООО "Рамед", Рязань

Тонометрия глаза - один из ведущих методов, используемых при обследовании больного с офтальмопатологией. Первый клинически приемлемый тонометр был разработан и описан в 1884 г. А.Н. Маклаковым. Предложенные ранее тонометры имели серьезные недостатки и не использовались в клинической практике. До этого внутриглазное давление (ВГД) оценивалось только приближенно с помощью пальпации глаза через верхнее веко. Пальпаторный метод и в настоящее время широко используется в клинической практике. С его помощью опытный офтальмолог может ориентировочно оценить, находится ли офтальмотонус в пределах нормальных значений (Тн), повышен (Т+1, Т+2) или понижен (Т-1, Т-2), отличить нормотензию от гипер- или гипотензии. Пальпаторный метод страдает субъективизмом, неопределенностью результатов при умеренном изменении офтальмотонуса, но вместе с тем свидетельствует и о принципиальной возможности транспальпебральной тонометрии.

Внутриглазное давление

Глазное яблоко - сферической формы резервуар, заполненный жидким, несжимаемым содержимым. ВГД обусловлено действием упругих сил, возникающих в оболочках глаза при их растяжении.

Уровень ВГД определяется циркулирующей водянистой влаги (ВВ) в глазу и давлением в эписклеральных венах:

$$P_0 = F/C + P_v, \text{ где}$$

P_0 - ВГД, F - минутный объем ВВ, C - коэффициент легкости оттока ВВ из глаза, P_v - давление в эписклеральных венах.

ВГД повышается при переходе из вертикального положения в горизонтальное и особенно в положение Тренделенбурга и при сдавливании вен шеи из-за увеличения давления в эписклеральных венах (P_v).

ВГД - динамичная, непрерывно изменяющаяся величина. Различают системные, ритмичные его колебания около относительно постоянного уровня и кратковременные изменения случайного характера. Колебания ВГД около уровня зависят от изменений в кровенаполнении внутриглазных сосудов и от внешнего давления на глазное яблоко.

Существует 3 вида ритмичных колебаний ВГД около уровня:

- 1) глазной пульс с амплитудой от 0,5 до 2,5 мм рт.ст.,
- 2) дыхательные волны (от 0 до 1 мм рт.ст.),
- 3) волны Геринга-Траубе (от 0 до 2,5 мм рт.ст.)

В значительной степени из-за ритмичных колебаний офтальмотонуса последовательные измерения ВГД тонометром на одном и том же глазу отличаются друг от друга.

Мигание, сжатие глаза орбикулярной мышцей или наружными мышцами глазного яблока кратковременно повышают ВГД, осуществляют массаж глаза и уменьшают венозную застой. Вместе с тем изменения тонуса орбикулярной и пальпебральных мышц при тонометрии являются частой причиной погрешности при измерении уровня ВГД.

Статистически нормальное ВГД (P_0) варьирует от 9 до 21 мм рт. ст. (в среднем 15-16 мм рт.ст.). Оно имеет суточные и сезонные колебания. Распределение ВГД в нормальной популяции асимметричное (удлиненное вправо). В пожилом возрасте асимметрия распределения увеличивается. Более 3% здоровых лиц имеют ВГД выше 21 мм рт.ст. Для практического врача особенно важна точность измерения офтальмотонуса в зоне нормального и умеренно повышенного (до 30 мм рт.ст) ВГД.

Регуляция внутриглазного давления

Каждый глаз настроен на определенный уровень ВГД (давление равновесия), который поддерживается с помощью пассивных и активных механизмов. При повышении ВГД

увеличивается и давление оттока и фильтрации жидкости из глаза, при снижении продукции ВВ ее отток уменьшается, и давление равновесия восстанавливается.

Активные механизмы регуляции ВГД изучены недостаточно. Возможно участие гипоталамуса, надпочечников, вегетативной нервной системы и местных ауторегуляторных механизмов.

Офтальмотонометрия

Измерение ВГД основано на деформации глазного яблока под влиянием внешнего воздействия. При этом величины деформации (S), действующей на глаз силы (W) и ВГД (Pt) в первом приближении связаны между собой следующей зависимостью: $Pt=f(W/S)$. Все тонометры разделяют на приборы: 1) с постоянной и переменной силой давления на глаз; 2) с постоянной или переменной величиной деформации глаза; 3) на роговичные, склеральные и транспальпебральные; 4) на аппланационные, импрессионные и трансфигурационные.

Офтальмотонометры, используемые в РФ

1. Тонометр Маклакова и эласотонометр Филатова-Кальфа
2. Аппланационный тонометр Гольдмана (эталонный)
3. Аппланационные тонометры Перкинса и Дрегера
4. Бесконтактный аппланационный тонометр, Grolman, 1972
5. Импрессионный тонометр Шиотца
6. Транспальпебральный тонометр ТГДц-01 "ПРА" (индикатор ИГД-02 "ПРА").

Все перечисленные выше офтальмотонометры (кроме ТГДц-01, ИГД-02) измеряют ВГД через роговицу.

Достоинства и недостатки роговичной тонометрии

Можно отметить следующие 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.

Тонометр ТГДц-01 "ПРА": базисные принципы

Транспальпебральный глазной тонометр (ТГДц) разработан группой офтальмологов и инженеров. Была поставлена задача создать портативный, простой в использовании прибор, который позволил бы проводить измерение ВГД через веко не только в офтальмологических кабинетах, но и в домашних условиях. Прибор должен был обладать достаточной точностью, быстродействием и обеспечивать возможность вести мониторинг офтальмотонуса, что очень важно как для диагностики глаукомы, так и для контроля за эффективностью проводимого лечения. Разработанный нами "Тонометр внутриглазного давления через веко цифровой портативный" (ТГДц-01 "ПРА") отвечает поставленным задачам.

Наряду с тонометром разработан и серийно выпускается Государственным Рязанским приборным заводом менее дорогой прибор - "Индикатор внутриглазного давления через веко цифровой портативный - ИГД-02 "ПРА" (рис.1).

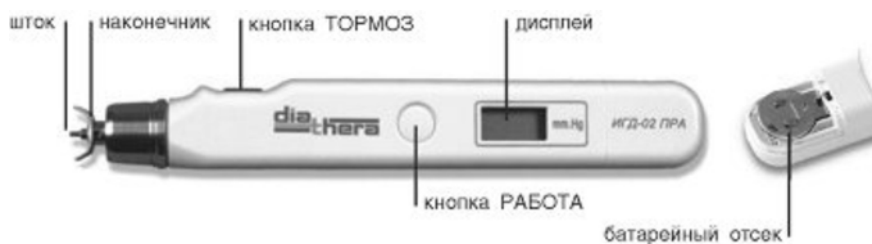


Рис.1

Отличие индикатора от тонометра состоит лишь в том, что его цифровые показания соответствуют значениям тонометрического давления для тонометра Маклакова массой 10 г. Этот индикатор предназначен для использования в тех странах, где тонометр Маклакова имеет широкое распространение (страны СНГ, КНР, некоторые восточно-европейские страны).

Рис.2

Особенность нового тонометра заключается в том, что измерение ВГД производится через веко, что исключает контакт с конъюнктивой и роговицей и не требует применения анестезирующих препаратов. При этом воздействие на глаз осуществляется через веко на склеру. Положение тонометра при измерении ВГД показано на рис.2.



Принцип действия нового тонометра основан на обработке функции движения штока в результате его свободного падения и взаимодействия с упругой поверхностью глаза через веко. Главная проблема заключалась в том, как исключить влияние индивидуальных особенностей века на результаты тонометрии. Эта проблема была решена путем сжатия века на площади диаметром 1,5 мм до такой степени, чтобы сжатый участок века выполнял роль передаточного звена при взаимодействии штока с глазом, при исключении болевых ощущений. Метод компенсации влияния века привел к выбору динамического (баллистического) способа дозированного механического воздействия на глаз для оценки его упругих свойств.

Для определения положения штока в процессе его свободного падения с постоянной высоты и взаимодействия с глазом через веко в приборе имеется датчик положения. Значение точек функции движения штока во времени запоминаются встроенным процессором. Схематически функция движения штока во времени показана на рисунке 3.

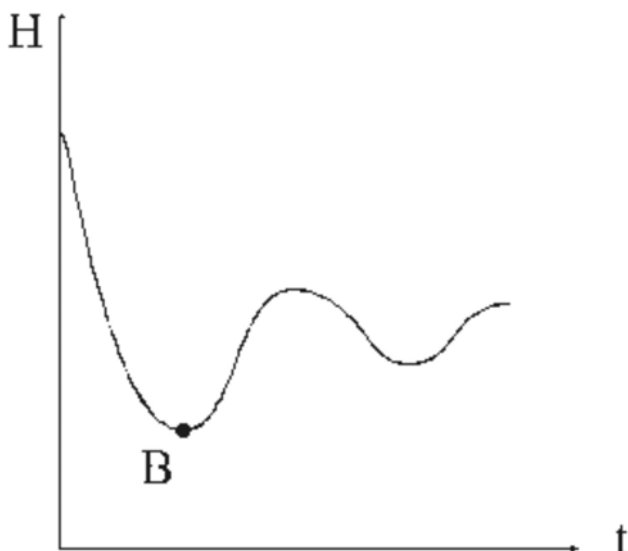


Рис.3. Функция движения штока тонометра во времени.

H - изменение положения штока при свободном падении,
t - время после начала падения,
B - точка минимума функции движения штока.

Для точки **B** справедливо следующее уравнение: $P = F/S$, где **P** - ВГД, **F** - сила упругости глаза, воздействующая на шток, **S** - площадь взаимодействия глаза со штоком (площадь его основания). По второму закону Ньютона: $F = m \cdot a$, где **m** -

масса штока, a - ускорение движения штока при взаимодействии с упругой поверхностью глаза. Тогда $P = m \cdot a / S$. Масса штока и площадь взаимодействия S - величины постоянные. Поэтому для определения P достаточно измерить ускорение движения штока (a) в точке B .

Погрешности исследования ВГД

Погрешность измерения ВГД новыми тонометрами в клинической практике принято оценивать по сравнению с результатами, полученными на тех же глазах с помощью тонометра Гольдмана (стандарт тонометрии), а также по разбросу данных, полученных при повторных измерениях тем же тонометром.

Многочисленные исследования, выполненные на сотнях пациентов в течение нескольких лет, показали высокую достоверность измерения ВГД тонометром ТГДц-01. Расхождения результатов, полученных с помощью нового тонометра и тонометра Гольдмана не имели системного характера и не превышали 4 мм рт.ст. При повторных измерениях ВГД в здоровых глазах колебания показателей были в пределах 2-4 мм рт.ст.

По данным литературы разброс результатов при повторных измерениях одним и тем же тонометром Гольдмана составляет 2-3 мм рт.ст. на здоровых глазах. При проверке различных экземпляров серийно выпускаемых тонометров Гольдмана обнаруживается систематическая разница в их показаниях на 2-3 мм рт.ст, зависящая от вариантов в калибровке бипризмы и пружины каждого прибора. На показания всех аппланационных тонометров, включая и тонометр Гольдмана, влияют рефракция глаза, астигматизм, кривизна и толщина роговицы, ширина кольца жидкости вокруг площадки сплющивания, гипер- или гипофлюоресценция этого кольца. Как отмечено выше, погрешность измерения уровня ВГД зависит от характера и величины ритмичных и случайных колебаний офтальмотонуса, а также от опыта тонометриста.

Опыт работы с тонометрами ТГДц-01 и Гольдмана свидетельствует о том, что их показания находятся в тесной корреляции друг с другом. Аналогичные результаты были получены при сопоставлении показаний индикатора ВГД (ИГД-02 "ПРА") и тонометра Маклакова массой 10 г. Полные результаты клинических испытаний обоих приборов будут опубликованы отдельно.

Заключение

Созданы два новых портативных прибора - офтальмотонометр ТГДц-01 и индикатор давления ИГД-02, позволяющие измерять внутриглазное давление (ВГД) через веко. Принцип действия обоих приборов основан на определении ускорения движения свободно падающего штока при взаимодействии с упругой поверхностью глаза. Показания ТГДц-01 соответствуют истинному ВГД, а ИГД-02 - тонометрическому давлению для тонометра Маклакова массой 10 г.

Оба прибора обладают достаточной для клинических целей точностью, не требуют использования анестетиков, не нуждаются в стерилизации, безопасны (не могут повредить роговицу), комфортны для больного и просты в использовании. Их можно применять не только в офтальмологических кабинетах, но и в домашних условиях.

Результаты измерения ВГД транспальпебральным тонометром и индикатором сопоставимы с результатами, получаемыми на тех же глазах тонометрами Гольдмана и Маклакова (10 г) соответственно.

("Вестник офтальмологии", №1/2003, Москва)