

ВАКУУМНЫЙ ТОНОМЕТР<sup>1</sup>

Проф. Б. Л. Радзиховский

Из глазной клиники (дир. — проф. Б. Л. Радзиховский)  
Черновицкого медицинского института (дир. — доцент Д. С. Ловля)

Наши знания об офталмотонусе у живого человека далеко не полны. Объясняется это прежде всего тем, что единственный метод, который мог бы дать точное представление о внутриглазном давлении у живого человека — манометрическое исследование, — не может получить практического применения. Тонометрический же способ имеет существенные недостатки, из них главным, по нашему мнению, является то, что тонометрический способ, давая возможность зафиксировать высоту внутриглазного давления только в какой-то определенный момент, отнюдь не позволяет непрерывно регистрировать тончайшие колебания офталмотонуса в течение какого-то, хотя бы небольшого, промежутка времени.

Мной разработан новый способ тонометрии, отличающийся тем, что офталмотонус определяется измерением сопротивления роговицы присасывающему действию вакуума, при этом величина прогибания роговицы в сторону присасывающей капсулы остается всегда постоянной.

Этот принцип тонометрии практически осуществлен с помощью специального тонометра, дающего возможность графически записывать тонометрическое внутриглазное давление.

Сконструированный нами тонометр состоит из следующих трех основных частей: 1) капсулы *A*, 2) резинового баллона *B* и ртутного вакуумманометра *D* (рис. 1).

Наиболее ответственной и важной частью тонометра является капсула. Она представляет собой полый металлический цилиндр, внутренний диаметр которого равен 7 мм, а наружный — 9 мм. Верхняя часть цилиндра закрыта, а краем нижней (открытой) части для лучшего соприкосновения с поверхностью роговицы придана форма овала. Высота капсулы значительно меньше ее диаметра и равна всего 2,5 мм. Вес капсулы равен 1 г. В центре дна капсулы имеется отверстие, в которое ввинчен регулирующий винт *K* со сквозным осевым каналом, диаметром в 0,5 мм. Винт можно вращать за головку и таким образом подводить выходящий в полость капсулы конец винта на любое расстояние к поверхности роговицы. На выходящий из капсулы свободный конец регулирующего винта надевается очень тонкая (внутренний диаметр около 0,5 мм) резиновая трубка, которая соединяет капсулу с резиновым баллоном. Со ртутным вакуумманометром капсула соединяется с помощью такой же тонкой резиновой трубки, которая надевается на впаянную в боковую часть капсулы металлическую трубку *M*.

Резиновый баллон служит для разрежения среды под капсулой, диаметр его равен приблизительно 30 мм. Степень разрежения среды под капсулой определяется при помощи ртутного вакуумманометра, устройство которого схематически представлено на рисунке.

Все части тонометра помещаются в деревянном футляре, размерами  $35 \times 35 \times 130$  мм. Тонометр в собранном виде показан на рис. 2.

Таким образом, наш тонометр не имеет ничего общего с существующими конструкциями и представляет собой своего рода пневматический аппарат. Принцип его действия следующий. Если, сжав резиновый баллон, поместить капсулу на роговицу, а затем отпустить баллон, то при этом разрежится среда не только в баллоне, но и под капсулой; манометр, соединенный с помощью резиновых трубок с капсулой и баллоном в одну систему, будет показывать степень разрежения. Вследствие создания вакуума под капсулой наступит прогибание роговицы и, когда вакуум достигнет определенной степени, вершина роговицы, вплотную приблизившись к выступающему в полость капсулы концу регулирующего винта, закроет осевой канал в этом винте, и баллон и полость капсулы окажутся разобщенными. Манометр же по-прежнему будет сообщен с капсулой и укажет в миллиметрах ртутного столба ту степень разрежения среды под капсулой, которая потребовалась для того, чтобы роговица выступила на строго определенную величину в полость капсулы. Естественно, что столб ртути в манометре будет тем выше, чем больше внутриглазное давление, так как для прогибания роговицы на одну и ту же величину при более высоком внутриглазном давлении потребуются большее разрежение среды под капсулой. Установив определенную зависимость между высотой ртутного столба и офталмотонусом, можно, как это будет доказано ниже, определять по показаниям манометра внутриглазное давление.

<sup>1</sup> Статья печатается в дискуссионном порядке. Р е д.

В момент соприкосновения вершины роговицы с регулирующим винтом, как уже указывалось, прекратится сообщение между полостью капсулы и резиновым баллоном, и поэтому, несмотря на дальнейшее присасывающее действие баллона, высота ртuti в манометре будет оставаться постоянной. Но, если по какой-либо причине внутриглазное давление повысится, то выпячивание роговицы тотчас же уменьшится и между вершиной роговицы и концом регулирующего винта образуется щель, почему снова восстановится сообщение между баллоном и капсулой. Сообщение прекратится лишь тогда, когда установится новое соотношение между степенью разрежения среды под капсулой и более высоким внутриглазным давлением. Столбик ртuti в манометре при этом поднимется и будет указывать на более высокое внутриглазное давление.

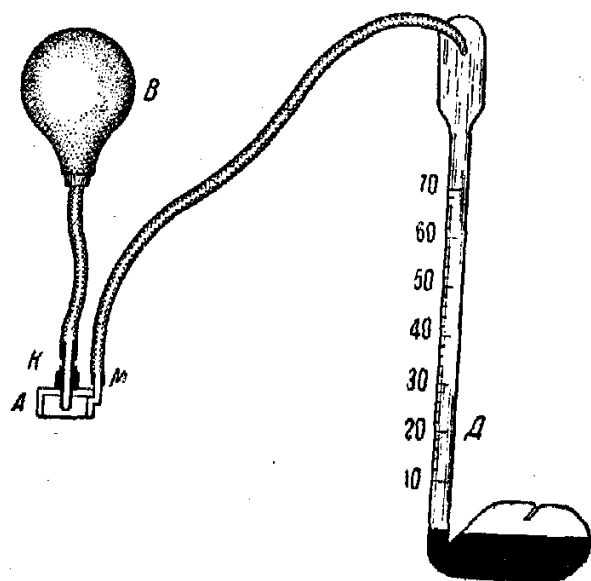


Рис. 1

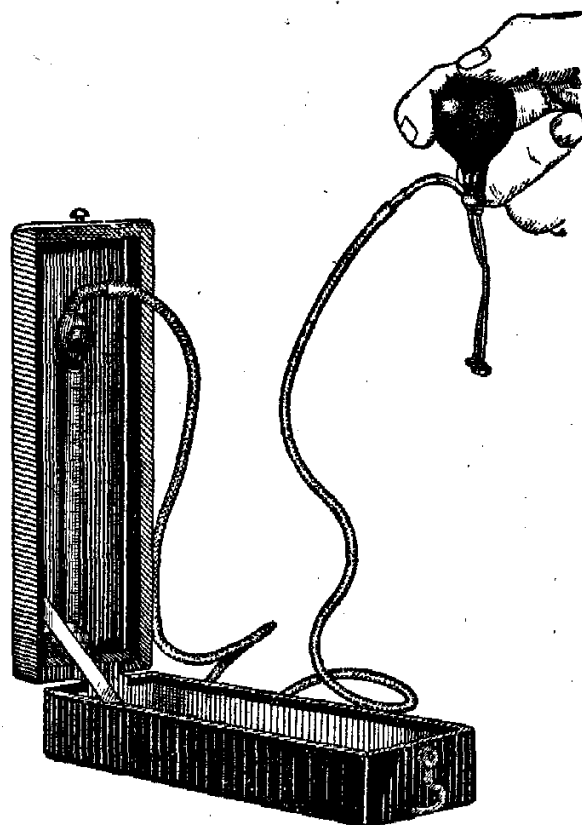


Рис. 2

Таким образом, при описанном устройстве тонометр является чувствительным только по отношению к возрастающему все время внутриглазному давлению, всякие же изменения давления в сторону понижения от уже зафиксированного давления тонометр уловить не может.

Это объясняется тем, что при понижении внутриглазного давления выпячивание роговицы не уменьшается, а, наоборот, увеличивается, почему капсула по-прежнему будет оставаться разобщенной с баллоном; степень разрежения среды в ней будет прежней, и высота ртутного столба в манометре останется той же. Для того, чтобы тонометр был одинаково чувствителен к малейшему повышению и понижению внутриглазного давления, т. е. реагировал на любые колебания офтальмотонуса, находящиеся в пределах чувствительности прибора, потребовалось чрезвычайно простое усовершенствование — оказалось необходимым соединить капсулу с помощью микроскопического отверстия с внешней средой (отверстие сделано в дне капсулы и ввиду очень малых размеров на схеме не указано).

После разобщения баллона и капсулы степень разрежения среды под капсулой не будет оставаться неизменной, а вследствие поступления воздуха через микроскопическое отверстие из окружающего пространства вакуум постепенно должен исчезать; это приведет к немедленному уменьшению выпячивания роговицы, в результате чего восстановится сообщение между капсулой и баллоном и степень разрежения среды под капсулой все время будет поддерживаться на уровне, соответствующем внутриглазному давлению. Таким образом, капсула автоматически регулирует определенное соотношение между внутриглазным давлением и показаниями манометра.

При конструировании тонометра мы стремились к тому, чтобы прогибание роговицы при тонометрии было возможно меньшим, но опыт показал, что, чем меньше прогибание роговицы, тем большее влияние на результат тонометрического исследо-

вания оказывают индивидуальные вариации радиуса кривизны роговицы. Чтобы полностью исключить зависимость показаний тонометра от кривизны роговицы, пришлось внести в устройство капсулы еще одно усовершенствование, которое дает возможность производить предварительную настройку капсулы. Настройка заключается в том, что в начале исследования регулирующий винт почти вплотную приближается к вершине роговицы, а затем удаляется от нее на строго определенное, всегда одно и то же расстояние. Практически этого достигают следующим образом: поворачивая регулирующий винт по часовой стрелке, настолько приближают его выступающий в полость капсулы конец к вершине роговицы, чтобы высота ртути в манометре равнялась 5 мм. Это будет свидетельствовать о том, что в исходный момент тонометрии, независимо от кривизны роговицы, между концом регулирующего винта и вершиной роговицы всегда имеется одно и то же расстояние (тончайшая щель). Затем, поворачивая винт против часовой стрелки, удаляют регулирующий винт от вершины роговицы на строго определенную величину. Поворот винта на нужную, всегда одну и ту же величину легко достигается с помощью следующего приспособления: к выходящему из капсулы концу винта приделаны две стрелки (черная и белая), которые во время градуировки тонометра закреплены под определенным углом, а на дне капсулы нанесены произвольные деления. Заметив, на каком делении находится белая стрелка, после того как регулирующий винт был приближен к роговице на такое расстояние, при котором высота столба ртути в манометре равнялась 5 мм, поворачивают регулирующий винт против часовой стрелки настолько, чтобы против этого деления остановилась черная стрелка. Этим заканчивается настройка капсулы. Теперь, сжав баллон, ставят капсулу на роговицу так, чтобы ее цилиндрическая часть располагалась концентрически лимбу, и, отпустив баллон, следят за показаниями манометра. Высота столба ртути, измеряемая по нанесенным на стеклянной трубке миллиметровым делениям, указывает внутриглазное давление.

Градуировка вакуумного тонометра произведена по показаниям тонометра Маклакова следующим образом: регулирующий винт капсулы установлен на таком расстоянии от вершины роговицы, чтобы при средней величине офталмотонуса (20—25 мм) оба тонометра (наш и Маклакова) давали одну и ту же тонометрическую величину внутриглазного давления. После этого при разных величинах внутриглазного давления (в пределах 12—45 мм) выявились только небольшие расхождения между показаниями тонометра Маклакова и нашего тонометра. Оказалось, что при внутриглазном давлении в пределах 12—20 мм показания вакуумного тонометра на 1—3 мм ниже показаний тонометра Маклакова, при внутриглазном давлении в 35 мм — выше на 1—2 мм, а при давлении в 45 мм — выше на 2—4 мм. Ввиду таких сравнительно небольших расхождений и того, что все тонометрические величины внутриглазного давления относительны, мы сочли возможным не наносить на вакуумманометр специальных делений, а оставить обычные миллиметровые деления, которые без всяких перерасчетов довольно точно указывают тонометрическую величину внутриглазного давления.

Остановимся на теоретическом обосновании.

Если согласиться с тем, что физические законы и математические выкладки применимы при решении вопросов, связанных с офталмотонусом, то теоретическое обоснование разработанного мною метода тонометрии вытекает из формулы Эмберта для тонометров сплющивания.

Как известно, согласно этой формуле:

$$T = \frac{P}{\pi r^2 d} \quad \text{или} \quad T \pi r^2 d = P, \quad (1)$$

где  $T$  — внутриглазное давление,  $P$  — вес тонометра,  $r$  — радиус кружка сплющивания.

Если  $r$ , радиус кружка сплющивания (в нашем тонометре величина прогибания роговицы), остается постоянным, то при каком-то ином внутриглазном давлении  $T_1$  ему будет соответствовать тонометр какого-то другого веса; обозначим вес этого тонометра  $P_1$ .

Подставив эти новые величины в формулу Эмберта, получим следующее равенство:

$$T_1 \pi r^2 d = P_1 \quad (2)$$

Разделив первое равенство на второе, получим:

$$\frac{T \pi r^2 d}{T_1 \pi r^2 d} = \frac{P}{P_1} \quad \text{или} \quad \frac{T}{T_1} = \frac{P}{P_1} \quad (3)$$

Отсюда следует, что при одной и той же величине сплющивания или прогибания роговицы давление тонометра на глаз (вес тонометра) и внутриглазное давление на-

ходятся в прямой пропорциональной зависимости, т. е. во сколько раз выше внутриглазное давление, во столько же раз должно быть больше и давление тонометра на глаз.

Из пропорции (3) легко получить следующее равенство:  $TP_1 = PT_1$ .

Очевидно, что если  $T = P$ , то и  $P_1 = T_1$ . Следовательно, если давление тонометра на глаз и внутриглазное давление выражены в одних и тех же единицах измерения и при какой-то величине сплющивания или прогибания роговицы равны друг другу, то при любом другом офталмотонусе давление тонометра, вызывающее ту же величину прогибания роговицы, равно внутриглазному давлению.

Давление нашего тонометра на глаз всегда известно: оно равно степени разрежения среды под капсулой и указывается вакуумным манометром в миллиметрах ртутного столба. Степень прогибания роговицы, благодаря соответствующей настройке капсулы тонометра, остается постоянной, поэтому, как вытекает из математических выкладок, если при какой-либо высоте офталмотонуса отградуировать капсулу так, чтобы давление ее на глаз, выраженное в миллиметрах ртутного столба, равнялось внутриглазному давлению, определенному, например, с помощью тонометра Маклакова, то при любом другом офталмотонусе показания ртутного манометра также будут соответствовать внутриглазному давлению.

Остается выяснить, почему же имеются расхождения между показаниями вакуумного тонометра и тонометра Маклакова при низком и высоком внутриглазном давлении.

В формуле Эмберта не учитывается то обстоятельство, что всякий тонометр, как показали исследования проф. Кальфа, в момент тонометрии повышает внутриглазное давление, так как в результате сплющивания или прогибания роговицы уменьшается объем глаза.

Вакуумный тонометр, отградуированный по тонометру Маклакова так, что при офталмотонусе в пределах 20—25 мм его показания совпадают с показаниями последнего, уменьшает объем глаза при указанной высоте внутриглазного давления на такую же величину, как и тонометр Маклакова (иначе их показания не были бы одинаковыми). При более же низком внутриглазном давлении тонометр Маклакова, конечно, сильнее сплющит роговицу и тем самым больше повысит офталмотонус, чем вакуумный тонометр, который и при низком давлении прогибает роговицу на одну и ту же величину. Это и является причиной того, что при низком офталмотонусе показания тонометра Маклакова выше, чем показания вакуумного тонометра. При высоком офталмотонусе тонометр Маклакова меньше сплющит роговицу, а следовательно, и меньше повысит офталмотонус, в то время, как вакуумный тонометр и при высоком, внутриглазном давлении прогибает роговицу на одну и ту же величину, почему его показания будут выше показаний тонометра Маклакова.

Главным преимуществом нашего тонометра является то, что он дает возможность графически записывать тонометрическое внутриглазное давление; это делает прибор незаменимым при всякого рода научных исследованиях.