

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра оториноларингологии с курсом офтальмологии**

**Ю. И. РОЖКО**

**ГЛАЗНОЕ ДАВЛЕНИЕ:  
ТОНОМЕТРИЧЕСКИЕ  
И ТОНОГРАФИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Учебно-методическое пособие по офтальмологии  
для студентов 4–6 курсов всех факультетов,  
клинических ординаторов и аспирантов медицинских вузов**

**Гомель  
ГомГМУ  
2013**

УДК 617.7  
ББК 56.7  
Р 63

**Рецензент:**  
доктор медицинских наук, профессор,  
заведующий кафедрой глазных болезней  
Белорусского государственного медицинского университета  
*Л. Н. Марченко*

**Рожко, Ю. И.**  
Р 63 Глазное давление: тонометрические и тонографические методы исследования: учеб.-метод. пособие по офтальмологии для студентов 4–6 курсов всех факультетов, клинических ординаторов и аспирантов медицинских вузов / Ю. И. Рожко. — Гомель: ГомГМУ, 2013. — 36 с.  
ISBN 978-985-506-544-0

Учебно-методическое пособие представляет собой обобщенные данные по методам исследования глазного давления и тонографических показателей, с помощью которых можно правильно проводить диагностику глаукомы и оценивать офтальмогипертензионные состояния.

Предназначено для студентов 4–6 курсов всех факультетов, врачей, проходящих обучение в интернатуре, клинической ординатуре и аспирантуре на кафедрах офтальмологии медицинских вузов.

Утверждено и рекомендовано к изданию Центральным учебным научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» 27 ноября 2012 г., протокол № 8.

**УДК 617.7**  
**ББК 56.7**

**ISBN 978-985-506-544-0**

© Учреждение образования  
«Гомельский государственный  
медицинский университет», 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Внутриглазное давление .....	4
Пальцевой метод определения внутриглазного давления .....	5
Инструментальные методы измерения ВГД.....	6
Пневматическая бесконтактная тонометрия .....	10
Контактные линзы, измеряющие ВГД .....	12
Единицы измерения ВГД.....	13
Средние границы нормы ВГД.....	14
Суточные колебания ВГД.....	17
Эластотонометрия .....	20
Показатели гидродинамики глаза .....	22
Компрессионно-тонометрические пробы .....	23
Значения тонографических показателей в норме и их характеристика.....	29
Пробы для диагностики глаукомы .....	31
Показания к измерению глазного давления .....	32
Литература.....	33
Приложение.....	34

# 1. ВНУТРИГЛАЗНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Внутриглазное давление (ВГД) определяется динамическим балансом между формированием внутриглазной жидкости и ее оттоком, которые при нормальных условиях являются практически равными, и кровенаполнением внутриглазных сосудов в конкретный момент времени.

Для обеспечения оттока внутриглазной жидкости давление в глазу должно быть выше давления в эписклеральных сосудах, которое составляет 6–8 мм рт. ст., но ниже перфузионного давления в сетчатке и увеальном тракте, иначе в них прекращается ток крови и глаз, как анализатор, погибает.

Термин внутриглазная жидкость является крайне широким, так как подразумевает всю жидкость, находящуюся внутри наружной капсулы глаза, не делая различий между жидкостью, заполняющей переднюю, заднюю, стекловидную камеры глаза и межтканевой. Даже сама наружная капсула имеет значительное содержание воды. Для того чтобы различать и выделять жидкость передней и задней камер, например от жидкости стекловидного тела, более правильно называть ее камерной жидкостью. Глазное яблоко устроено таким образом, что камерная жидкость является не тканью, а продуктом образования клеток — пигментного и непигментного эпителия ресничного тела. Она представляет собой трансклеточную жидкость, в формирование химического состава которой вклад вносят следующие физиологические процессы: диффузия, фильтрация, диализ, активный транспорт и пиноцитоз.

Попавшая в переднюю камеру жидкость оттекает различными путями:

- основным — через систему трабекулярный аппарат и шлеммов канал;
- дополнительным — увеосклеральный отток;
- задним — через стекловидное тело, сосудистую оболочку, сетчатку

и зрительный нерв.

При нормальных условиях внутриглазное давление равномерно распределяется по всей наружной капсуле глаза, однако, известно, что ВГД в задней камере выше, чем в передней, а в супраувеальном пространстве на 2 мм рт. ст. ниже, чем в передней камере. Глазное яблоко можно рассматривать как гидростатическую систему, состоящую из нескольких закрытых и полузакрытых полостей, отделенных друг от друга эластичными мембранами. Каждая из этих полостей имеет свой уровень давления.

Следует понимать, что мы измеряем давление глаза, или глазное давление, которое в офтальмологии рутинно называется внутриглазным. Как установлено М. М. Дроновым, уровень глазного давления определяется суммой давлений жидкости в передней камере, задней камере, хрусталика, стекловидного тела, увеального тракта, сетчатки, диска зрительного нерва, жидкости супраувеального пространства, эластичности роговицы и склеры, атмосферного давления, давлением (тонусом) экстраокулярных мышц и давлением содержимого орбиты.

Давление в глазу выше давления в любом другом участке тела, где оно обычно не превышает 5–6 мм рт. ст. и выше цереброспинального, которое равно 7 мм рт. ст., уступает только сердечному и артериальному давлению.

Измерение ВГД, т. е. офтальмотонуса производят двумя основными методами: пальцевым и инструментальным.

## 2. ПАЛЬЦЕВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

Пальпация является простейшим, всякому доступным и легко усвояемым методом исследования ВГД. Имеются две вариации этого метода (рисунки 1, 2):

1. Непосредственная пальпация глазного яблока (после его анестезии), которой пользуются, чаще всего, на операционном столе.

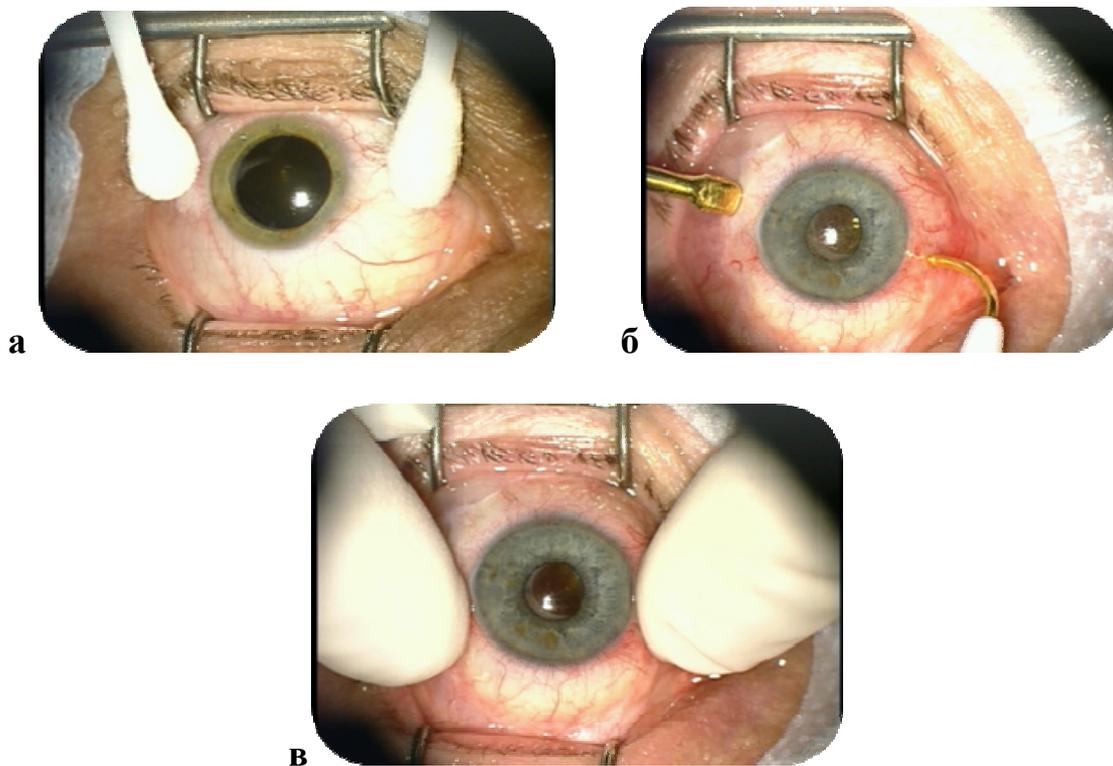


Рисунок 1 — Пальпация глазного яблока палочками (а), инструментами (б), пальцами (в)

2. Транспальпебральная пальпация (через веки). В этом случае больного просят спокойно закрыть глаза и смотреть вниз. Концы указательных пальцев обеих рук кладут на мягкую часть верхнего века выше верхнего края хряща, пальцами производят попеременное надавливание и получают впечатление о степени твердости глаза. Всегда, для сравнения, необходимо произвести исследование и второго глаза.



**Рисунок 2 — Транспальпебральная пальпация: правильно (а), неправильно (б)**

Для регистрации полученных результатов по предложению Боумена принята трехбалльная система оценки офтальмотонуса. Результаты исследования записываются следующим образом:

- $T_N$  — нормальное состояние ВГД;
- $T_{+1}$  — ясное уплотнение глаза в сравнении с нормой;
- $T_{+2}$  — значительное увеличение плотности глаза, но такое, при котором пальцами еще производится вдавление фиброзной оболочки и изменение формы глаза;
- $T_{+3}$  — столь сильное увеличение плотности, что даже интенсивное надавливание не производит вдавления глазного яблока, «глаз тверд как камень».

Сомнительное повышение ВГД обозначается  $T_{+?}$ . Цифры с противоположным знаком ( $T_{-1}$ ,  $T_{-2}$ ,  $T_{-3}$ ) означают три степени понижения ВГД. Конечно, метод пальпаторного исследования ВГД неточен, приблизителен и недопустим при научных или клинических исследованиях. И, тем не менее, он всегда сохранит свое значение в офтальмологической практике для быстрой ориентировки в столь важном вопросе, как состояние офтальмотонуса. Важно, что он очень легок в проведении исследования и всегда, так сказать, под рукой, или вернее, в руках исследователя, и всякий врач должен его усвоить.

### **3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Инструментальные методы измерения ВГД называются тонометрией, а приборы для измерения ВГД называются тонометрами. Основной принцип тонометрии заключается в том, что под действием внешних сил (т. е. под действием тонометра) оболочки глазного яблока деформируются. Деформации роговой оболочки по форме могут быть в виде вдавления (импрессии) и сплющивания (аппланации).

По принципу воздействия на наружную оболочку глаза и тонометры делятся на 2 основных вида. Первый вид тонометров — импрессионные

тонометры, построенные на принципе вдавления склеры (импрессия — вдавление) с помощью специального стержня (плунжера). Второй вид тонометров — аппланационные, когда производится сплющивание роговой оболочки какой-нибудь плоской поверхностью — аппланация.

С первых лет своего существования (вторая половина XIX века) и до наших дней вся инструментальная тонометрия развивается по этим двум основным направлениям: вдавления и сплющивания, в связи с чем и все методы измерения ВГД делятся на импрессионные и аппланационные.

Первый тонометр был создан Грефе (A. Von Graefe) в 1862 г. и был импрессионным. Вслед за ним появилось много других импрессионных приборов, как правило, грубых и очень неточных (рисунок 3).

В 1905 г. появился импрессионный тонометр Шюотца (H. Schiøtz), который был значительно более точным инструментом, по сравнению с другими импрессионными тонометрами, сравнительно простой конструкции и пользования, в связи с чем быстро получил широкое распространение (рисунок 4).

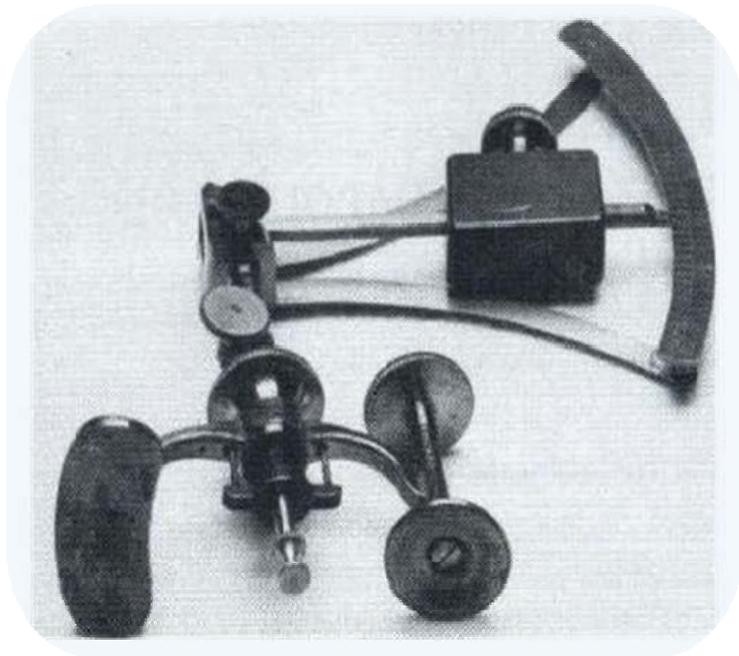


Рисунок 3 — ТонOMETР Шюотца



Рисунок 4 — ТонOMETР Грефе

ТонOMETР А. Н. Маклакова, предложенный им в 1884 г., положил начало всей аппланационной тонометрии. Аппланационные тонометры, в свою очередь, подразделяются на два вида: в одном — масса тонометра постоянная и измеряется кружок сплющивания роговицы, вызванный этим тонометром. Во втором типе аппланационных тонометров постоянной является площадка, до размеров которой следует сплющить роговицу, а масса тонометра меняется (рисунок 5).



а



б

**Рисунок 5 — Тонометры Маклакова (а), измерительные линейки Б. Л. Поляка для 4-х тонометров Маклакова (ВГД в мм рт. ст. и диаметр тонограммы в мм) (б)**

Для измерения ВГД, в большинстве случаев, используется тонометр Маклакова, учитывая его достоинства. Недостатки тонометра Маклакова:

- не позволяет дифференцировать кольцо слезы от диаметра плоскости сплющивания роговицы;
- стеклянные или фарфоровые плоскости тонометра при неаккуратном использовании выходят из строя, трескаются и разбиваются;
- плохо стерилизуется, а эпидемиологическая обстановка диктует достаточно жесткие требования к современным аппланационным тонометрам.

В настоящее время наиболее точным, «эталонным» тонометром является тонометр Гольдмана, который определяет истинный офтальмотонус — « $P_0$ ». Вообще во всем мире пользуются данными только истинного офтальмотонуса ( $P_0$ ), а не тонометрическим давлением — « $P_t$ » (рисунок 6).



**Рисунок 6 — Тонометры Гольдмана**

Любые манипуляции, при которых осуществляется даже минимальное воздействие на роговицу, могут оказаться небезопасными для глаза. Контакт роговицы с рабочей площадкой тонометров приводит к микроэрозиям, использование анестетиков, специальной краски и дезинфицирующих препаратов нежелательны у наиболее чувствительных пациентов, кроме того, применение этих методик противопоказано при наличии какой-либо патологии роговицы.

Существенные ограничения в использовании контактных методов привели к появлению специальной аппаратуры, позволяющей осуществлять из-

мерение ВГД без контакта с роговицей. В клинической практике широко используется индикатор внутриглазного давления ИГД-02 «ПРА» (рисунок 7).



**Рисунок 7 — Индикатор ИГД-02**

Принцип действия прибора основан на обработке функции движения штока в результате его свободного падения и взаимодействия с упругой поверхностью верхнего века. При измерении ВГД в момент падения штока создается кратковременная компрессия глаза за счет его деформации через веко в области склеры. При обработке микропроцессором функции движения штока для анализа используется тот ее участок, в котором веко под основанием штока сжимается полностью за счет оптимально выбранных размеров, массы и высоты падения штока и действует как жесткое передаточное звено.

Индикатор отличается эргономичным дизайном, компактным, удобным и простым в применении. Измерение офтальмотонуса возможно в положении лежа и сидя, что существенно экономит время при скрининговом обследовании и облегчает проведение тонометрии больным с патологией позвоночника, дыхательной системы и ожирением (рисунок 8).



**Рисунок 8 — Индикатор**

Разрабатываются тонометры электрические, электро-механические, фотоэлектрические, бесконтактные, самозаписывающиеся и т. д.

Тоно-ручка 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 (рисунок 9).

Тоно-ручкой можно измерить глазное давление через мягкую контактную линзу и в любом положении пациента.



Рисунок 9 — Тоно-ручка

Для развития современной тонометрии характерен переход к динамическим исследованиям ВГД с возможной графической записью его величины и стремление к большей точности измерения.

#### 4. ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ БЕСКОНТАКТНАЯ ТОНОМЕТРИЯ

Пневматическая тонометрия — бесконтактная тонометрия с использованием струи воздуха, изобретена Bernard Grolman в 1971 г. Преимуществом этого метода является возможность измерения ВГД без непосредственного контакта прибора с роговицей глаза, следовательно, он не требует местной анестезии и исключает риск инфицирования.

*Техника выполнения.* Измерение проводится в положении пациента сидя. Голова больного помещается перед аппаратом. Происходит движение потока воздуха длительностью до 3 мс (моргание длится 10 мс). Давление измеряется по степени уплощения роговицы от определенного фиксированного давления воздуха, и результат выносится на экран тонометра (рисунки 10, 11).



Рисунок 10 — Положение пациента



Рисунок 11 — Неконтактный тонометр

Получение точных данных возможно при низком или нормальном ВГД. Этот прибор полезен для проведения массовых скрининговых программ по выявлению глаукомы. Может использоваться у взрослых и детей.

Пневмотонометр, совмещенный с пахиметром, осуществляет поиск и обнаружение левого и правого зрачков пациента в автоматическом режиме. Измерение ВГД и центральной толщины роговицы производится сразу после обнаружения зрачка и выполняется без участия врача. Расчет компенсированного ВГД выполняется с учетом значения центральной толщины роговицы (рисунок 12).



**Рисунок 12 — Пневмотонометр TX-20P**

Поскольку все измерения проводятся за очень короткое время, то движения пациента во время исследования не влияют на конечный результат. Помимо значения центральной толщины роговицы на экране TX-20P отображается пахиметрическое изображение, что обеспечивает возможность обнаружения аномалий роговицы. Эргономичный дизайн и поворотный механизм 5,7" жидкокристаллического дисплея позволяет врачу работать как сидя, так и стоя.

Фирма Reichert, являющаяся мировым лидером в области бесконтактной тонометрии, имеет новейшую разработку в данной области — портативный, ручной, бесконтактный тонометр. Его отличительной чертой является отсутствие провода питания и малый вес. Данный прибор работает от зарядных батареек с продолжительным сроком действия и может быть использован для диагностики пациентов где бы не находился врач (рисунок 13).



**Рисунок 13 — Ручной тонометр РТ 100**

## 5. КОНТАКТНЫЕ ЛИНЗЫ, ИЗМЕРЯЮЩИЕ ВГД

Разработаны контактные линзы с датчиком внутриглазного давления швейцарской компанией Sensimed. Данная разработка направлена на решение проблемы ранней диагностики глаукомы. Повышенное внутриглазное давление приводит к деформации роговицы (рисунок 14).



Рисунок 14 — Линза, измеряющая ВГД

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, в распоряжении 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 (рисунок 15).

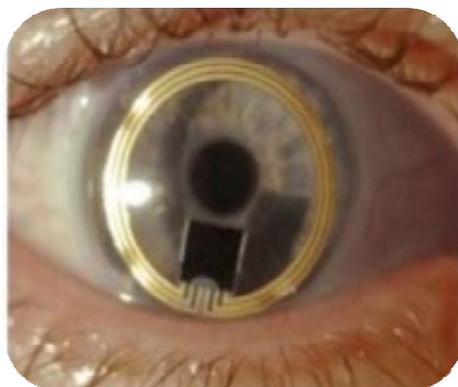


Рисунок 15 — Контактная линза, передающая данные по беспроводному каналу

## 6. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

В 1977 г. Всемирная конференция здравоохранения приняла решение о приведении всех единиц измерения в медицине в соответствие с Международной системой единиц (СИ). И почти все медицинские дисциплины уже перешли на систему СИ, но не офтальмология. Правда, были уже попытки перевести измерение ВГД в систему СИ. Так, Н. И. Кучерявый и Л. А. Золотарёва предложили измерять ВГД в гектопаскалях (гПа) из расчета, что 1 мм рт. ст. = 1,3332 гПа. Для удобства измерения ими сделаны измерительные линейки типа Поляка, но градуированы в гПа. Они считают, что истинное ВГД в норме равно 9–22 мм рт. ст., что равно 12–29 гПа. ТонOMETрическое давление в норме — 18–27 мм рт. ст., что равно 24–36 гПа. По существующей сейчас классификации глаукомы компенсированное давление «а» — до 27 мм рт. ст. (до 36 гПа в системе СИ), умеренно повышенное «в» — от 28 до 32 мм рт. ст. (от 37 до 43 гПа), высокое «с» — более 32 мм рт.ст. (свыше 43 гПа).

Паскаль равен давлению (механическому напряжению), вызываемому силой, равной одному ньютону, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью один квадратный метр:  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Дж/м}^3 = 1 \text{ кг/(м}\cdot\text{с}^2)$ .

Единица названа в честь французского физика и математика Блеза Паскаля. На практике применяют и приближенные значения: 1 атм = 0,1 МПа и 1 МПа = 10 атм. 1 мм водного столба примерно равен 10 Па.

Stepanic предложил измерять ВГД не в гПа, а в килопаскалях. Тогда 1 мм рт. ст. = 0,1333 кПа. Среднее истинное ВГД = 15–16 мм рт. ст., что соответствует 2 кПа, нижняя граница нормы приблизительно равна 8 мм рт. ст., что соответствует 1 кПа, верхняя граница нормы — 3 кПа (таблица 1).

Таблица 1 — Внутриглазное давление в мм рт. ст. и килопаскалях

мм рт. ст.	кПа
5	0,665
6	0,798
7	0,931
8	1,064
9	1,197
10	1,333
11	1,463
12	1,596
13	1,729
14	1,862
15	1,995
16	2,128

мм рт. ст.	кПа
30	3,999
31	4,123
32	4,256
33	4,389
34	4,522
35	4,655
36	4,788
37	4,921
38	5,054
39	5,187
40	5,320
41	5,453

Окончание таблицы 1

мм рт. ст.	кПа	мм рт. ст.	кПа
17	2,261	42	5,586
18	2,394	43	5,719
19	2,527	44	5,852
20	2,666	45	5,985
21	2,793	46	6,118
22	2,926	47	6,251
23	3,059	48	6,384
24	3,192	49	6,517
25	3,325	50	6,650
26	3,458	51	6,783
27	3,591	52	6,916
28	3,724	55	7,315
29	3,857	60	7,981

## 7. СРЕДНИЕ ГРАНИЦЫ НОРМЫ ВГД

Нормальная величина ВГД примерно одинакова на обоих глазах одного и того же человека. Допустимая в норме разница не превышает 3–4 мм рт. ст. Если разница ВГД 2-х глаз у одного и того же человека больше чем 4–5 мм рт. ст., то даже при нормальных величинах офтальмотонуса (например, 18 и 24 мм рт. ст.) — это является существенным основанием для подозрения на глаукому.

Нормальное ВГД является пульсирующим, что отражает сосудистое происхождение внутриглазной жидкости. Амплитуда пульса может быть выше при гипертензии, вследствие усиленного выброса крови из сердца, или аортальной регургитации. Недостаточность аортального клапана вызывает в фазу диастолы ток крови в обратном направлении (регургитацию), т. е. часть крови поступает из аорты обратно в левый желудочек. Амплитуда пульса в этом случае возрастает за счет снижения диастолического давления.

ВГД изменяется с дыхательным циклом, по-видимому, через изменения в венозном давлении.

ВГД несколько меняется с возрастом. Наибольшую величину оно имеет у новорожденных, затем постепенно уменьшается до 10 лет. С 20 лет отмечается тенденция к медленному росту давления, а после 70 лет — к незначительному его снижению. Но возрастная разница средних значений офтальмотонуса очень незначительна (максимально до 1,5 мм рт. ст.). Считается, что у женщин ВГД слегка выше, чем у мужчин. Но средняя разница крайне невелика и составляет 0,5 мм рт. ст.

Величина ВГД у лиц, проживающих в различных климатических зонах, примерно одинакова. Тем не менее, отмечено, что с увеличением высоты над

уровнем моря и понижением температуры окружающего воздуха тонометрическое давление глаз имеет тенденцию к снижению. Установлено, что у жителей высокогорного Памира гидродинамические показатели достоверно отличаются от жителей долинных зон более низкими показателями, что связано с перестройкой кровообращения сосудистого русла увеального тракта.

Значительно больше выражены сезонные различия: летом ВГД чуть меньше, чем зимой. На этом основании В. Bengsson предложил от общепринятой нормы летом отнимать, а зимой прибавлять 1 мм рт. ст. В литературе нет данных, которые бы указывали на влияние национальных или расовых особенностей, а также условий питания и жизни на ВГД.

Доказано, что умеренная физическая работа временно снижает уровень офтальмотонуса. Заметно влияет на ВГД изменение положения тела. При вертикальном положении офтальмотонус на 1–4 мм рт. ст. ниже, чем при горизонтальном.

На офтальмотонус здоровых глаз влияет большое количество физиологических факторов, а это может приводить к неадекватной оценке тонометрии. Изучено влияние физиологических факторов на колебания ВГД и установлено, что при употреблении 1 литра воды ВГД здоровых глаз увеличивается в среднем на 4,4 мм рт.ст. и остается таким (т. е. повышенным) до 140 минут (2,5 часа). При употреблении 1 чашки кофе, ВГД увеличивается в среднем на 4 мм рт. ст. и держится 95 минут (1,5 часа). При приеме алкоголя — на 3,7 мм рт. ст. и держится в среднем 1 час. Физические упражнения вызывают немедленное резкое снижение ВГД в среднем на 4,3 мм рт. ст. с последующим восстановлением до исходного за 65 мин.

Следует помнить, что однократная тонометрия не является надежным методом ранней диагностики глаукомы. По результату однократной тонометрии, даже при получении величины ВГД, которая на 2–4 мм рт. ст. превышает верхнюю границу нормы, нельзя ставить диагноз глаукомы, если нет никаких других доказательств этого заболевания.

Центральная толщина роговицы влияет на точность измерения ВГД аппланационным тонометром. Толстая роговица требует большей силы для уплощения и, наоборот, тонкая роговица легче апплируется. Относительно тонкая роговица является фактором риска, связанным с переходом офтальмогипертензии в глаукому. Отклонения от нормальной толщины роговицы влияют на тонометрические данные здоровых лиц. Н. Goldman et T. Schmidt основывали свои тонометрические показатели на том, что нормальная средняя толщина роговицы равняется 520 мкм. Ранее считали, что вариации в толщине роговицы встречаются редко в здоровых глазах. С появлением ультразвуковых контактных пахиметров и приборов для оптической когерентной томографии переднего отрезка глаза толщина роговицы была определена более точно, и стало очевидным, что вариации в толщине роговицы отмечаются значительно чаще, чем представлялось ранее. Выявлена зависимость степени развития глаукомного процесса от

толщины роговицы. У больных с ЦТР менее 500 мкм частота далеко зашедших и терминальных стадий выше, чем у пациентов с более высокими показателями толщины роговицы. При тонких роговицах документированы более высокие уровни истинного ВГД. Измерение корнеального гистерезиса дает возможность определения сопротивления роговицы, представляющего совокупность ее толщины, жесткости, гидратации и других факторов.

Отмечена сильная корреляция между ВГД и систолическим АД. Считают, что повышение систолического АД усиливает фильтрацию водянистой влаги и вызывает небольшое, но стойкое повышение ВГД. Также найдена положительная корреляция между ВГД и массой тела, и считают, что тучность может способствовать снижению оттока внутриглазной жидкости.

В настоящее время понятие о «норме» включает в себя не только средние цифры тонометрического давления, но и наличие баланса притока и оттока водянистой влаги, а также соотношение между ВГД и сосудистым давлением внутриглазных капилляров.

По уровню ВГД выделяют 3 степени тензии глаза: офтальмонормотонию, офтальмогипотонию и офтальмогипертензию. Под термином «офтальмогипертензия» понимают всякое превышение нормальных показателей ВГД и ничего больше. К настоящему времени верхний уровень ВГД, верхняя граница офтальмонормотонии определена достаточно четко. Для тонометра Шиотца — 25 мм рт. ст. Для тонометра Маклакова массой в 10 гр — 27 мм рт.ст. для тонометрического ВГД и 21 мм рт.ст. — при определении истинного ВГД ( $P_0$ ).

Некоторые авторы считают, что величина тонометрического ВГД в 27 мм рт.ст. по Маклакову является пограничной зоной нормы, и лица с таким ВГД нуждаются в обследовании и наблюдении для исключения глаукомы. Однако у ряда пожилых людей из-за возрастной ригидности склеры тонометрическое ВГД может быть в норме не только 27, но и 28, 29, 30 и 31 мм рт. ст.

Данных о нижней границе офтальмотонуса в норме значительно меньше. Однако, суммируя эти данные, можно считать нижней границей тонометрического давления — 12 мм рт.ст. и нижней границей истинного ВГД ( $P_0$ ) — 8 мм рт. ст. при измерении тонометром Маклакова в 10 гр.

У каждого человека имеется своя нормальная величина ВГД, лично его норма офтальмотонуса, своя индивидуальная толерантность (т.е. переносимость) зрительного нерва к ВГД. И эта индивидуальная толерантность выдвинулась на одно из первых мест в современном изучении проблем глаукомы. Установлено, что величина нормального ВГД, полученная на основании обработки результатов массовых исследований здоровых лиц, настолько не соответствует реальной норме, что большое число больных слепнет при так называемом «нормальном» ВГД.

Доказано, что чувствительность к повышенному ВГД у глаз, страдающих глаукомой, значительно выше, чем у глаз нормальных, не болеющих глаукомой. А раз так, то ориентировка на среднестатистическую

величину нормы ВГД, полученную путем измерения его у здоровых лиц теряет всякое значение. Если чувствительность зрительного нерва к ВГД у пациентов с глаукомой значительно выше, чем у здоровых лиц, то абсолютно нельзя ориентироваться на норму ВГД, выведенную для здоровых глаз, для глаз с глаукомой.

Неопределенность верхней границы нормы ВГД обусловила поиск дополнительных критериев для определения индивидуальной чувствительности глаз к гипертензии. Так появились показатели Резе, Лобштейна, коэффициент трофики Скрипки, показатель трофики Шлопак, толерантное давление Водовозова, проба Маринчева и др.

Исходя из соображений об обратимости дефектов поля зрения (при нормализации ВГД происходит частичная обратимость дефектов поля зрения и улучшение других функций зрения), А. М. Водовозов предложил определять толерантное давление путем интенсивного медикаментозного понижения ВГД и периодического измерения зрительных функций и ВГД. Именно то ВГД, при котором регистрируется максимальное улучшение функций, предлагается считать толерантным. Фактически, определяется то ВГД, при котором сохранившиеся, но заторможенные избыточным давлением (находящиеся в парабиозе) нервные элементы глаза вновь начинают функционировать.

Многие исследователи считают, что границу между нормальным и патологическим ВГД следует искать в индивидуальной чувствительности кровообращения в зрительном нерве или обмене веществ в нем.

## **8. СУТОЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Однократные или повторные измерения ВГД в дневные или вечерние часы не всегда показывают его повышение, даже в глазах с установленной глаукомой.

Для ранней диагностики глаукомы значительно большее значение имеет исследование суточных вечерне-утренних колебаний ВГД. Первым, кто научно разработал этот вопрос, был А. И. Масленников, который в 1904–1905 гг. установил ряд важных факторов, которыми мы пользуемся и по сей день. К ним относятся:

- ВГД как у здоровых лиц, так и у больных глаукомой в течение суток изменяется;
- ВГД утром, чаще всего, выше, чем вечером;
- величина суточного колебания ВГД у больных глаукомой значительно больше, чем у здоровых.

Установлено наиболее важное время для исследования суточных вечерне-утренних колебаний ВГД. Это 7–8 часов утра и 7–8 часов вечера. Утреннее

измерение ВГД необходимо производить до вставания больного с постели. Суточные утро-вечерние колебания ВГД не должны превышать 5 мм рт. ст.

Исследование суточных утро-вечерних колебаний ВГД при обследовании пациентов с подозрением на глаукому следует проводить в течение 10 дней, не менее. Если за этот период они ни разу не превысят 5 мм рт. ст., то суточные утро-вечерние колебания можно считать нормальными. Следует учитывать колебания не только между утром и вечером одного и того же дня, но и колебания между вечером предыдущего дня и утром следующего дня. Эти колебания также не должны превышать 5 мм рт.ст. Необходимо обращать внимание не только на величину утро-вечерних колебаний, но и на уровень и размах всей кривой. Под уровнем кривой понимают самое высокое давление за весь период исследования. Под размахом кривой — разницу между наибольшим и наименьшим давлением за этот же период времени. В норме этот размах кривой не должен превышать 8 мм рт. ст.

В настоящее время совершенно определенно установлено, что у некоторых людей офтальмотонус может повышаться в разное время суток, а не только быть наивысшим по утрам. И это повышение ВГД, которое может существовать очень недолго (например, ночью или рано утром) вполне достаточно для развития болезни и угасания функций зрения. Т. Horie проводил тонометрию каждый час у здоровых и у больных глаукомой людей и установил, что очень часто, при самой настоящей развитой глаукоме, не получающей лечения, имеет место спонтанная временная нормализация ВГД, что еще раз подчеркивает крайне ограниченное значение показаний однократного измерения. Поэтому, иногда, для представления о колебаниях ВГД в течение всех суток, его необходимо измерять в разное время суток.

По характеру суточных кривых у пациентов с открытоугольной глаукомой выделены четыре основных типа колебаний ВГД:

1. Нормальный (прямой, падающий) — ВГД утром выше, а вечером ниже.
2. Обратный (возрастающий) — утром ВГД ниже, а вечером выше.
3. Двугорбая кривая — вариант первого и второго типа одновременно, когда утром давление поднимается, к полудню достигает своего максимума, затем падает и к 15–16 часам достигает своего минимума, после чего снова начинает повышаться с максимумом около 18 вечера и постепенным снижением в течение вечера и ночи.

4. Плоский тип — уровень ВГД в течение всех суток примерно один и тот же.

Для выяснения колебаний ВГД в течение всех суток предлагается измерять его ежечасно или через каждые два часа, не исключая и ночные часы. Однако делать измерения ВГД каждые два часа обременительно как для пациента, так и для медработников. Кроме того, частые многократные закапывания дикаина приводят к слущиванию эпителия роговицы, краска начинает раздражать глаз, возникает аллергия. Для нивелирования побочных эффектов М. М. Лейковский предлагает свою методику исследования суточной кривой ВГД. Он рекомендует двухразовую тонометрию в сутки со

сдвигом во времени на следующие сутки на 3 часа. Например, в первые сутки измерения проводятся в 9 утра и в 21 час, на вторые сутки — в 12 и 24 часа, в 3 сутки — в 15 и 3 часа и в 4-е сутки — в 18 и 6 утра. Таким образом, он охватывает измерение через 3 часа, но длится это измерение 4 суток. Если делать измерения через 2 часа, то по Лейковскому оно займет неделю.

Каждый больной глаукомой имеет свой индивидуальный характерный только для него ритм ВГД, который повторяется каждые 24 часа. Индивидуальная кривая ВГД является основанием для правильного назначения медикаментозной терапии. Основным принцип лечения — назначать препараты в наименьшей концентрации. Если ВГД спонтанно снижается до нормы, то это является хорошим указанием на целесообразность назначения медикаментозной терапии (правило Хагера).

Контроль лечения при первичном выявлении заболевания должен осуществляться не реже, чем через месяц, затем каждые 3 месяца (при благоприятном течении глаукоматозного процесса), затем — полгода и год. При больших промежутках между тщательными обследованиями рекомендуется проводить измерение ВГД в «критические часы» индивидуальной кривой данного больного ежемесячно.

Установлено, что суточные колебания ВГД зависят, главным образом, от изменения скорости образования внутриглазной жидкости, которая увеличивается в ранние утренние часы. Отмечено точное совпадение суточных колебаний ВГД с суточным ритмом секреции глюкокортикоидов, которые непосредственно воздействуют на секреторные механизмы. Это совпадение отмечено не только у лиц с прямым, но и с обратным типом суточной кривой ВГД. Суточные колебания офтальмотонуса отсутствуют у больных с поражением коры надпочечников. Их можно искусственно остановить введением препаратов, прерывающих суточные вариации кортикоидов в плазме крови.

Суточный ритм в секреции кортизола совпадает с соответствующим ритмом активности гипоталамуса, оказывающего прямое влияние на секреторную активность цилиарного тела. При поражении гипоталамо-гипофизарной области амплитуда суточных колебаний ВГД резко увеличивается. Все это дает основание считать, что суточные изменения офтальмотонуса связаны с колебаниями активности гипоталамуса, гипофиза и коры надпочечников.

К настоящему времени накопилось много данных, указывающих на участие гипоталамуса в регуляции офтальмотонуса. У лиц с функциональным или органическим поражением гипоталамуса наблюдаются неустойчивость ВГД, склонность к гиперсекреции водянистой влаги. Описаны случаи развития так называемой диэнцефальной глаукомы. Вместе с тем в гипоталамической области пока не обнаружено определенного ядра, которое осуществляло бы регуляцию офтальмотонуса. Установлено, что основным фактором, вызывающим колебания офтальмотонуса при раздражении диэнцефальной области являются изменения кровенаполнения внутриглазных сосудов.

Таким образом, суточный ритм ВГД можно рассматривать как проявление множественных биоритмов, управляемых общим регулирующим центром, к которому относится гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система.

## 9. ЭЛАСТОТОНОМЕТРИЯ

Эластотонометрическая методика может подкрепить или опровергнуть другие методы исследования на глаукому и тем самым является методикой, повышающей диагностические возможности. Тонометрия сопровождается некоторой деформацией роговицы, и это приводит к повышению ВГД. Повышение ВГД вызывает компенсаторные сдвиги в гидро- и гемодинамике глаза. Изменения динамики камерной влаги протекают медленно и не сказываются на результатах обычной тонометрии. Гемодинамические сдвиги проявляются быстро и могут значительно осложнять интерпретацию тонометрических данных.

Сосудистая реакция на повышение офтальмотонуса при тонометрии может носить пассивный и активный характер. Пассивные изменения сводятся к выдавливанию некоторого объема крови из сосудистого русла глаза. Активная реакция заключается в уменьшении кровенаполнения сосудистой системы глаза за счет действия механизмов регулирующих офтальмотонус через вазоконстрикторы и вазодилататоры. Таким образом, тонометрическое давление является функцией трех изменяющихся величин:

- истинного офтальмотонуса;
- эластичности оболочек глазного яблока;
- реакции внутриглазных сосудов на компрессию глаза тонометром.

Эластотонометрия позволяет, в известной мере, судить о состоянии каждого из этих трех компонентов в отдельности. Метод эластотонометрии по Филатову — Кальфа для диагностики глаукомы предложен В. П. Филатовым в 1913 г. Заслуга в разработке, объяснении и внедрении этого метода исследования в клинику принадлежит С. Ф. Кальфа.

Методика эластотонометрии состоит в последовательном измерении ВГД тонометрами Маклакова массой в 5, 7,5, 10 и 15 грамм (рисунок 15).

Каждым тонометром ВГД измеряют 2 раза. Для анализа используют среднюю величину из 2-х измерений.



Рисунок 15 — Набор тонометров 5, 7,5, 10 и 15 грамм

Результаты тонометрии наносят на систему координат: по линии абсцисс — массу каждого тонометра, по линии ординат — соответствующее каждому тонометру ВГД. Линия, соединяющая 4-е точки называется эластотониметрической кривой, которая характеризует состояние нервно-сосудистого рефлекса, регулирующего ВГД. Нарушение этого сосудистого рефлекса приводит к изменению эластотониметрической кривой и является одним из признаков глаукомы.

При анализе эластотониметрической кривой учитывают:

- ее начало (т. е. показания тонометра массой в 5 г);
- форму кривой;
- ее размах (эластоподъем).

Под размахом или эластоподъемом понимают разность показаний тонометров большей и меньшей массы (15 и 5 г):

- в норме начало кривой не должно превышать 20–21 мм рт. ст.;
- размах эластокривой не должен быть менее 7 и больше 12 мм рт. ст. (в среднем 9–11);
- наивысший подъем — не более 30 мм рт. ст.;
- в норме разница в величине эластоподъема на 2-х глазах у одного человека не должна быть больше 5 мм рт. ст.;
- эластокривая нормального глаза имеет восходящий характер, приближаясь по форме к прямой. В норме отклонения от прямой линии не должны превышать  $15^\circ$ . Допустимая ошибка данного метода составляет  $\pm 0,1$  мм диаметра кружка сплющивания. Для того чтобы выяснить является ли изломанность эластокривой патологическим признаком или ошибкой метода эту эластокривую необходимо выпрямить.

Практически эластокривые выпрямляют с помощью «скользящей средней». Для этого между четырьмя показателями эластокривой находят 3 точки, каждая из которых является средней между двумя соседними показателями. Если эти 3 точки окажутся лежащими на одной прямой, то это и будет искомая выпрямленная эластокривая. Если полученные 3 точки не оказались лежащими на одной прямой, то между ними опять находят 2 средние точки, через которые проводят линию. Затем сравнивают первоначальную эластокривую и полученную выпрямленную эластокривую. Если разница между их показаниями для каждого тонометра не превышает пределы допустимой ошибки метода (т. е.  $\pm 0,1$  мм диаметра кружка), то эта выпрямленная эластокривая считается нормальной и все параметры снимаются с этой выпрямленной эластокривой. Если же ошибка метода выходит за пределы, то изломанность эластокривой следует считать патологическим признаком.

Выделяют 4 типа патологических эластокривых глаукомного глаза:

- I тип характеризуется удлинением эластокривой. Удлиненная эластокривая говорит об угнетении аппарата, регулирующего ВГД. Из-за этого угнетения сосудистая не отвечает уменьшением кровенаполнения на повышение давления в момент тонометрии.

- II тип характеризуется высоким началом и укорочением эластокривой, что связано с раздражением сосудисто-нервного аппарата глаза. Укороченные кривые иногда наблюдаются при гипертонии и высокой миопии, но в этих случаях начало кривых остается низким.

- III тип — характерна изломанность эластокривой, что обусловлено более грубыми нарушениями в аппарате, регулирующем ВГД, извращением сосудисто-нервной реакции. В этих случаях, при измерении тонометром с большей массой, ВГД оказывается ниже, чем при более легком тонометре, или возрастает, но не пропорционально массе тонометра. Следует знать, что между массой тонометра и офтальмотонусом существует зависимость, близкая к линейной. На каждый грамм массы тонометра давление повышается на 1 мм рт. ст.

- IV тип характеризуется нормальным подъёмом, пропорциональностью частей, но более высоким, чем в норме уровнем.

Ранним признаком глаукомы является высокое начало и укорочение эластокривой. Изломанность кривой отмечается в более поздних стадиях, удлинение — в случаях обострения.

## 10. ПОКАЗАТЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ ГЛАЗА

Исследование легкости оттока водянистой влаги из глаза в настоящее время является обязательным условием как для постановки диагноза глаукомы, так и для оценки показаний к оперативному вмешательству и для контроля за течением глаукомного процесса.

Среди многочисленных методов исследования этого показателя только некоторые могут быть использованы в клинических условиях. В диагностическом и прогностическом аспекте все методы исследования гидродинамики глаза являются равноценными. Поскольку все клинические методы измерения легкости оттока жидкости из глаза дают существенную систематическую и случайную погрешность измерения, необходимым условием в исследовании гидродинамики глаза является применение, по меньшей мере, двух методов исследования.

Оценку состояния оттока водянистой влаги из глаза рекомендуют производить с помощью тонографии, компрессионно-тонометрической пробы М. Б. Вургафта, упрощенной компрессионной пробы Нестерова-Чурбановой и компрессионной пробы на водяных и ламиллярных венах.

Остановимся на обозначениях, принятых при исследовании гидродинамики глаза. Глазное яблоко можно рассматривать как полое тело сферической формы с жидким, практически не сжимаемым содержимым и эластичными оболочками. Упругая реакция оболочек глаза на растяжение и определяет величину ВГД, обозначаемую «Р». Тонometr в момент изме-

рения ВГД сдавливает глаз и повышает ВГД, поэтому различают тонометрическое давление — «Pt» и истинное ВГД — «Po».

Скорость оттока внутриглазной жидкости, выраженная в мм<sup>3</sup> в 1 минуту носит название минутного объема внутриглазной жидкости (МОЖ) или «F». Поскольку офтальмотонус поддерживается на некотором постоянном уровне, то F характеризует не только скорость оттока, но и скорость образования внутриглазной жидкости.

Отток жидкости из глаза осуществляется по увеосклеральному пути и, в основном, через систему щелей, пор и канальцев в области угла передней камеры. Совокупность путей оттока носит название дренажной системы глаза. Конечным пунктом этой системы является эписклеральная и интерсклеральная венозная сеть. Давление в венозной сети обозначается — «Pv».

Разность между давлением в глазу (Po) и в венозной сети (Pv) называется давлением оттока или фильтрующим давлением и обозначается «Pa», т.е.  $P_a = P_o - P_v$ .

Вследствие узости калибров просвета дренажной системы глаза и трения жидкости о стенки этих просветов дренажной системы глаза возникает сопротивление оттоку камерной влаги — «R».

По предложению Н. Goldmann, сопротивление оттоку водянистой влаги (R) измеряется той величиной давления оттока (фильтрующего давления) в мм рт. ст., которая необходима для того, чтобы из глаза за 1 минуту оттекал 1 мм<sup>3</sup> жидкости.

W. M. Grant для характеристики состояния дренажной системы глаза ввел противоположное понятие — коэффициент легкости оттока (КЛЮ) — «C». Он указывает, сколько мм<sup>3</sup> жидкости оттекает из глаза в 1 минуту на каждый мм рт. ст. фильтрующего давления, т. е.  $C = 1 : R$ .

За время компрессии из глаза оттекает какое-то количество внутриглазной жидкости, которая является дополнительной к обычному оттоку. Эта дополнительно отфильтрованная жидкость обозначается «ΔV» (дельта V).

## 11. КОМПРЕССИОННО-ТОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОБЫ

Разработка компрессионно-тонометрических методов исследования, которые дали возможность определения показателей оттока и продукции внутриглазной жидкости, предоставила неоспоримые доказательства роли задержки оттока внутриглазной жидкости в патогенезе повышения ВГД при открытоугольной глаукоме.

Выявленная тенденция к уменьшению показателей оттока по мере повышения интенсивности компрессионной нагрузки позволила А. П. Нестерову в 1968 г. сделать вывод о возможности функционального блока шлеммова канала и развить учение о функциональном блоке шлеммова канала, как пусковом механизме патогенеза открытоугольной глаукомы.

Компрессионно-тонометрическими пробами называют такие тесты, в процессе которых производят дозированное по силе и продолжительности сдавление глазного яблока. В период действия компрессионной нагрузки ВГД повышается. Это повышение ВГД приводит к выдавливанию из глаза некоторого объема камерной влаги, дополнительной к обычному оттоку, что приводит к постепенному снижению ВГД. Измеряя изменение объема глазного яблока или ВГД, можно судить о состоянии дренажной системы глаза. Чем лучше функционирует последняя, т.е. чем меньше сопротивление оттоку водянистой влаги из глаза, тем в большей степени снижается ВГД и тем больший объем жидкости оттекает из глаза во время пробы.

Уровень ВГД определяется в основном тремя факторами: минутным объемом внутриглазной жидкости МОЖ (F), КЛО (C) и величиной давления в эписклеральных венах (Pv).

Установлено, что циркуляция водянистой влаги происходит в соответствии с законом Пуазёйля (J. L. Poiseuille). Согласно этому закону, МОЖ, циркулирующей в той или иной системе, прямо пропорционален разности давлений в крайних точках этой системы (градиент давления). Для водянистой влаги градиентом давления является фильтрующее давление, т. е. разность между истинным ВГД (Po) и давлением крови в эписклеральных венах (Po – Pv). Поэтому для правильного расчета величины фильтрующего давления необходимо возможно более точное определение Po и Pv.

На результат пробы оказывает влияние не только отток внутриглазной жидкости, но также и изменение объема крови в глазу, скорость продукции внутриглазной жидкости и индивидуальные вариации ригидности оболочек глаза.

### ***ПРОБА ВУРГАФТА***

После эпибульбарной анестезии измеряют ВГД тонометром массой в 10 г. Затем склерокомпрессор массой в 50 г устанавливается на склеру, соответственно месту прикрепления наружной прямой мышцы, и удерживается в строго вертикальном положении в течение 3-х минут. Вместо склерокомпрессора может быть применен офтальмодинамометр Байера. Непосредственно после снятия компрессора и через 5 минут спустя делается измерение ВГД тонометром в 10 г.

Сопоставляя результаты первого и второго измерений, определяют объем водянистой влаги ( $\Delta V$ ), отекший из глаза за время компрессии. По данным второго и третьего измерений рассчитывают прирост объема глаза за 5 минут.

Для диагностики глаукомы имеет значение только первая часть пробы, которая позволяет судить о функциональной способности дренажной системы глаза. Все вычисления проводятся с помощью таблицы 2.

Таблица 2 — Диаметр тонограмм и изменения объема глаза (тонометр 10 г)

Д	$\Delta V$	Д	$\Delta V$	Д	$\Delta V$	Д	$\Delta V$
4,0	0,0	5,1	13,7	6,2	28,3	7,3	43,1
4,1	1,3	5,2	14,9	6,3	29,6	7,4	44,7
4,2	2,5	5,3	16,2	6,4	30,8	7,5	46,9
4,3	3,7	5,4	17,4	6,5	32,0	7,6	48,1
4,4	4,9	<b>5,5</b>	18,9	<b>6,6</b>	33,3	7,7	49,7
4,5	6,1	5,6	20,3	6,7	34,5	7,8	51,3
4,6	7,4	5,7	21,8	6,8	35,8	7,9	53,1
4,7	8,6	5,8	23,2	6,9	37,3	8,0	54,8
4,8	9,9	5,9	24,6	7,0	38,5	8,1	56,6
4,9	11,2	6,0	26,0	7,1	40,0	8,2	58,3
5,0	12,5	6,1	27,2	7,2	41,6	8,3	60,5

*Пример расчета.* До компрессии диаметр тонограммы (Д) = 5,5 мм, после компрессии — 6,6 мм. Величина  $\Delta V$  соответственно равна 18,9 и 33,3 мм<sup>3</sup>. Разность этих величин составляет 14,4 мм<sup>3</sup>. Эта величина указывает, какой объем жидкости выдавлен из глаза во время его компрессии. У здоровых людей объем глаза за время компрессии уменьшается на  $14,6 \pm 6$  мм<sup>3</sup>. Значения  $\Delta V$  меньше 7 мм<sup>3</sup> свидетельствуют о существенном затруднении оттока жидкости из глаза.

### **УПРОЩЕННАЯ КОМПРЕССИОННАЯ ПРОБА НЕСТЕРОВА — ЧУРБАНОВОЙ**

Проба легко выполняема даже в амбулаторно-поликлинических условиях. При этой методике:

- компрессия (давление) делается через веки;
- компрессия не дозированная — давление делается пальцами;
- для расчетов можно пользоваться линейкой Поляка.

Методика упрощенной пробы:

1. Делается измерение ВГД тонометром массой 10 г.
2. Компрессия. Врач (сестра) надавливает на глазное яблоко, помещая палец (пальцы) на верхнее веко ниже надбровной дуги или у наружного угла глаза. Длительность компрессии — 3 минуты.
3. После прекращения компрессии сразу же вновь измеряют ВГД 10 г тонометром.
4. Дальше можно поступать двояко:

- при первом варианте — тонометрическое давление измеряется с помощью линейки Поляка, и в норме после компрессии офтальмотонус должен снижаться более чем на 15 % (например, ВГД было 25 и 20, разница 5 мм рт. ст.  $25 : 5 = 100 : x$ .  $x = 5 \times 100 : 25 = 20 \%$ ).

- при втором варианте — делается измерение диаметров отпечатков по линейке Нестерова, а затем вычисления производят с помощью таблицы из пробы М. Б. Вургафта.

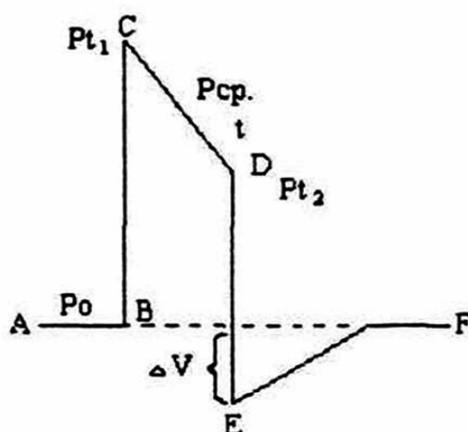
Проба считается положительной, если объем вытесненной при компрессии жидкости будет 7 или меньше  $7 \text{ мм}^3$ , а ВГД снизится на 15 % и меньше.

### **КЛИНИЧЕСКАЯ ТОНОГРАФИЯ**

Этим термином W. M. Grant в 1950 г. назвал метод исследования динамики внутриглазной жидкости при помощи продленной тонометрии. До тонографии секреция и отток жидкости из глаза сбалансированы. Поэтому офтальмотонус держится устойчиво на некотором определенном уровне —  $P_0$  (отрезок кривой АВ).

При постановке тонометра на глаз ВГД повышается и становится равным  $P_{t_1}$  (пик С). Это приводит к нарушению равновесия между притоком и оттоком водянистой влаги.

Скорость образования камерной влаги  $F$  остается прежней, а отток ее увеличивается (поскольку возросло фильтрующее давление). Поэтому офтальмотонус будет постепенно падать (отрезок CD). По тонографической кривой W. M. Grant рассчитывал среднюю величину тонометрического давления (рисунок 16).



**Рисунок 16 — Тонаграфическая кривая**

Скорость снижения ВГД зависит, главным образом, от состояния дренажной системы глаза, от состояния каналов оттока.

После прекращения давления ВГД падает ниже исходных данных (отрезок ДЕ). Поэтому приток жидкости будет превалировать над ее оттоком (по-

сколькx фильтрующее давление будет меньше исходного) и ВГД начнет постепенно увеличиваться, пока не достигнет исходного уровня (отрезок EF).

Анализ участка кривой CD позволяет судить о сопротивлении оттоку водянистой влаги, а участок EF — о скорости образования внутриглазной жидкости.

Разность между  $P_{ср}$  и  $P_0$  ( $P_{ср} - P_0$ ) показывает, насколько во время исследования, повысилось давление оттока (фильтрующее давление) —  $P_a$ .

Следовательно, на каждый мм рт. ст. добавочного давления отток будет увеличиваться на некоторую постоянную величину — «С», которая называется КЛЮ — коэффициентом легкости оттока, и обозначает, сколько мм<sup>3</sup> жидкости оттекает из глаза в 1 минуту на каждый мм рт. ст. добавочного фильтрующего давления.

Тонография представляет собой вариант компрессионно-тонометрической пробы. Ей присущи те же достоинства и недостатки, что и компрессионно-тонометрическим тестам.



**Рисунок 17 — Тонограф GlauTest-60**

Ошибки при тонографии возникают из-за того, что мы не учитываем выделенную из глаза в момент компрессии кровь и изменение скорости секреции. Приток жидкости в глаз складывается из секреции и ультрафильтрации. Та часть жидкости, которая образуется за счет ультрафильтрации, зависит от ВГД и она уменьшается при повышении ВГД. Доля ложного оттока в глаукомных глазах может составлять до 30 % от общего оттока.

Кроме псевдооттока, связанного с уменьшением продукции влаги во время тонографии, имеется псевдоотток, связанный с усиленным выделением крови из глаза во время компрессии. Причем, при хорошем оттоке из глаза, количество выделяющейся крови невелико, но при плохой фильтрации, объем оттекающей крови становится значительным, что дает мнимое увеличение КЛЮ.

Систематические погрешности при тонографии связаны, как уже говорилось, и с изменением кровенаполнения увеального тракта глаза в начале и в конце исследования.

Электронным тонографом рекомендуется проводить тонографию по следующей методике: больной ложится лицом вверх и фиксирует взор на

черном кружке на потолке. После эпibuльбарной анестезии веки разводятся пластмассовым кольцом, наружный диаметр которого не должен превышать 20 мм. Для того, чтобы избежать эрозии роговицы, в конъюнктивальную полость вводят 2–3 капли физраствора, после чего датчик тонографа удерживают 10–20 секунд непосредственно у роговицы. Затем медленно опускают на глаз. Запись тонограммы производится в течение 5 секунд с последующим 30-секундным перерывом, во время которого датчик удерживается в непосредственной близости от глаза. После этого выполняется обычная тонография в течение 4-х минут. Далее, трижды чередуются 5-секундные перерывы с 5-секундной записью тонограммы.

Существенное влияние на характер тонограммы оказывает 30-секундный интервал между первым 5 секундным измерением и последующей записью. У большинства исследуемых при этом отмечается снижение офтальмотонуса, хотя в течение 30 секунд глаз не подвергался компрессии. Этот эффект объясняется общим мышечным расслаблением пациента и, в частности, расслаблением наружных мышц глаза. Если при тонографии этот фактор не принимать во внимание, то это приводит к завышению величины КЛЮ в здоровых глазах на 10 %, а в глазах с глаукомой на 20 % и больше. При повторной постановке датчика, после 4-х минутной записи, в большинстве случаев, наблюдается повышение офтальмотонуса, которое можно объяснить только восстановлением кровенаполнения внутриглазных сосудов.

Повышение офтальмотонуса в период трехкратной 5 секундной компрессии составляет 1,5–2,5 мм рт. ст. Определение КЛЮ без учета этого фактора может дать искажение до 0,05 мм<sup>3</sup>. Таким образом, при расчете тонограммы первоначальная 5-секундная запись не учитывается. Выравнивание кривой следует производить, соединяя середину волны третьего порядка в начале непрерывной 4-минутной записи с одной из 3-х 5-секундных записей в конце исследования, которая соответствует середине волны 3-го порядка.

Также следует поступать и при тонографии тонометром Маклакова: вначале 15 г груз не окрашенной стороной площадки медленно подносится к глазу и на 5 секунд устанавливается на глаз. Затем осторожно поднимается над глазом и держится над ним в течение 30 с, т. е. делается 30-секундный перерыв. После этого производится измерение ВГД окрашенной стороной тонометра. Берется другой 15 г. тонометр с одной окрашенной стороной и делается компрессия в течение 3-4 минут (но можно сделать компрессию и неокрашенной стороной первого тонометра). После снятия груза делается перерыв 5 секунд и измеряется ВГД второй стороной тонометра. Берется другой тонометр в 15 г с двумя окрашенными сторонами и с перерывом в 5 секунд еще дважды делать измерение ВГД. Затем из этих 3-х измерений находят среднюю арифметическую, которая и принимается за офтальмотонус конца компрессии, с ней и ведут дальнейшие расчеты (рисунок 18).



**Рисунок 18 — Тonoграфия тонометром Маклакова**

Последней разработкой в семействе тонометров является пневмотонометр модели 30 Classic фирмы Reichert Ophthalmics. Удобный в использовании прибор обеспечивает быстрое и точное выполнение тонометрии и тонографии. Для выполнения исследования используется пневматический насос и силиконовая контактная насадка диаметром 5,0 мм. Пневмотонометр-тонограф снимает показания гидродинамики глаза в режиме реального времени. Прибор регистрирует 40 показаний в секунду. Измерение ВГД производится в диапазоне 5–80 мм рт. ст. в положении пациента сидя и лежа. Интегрированная карта записи позволяет выводить на печать результаты проведенных исследований (рисунок 19).



**Рисунок 19 — Пневмотонометр-тонограф Classic 30**

## **12. ЗНАЧЕНИЯ ТONOГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В НОРМЕ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА**

- $P_0$  — истинное ВГД в здоровых глазах в среднем составляет 15–17 мм рт.ст. Офтальмотонус выше 20 мм рт. ст. заставляет заподозрить глаукому, а выше 24 мм рт. ст. — является патологическим.

- КЛО (С) — в здоровых глазах варьируется от 0,11 до 0,6 мм<sup>3</sup>/мин при пользовании тонометром Маклакова. Асимметрия КЛО в здоровых глазах одного человека не может превышать 0,14 мм<sup>3</sup>/мин. Глаукомный синдром почти всегда характеризуется снижением КЛО и значительно реже обуславливается повышением скорости образования водянистой влаги. Открытоугольная глаукома характеризуется постепенным нарастанием сопротивления оттоку внутриглазной жидкости. Величина КЛО в начальной стадии заболевания, как правило, находится в пределах от 0,12 до 0,2, т. е. еще в пределах нижней границы нормы. Но эти нижние пределы нор-

мы должны уже вызывать тревогу и пристальное наблюдение, т.к. они в 2-3 раза ниже средней нормы равной 0,3 мм<sup>3</sup>/мин. Значение КЛЮ от 0,1 до 0,18 довольно типично для глаз с неустойчивой компенсацией. Однако значения КЛЮ от 0,14 до 0,28 при соответствующих дополнительных данных могут считаться подозрительными на глаукому. Если величина КЛЮ меньше 0,1, то наступает стойкое повышение ВГД.

- **МОЖ (F)** — скорость образования внутриглазной жидкости. В здоровых глазах МОЖ находится в пределах 1,5–4,5 мм<sup>3</sup> в минуту. Средняя величина МОЖ — 2,0 мм<sup>3</sup>/мин. Если менее 1,0 мм<sup>3</sup>/мин — это гипосекреция. Если более 4,5 мм<sup>3</sup>/мин — гиперсекреция. Точность МОЖ страдает из-за того, что мы для всех людей считаем давление в эписклеральных венах 10 мм рт. ст. А ведь оно у каждого человека свое и «разброс» здесь довольно большой — от 6 до 15 мм рт. ст. Поэтому МОЖ — наименее достоверный показатель тонографии. Считается, что асимметрия F не должна превышать 0,8 мм<sup>3</sup> в минуту у одного человека. Если отмечается большая асимметрия F, то следует думать о глаукоме.

- Беккер (V. Becker) в 1957 г. предложил для характеристики гидродинамики глаза вычислять отношение P<sub>0</sub> к C. Это отношение P<sub>0</sub>/C было в дальнейшем названо «коэффициентом Беккера» (КБ). По данным Беккера и других авторов, величина этого коэффициента не должна превышать 100. При глаукоме P<sub>0</sub> имеет тенденцию увеличиваться, а C — уменьшаться. Следовательно, отношение P<sub>0</sub>/C будет изменяться быстрее, чем числитель и знаменатель в отдельности. Большая величина отношения указывает на значительное напряжение механизмов регуляции ВГД, что особенно характерно для ранних стадий глаукомы.

Установлено, что с возрастом P<sub>0</sub> имеет тенденцию к увеличению, а КЛЮ — к уменьшению. МОЖ с возрастом не изменяется. А раз так, раз в норме с возрастом изменяются P<sub>0</sub> и КЛЮ, а, следовательно, и КБ, то эти показатели не могут быть одинаковыми для разных возрастных групп.

О. П. Панков установил, что для каждой возрастной группы характерны свои критические границы показателей нормы. Им разработана таблица критических (крайних, предельных) границ гидродинамических показателей для отдельных возрастных групп (таблица 3).

Таблица 3 — Возрастные границы гидродинамических показателей (по О. П. Панкову)

Возрастная группа	Показатели тонографии		
	P <sub>0</sub>	C	КБ (P <sub>0</sub> /C)
20–29 лет	18,3	0,18	90
30–39 лет	18,1	0,16	100
40–49 лет	19,2	0,14	105
50–59 лет	19,7	0,13	110
60 и старше	20,8	0,13	135

Отклонение от данных, указанных в таблице (поскольку они крайние), свидетельствует о нарушении гидродинамического равновесия и заставляет взять такого пациента на более детальное обследование и диспансерное наблюдение.

### 13. ПРОБЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГЛАУКОМЫ

При латентно протекающей глаукоме, даже проведя все вышеуказанные методики, мы не всегда можем с уверенностью подтвердить или опровергнуть диагноз глаукомы. В таких случаях приходится использовать нагрузочные и разгрузочные пробы, когда один или несколько показателей проверяются в изменившихся условиях. Существует несколько десятков проб, но не все они выполнимы в условиях поликлиники, отдельные требуют сложного оборудования, другие могут повлечь тяжелые осложнения, поэтому мы предлагаем пробы, которые могут быть выполнены с использованием оборудования, имеющегося в каждом офтальмологическом кабинете, и являются наиболее информативными.

Для повышения чувствительности проб предлагается при проведении каждой пробы оценивать несколько показателей — тонометрию, периметрию, кампиметрию и тонографию. Из *нагрузочных проб* можно выполнить водно-питьевую и темновую.

**Водно-питьевая проба.** Впервые предложена М.Шмидтом (M.Schmidt, 1928 г.), с тех пор претерпела ряд изменений. Рекомендуется при проведении пробы измерить у пациента ВГД, провести тонографию и кампиметрию, затем дать ему 1–1,5 л воды, после чего повторно через 45 мин определить все показатели. Проба считается положительной, если разница в показателях ВГД 5 мм рт. ст. и выше, площадь слепого пятна увеличивается на 1/3 (на 5° и более), а при тонографии — изменение C и коэффициента Беккера (Po/C) на 30 %.

**Водно-темновая проба.** Темновая проба предложена как кампиметрическая Э. Зейделем (Erich Seidel, 1927 г.). Предлагается при этой пробе также определять офтальмотонус, оценивать тонографические и кампиметрические показатели. После проведения исследований пациент помещается на 1 час в затемненную комнату, после чего все показатели определяются повторно. Оценивается так же, как и предыдущая проба. Для того чтобы повысить чувствительность, можно сочетать 2 пробы вместе. Дать пациенту стакан воды и поместить его на 1 час в темную комнату. В остальном все выполняется, как описано выше.

**Разгрузочные пробы** могут дать нам достоверную информацию в тех случаях, когда исходные показатели превышают средне-статистический уровень. Поэтому эти пробы используются преимущественно у больных глаукомой в ранних стадиях или при глаукоме, когда имеет место нор-

мальный уровень офтальмотонуса и отмечается прогрессирующее экскавации и сужение поля зрения. В этих случаях целесообразно использовать разгрузочную пробу с ингибитором карбоангидразы диакарбом с целью определения толерантности диска к имеющемуся офтальмотонусу.

Это проба А. М. Водовозова, Ю. Ф. Мартемьянова (1976 г.). У больного измеряется ВГД и слепое пятно. В современной интерпретации дополнительно проводится оптическая когерентная или сканирующая лазерная томография диска зрительного нерва с определением глубины, площади и объема экскавации и нейроретинального пояса и сканирование толщины слоя нервных волокон сетчатки перипапиллярной области. Проба занимает 3 часа. Толерантным считается то давление, которое соответствует наименьшему слепому пятну. Проба является трудоемкой и проводится в отдельных случаях. Особенно она помогает именно в тех случаях, когда у наблюдаемого с глаукомой пациента при нормальном офтальмотонусе мы видим развитие и прогрессирующее экскавации и падение зрительных функций.

Определение толерантности (целевого давления) с использованием разгрузочной пробы является весьма полезным и для врача в плане выработки лечения, и для пациента. Используя все вышеуказанные методики при обследовании пациента, мы можем выявить ряд признаков, на основании которых возникает подозрение на глаукому.

## **14. ПОКАЗАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ**

К сожалению, даже в наше высокотехнологичное время многие люди не проходят процедуру измерения глазного давления. И это, естественно, приводит к тому, что более половины больных с глаукомой обращаются к врачу на запущенных стадиях болезни, когда возможности медицинской помощи уже ограничены. Очень важно при малейшем дискомфорте или неприятных ощущениях внутри и вокруг глаза пройти консультацию квалифицированного врача, который, руководствуясь своими знаниями и результатами обследования, проведет измерение внутриглазного давления.

Симптомами повышения глазного давления могут быть тяжесть в глазах, их быстрая утомляемость и головные боли. Часто эти симптомы пациентами игнорируются, списываются на обычную усталость. Если неприятные ощущения беспокоят постоянно, то не стоит откладывать визит к врачу-офтальмологу, необходимо пройти обследование — проверить состояние поля зрения (светочувствительность сетчатки), анатомию зрительного нерва и слоя нервных волокон сетчатки и измерить давление.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бирич, Т. А.* Офтальмология: учеб. пособие / Т. А. Бирич, Л. Н. Марченко, А. Ю. Чекина; под ред. В. В. Такушевич. — Минск: Выш. шк., 2007. — 554 с.
2. *Бирич, Т. А.* Первичная открытоугольная глаукома (современный взгляд на этиопатогенез, клинику и лечение) / Т. А. Бирич. — Минск: Аверсэв, 2007. — 360 с.
3. *Вит, В. В.* Строение зрительной системы человека / В. В. Вит. — Одесса: Астропринт, 2003. — 664 с.
4. *Волков, В. В.* Глаукома открытоугольная / В. В. Волков. — М.: Медицинское информационное агенство, 2008. — 352 с.
5. *Волков, В. В.* Глаукома при псевдонормальном давлении: руководство для врачей / В. В. Волков. — М.: Медицина, 2001. — 352 с.
6. *Курешева, Н. И.* Глаукомная оптическая нейропатия / Н. И. Курешева. — М.: МЕДпресс-информ, 2006. — 136 с.
7. Руководство по диагностике и лечению глаукомы в Республике Беларусь / под ред. Л. Н. Марченко, А. В. Батютовой, Н. Ю. Лагойской. — Минск: В.И.З.А. ГРУПП, 2011. — 183 с.
8. Central corneal thickness and measured IOP response to topical ocular hypotensive medication in the Ocular Hypertension Treatment Study / J. D. Brandt [et al.] // *Am. J. Ophthalmol.* — 2004. — Vol. 138, № 5. — P. 717–722.
9. Changes in central corneal thickness over time: the ocular hypertension treatment study / J. D. Brandt [et al.] // *Ophthalmology.* — 2008. — Vol. 115, № 9. — P. 1550–1556.
10. *Coleman, A. L.* Risk factors for glaucoma onset and progression / A. L. Coleman, S. Miglior // *Surv. Ophthalmol.* — 2008. — Vol. 53. — P. 3–10.
11. Corneal biomechanical properties in primary open-angle glaucoma and normal tension glaucoma / G. S. Ang [et al.] // *Glaucoma.* — 2008. — Vol. 17, № 4. — P. 259–262.
12. *Goldmann, H.* Uber Applanationstonometrie / H. Goldmann, T. Schmidt // *Ophthalmologica.* — 1975. — Vol. 134. — P. 221–242.
13. Normal versus high tension glaucoma a comparison of functional and structural defects / O. Thonginnetra [et al.] // *J. Glaucoma.* — 2009. — Vol. 18. — P. 1458–1463.
14. *Shields, M. B.* Normal-tension glaucoma: is it different from primary open-angle glaucoma? / M. B. Shields // *Current Opin. in Ophthalmol.* — 2008. — Vol. 19. — P. 85–88.



Учебное издание

**Рожко Юлия Ивановна**

**ГЛАЗНОЕ ДАВЛЕНИЕ:  
ТОНОМЕТРИЧЕСКИЕ  
И ТОНОГРАФИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Учебно-методическое пособие по офтальмологии  
для студентов 4–6 курсов всех факультетов,  
клинических ординаторов и аспирантов медицинских вузов**

**Редактор *Т. Ф. Рулинская*  
Компьютерная верстка *С. Н. Козлович***

Подписано в печать 06.05.2013.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная 80 г/м<sup>2</sup>. Гарнитура «Таймс».  
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 2,29. Тираж 50 экз. Заказ № 184.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»  
ЛИ № 02330/0549419 от 08.04.2009.  
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель.

