

В. А. ТРОФИМОВ, Ю. Т. НАГИБИН, М. Л. ШВАНОВА

## **БЕСКОНТАКТНЫЙ ПНЕВМООПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Рассматривается разработанный бесконтактный метод измерения внутриглазного давления. Описана физико-математическая модель измерения искомого параметра при пневматическом воздействии на роговицу глаза.

*Ключевые слова:* внутриглазное давление, роговица глаза, тонометр, глаукома.

Диагностика опасного и широко распространенного заболевания органов зрения — глаукомы — является одной из важнейших задач офтальмологии. Эффективность лечения этой болезни в значительной степени зависит от своевременности ее обнаружения. На ранней стадии заболевания глаукома проявляется лишь повышением внутриглазного давления (ВГД), что обуславливает необходимость периодического измерения ВГД для людей, превысивших сорокалетний возраст.

Наиболее простыми и широко распространенными являются контактные методы измерения ВГД, в основу которых положен механический контакт мерительного инструмента с тканями глаза пациента. Такой контакт осуществим лишь при наличии анестезии, оказывающей нежелательное влияние на процесс зрительного восприятия. Существенный недостаток контактных методов заключается в том, что вес тонометра, используемого при выполнении измерений, повышает ВГД. Кроме того, при контактном методе может быть травмирован эпителий роговицы. На точность измерений ВГД влияет также опыт и квалификация оператора, производящего измерения. Перечисленные факторы и ряд других [1, 2] ограничивают

возможность организации диспансеризации населения. В этой связи актуальность разработки методов и приборов, свободных от наиболее очевидных несовершенств, не вызывает сомнений.

Известны бесконтактные апланационные тонометры, позволяющие измерять внутриглазное давление без физического контакта прибора с поверхностью роговицы глаза [3—6] (тонометры Гролмана и „Пульсар“). Эти приборы, безусловно, стали научным прорывом в технике измерения ВГД, но и им присущи существенные недостатки:

— при измерении ВГД с использованием названных приборов необходимо обеспечить полное уплощение роговицы глаза с помощью пневматического импульса, что может вызвать неприятные болевые ощущения у человека и даже травмировать глаз;

— наблюдаются, как отмечают сами авторы, значительные расхождения между результатами измерений высоких значений ВГД стандартным контактным методом [1] и бесконтактными методами [4, 5];

— затруднены измерения ВГД при дефектной роговице (помутнение, рубцы и т.д.), а также у пациентов со значительной близорукостью или дальнозоркостью [6, 7]; это связано с тем, что пациент в процессе проведения измерений должен с помощью сложной юстировочной системы четко увидеть специальную мишень, в противном случае пневматический импульс может воздействовать на роговицу по касательной, что приведет к завышению значения ВГД.

Таким образом, разработка бесконтактного метода измерения ВГД, позволяющего повысить точность измерений, снизить их травматичность и обеспечить возможность обследования пациентов с существенными дефектами зрения является важным элементом социальных программ диспансеризации.

Одним из способов совершенствования техники тонометрии ВГД может служить так называемый пневмооптический метод [8]. Представим роговицу глаза в виде тонкой сферической эластичной пленки, находящейся под действием сил внутреннего и внешнего давления, а также силы поверхностного натяжения. В этом случае будет справедливо уравнение Лапласа [9], определяющее связь радиуса  $R$  кривизны такой пленки (роговицы) с коэффициентом ее поверхностного натяжения ( $\sigma$ ) и разностью давлений вблизи вогнутой ( $p$ ) и выпуклой ( $p_a$ ) поверхностей пленки (т. е. ВГД и атмосферного давления вблизи поверхности глаза):

$$p - p_a = \frac{2\sigma}{R}. \quad (1)$$

Пусть на роговицу глаза падает световой пучок под углом  $\varphi_0$  к оптической оси  $X$  глаза (рис. 1). В соответствии с геометрией схемы можно показать, что угол отражения  $\beta$  светового луча зависит от  $\varphi_0$ , радиуса кривизны роговицы  $R$  и расстояния  $y$  от точки падения пучка на роговицу до оптической оси глаза:

$$\beta = \varphi_0 + \frac{2y}{R}. \quad (2)$$

Пусть вследствие пневматического воздействия атмосферное давление  $p_a$  вблизи поверхности роговицы изменилось (увеличилось) на величину  $\Delta p_a$ , т. е.  $p_a = p_{a0} + \Delta p_a$ , где  $p_{a0}$  — атмосферное давление в отсутствие пневматического воздействия. Это приведет к соответствующему изменению радиуса кривизны роговицы на величину  $\Delta R$  (рис. 2).

При  $\varphi_0 = \text{const}$  из уравнения (2) следует, что малое изменение  $\Delta\beta$  равно

$$\Delta\beta = \frac{2}{R} \Delta y - 2y \frac{\Delta R}{R^2}.$$

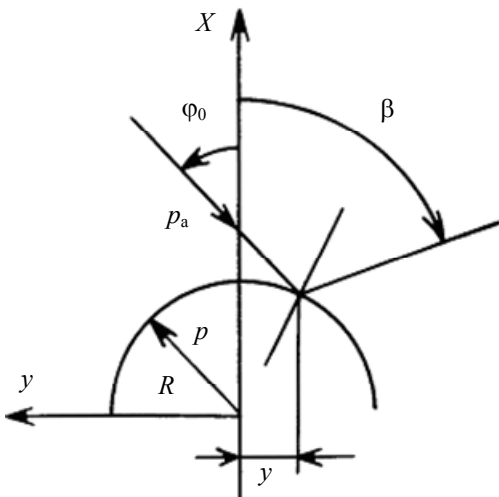


Рис. 1

Полагая ВГД неизменным, т.е. при  $p = \text{const}$ , из уравнения (1) получим

$$\frac{\Delta R}{R^2} = \frac{\Delta p_a}{2\sigma}.$$

Величину  $\Delta y$  можно определить по геометрии отражения луча (см. рис. 2), где  $d$  — радиус роговицы;  $S$  — величина смещения центра роговицы вследствие пневматического воздействия:

$$\Delta y = \frac{\varphi_0}{2} (d^2 - y^2) \frac{\Delta R}{R^2} \frac{1}{1 - \frac{\varphi_0}{R}}.$$

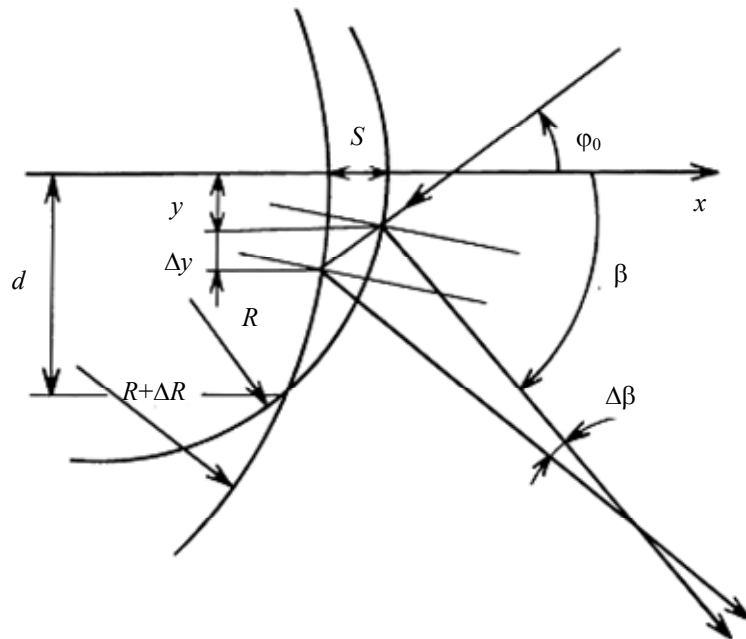


Рис. 2

Обозначим приведенное значение ВГД через  $P$ :  $P = p - p_{a0}$ . Выполнив соответствующие подстановки, после преобразований получим

$$\Delta\beta = -\frac{\Delta p_a}{\sigma} \left[ y - \frac{\varphi_0 (d^2 - y^2)}{4\sigma} p \frac{1}{1 - \frac{\varphi_0 y}{R}} \right].$$

При условии  $\varphi_0 y / R \ll 1$ , что практически выполнимо с учетом уравнения (1), получим

$$\Delta\beta \approx -\frac{\Delta p_a}{\sigma} \left[ y - \frac{\varphi_0 (d^2 - y^2)}{4\sigma} p \right], \tag{3}$$

откуда следует, что величина  $\Delta\beta / \Delta p_a$  квадратично зависит от величины  $y$  и линейно зависит от искомого значения  $P$ . Величина  $\Delta\beta$  достигает минимального значения при  $y = 0$ , что соответствует падению луча в центр роговицы. Из уравнения (3) видно также, что при  $\varphi_0 = 0$  величина  $\Delta\beta$  не будет зависеть от  $P$ . Следовательно, при проведении измерений предлагаемым пневмооптическим методом необходимым условием является  $\varphi_0 \neq 0$ , т. е. пучок света, падающий на роговицу, не должен быть параллелен оптической оси глаза. Кроме того, согласно уравнению (3), чем больше будет угол  $\varphi_0$ , тем значительнее  $\Delta\beta$  будет зависеть от  $P$ .

Идея пневмооптической тонометрии существенно отличается от известных попыток использования иных физических методов. Есть основание полагать, что предложенный в настоящей статье метод может послужить толчком к развитию этого направления в тонометрии ВГД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Goldmann H.* Applanation tonometry. Glaucoma // Transact. of the 2nd Conf., 1956, Princeton. USA, NJ: Madison Printing Co Inc., 1957. P. 167—220.
2. *Нестеров А. П., Бунин А. Я., Кацнельсон А. А.* Внутриглазное давление. Паталогия и физиология. М.: Наука, 1974. 381с.
3. Pat. 3585849 US. Method and Apparatus for Measuring Intraocular Pressure/ *B. Grolman.* 1971. June 22.
4. *Forbes M., Piko G., Grolman B.* A noncontact applanation tonometer // Arch. Ophthalmol. 1974. Vol. 91, N 2. P. 134—140.
5. *Yucel A. A., Sturmer J. S., Gloor B.* Vergleichende tonometrie mit dem Keeler Lnft-Impyls non kontakttonometer Goldmann // Klin. Mbl. Augenheilk. 1990. N 197. S. 329—334.
6. *Graf M., Hoffrman O. F.* Reproducibility of NCT results comparasion with the Goldmann applanation tonometer // Klin. Mbl. Augenheilk. 1992. N 6. S. 678.
7. *Burman B.* Comparision between the NCT and Mackay-Marg tonometer // American J. of Optometry and Physiological Optics. 1974. N 1. P. 34—38.
8. Пат. 2067845 РФ. Бесконтактный способ измерения внутриглазного давления и бесконтактный тонометр / *В. А. Трофимов, А. Л. Дмитриев, Ю. Т. Нагибин* и др. // Бюлл. Открытия, изобретения. 1996. № 29.
9. *Фридрихсберг Д. А.* Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1984. 367 с.

**Сведения об авторах**

- Владимир Анатольевич Трофимов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники;  
E-mail: troftu@mail.ru
- Юрий Тихонович Нагибин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники;  
E-mail: nagibin77@mail.ru
- Мария Леонидовна Шванова** — студентка; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования компьютерных систем;  
E-mail: shvanova@bk.ru

Рекомендована кафедрой  
твердотельной оптоэлектроники

Поступила в редакцию  
11.01.11 г.