

ДВУХЛУЧЕВОЙ ПНЕВМООПТИЧЕСКИЙ МЕТОД БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

В. А. ТРОФИМОВ, Ю. Т. НАГИБИН, А. Д. СИУНОВ

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: nagibin77@mail.ru

Представлен разработанный двухлучевой пневмооптический метод бесконтактного измерения внутриглазного давления. Описана физико-математическая модель измерения искомого параметра при пневматическом воздействии на роговицу глаза.

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

Широко распространенное и опасное офтальмологическое заболевание — глаукома является одной из наиболее частых причин слепоты. Успех лечения зависит от ранней диагностики глаукомы, но на ранней стадии заболевания, как правило, единственным симптомом, характеризующим его, является повышенное внутриглазное давление (ВГД). В этом случае для успешного проведения профилактических процедур необходима техника, обеспечивающая высокую производительность и низкую себестоимость измерений. Эти требования к качеству приборов могут быть реализованы с помощью бесконтактных оптических методов измерений ВГД.

В настоящее время получили применение „бесконтактные“ оптико-электронные тонометры [1—5]. В основу приборов положен метод пневматической аппланации (уплощения) роговицы, измерение величины которой позволяет определить внутриглазное давление. Эти приборы, безусловно, свидетельствуют о прогрессе в области тонометрии по сравнению с контактными методами, однако из-за сильного пневматического воздействия на глаз их можно назвать бесконтактными лишь условно. Действительно, для изменения формы роговицы глаза требуется достаточно высокое давление в „рабочей“ струе воздуха, которое вследствие инерционности процесса измерения вызывает избыточную деформацию роговицы. Кроме того, аппланация оказывает заметное воздействие на все процессы, происходящие в глазном яблоке, в том числе и на измеряемую величину. При использовании таких приборов необходимо активное участие пациента в процессе измерения, что требует удовлетворительного качества его зрения и состояния роговицы. В противном случае проведение измерений становится невозможным.

Указанные недостатки оптико-электронных тонометров определяют необходимость поиска новых методик измерения ВГД. В связи с этим особый интерес представляют исследования по разработке пневмооптических методов измерения ВГД. Бесконтактный пневмооптический метод измерения ВГД описан в работе [6]. В настоящей статье представлена физико-математическая модель нового двухлучевого метода измерения ВГД, которая является результатом научных разработок в данной области исследований.

Представим роговицу глаза в виде тонкой сферической эластичной пленки, закрепленной на круглом отверстии и находящейся под действием сил внутреннего и внешнего давления и поверхностного натяжения. В этом случае справедливо уравнение Лапласа [6, 7], определяющее связь радиуса кривизны R такой пленки с коэффициентом поверхностного натяжения σ и разностью давлений вблизи вогнутой (P) и выпуклой (P_a) поверхностей пленки (т. е. внутриглазного давления P и атмосферного давления P_a вблизи поверхности глаза):

$$P - P_a = \frac{2\sigma}{R}. \tag{1}$$

Пусть на роговицу глаза падают два световых пучка 1 и 2 под углами φ_0 к оптической оси X глаза (рис. 1). Анализ геометрической схемы показывает, что углы отражения β_1 и β_2 этих пучков зависят от φ_0 , радиуса кривизны R роговицы и координаты y точки падения пучка 2:

$$\beta_1 = \varphi_0, \tag{2}$$

$$\beta_2 = \varphi_0 + \frac{2y}{R}. \tag{3}$$

Угол между отраженными от роговицы глаза световыми пучками 1 и 2 равен $B = \beta_2 - \beta_1$.

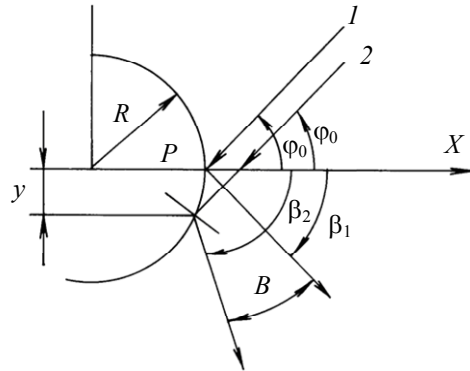


Рис. 1

Пусть вследствие пневматического воздействия атмосферное давление P_a вблизи поверхности роговицы изменяется (увеличивается) на величину ΔP , т.е.

$$P_a = P_{a0} + \Delta P,$$

где P_{a0} — атмосферное давление при отсутствии воздействия.

Пневматическое воздействие приводит к соответствующему изменению радиуса кривизны роговицы на величину ΔR , а углов отражения — на величины $\Delta\beta_1$ и $\Delta\beta_2$ (рис. 2).

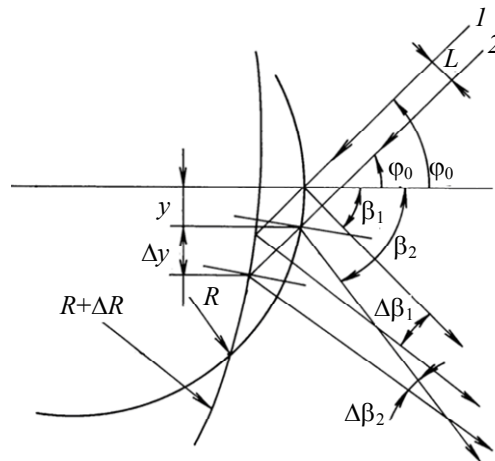


Рис. 2

При $\varphi_0 = \text{const}$ из уравнений (2) и (3) можно определить углы отражения β_1 и β_2 . Сумма углов отражения, с учетом того, что один луч падает на оптическую ось глаза ($y=0$), определяется как

$$A = \beta_1 + \beta_2 = 2\varphi_0 + \frac{2L}{R \cos \varphi_0},$$

где L — расстояние между падающими пучками (см. рис. 2).

Приведенное значение P_a определяется по формуле

$$P_a = P - P_{a0}.$$

С учетом выражения (1)

$$A = 2\varphi_0 + \frac{L}{\sigma \cos \varphi_0} P, \quad (4)$$

а при изменении P_a на величину ΔP приращение ΔA определяется как

$$\Delta A = \frac{L}{\sigma \cos \varphi_0} \Delta P. \quad (5)$$

Из выражений (4), (5) следует, что внутриглазное давление можно определить по формуле

$$P = \frac{A - 2\varphi_0}{\Delta A} \Delta P.$$

В отличие от других бесконтактных способов измерения ВГД, при использовании представленного двухлучевого метода нет необходимости в создании сильного пневматического воздействия, приводящего к уплощению роговицы. Достаточно небольших периодических изменений давления вблизи роговицы, которые вызывают соответствующие колебания отраженного от роговицы света. Это обстоятельство представляется особенно существенным для снижения травматичности измерений.

Практическая реализация предложенного бесконтактного метода измерения внутриглазного давления является предметом рассмотрения в отдельной публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jorge J., Gonzales-Mejome J. M., Diaz-Rey J. A. et al. Clinical performance of non-contact tonometry by Reichert AT 550 in glaucomatous patients // *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2003. Vol. 23, N 6. P. 503—506.
2. Voshita T., Kobajashi A., Takahashi M. et al. Intraocular pressure by non-contact tonometry over an amniotic membrane patch in humans // *Amer. Journal of Ophthalmology*. 2006. Vol. 141, N 3. P. 508—511.
3. Stamper M., Robert I. A history of intraocular pressure and its measurement // *Optometry and Vision Science (The Journal of the Amer. Academy of Optometry)*. 2011. Vol. 88, N 1. P. E16—E28.
4. Liang S. Y., Lee G. A., Shields D. Self-tonometry in glaucoma measurement — past, present and future // *Survey of Ophthalmology*. 2009. Vol. 54, N 4. P. 450—462.
5. Pat. 7481767 USA. Method and apparatus for determining true intraocular pressure / M. Luce, A. David. 2009. Jan. 27.
6. Трофимов В. А., Нагибин Ю. Т., Шванова М. Л. Бесконтактный пневмооптический метод измерения внутриглазного давления // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2012. Т. 55, № 3. С. 47—50.
7. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1984. 367с.

Сведения об авторах

- Владимир Анатольевич Трофимов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра световых технологий и оптоэлектроники; E-mail: troftu@mail.ru
- Юрий Тихонович Нагибин** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра световых технологий и оптоэлектроники; E-mail: nagibin77@mail.ru
- Александр Дмитриевич Сиунов** — магистрант; Университет ИТМО; кафедра световых технологий и оптоэлектроники; E-mail: mastertsy@gmail.com

Рекомендована кафедрой
световых технологий и оптоэлектроники

Поступила в редакцию
18.03.16 г.

Ссылка для цитирования: Трофимов В. А., Нагибин Ю. Т., Сиунов А. Д. Двухлучевой пневмооптический метод бесконтактного измерения внутриглазного давления // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2017. Т. 60, № 3. С. 263—266.

**DUAL-BEAM PNEUMO-OPTICAL METHOD
FOR NONCONTACT MEASUREMENT OF INTRAOCULAR PRESSURE****V. A. Trofimov, Yu. T. Nagibin, A. D. Siunov***ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia**E-mail: nagibin77@mail.ru*

A dual-beam pneumo-optical method for noncontact measuring of intraocular pressure is developed. The method employs pneumatic impact on the cornea of the eye and is based on presented physical and mathematical model of the effect used to determine the required parameter.

Keywords: intraocular pressure, tonometer, eye cornea, glaucoma

Data on authors

- | | | |
|-----------------------------|---|--|
| Vladimir A. Trofimov | — | Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: troftu@mail.ru |
| Yury T. Nagibin | — | PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: nagibin77@mail.ru |
| Alexander D. Siunov | — | Master Student; ITMO University, Department of Light Technologies and Optoelectronics; E-mail: mastertsy@gmail.com |

For citation: *Trofimov V. A., Nagibin Yu. T., Siunov A. D.* Dual-beam pneumo-optical method for noncontact measurement of intraocular pressure // *Journal of Instrument Engineering*. 2017. Vol. 60, N 3. P. 263—266 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-3-263-266