

07;12

Метод измерения внутриглазного давления с помощью полупроводникового лазерного автодина

© Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, Т.Б. Усанова, С.Ю. Добдин

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: usanovda@info.sgu.ru

Поступило в Редакцию 5 сентября 2011 г.

Исследована возможность применения полупроводникового лазерного автодина для определения характеристик движения фиброзных оболочек глаза под действием пневмоимпульса. Характеристики движения определялись в результате спектрального анализа автодинного сигнала. Полученные результаты позволили показать связь параметров движения склеральной оболочки глаза с внутриглазным давлением (ВГД), измеренным бесконтактным пневмотонометром.

Известно, что первым инструментальным измерением офтальмотонуса был метод, предложенный в 1885 г. Маклаковым [1]. Метод заключался в том, что на поверхность роговицы помещался груз определенной массы с плоским основанием. При этом роговица деформировалась, образуя площадку контакта груза и роговицы. Очевидно, что при прочих равных условиях площадка контакта будет тем меньше, чем больше ВГД. Поэтому площадь контактирующей поверхности или ее диаметр могут служить численной характеристикой величины ВГД. Позже появились и другие методы оценки ВГД контактным способом. Среди них можно отметить тонометрию по Гольдману и тонометрию по Шиотцу [2,3]. Несмотря на широкое применение подобных инструментальных средств и в наше время, имеются проблемы их использования. Поскольку для измерения давления требуется контакт груза (плунжера) и глаза, то необходима анестезия. Кроме того, при использовании такого рода методов не исключено инфицирование глаза.

Последнее время в медицинской практике используются пневмотонометры, которые позволяют проводить измерения ВГД при помощи направленной струи воздуха, не касаясь поверхности глаза, т. е. бесконтактно [4]. Подобный процесс измерений является более комфортным

для пациента по сравнению с традиционными методами измерений ВГД, но по точности уступающим им.

Для повышения точности измерений ВГД бесконтактным способом перспективно применить метод, основанный на использовании полупроводникового лазерного автодина [5]. Использование данного метода открывает возможность измерения параметров движения и величины деформации оболочек глаза под действием воздушной струи.

Целью данной работы является экспериментальное исследование возможности применения полупроводникового лазерного автодина для определения параметров движения оболочек глаза под действием пневмоимпульса и сопоставление полученных результатов с величиной внутриглазного давления.

Параметры движения оболочки глаза могут быть определены по сигналу полупроводникового лазерного автодина [6,7]. Нормированная переменная составляющая автодинного сигнала в этом случае может быть представлена в виде

$$P(t) = \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda_0} Z(t) \right), \quad (1)$$

где θ — набег фазы автодинного сигнала, λ_0 — длина волны лазерного излучения, t — интервал времени наблюдаемого автодинного сигнала на различных участках движения, $Z(t)$ — функция, описывающая продольные перемещения оболочки глаза, которая может быть записана в виде

$$Z(t) = \int_0^t (V_0 + at) dt, \quad (2)$$

где V_0 — начальная скорость движущегося объекта, a — ускорение внешнего отражателя.

Неизвестные параметры движения V_0 и a можно найти, определив частоту переменной составляющей автодинного сигнала по ее спектру [8]. Для этого весь интервал наблюдения автодинного сигнала разбивается на несколько временных окон. В каждом окне находится скорость движения, используя выражение (3):

$$V = \frac{1}{2} \lambda_0 \nu_n, \quad (3)$$

где V — скорость движущегося объекта, ν_n — частота автодинного сигнала для разных временных окон. По рассчитанным значениям скорости определяют значение ускорения, с которым движется оболочка.

Были проведены эксперименты по определению параметров движения склеральной оболочки глаза под действием пневмоимпульса при различном внутриглазном давлении. Для воздействия на анализируемый участок глаза использовался компрессор типа Roteri RCC-90 мощностью 120 W. Нагружение, создаваемое источником пневмоимпульсов на расстоянии 10 mm от поверхности объекта, составляло $m = 0.2$ g. Частота воздушных импульсов регулировалась источником питания и могла изменяться в пределах 1–10 Hz. Для измерения деформаций глаза, при различном давлении, использовался полупроводниковый лазер с мощностью излучения до 1 mW. Кроме того, для контроля внутриглазного давления использовался пневмотонометр Canon Full Auto Tonometer TX-F10 (CFAT). Измерения параметров движения проводились с использованием лазерного диода RLD-650.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом этапе проводилось измерение параметров движения оболочки глаза пациента под действием пневмоимпульсов, наряду с измерением внутриглазного давления прибором CFAT. На втором этапе измерялись параметры движения склеры под действием пневмоимпульсов, с измерением ВГД, после закапывания препарата „Дуотрав“, понижающего ВГД. Этот препарат комбинированного действия, состоит из 2 активных веществ: травопроста и тимолола. Имеет двойное действие: увеличивает увеосклеральный отток и уменьшает образование водянистой влаги. После измерений сравнивались величины прогиба склеры до и после закапывания капель.

Перед проведением измерений голова пациента фиксировалась при помощи лобно-подбородной опоры. На рис. 1 приведена блок-схема экспериментальной установки. Излучение полупроводникового лазера 1, стабилизированного источником тока 3, направлялось на склеру глаза. Воздушные импульсы от компрессора 2, запитанного источником тока 4, по гибкому шлангу и пластмассовой трубке направлялись на освещаемую лазером поверхность склеры. Часть излучения, отраженного от глаза, возвращалась в резонатор полупроводникового лазера, изменение выходной мощности которого регистрировалось встроенным фотодетектором 5. Сигнал с фотодетектора поступал через усилитель 6 на аналого-цифровой преобразователь 7. Цифровой сигнал с АЦП для последующей обработки сохраняли в памяти ЭВМ 8.

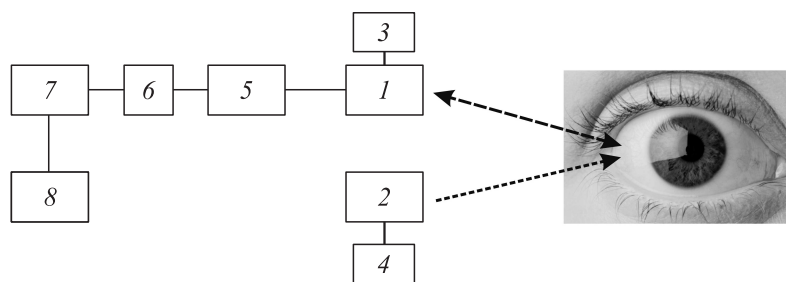


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

При проведении экспериментов пневмоимпульсы были одной и той же силы. Деформация поверхности склеры приводила к изменению величины автодинного сигнала полупроводникового лазера. Параметры движения при этом определялись по автодинному сигналу по методике, приведенной выше.

Измеренные автодинные сигналы, полученные при отражении от поверхности склеры, до закапывания препарата „Дуотрав“ и после, показаны соответственно на рис. 2, *a* и *b*.

Для исключения высокочастотных и шумовых составляющих проводилось сглаживание экспериментальной кривой с использованием встроенной функции математического пакета MathCad—supsmooth.

Анализ полученных сигналов показал, что значения максимальной скорости и ускорения склеральной оболочки, рассчитанные по спектру автодинного сигнала, до закапывания препарата „Дуотрав“ оказались меньше, чем после закапывания. Контроль ВГД серийно выпускаемым пневмотонометром подтвердил уменьшение давления после закапывания препарата. Результаты расчета средних значений максимальной скорости V , максимального ускорения a , максимальной величины прогиба склеры ΔZ и ВГД, до и после закапывания препарата, приведены в таблице.

Из таблицы видно, что величина скорости и ускорения склеральной оболочки от пневмоимпульсов, измеренные через час после закапывания препарата, увеличились для V на 27.58%, для a — на 25.85%. Прогиб склеры увеличился на 33.45%, т. е. наибольшей чувствительностью к изменению ВГД обладает параметр ΔZ . При этом по показаниям пневмотонометра СФАГ давление изменилось на 1 условную единицу.

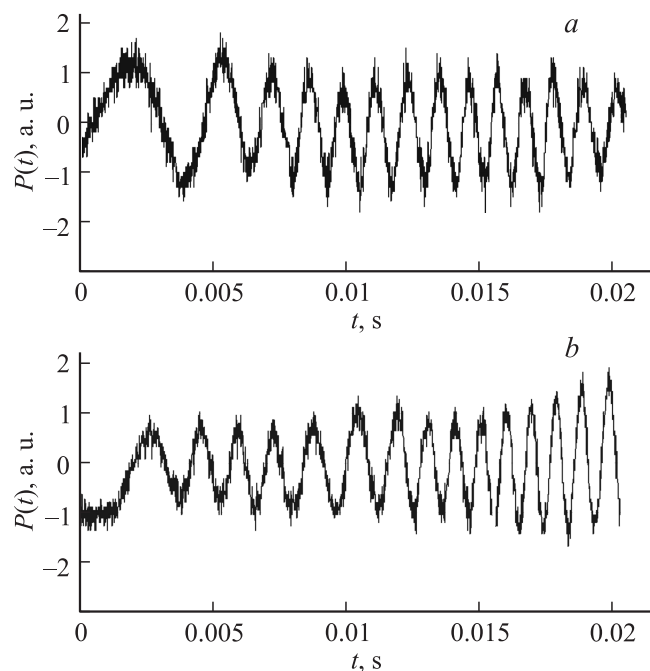


Рис. 2. Измеренные автодинные сигналы: *a* — до закапывания капель, *b* — после закапывания капель.

Из приведенных в таблице результатов следует, что изменение значений параметров движения склеры коррелирует с величиной ВГД. Следовательно, значение неизвестного давления можно определить по измеренным параметрам движения склеральной оболочки. В дополнение к уже существующим бесконтактным методам измерения ВГД использование полупроводникового лазерного автодина позволяет

№	Измерение	ВГД (Canon Full Auto Tonometr), а.у.	V , m/s	a , m/s ²	ΔZ , μm
1	До препарата	OD = 15	0.00029	0.0147	2.81
2	После препарата	OD = 14	0.00037	0.0185	3.75

повысить точность определения давления, поскольку с его помощью с высокой точностью можно определить прогиб склеры и по этим данным ВГД. С учетом 5% погрешности измерений в автодиной системе предлагаемый полупроводниковый лазерный автодин позволит повысить точность определения давления за счет 20-кратного увеличения разрешающей способности по сравнению с измерением с помощью СФАТ. Отсутствие контакта между глазом и измерителем позволит исключить необходимость обезболивания, которая требуется при использовании контактных глазных тонометров.

Таким образом, показаны возможность применения полупроводникового лазерного автодина для измерения параметров движения оболочек глаза под действием пневмоимпульса и сопоставление полученных результатов с величиной внутриглазного давления. Установлена связь величины скорости, ускорения и прогиба с ВГД. Полученную зависимость можно будет использовать при разработке новых методов бесконтактного контроля ВГД.

Список литературы

- [1] *Любимов Г.А.* // Глаукома. 2006. № 1. С. 43–49.
- [2] *Штейн А.А.* // Изв. Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2010. № 2. С. 12–22.
- [3] *Любимов Г.А.* // Механика жидкости и газа. 2010. № 2. С. 3–11.
- [4] *Аветисов С.Э., Бубнова И.А., Антонов А.А.* // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2009. № 4. С. 30–33.
- [5] *Усанов Д.А., Скрипаль А.В.* // Квантовая электроника. 2011. Т. 41. № 1. С. 86–94.
- [6] *Усанов Д.А., Скрипаль Ан.В., Добдин С.Ю.* // Нано- и микросистемная техника. 2010. № 10. С. 51–54.
- [7] *Усанов Д.А., Скрипаль Ан.В., Добдин С.Ю.* // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 21. С. 78–84.
- [8] *Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Скрипаль Ан.В.* Физика полупроводниковых радиочастотных и оптических автодинов. Саратов: Изд-во. Сарат. ун-та, 2003. 312 с.