

Экспериментальное исследование акустических сигналов при оптоакустическом эффекте в суспензии с полистирольными дисками как моделями эритроцитов

Д. А. Кравчук

Целью исследования являлось провести экспериментальные исследования лазерного возбуждения акустического сигнала в натрий-фосфатном растворе с полистирольными дисками как моделями эритроцитов, для установления моделируемого уровня гематокрита.

Получен экспериментально акустический сигнал от моделей двояковогнутых эритроцитов в натрий-фосфатном растворе с помощью оптоакустического метода от лазера ND: YAG для различных концентраций. Акустические сигналы, формируемые в результате оптоакустического преобразования, имеют различные амплитуды, формы и длительности. Анализ полученных экспериментально акустических сигналов позволяет сделать вывод о применимости метода для определения уровня гематокрита на примере модельных полистирольных эритроцитов.

Ключевые слова: оптоакустический эффект, акустический сигнал, эритроцит, лазер.

Ссылка: Кравчук Д. А. // Прикладная физика. 2020. № 4. С. 70.

Reference: D. A. Kravchuk, Prikl. Fiz., No. 4, 70 (2020).

Введение

В последние годы появился широкий интерес к разработке новых методов неинвазивной диагностики крови. Оптоакустика – это метод, основанный на генерации звуковых волн модулированным или импульсным оптическим излучением. Эффективность генерации звука выше для импульсной, чем для модулированной фотоакустической генерации. В импульсной оптоакустике короткий лазерный импульс нагревает поглотители внутри ткани, вызывая повышение температуры, пропорциональное выделяемой энергии. Импульс света настолько короткий, что нагрев поглотителя происходит мгновенно (адиабатический нагрев), что приводит к повышению дав-

ления [1]. Хорошо известным поглотителем в крови являются эритроциты, концентрацию которых можно контролировать [2–4]. Также в качестве поглотителя в крови, также используются другие тканевые хромофоры, такие как, например, глюкоза, для определения ее количественного состава [5, 6]. В работах Hoelen и др. [2] использовали маленький пьезоэлектрический дисковый датчик для получения изображений с высоким разрешением поглощающих структур в тканеподобных средах.

Численный анализ оптических характеристик биологических сред дает необходимую информацию для эффективной диагностики. Современные методы определения оптических характеристик биосред требуют использование анализа *in vitro*, т. е. определение затухания методом спектрофотометрии, флуоресцентной спектроскопии, рамановской спектроскопии. Преимущества оптоакустического метода *in vivo* очевидны и позволяют уменьшить время принятия решения о методике лечения.

Существуют многочисленные возможности исследования гематологического состава

Кравчук Денис Александрович, к.т.н., доцент.
Южный федеральный университет.
Россия, 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. Б.
E-mail: kravchukda@sfedu.ru

Статья поступила в редакцию 07 июля 2020 г.

© Кравчук Д. А., 2020

ва *in vitro*, однако больший интерес представляет неинвазивный анализ как удобный и комфортный метод, не меняющий морфологический состав крови [7].

В этом исследовании цель состоит в том, чтобы экспериментально проверить возможность определения уровня гематокрита, с помощью моделирования эритроцитов двояковогнутой формы на основе полистирольных дисков.

Материал и методы

Для проведения экспериментальных исследований разработана экспериментальная установка (рис. 1) [8, 9]. На модельный раствор воздействовали лазером ND: YAG LIMO 100-532/1064U, акустический сигнал в результате поглощения оптического излучения в жидкости детектировался ультразвуковым преобразователем, установленным в кювете. Кювета содержала моделируемый раствор в различных концентрациях. Акустический сигнал от приемника регистрировался цифровым осциллографом NI PXI5152 на базе LabView [10].

В качестве модельных эритроцитов крови использовались полистирольные диски, представляющие собой двояковыпуклые дис-

ки диаметром около 5–6 мкм и средней толщиной 2,0 мкм. Размеры полистирольных дисков соответствовал размерам красных кровяных телец. Коэффициент оптического поглощения сфер хорошо согласуется с данными для эритроцитов в эквивалентных концентрациях [11].

Полистирольные диски добавлялись в натрий-фосфатный раствор в концентрации 40 % и 45 %. Для обеспечения однородности раствор размещивался в ультразвуковой ванне.

Коэффициенты поглощения полистирола в зависимости от длины волны лазерного излучения взяты из статьи в Journal of applied polymer science vol. 15 (1971) «Absorption coefficient of unpigmented poly» [11].

Изготовленные суспензии и микросферы были изучены с помощью микроскопа Olympus X-71 (Япония, 2010) фирмы NTEGRA Vita и растрового электронного микроскопа Nova Nanolab 600. Изучение суспензий проводилось в центре коллективного пользования «Нанотехнологии» ЮФУ.

На рисунке 2 приведены снимки с растрового микроскопа Nova Nanolab 600 модельных жидкостей с полистирольными дисками. Снимки получены в центре коллективного пользования «Нанотехнологии» ЮФУ после проведения экспериментов.

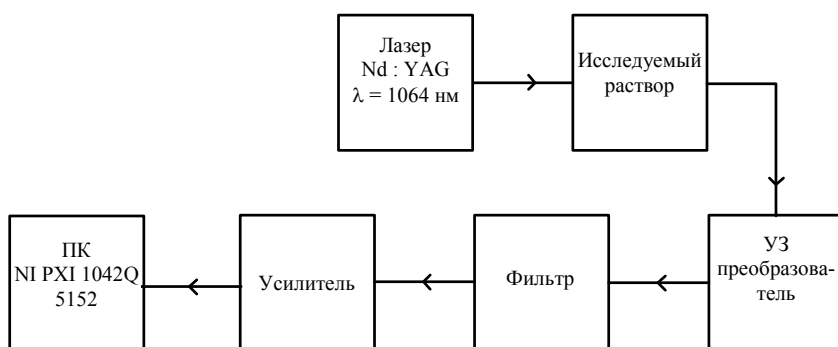


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки.

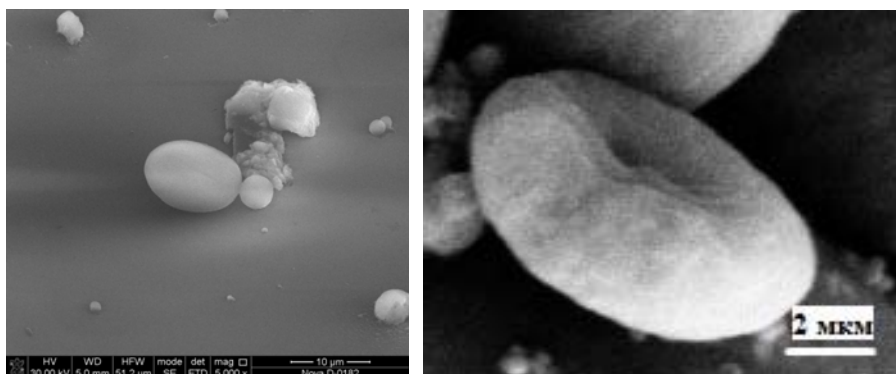


Рис. 2. Полистирольные диски (Nova Nanolab 600).

Результаты

На рисунке 3 приведен акустический сигнал, зарегистрированный в натрий-фосфатном растворе, заполненном полистирольными дисками на 45 %, время релаксации сигнала составило 1,4 мкс, максимальная амплитуда давления составила 0,12 мкПа. В растворе, заполненном полистирольными дисками на 40 % (рис. 4), время релаксации составило 1,1 мкс и значение давления снизилось до 0,11 мкПа.

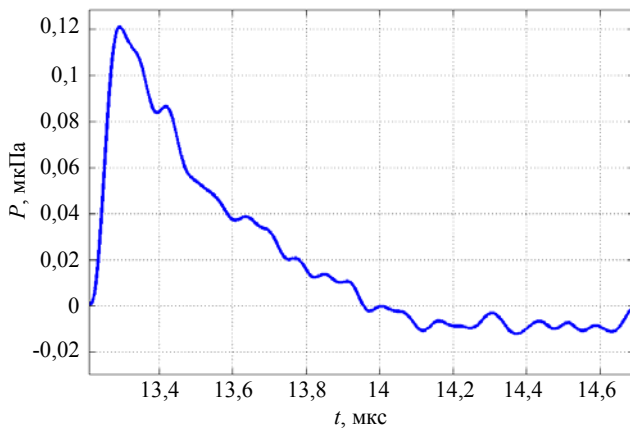


Рис. 3. Акустический сигнал в натрий-фосфатном растворе, заполненном полистирольными дисками на 45 %.

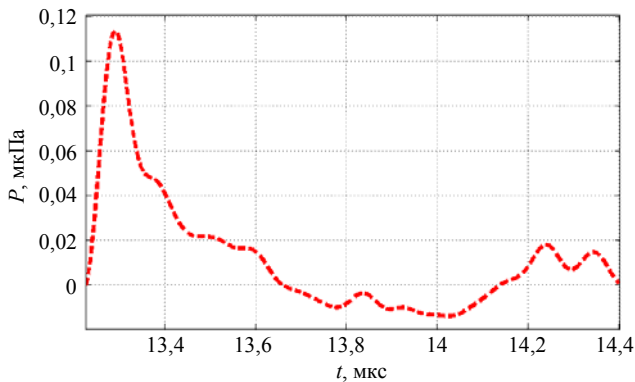


Рис. 4. Акустический сигнал в натрий-фосфатном растворе, заполненном полистирольными дисками на 40 %.

Заключение (Выводы)

Проводимые экспериментальные исследования являются продолжением теоретических и экспериментальных исследований [9, 12, 13]. На начальном этапе экспериментальные исследования проводили на модельных жидкостях, поскольку экспериментальные из-

мерения с натуральной кровью провести затруднительно по ряду причин, таких как сложностью получения нативной крови, введением в неё препаратов замедляющих свертываемость, что будет влиять на результаты измерений.

Акустический сигнал, зарегистрированный в натрий-фосфатном растворе, заполненном полистирольными дисками на 45 %, имеет большее время релаксации сигнала (1,4 мкс) и большую амплитуду давления. При этом в растворе, с 40 % полистирольных дисков, время релаксации уменьшилось на 0,3 мкс и снизилось акустическое давление, вследствие меньшего количества поглотителей. Таким образом, по итогам проведенных экспериментов, можно сделать вывод об уменьшении амплитуды акустического давления и снижения времени релаксации сигнала при понижении концентрации модельных полистирольных дисков.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволили установить факт изменения амплитуды и времени релаксации акустического сигнала сформированного в результате оптоакустического эффекта на моделях эритроцитов в зависимости от концентрации [14]. Показана возможность регистрации содержания количества эритроцитов (гематокрит) с помощью оптоакустического метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев В. Э. Карабутов А. А. Лазерная оптоакустика. – М.: Наука, 1991.
2. Hoelen C. G. A. // Opt. Lett. Optical Society of America. 1998. Vol. 23. № 8. P. 648.
3. Hoelen C. G. A., de Mul F. F. M. // Appl. Opt. The Optical Society. 2000. Vol. 39. № 31. P. 5872.
4. Oraevsky A. A., Karabutov A. A. Optoacoustic tomography Biomedical Photonics Handbook ed T Vo-Dinh. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003.
5. Zhao Z. // IEEE Trans. Instrum. Meas. 1998.
6. Bednov A. A. // Biomedical Optoacoustics / под ред. Oraevsky A. A. SPIE, 2000. Vol. 3916. P. 9.
7. Rui M. // Biomedical Optics. 2010. P. BSuD93.
8. Джуплина Г. Ю., Старченко И. Б. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. Т. 109. № 8. С. 61.
9. Starchenko I., Kravchuk D., Kirichenko I. // Biomed. Eng. (NY). 2018. Vol. 51. № 5.
10. Kravchuk D. A. // 2019 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2019 – Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019.

11. Progelhof R. C., Franey J., Haas T. W. // J. Appl. Polym. Sci. Wiley Online Library. 1971. Vol. 15. № 7. P. 1803.
12. Kravchuk D. A., Orda-Zhigulina D. V. // Biomed. Photonics. Russian Photodynamic Association. 2019. Vol. 8. № 3. P. 11.
13. Кравчук Д. А. // Прикладная физика. 2019. № 5. С. 93.
14. Kravchuk D. A., Voronina K. A. // Journal of Biomedical Photonics & Engineering. 2020. Vol. 6. № 1. P. 010307.

PACS: 42.62.Be

An experimental study of acoustic signals with an optoacoustic effect in suspension with polystyrene disks as models of red blood cells

D. A. Kravchuk

Southern Federal University
2, bld. "E", Schevchenko st., Taganrog, 347922, Russia

Received July 07, 2020

The aim of the study was to conduct experimental studies of the laser excitation of an acoustic signal in a sodium phosphate solution in polystyrene disks, as models of red blood cells, to establish a simulated level of hematocrit.

An acoustic signal was obtained experimentally from biconcave erythrocyte models in a sodium phosphate solution using the optoacoustic method from an ND: YAG laser for various concentrations. Acoustic signals generated as a result of optoacoustic conversion have different amplitudes, shapes and durations. Analysis of experimentally obtained acoustic signals allows us to conclude that the method is applicable for determining the level of hematocrit, using model polystyrene erythrocytes as an example.

Keywords: optoacoustic effect, acoustic signal, erythrocyte, laser.

REFERENCES

1. V. E. Gusev and A. A. Karabutov, *Lazernaya optoakustika* (Moscow, Nauka, 1991).
2. C. G. A. Hoelen, Opt. Lett. Optical Society of America **23** (8), 648 (1998).
3. C. G. A. Hoelen and F. F. M. de Mul, Appl. Opt. The Optical Society **39** (31), 5872 (2000).
4. A. A. Oraevsky and A. A. Karabutov, Optoacoustic tomography Biomedical Photonics Handbook ed T Vo-Dinh. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003.
5. Z. Zhao, IEEE Trans. Instrum. Meas, 1998.
6. A. A. Bednov, Biomedical Optoacoustics / pod red. Oraevsky A. A. SPIE, **3916**, 9 (2000).
7. M. Rui, Biomedical Optics, BSuD93 (2010).
8. G. Yu. Dzhuplina and I. B. Starchenko, Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki **109** (8), 61 (2010) [in Russian].
9. I. Starchenko, D. Kravchuk, and I. Kirichenko, Biomed. Eng. (NY) **51** (5), (2018).
10. D. A. Kravchuk, 2019 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2019 - Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019.
11. R. C. Progelhof, J. Franey, and T. W. Haas, J. Appl. Polym. Sci. Wiley Online Library **15** (7), 1803 (1971).
12. D. A. Kravchuk and D. V. Orda-Zhigulina, Biomed. Photonics. Russian Photodynamic Association **8** (3), 11 (2019) [in Russian].
13. D. A. Kravchuk, Applied Physics, No. 5, 93 (2019) [in Russian].
14. D. A. Kravchuk and K. A. Voronina, Journal of Biomedical Photonics & Engineering **6** (1), 010307 (2020).