

УДК 519.65

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПУЛЬСОВЫХ СИГНАЛОВ В ПОЛИСФИГМОГРАФИИ ЛУЧЕВЫХ АРТЕРИЙ

Е. В. СТОРЧУН¹, Е. И. ЯКОВЕНКО¹, В. В. БОРОНОВ²

¹Национальный университет «Львовская политехника»,
Украина, Львов, 79013, ул. Професорська 2

²Институт физического материаловедения СО РАН,
Россия, Улан-Удэ, 670047, ул. Сахьяновой, 6

Аннотация. В работе представлены результаты оценки независимости синхронно зарегистрированных пульсовых сигналов дистальных отделов лучевых артерий человека. Исследование проведено методами структурно-функционального и имитационного моделирования в приближении эквивалентного плоского перемещения структурных элементов биообъекта, и учета их упругих характеристик, с использованием электромеханических аналогий. Корректность разработанной математической модели формирования пульсовых сигналов на входе преобразователя подтверждена экспериментально. Экспериментальные исследования проведены с помощью устройства, представляющего последовательно механически соединенные пьезоэлектрический и тензорезистивный преобразователи. Жесткость устройства составляла (5350 ± 235) Н/м, а рабочий диапазон частот $(0,04-32)$ Гц. Результаты измерений пульсового сигнала с использованием пьезоэлектрического преобразователя (диаметр пелота 6 и 8 мм) и тензорезистивного датчика силы показали, что в диапазоне прижима преобразователя к поверхности зоны до 2 Н длина участков артерий, формирующих пульсовые сигналы, не превышает 13 мм, и находится в пределах зон, принятых в восточной медицине.

Ключевые слова: полисфигмография; механический импеданс; взаимное влияние пульсовых сигналов

1. ВСТУПЛЕНИЕ

Методология пульсометрии достаточно широко применяется в диагностике функционального состояния организма человека [1–6]. При регистрации пульсовых сигналов используют различные методы, в частности, основанные на механических колебаниях участков поверхности тела. Предложено ряд одноканальных устройств съема сигнала [7, 8].

Более информативной является синхронная регистрация сигналов в трех зонах лучевой артерии. Для этой цели разработаны трехканальные устройства съема сигналов [9]. Метод синхронной регистрации предусматривает плотное расположение первичных преобразователей вдоль проекции лучевой артерии на поверхности тела и из-

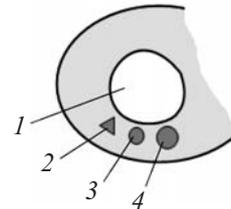


Рис. 1. Схематическое изображение поперечного сечения руки в области регистрации пульсовых сигналов: лучевая кость 1, короткий лучевой разгибатель запястья 2, лучевая артерия 3, короткий сгибатель большого пальца 4.

менение их прижима к поверхности пульсовых зон, определяя требования к инструментарию. Технические особенности синхронной регистрации пульсовых сигналов анализировались в [10].

Проблемным остается вопрос взаимного влияния пульсовых сигналов через структуры

DOI: [10.20535/S0021347020080063](https://doi.org/10.20535/S0021347020080063)

© Е. В. Сторчун, Е. И. Яковенко, В. В. Боронов, 2020

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. D.-Y. Zhang, W.-M. Zuo, D. Zhang, H.-Z. Zhang, and N.-M. Li, "Wrist blood flow signal-based computerized pulse diagnosis using spatial and spectrum features," *J. Biomed. Sci. Eng.*, vol. 03, no. 04, pp. 361–366, 2010, doi: [10.4236/jbise.2010.34050](https://doi.org/10.4236/jbise.2010.34050).
2. A. A. Fedotov, "Techniques for the morphological analysis of the pulse wave," *Biomed. Eng.*, vol. 53, no. 4, pp. 270–274, 2019, doi: [10.1007/s10527-019-09924-x](https://doi.org/10.1007/s10527-019-09924-x).
3. A. A. Fedotov, "A pulse wave monitor with adaptive filtering of motion artifacts," *Biomed. Eng.*, vol. 53, no. 6, pp. 375–379, 2020, doi: [10.1007/s10527-020-09946-w](https://doi.org/10.1007/s10527-020-09946-w).
4. A. A. Desova, V. V. Guchuk, Y. A. Dorofeyuk, and A. M. Anokhin, "Procedure for formation of features of the radial artery pulsation signal," *Biomed. Eng.*, vol. 46, no. 4, pp. 149–153, 2012, doi: [10.1007/s10527-012-9291-8](https://doi.org/10.1007/s10527-012-9291-8).
5. X. Wang, K. Yu, Y. Luo, and M. Zhong, "Prospect of the objectification of pulse diagnosis in traditional Chinese medicine in the age of Big Data," in *Proceedings of the 2019 International Conference on Organizational Innovation*, 2019, pp. 809–814, doi: [10.2991/icoi-19.2019.143](https://doi.org/10.2991/icoi-19.2019.143).
6. И.С. Явелов, И.В. Степанян, А.В. Рочагов и др. "Чувствительность датчика пульсовой волны к изменению точки измерения сигнала", *Медицинская техника*, № 2, С. 41–43, 2019.
7. K. Goyal and R. Agarwal, "Pulse based sensor design for wrist pulse signal analysis and health diagnosis," *Biomed. Res.*, vol. 28, no. 12, pp. 5187–5195, 2017, uri: www.biomedres.info.
8. I. S. Yavelov, I. V. Stepanyan, A. V. Rochagov, A. V. Zholobov, R. I. Yavelov, and O. I. Yavelov, "Pulse wave sensor sensitivity to changing the point of measurement," *Biomed. Eng.*, vol. 53, no. 2, pp. 134–136, 2019, doi: [10.1007/s10527-019-09893-1](https://doi.org/10.1007/s10527-019-09893-1).
9. A. Bhinav, M. Sareen, M. Kumar, J. Santhosh, A. Salhan, and S. Anand, "Nadi Yantra: a robust system design to capture the signals from the radial artery for assessment of the autonomic nervous system non-invasively," *J. Biomed. Sci. Eng.*, vol. 02, no. 07, pp. 471–479, 2009, doi: [10.4236/jbise.2009.27068](https://doi.org/10.4236/jbise.2009.27068).
10. E. V. Storchun and V. V. Boronoev, "Specific features of the procedure for synchronous pulse wave detection," *Biomed. Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 79–81, 2005, doi: [10.1007/s10527-005-0051-x](https://doi.org/10.1007/s10527-005-0051-x).
11. Є. В. Сторчун, А.Р.Климух, "Динаміка формування пульсових сигналів дистальних відділів променевої артерії," *Вісник НУ "Львівська політехніка". Серія Радіоелектроніка та телекомунікації*, № 766, С. 202–207, 2013, uri: <http://ena.lp.edu.ua:8080/xmlui/handle/ntb/23459>.
12. В.А.Голиков, С.Г.Одинцов, "Влияние первичных преобразователей на механический импеданс тела человека," *Новости медицинской техники*, № 3, С. 25–28, 1978.
13. Y. Luo, S. Niu, J. Cordero, H. Deng, and Y. Shen, "Bioinspired non-invasive radial pulse sensor: from biomimetic design, system calibration, to clinic application," *Robot. Biomimetics*, vol. 1, no. 1, p. 19, 2014, doi: [10.1186/s40638-014-0019-y](https://doi.org/10.1186/s40638-014-0019-y).
14. Н.Н.Савицкий, *Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики*. Ленинград: Медицина, 1974.
15. Е.В.Сторчун, В.В.Бороноев, "Исследование процесса формирования пульсовых сигналов лучевых артерий," *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*, № 5, С. 53–58, 2014, uri: https://vestnik.esstu.ru/archives/VestnikVsgutu5_2014.pdf.
16. M. E. Lockhart, M. L. Robbin, and M. Allon, "Preoperative sonographic radial artery evaluation and correlation with subsequent radiocephalic fistula outcome," *J. Ultrasound Med.*, vol. 23, no. 2, pp. 161–168, 2004, doi: [10.7863/jum.2004.23.2.161](https://doi.org/10.7863/jum.2004.23.2.161).
17. A. C. Y. Tang, J. W. Y. Chung, and T. K. S. Wong, "Validation of a novel traditional Chinese medicine pulse diagnostic model using an artificial neural network," *Evidence-Based Complement. Altern. Med.*, vol. 2012, pp. 1–7, 2012, doi: [10.1155/2012/685094](https://doi.org/10.1155/2012/685094).

Поступила в редакцию 26.10.2018

После доработки 11.08.2020

Принята к публикации 11.08.2020