УДК 616.12.008.331-073.65.78

**Исследование осцилляций микрокровотока методами лазерной допплеровской флоуметрии и видеокапилляроскопии**

И.О. Козлов, М.В. Волков, И.П. Гуров, Н.Б. Маргарянц, А.В. Потёмкин, Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.В. Дунаев

Козлов И.О., аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, стажер-исследователь Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, [igor57\_orel@mail.ru](mailto:igor57_orel@mail.ru)

Волков М.В., к.т.н., доцент кафедры компьютерной фотоники и видеоинформатики, Университет ИТМО, [ph-m.volkov@yandex.ru](mailto:ph-m.volkov@yandex.ru).

Гуров И.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой компьютерной фотоники и видеоинформатики, руководитель подразделения международный научно-технический центр "Вычислительная оптика, фотоника и визуализация изображений", Университет ИТМО, [gurov@mail.ifmo.ru](mailto:gurov@mail.ifmo.ru)

Маргарянц Н.Б., к.т.н, доцент кафедры компьютерной фотоники и видеоинформатики, Университет ИТМО, [nikita.optic@gmail.com](mailto:nikita.optic@gmail.com)

Потёмкин А.В., магистрант кафедры компьютерной фотоники и видеоинформатики,

Жеребцов Е.А., к.т.н., Aston Institute of Photonic Technologies, Aston University, [zherebzow@gmail.com](mailto:zherebzow@gmail.com)

Дрёмин В.В., научный сотрудник Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, [dremin\_viktor@mail.ru](mailto:dremin_viktor@mail.ru)

Дунаев А.В., к.т.н., доцент, директор Научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, [inohvat@yandex.ru](mailto:inohvat@yandex.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены и соотнесены спектральные характеристики скорости кровотока в отдельном капилляре и в капиллярном сплетении кожи человека.

**Ключевые слова:** оптическая диагностика, лазерная допплеровская флоуметрия, видеокапилляроскопия, вейвлет-анализ.

Видеокапилляроскопия – это известный метод для оценки состояния микроциркуляторного русла в течение таких заболеваний, как синдром Рейно и системный склероз [1]. Данный метод базируется на регистрации последовательности видеокадров, по которым можно выявить динамические характеристики микрокровотока и оценить форму капилляров. Другим методом, широко используемым для анализа микрокровотока, является лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ) [2]. Метод ЛДФ основан на регистрации обратно-рассеянного на движущихся эритроцитах излучения, и представления его после необходимой обработки в виде показателя микроциркуляции (ПМ). Данный параметр пропорционален произведению скорости эритроцитов и их концентрации в диагностическом объёме (1-3 мм3).

Показатель микроциркуляции представляет собой суперпозицию из нескольких биологических ритмов различной природы (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные, сердечные) [3]. Особый интерес для диагностов заключается в частотном анализе данных в течение функциональных тестов, таких как окклюзионный, температурный и др. Изменения в регистрируемых спектральных характеристиках могут быть ассоциированы с недостаточной работой микроциркуляторной системы в виду ревматологических и эндокринных синдромов.

На сегодняшний день, в ряде публикаций существуют сомнения в том, что метод ЛДФ может предоставлять информацию о осцилляциях кровотока. В данном исследовании, коллективом авторов было выполнено объективное сравнение между интегральным методом оценки кровотока (ЛДФ) и оценкой скорости кровотока в отдельном капилляре методом ВКС.

Для реализации метода видеокапилляроскопии была создана установка, включающая оптическую усиливающую подсистему, высокоскоростную камеру и подсвечивающую систему. Частота регистрации кадров составляла 200 кадров в секунду. Скорость кровотока и его стабилизация осуществлялась c помощью специально разработанного алгоритма обработки [4].

Для метода лазерной допплеровской флоуметрии была собрана специальная установка и создано соответствующее программное обеспечение в среде визуального программирования NI LabVIEW.

На данных двух установках была проведена серия экспериментов, составляющая параллельные 10-минутные записи показателя микроциркуляции и последовательности видеокадров с последующим вычислением и записью скорости кровотока в капилляре. Далее, для частотного анализа был применен вейвлет Морле [4]. В результате, было обнаружено, что спектральные характеристики показателя микроциркуляции и скорости кровотока довольно близки, и традиционно выделяемые ритмы в ЛДФ близки к ритмам, полученным обработкой объективно измеренной скоростью кровотока.

Предложенные подход продемонстрировал значительную корреляцию между осцилляциями сигнала в изолированном капилляре и в показателе микроциркуляции.

**Библиографический список**

1. Cutolo M., Pizzorni C., Secchi M. E., Sulli A. Capillaroscopy // Best Practice & Research Clinical Rheumatology. 2008. V. 22. №. 6. P. 1093-1108

2. Жеребцов Е. А., Жеребцова А. И., Дунаев А. В., Подмастерьев К. В. Метод и устройство метрологического контроля приборов лазерной допплеровской флоуметрии. Медицинская техника. 2014. V. 4. P.18-21.

3. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2013. 496 с.

4. Volynsky M. A., Volkov M. V., Margaryants N. B., Gurov I. P., Kamshilin A.A. Blood peripheral circulation assessment method based on combined use of the video-capillaroscopy, imaging photoplethysmography, and electrocardiography // Imaging and Applied Optics. 2016. OSA Tech. Dig., paper JT3A.26

5. A. V. Tankanag, A. A. Grinevich, T. V. Kirilina et al. Wavelet phase coherence analysis of the skin blood flow oscillations in human // Microvasc. Res. 2014. V. 95. P. 53-59

**Evaluation of blood flow oscillations with laser Doppler flowmetry and videocapillaroscopy**

**Abstract.** Spectral characteristics of blood flow velocity in detached capillary and in capillary plexus of human skin was described and related.

**Keywords.** Optical diagnostics, laser Doppler flowmetry, videocapillaroscopy, wavelet analysis.