

УДК 612.1, 57.087

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОЗГОВОГО КРОВОТОКА ЛАБОРАТОРНОГО ЖИВОТНОГО МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКЛ-КОНТРАСТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Голубова Н.В., Серёгина Е.С. (ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл)

Научные руководители – к.т.н., доцент Потапова Е.В.; к.т.н., доцент Дрёмин В.В. (ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл)

Введение. Совершенствование неинвазивных подходов к мониторингу микроциркуляции крови является актуальной темой современной биомедицинской инженерии. Одним из активно развивающихся методов является лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ), которая позволяет не только осуществлять картирование микрососудов, но и проводить количественные измерения [1]. Обработка спекл-данных с применением методов частотного анализа расширяет возможности ЛСКВ в области детального изучения механизмов регуляции кровотока.

Основная часть. Исследование мозгового кровотока у молодых лабораторных животных (возрастом не более 1-1,5 месяцев) представляет особый интерес, поскольку кровеносные сосуды расположены близко к поверхности, что позволяет регистрировать изображения ЛСКВ даже без повреждения черепа (транскраниально). В данной работе в качестве модельного животного была выбрана лабораторная крыса линии Wistar возрастом 1 месяц. Исследования были одобрены Этическим комитетом Орловского государственного университета (протокол №12 от 6 сентября 2018). Протокол исследования включал в себя анестезию животного путем внутримышечной инъекции препаратов Золетил/Ксила в стандартных пропорциях и дозах. Далее животное помещалось на столик хирургической системы для грызунов (Rodent Surgical Monitor+, Indus Instruments, США) для поддержания стабильной температуры тела и для мониторинга физиологического состояния во время исследования (контроль частоты сердечных и дыхательных сокращений). Во время измерений голова животного фиксировалась в стереотаксисе, чтобы избежать артефактов движения на получаемых изображениях. Для доступа к исследуемой области (головной мозг) кожа на голове животного разрезалась и удалялась, при этом кости черепа сохранялись целостными. Транскраниальная регистрация изображений ЛСКВ проводилась непрерывно на протяжении 5 минут.

Сбор данных осуществлялся с использованием специально разработанной экспериментальной установки. Исследуемая область освещалась лазерным источником LDM785 (Thorlabs, США) с длиной волны 785 нм (мощность 20 мВт) через набор диффузоров (Thorlabs, США). Обратно рассеянный свет регистрировался с помощью КМОП-камеры высокого разрешения UI-3360CP-NIRGL (IDS, США). Для устранения бликов перед объективом камеры MVL25TM23 (Thorlabs, США) был установлен линейный поляризатор для ближнего инфракрасного диапазона (Thorlabs, США). Изображения были получены при следующих параметрах регистрации: 90 кадров в секунду, время экспозиции 11 мс, размер изображения 500x500 пикселей.

Для обработки данных использовалось программное обеспечение, разработанное в среде Matlab. Был реализован алгоритм, выполняющий последовательно временное и пространственное вычисление значений спекл-контраста. Полученные изначально монохромные изображения преобразовывались в спекл-изображения, окрашенные в псевдоцвета в зависимости от значений спекл-контраста. Для дальнейшего анализа спекл-контраст пересчитывался в ЛСКВ-перфузию, выделялись области интереса размером 12x12 пикселей (в областях изучения: в центральном, периферическом сосудах, а также в ткани мозга без четко визуализируемых сосудов) для получения частотно-временных спектров пятиминутного сигнала с помощью вейвлет-преобразования [2]. Дополнительно были

рассчитаны карты колебаний кровотока в частотных диапазонах, соответствующих регуляторной деятельности сердечных, дыхательных и миогенных механизмов.

Выводы. Было обнаружено, что колебания сердечного диапазона присутствуют в спектрах всех областей интереса и имеют довольно высокую амплитуду даже в тканях, где сосуды визуализируются нечетко; дыхательные осцилляции наиболее сильно проявляются в центральном сосуде. В диапазоне миогенных осцилляций также существует повторяемость пиков по частотному расположению. Зарегистрированная высокая амплитуда миогенных осцилляций в периферическом сосуде мозга объясняется в некоторых экспериментальных работах, которые показывают, что существует продольный градиент миогенной реактивности в артериолярной системе, к тому же, относительная миогенная реактивность увеличивается по мере уменьшения диаметра сосуда [3], что, скорее всего, и наблюдалось в данном эксперименте.

Для получения статистики в каждой из областей изучения выбирались 5 областей интереса (12x12 пикселей), для которых строились вейвлет-спектры. Был получен общий график, содержащий 3 усредненных вейвлет-спектра, для каждого из которых представлено среднее значение и стандартное отклонение. Также были построены карты колебаний в 3 частотных диапазонах. Они позволили представить результаты, содержащиеся в построенных ранее вейвлет-спектрах, в более наглядном и информативном виде – в качестве маски, накладываемой на изображение мозга животного.

Из-за относительно короткой записи перфузии в данной работе нейрогенные и эндотелиальные осцилляции не были проанализированы. Это может стать предметом дальнейших исследований. Таким образом, предложенная технология открывает перспективы расширения диагностических возможностей метода ЛСКВ для анализа физиологических механизмов изменения кровотока.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках проекта № 22-75-10088.

Список использованных источников:

1. Boas D.A., Dunn A.K. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics // *Journal of biomedical optics*. – 2010. – Vol. 15. – №. 1. – P. 011109-011109-12.
2. Bračić M., Stefanovska A. Wavelet-based analysis of human blood-flow dynamics // *Bulletin of mathematical biology*. – 1998. – Vol. 60. – №. 5. – P. 919-935.
3. Davis M.J. Myogenic response gradient in an arteriolar network // *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. – 1993. – Т. 264. – №. 6. – С. H2168-H2179.