

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИШЕМИИ КИШЕЧНОЙ СТЕНКИ

И.А. Горюнов<sup>1</sup>, В.В. Шуплецов<sup>1</sup>, Н.А. Адаменков<sup>2</sup>, А.В. Мамошин<sup>1,3</sup>,  
Е.В. Потапова<sup>1</sup>, В.В. Дремин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
(302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95)

<sup>2</sup>Больница скорой медицинской помощи им. Н.А. Семашко  
(302027, г. Орёл, ул. Матвеева, 9)

<sup>3</sup>Орловская областная клиническая больница  
(302087, г. Орёл, б-р Победы, 10)  
e-mail: goryunow.il@yandex.ru

В работе рассматривается возможность применения гиперспектрального подхода для оценки степени ишемии стенки кишечника при создании локального нарушения кровообращения на лабораторном животном. В результате экспериментальной части были получены гиперспектральные кубы, представляющие собой пространственное распределение спектральной информации для каждого этапа измерения, и на их основе были построены карты распределения параметра тканевой сатурации, которые могут характеризовать степень ишемии кишечника.

**Ключевые слова:** гиперспектральная визуализация, ишемия кишечника, оксигенация.

Кишечная ишемия возникает в результате различных нарушений, вызывающих недостаточный приток крови к кишечнику. Тип и прогноз такого повреждения зависит от множества факторов, в том числе и от того, насколько своевременно проведена соответствующая диагностика [1]. На сегодняшний день нет объективного критерия оценки жизнеспособности кишечника. В большинстве случаев цвет и перистальтика петель кишечника помогают хирургу принять решение о определении границ резекции. В этой связи разработка новых методов оценки жизнеспособности тканей во время хирургического вмешательства является перспективным направлением развития современной биомедицинской инженерии и хирургии.

В данном исследовании изучается возможность применения гиперспектральной визуализации для анализа кровотока тканей кишечной стенки лабораторных животных при моделировании локальной ишемии кишечника. Для реализации поставленной задачи была разработана система оптической визуализации, основанная на регистрации диффузного отражения света от биологической ткани с применением гиперспектрального подхода, позволяющая получать пространственное распределение спектральной информации. На рисунке 1 представлена система оптической визуализации. В качестве широкополосного источника излучения использовался разработанный галогенный источник. В качестве детектора, для регистрации обратного диффузно отраженного свет от объекта, использовалась гиперспектральная камера Specim (Spectral Imaging Ltd., Финляндия) со спектральным диапазоном 400-1000 нм.



*Рис. 1. Система гиперспектральной визуализации*

В соответствии с протоколом исследования производилась срединная лапаротомия у экспериментального животного с последующим выделением петель тонкой кишки из брюшной полости с брыжейкой. Далее осуществлялось наложение лигатуры на аркадные сосуды кишечника 3

капроновыми нитями через каждые 10 см и погружение петель кишечника обратно в брюшную полость. Измерения показателей со стороны петель кишечника с окклюзированными сосудами проходили через 1, 5 и 12 часов после наложения лигатуры. В результате проведения экспериментальных исследований были получены 3 гиперспектральных массива распределения спектральной информации с кишечной стенки для каждого временного интервала. Для нормирования измеренных данных производилась регистрация спектров от эталона диффузного отражения.

Основываясь на различном поглощении света несвязанной и связанной с кислородом формами гемоглобина, был рассчитан параметр тканевой сатурации с использованием двух волнового подхода для ближней инфракрасной области [2-3]:

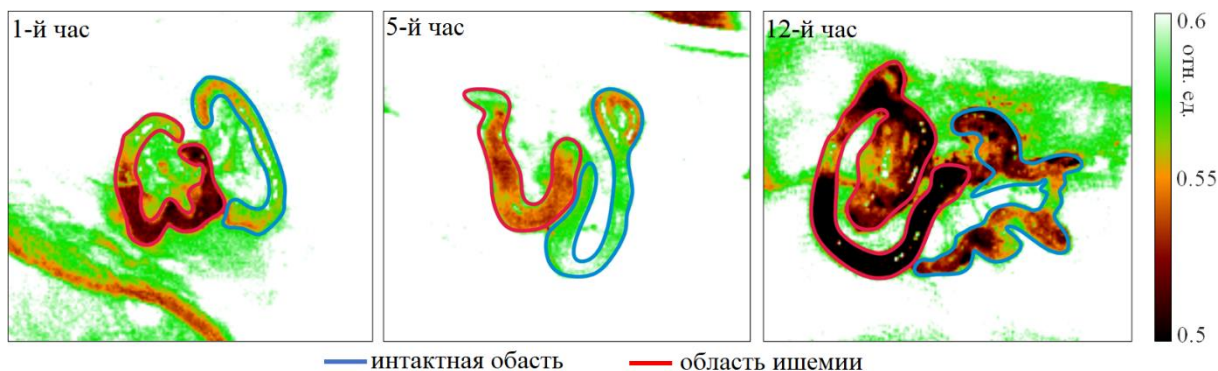
$$SO_2 = \frac{\mu_{Hb}(\lambda_1) - \mu_{Hb}(\lambda_2) \cdot \frac{R(\lambda_2)}{R(\lambda_1)}}{\mu_{Hb}(\lambda_1) - \mu_{HbO_2}(\lambda_1)}, \quad (1)$$

где  $R(\lambda)$  – измеренный коэффициент диффузного отражения на выбранной длине волны;

$\mu_{Hb}(\lambda)$  и  $\mu_{HbO_2}(\lambda)$  – коэффициенты поглощения дезоксигенированной и оксигенированной (насыщенной кислородом) крови, соответственно;

$\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – длина волны неизобестической и изобестической точек, соответственно.

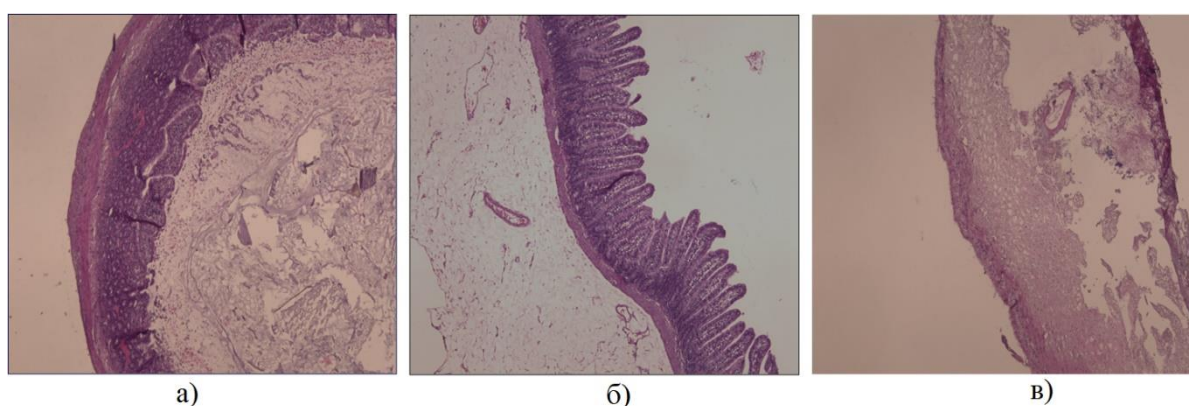
Расчет сатурации был осуществлен в каждой точке (пикселе) гиперспектральных изображений, на двух длинах волн 750/795 нм, соответствующих поглощению излучения кровью в изобестической и неизобестической точках. Полученные значения сатурации являются относительными и соответствуют приведенной шкале псевдоцветового контраста, представленные на рисунке 2.



*Рис. 2. Карты тканевой сатурации для каждого интервала измерения*

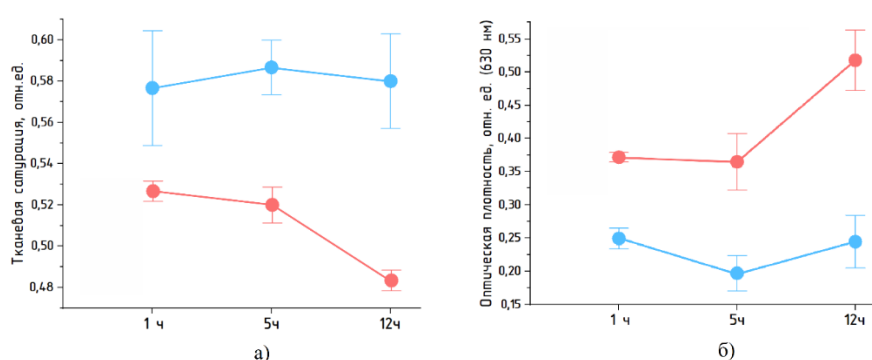
На рассчитанных картах сатурации, для всех этапов ишемии, было выявлено визуальное уменьшение контраста в области ишемии кишечной стенки по сравнению с интактными участками, что связано с уменьшением параметра сатурации вследствие недостаточного локального притока крови в областях с лигированными питающими сосудами.

В соответствии с проведённым гистологическим анализом ишемизированных участков ткани, было выделено три степени по классификации Park/Chiu. Обратимая ишемия (Grade 0 – Grade 5) – соответствует результатам измерения после 1-го часа (рисунок 3а). Возможная вероятность обратимой ишемии (Grade 5 – Grade 6) – соответствует результатам измерения после 5-го часа (рисунок 3б). Необратимые ишемические изменения (Grade 7 – Grade 8) – соответствует результатам измерения после 12-го часа (рисунок 3в). Результаты гистологического исследования представлены на рисунке 3.



*Рис. 3. Гистологический анализ: а) после 1-го часа; б) после 5-го часа; в) после 12-го часа*

На рисунке 4а представлены усредненные значения параметра тканевой сатурации, построенные по полученным картам сатурации, для ишемизированных областей кишечника и интактной ткани. Уменьшение значений с каждым временным интервалом свидетельствует о недостаточном притоке крови в области с наложенными на питающие сосуды лигатурами. Также был проведен анализ метгемоглобина, накопление которого является одним из критериев развития некроза ткани, на рисунке 4б представлены усредненные значения параметра оптической плотности на длине волны 630 нм, накопление которого характерно для участков ишемии.



*Рис. 4. Усредненные значения различных параметров на всех интервалах измерения: а) параметр тканевой сатурации; б) оптическая плотность на длине волны 630 нм*

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что описанная система и предложенный подход способны диагностировать ишемию кишечника уже после первого часа наложения лигатуры и определить обратимый характер изменений, вызванных нарушением кровоснабжения. Выявленная разница в рассчитанных показателях сатурации для окклюзированных областей по каждому этапу измерения и проведенный анализ метгемоглобина свидетельствует о возможности применения гиперспектральной визуализации для оценки степени ишемии кишечника. Однако различия в выявленной разнице показателей сатурации между временными интервалами наложения лигатуры оказались несущественными, это требует дальнейшего проведения исследований.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №21-15-00325.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимербулатов В.М., Тимербулатов Ш.В., Сагитов Р.Б., Асманов Д.И., Султанбаев А.У. Диагностика ишемических повреждений кишечника при некоторых острых хирургических заболеваниях органов брюшной полости // Креативная хирургия и онкология. – 2017. – №3. – С.12–19.
2. Spott, T., Svaasand, L.O., Anderson, R.E., and Schmedling, P.F., Application of optical diffusion theory to transcutaneous bilirubinometry, Proc. SPIE–Int. Soc. Opt. Eng., 1998, T. 3195, C. 234.
3. Potapova E. V. et al. Evaluation of microcirculatory disturbances in patients with rheumatic diseases by the method of diffuse reflectance spectroscopy // Human Physiology. – 2017. – Т. 43. – №. 2. – С. 222-228.

## POSSIBILITIES OF HYPERSPECTRAL IMAGING TO ASSESS THE DEGREE OF ISCHEMIA IN THE INTESTINAL WALL

I.A. Goryunov<sup>1</sup>, V.V. Shupletsov V.V<sup>1</sup>, N.A. Adamenkov<sup>2</sup>,  
A.V. Mamoshin<sup>1,3</sup>, E.V. Potapova<sup>1</sup>, V.V. Dremin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Orel State University named after I. S. Turgenev  
(302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95)*

<sup>2</sup>*N. A. Semashko Emergency Medical Care Hospital  
(302027, Orel, st. Matveeva, 9)*

<sup>3</sup>*Orel Regional Clinical Hospital  
(302087, Orel, blvd., Pobedy, 10)  
e-mail: goryunow.il@yandex.ru*

The paper considers the possibility of using hyperspectral approach to assess the degree of intestinal wall ischemia during creation of local circulatory disturbance in a laboratory animal. As a result of the experimental part, hyperspectral cubes representing the spatial distribution of spectral information for each stage of measurement were obtained, and on their basis, maps of tissue saturation parameter distribution were constructed, which can characterize the degree of intestinal ischemia.

**Keywords:** hyperspectral imaging, intestinal ischemia, oxygenation.