

Annotation. The paper evaluates the effect of the ultrasonic facial cleansing procedure on blood microcirculation and the content of the complex of fluorophores (collagen, elastin, NADH). A series of experimental studies was conducted with the participation of 8 volunteers. The state of peripheral blood flow was assessed by laser Doppler flowmetry, the total content of the fluorophores of interest by fluorescence spectroscopy. Based on the data obtained, it was revealed that the home cosmetology procedure really affects the microcirculation of the blood of the face, enhancing local perfusion. At this stage of research, optical noninvasive diagnostic methods failed to confirm the assumption that ultrasonic peeling stimulates the production of elastin and collagen.

◆

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАРУШЕНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ В ЖИВОТНОЙ МОДЕЛИ ИШЕМИИ КИШЕЧНИКА

Шуплецов В.В.¹, Горюнов И.А.¹, Адаменков Н.А.², Мамошин А.В.^{1,3}, Потапова Е.В.¹, Дрёмин В.В.¹

¹ Научно-технологический центр биомедицинской фотоники
ОГУ имени И.С. Тургенева, Орёл, Россия

² Больница скорой медицинской помощи им. Н.А. Семашко, Орёл, Россия

³ БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», Орёл, Россия

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]. В этой связи разработка новых методов оценки жизнеспособности тканей во время хирургического вмешательства является перспективным направлением развития современной биомедицинской инженерии и хирургии.

При поиске новых подходов к оценке состояния кишечной стенки закономерно рассмотрение в качестве объекта исследования мезентериального кровотока, нарушения которого напрямую связаны с патологическими изменениями биоткани [2]. В этом ключе перспективным является использование оптических методов, уже показавших свою эффективность в различных медицинских приложениях, в том числе при диагностике онкопатологии на различных органно-тканевых уровнях [3, 4].

На сегодняшний день уже был проведен ряд исследований по диагностике ишемии кишечной стенки с использованием оптических методов исследования, как например с применением метода лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной визуализации с введением контрастного препарата, показавших достаточную эффективность при анализе жизнеспособности кишечника [5-7]. В рамках данной проблемы интересным является изучение возможностей применения метода гиперспектральной визуализации (ГВ) с целью дифференциации интактных и ишемизированных тканей кишечника. Эффективность применения ГВ для анализа ишемии кишечной стенки была продемонстрирована в ряде исследований, результаты которых свидетельствуют о высокой чувствительности метода к изменению микроциркуляции крови, особенно в ближней инфракрасной оптической области исследования [8-11]. Перспективы внедрения ГВ в клиническую практику, в первую очередь, продиктованы возможностью количественной оценки параметров кровенаполнения и кислородонасыщения исследуемой области ткани [12, 13]. Таким образом актуальной задачей является дальнейшая разработка метода ГВ для внедрения метода в клиническую практику.

В настоящем исследовании изучаются возможности применения технологии ГВ для анализа микроциркуляции 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 тканей с применением гиперспектрального подхода, позволяющая получать пространственное распределение спектральной информации (рисунок 1). 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.



Рисунок 1 – Экспериментальная система ГВ

Объектом исследования являлись здоровые половозрелые лабораторные крысы ($n=12$) линии Wistar. В соответствии с протоколом исследования доступ в брюшную полость осуществлялся через срединную лапаротомию с последующим выведением петель тонкой кишки брыжейкой из раны. Затем выполнялось наложение лигатур капроновыми нитями на аркадные сосуды в пределах участка кишечника длиной около 5 см с последующим помещением кишечника обратно в брюшную полость и закрытием лапаротомной раны. Для определения порога чувствительности реализованной системы к ишемическим изменениям был реализован ряд экспериментов с наложением лигатур, моделирующих длительность ишемии от 1 до 12 часов с шагом в один час для каждого лабораторного животного. Таким образом каждой из 12 лабораторных крыс был присвоен определенный временной интервал длительности ишемии.

В результате проведения экспериментальных исследований были получены 12 гиперспектральных массивов изображений тонкой кишки для каждого временного интервала ишемии соответственно. Для нормализации измеренных данных производилась регистрация спектров от эталона диффузного отражения для каждого измерения.

Далее, основываясь на различном поглощении света несвязанной и связанной с кислородом формами гемоглобина, был рассчитан параметр тканевой сатурации с использованием двухволнового подхода для ближней инфракрасной области [14, 15]. 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 (рисунок 2а).

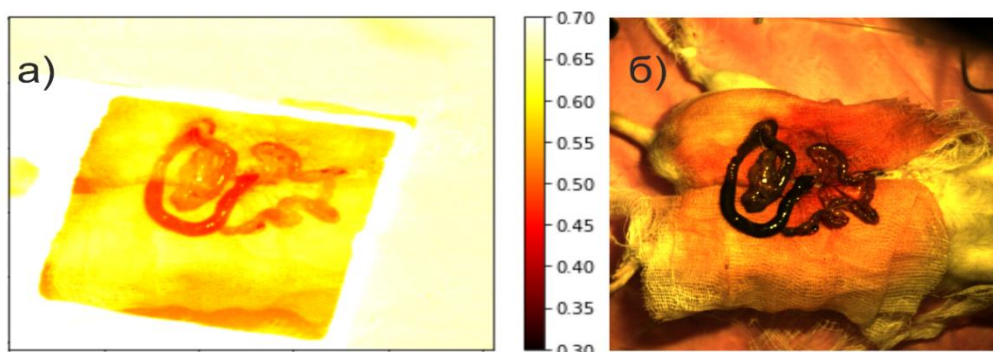


Рисунок 2 – Пример визуализации результатов ишемии кишечника для этапа наложения 12 часовой лигатуры: а) карта сатурации, б) исходное изображение

На рассчитанных картах сатурации, для всех этапов ишемии, было выявлено визуальное уменьшение контраста в области ишемизированной части кишечника в сравнении с интактной тканью, что связано с уменьшением параметра сатурации вследствие недостаточного локального притока крови в области наложения лигатур.

На рисунке 3 представлены усредненные параметры тканевой сатурации, построенные по полученным картам сатурации, для ишемизированной области кишечника и интактной ткани для каждого временного интервала ишемии соответственно. 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. Выявленная разница в рассчитанных показателях сатурации для окклюзированных областей по каждому этапу измерения свидетельствует о возможности применения ГВ для оценки степени ишемизации кишечной стенки. Однако, различия в выявленной разнице показателей сатурации между временными интервалами наложения лигатуры оказались несущественными, это требует дальнейшего изучения, в том числе проведения гистологического анализа тканей ишемизированных участков.

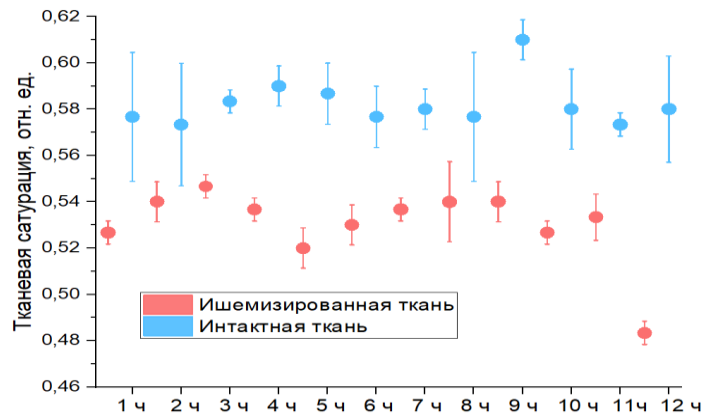


Рисунок 3 – Параметры тканевой сатурации для различной длительности ишемии

В настоящем исследовании показана возможность применения метода ГВ для определения нарушений в микроциркуляции крови, в частности в параметре тканевой сатурации, на примере животной модели ишемии кишечной стенки. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод что ГВ с последующим определением тканевой сатурации может стать перспективным методом интраоперационной оценки ишемического повреждения кишечной стенки без дополнительного применения контрастных препаратов.

В качестве дальнейших планов в рамках данной научно-исследовательской работы рассматривается технологическая доработка реализованной экспериментальной системы с целью ее использования непосредственно в хирургической практике. Также планируется проведение моделирования оптических параметров тканей кишечника для возможности применения ранее разработанной нейросетевой обработки [10] с целью получения ряда количественных диагностических параметров.

Библиографический список

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. Menke J. Diagnostic accuracy of multidetector CT in acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis // Radiology. - 2010. - Т.256. - №1. - С.93–101.
3. Tuchin V. V., Popp J., Zakharov V. (ed.). Multimodal optical diagnostics of cancer // Springer International Publishing. - 2020.
4. Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях in vivo: монография // Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. - 2018. - 107 с.
5. Косовских, А. А., Кан, С. Л., Чурляев, Ю. А., Золоева, О. С., Баранов, А. А., Кругляков, О. О. Функциональное состояние микроциркуляции кишечника при разлитом перитоните // Общая реаниматология. - 2012. - Т.8. - №2. - С.33–37.
6. Alemanno, G., Somigli, R., Prosperi, P., Bergamini, C., Maltinti, G., Giordano, A., & Valeri, A. Combination of diagnostic laparoscopy and intraoperative indocyanine green fluorescence angiography for the early detection of intestinal ischemia not detectable at CT scan // International Journal of Surgery Case Reports. - 2016. - №26. - С.77–80.
7. Kamshilin, A. A., Zaytsev, V. V., Lodygin, A. V., & Kashchenko, V. A. Imaging photoplethysmography as an easy-to-use tool for monitoring changes in tissue blood perfusion during abdominal surgery //Scientific Reports. - 2022. - Т. 12. - №. 1. - С. 1-9.
8. Akbari, H., Kosugi, Y., Kojima, K., & Tanaka, N. Detection and analysis of the intestinal ischemia using visible and invisible hyperspectral imaging //IEEE Transactions on Biomedical Engineering. - 2010. - Т. 57. - №. 8. - С. 2011-2017.
9. Mehdorn, M., Köhler, H., Rabe, S. M., Niebisch, S., Lyros, O., Chalopin, C., Jansen-Winkel, B. Hyperspectral imaging (HSI) in acute mesenteric ischemia to detect intestinal perfusion deficits //Journal of Surgical Research. - 2020. - Т. 254. - С. 7-15.
10. Zherebtsov, E., Dremin, V., Popov, A., Doronin, A., Kurakina, D., Kirillin, M., Bykov, A. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks //Biomedical optics express. - 2019. - Т. 10. - №. 7. - С. 3545-3559.
11. Dremin, V., Marcinkevics, Z., Zherebtsov, E., Popov, A., Grabovskis, A., Kronberga, H., Bykov, A. Skin complications of diabetes mellitus revealed by polarized hyperspectral imaging and machine learning //IEEE Transactions on Medical Imaging. - 2021. - Т. 40. - №. 4. - С. 1207-1216.
12. Calin, M. A., Parasca, S. V., Savastru, D., Manea, D. Hyperspectral imaging in the medical field: Present and future //Applied Spectroscopy Reviews. - 2014. - Т. 49. - №. 6. - С. 435-447.

13. Barberio, M., Felli, E., Seyller, E., Longo, F., Chand, M., Gockel, I., Diana, M. Quantitative fluorescence angiography versus hyperspectral imaging to assess bowel ischemia: A comparative study in enhanced reality //Surgery. - 2020. - Т. 168. - №. 1. - С. 178-184.

14. 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. - Т. 3195. - С. 234.

15. Potapova, E. V., Dremmin, V. V., Zherebtsov, E. A., Makovik, I. N., Zherebtsova, A. I., Dunaev, A. V., Muradyan, V. F. 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.

APPLICATION OF HYPERSPECTRAL IMAGING TO DETERMINE BLOOD MICROCIRCULATORY DISORDERS IN AN ANIMAL MODEL OF INTESTINAL ISCHEMIA

Shupletsov V.V.¹, Goryunov I.A.¹, Adamenkov N.A.², Mamoshin A.V.^{1, 3}, Potapova E.V.¹, Dremmin V.V.¹

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev,

² N.A. Semashko Emergency Medical Care Hospital, Orel, Russia

³ Orel Regional Clinical Hospital



ДИАГНОСТИКА ПАТОЛОГИЙ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КАРТИН РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ

Брянская Е.О.^{1,*}, Дрёмин В.В.¹, Николаева Ю.О.², Пильников В.Г.², Бакотина А.В.², Дунаев А.В.¹

¹ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, * bryanskaya@mail.ru

²Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, г. Москва, Россия

Ежегодный рост патологии верхнечелюстных пазух (ВЧП) среди населения [1–3], развитие осложнений [4], вызванных, в том числе, заболеванием COVID-19 [5], является актуальной проблемой современной отоларингологии. Оптические технологии в диагностике различных заболеваний всё чаще находят широкое применение в медицине, что обусловлено в первую очередь их безопасностью и неинвазивностью, а также эргономичностью и портативностью.

Метод цифровой диафаноскопии является одним из методов оптической визуализации и имеет преимущества по сравнению со стандартно применяемыми методами в практике ЛОР-врача. При исследовании патологий ВЧП данным методом исключаются недостатки, характерные для классических методов визуализации, такие как наличие артефактов при ультразвуке исследовании, высокое радиационное воздействие при компьютерной томографии (КТ) и относительно низкая доступность магнитно-резонансной томографии (МРТ). При этом диагностическая информация может быть получена путем анализа регистрируемых картин рассеяния света в режиме реального времени за счет быстрой цифровой обработки регистрируемых данных. Метод цифровой диафаноскопии основан на просвечивании ВЧП безопасным низкоинтенсивным излучением в видимом и ближнем инфракрасном спектральном диапазоне, регистрации картин рассеяния света и цифровой обработке зарегистрированных изображений, является перспективным для выявления патологий ВЧП [6–8]. При этом, за счет своей безопасности и простоты данный метод может выступать как один из методов скрининга населения и использоваться в телемедицине [9].

Таким образом, целью данной работы явилось разработка метода и устройства цифровой диафаноскопии, основанного на регистрации картин рассеяния света, а также разработка алгоритма их количественной оценки для выявления диапазонов расчетных коэффициентов, позволяющих диагностировать наличие патологических изменений в ВЧП.

Для реализации метода цифровой диафаноскопии была разработана экспериментальная система, структурная схема и общий вид которой представлены на рисунках 1 и 2. Экспериментальная система включает светодиодный аппликатор анатомической формы с светодиодами фирмы OSRAM Opto Semiconductors GmbH (Германия) с длинами волн 650 нм (C4L-H12T5) и 850 нм (F3453). При этом, перед помещением аппликатора в ротовую полость производят его дезинфекцию. CMOS-камера позволяет визуализировать картины рассеяния света, которые проходят цифровую обработку на ПК с помощью специально разработанного ПО. Установка также включает блок позиционирования головы пациента, который позволяет исключить артефакты движения [6,10,11].