

Результаты соответствуют литературным данным о доминировании гликолиза в указанном типе опухоли, что выразилось в увеличении вклада быстрой компоненты затухания флуоресценции в общий уровень регистрируемой флуоресценции [3]. В свою очередь, разброс полученных значений может указывать на индивидуальные различия в процессе роста каждой опухоли.

Предлагаемый подход позволяет выявить атипичную метаболическую активность злокачественных клеток, следовательно внедрение измерений параметров времени жизни флуоресценции во время пункционной биопсии является перспективным для дальнейших исследований, в том числе при изучении метаболической активности опухолей различной степени злокачественности.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №18-15-00201.

#### *Библиографический список*

1. Fine-needle aspiration biopsy of hepatocellular carcinoma and related hepatocellular nodular lesions in cirrhosis: controversies, challenges, and expectations / A. Wee // Patholog. Res. Int., 2011, 2011, 587936.
2. Люминесцентная микроскопия на основе многопараметрического время-коррелированного счета фотонов / В.И. Щеславский, М.В. Ширманова, А. Ельцов и др. // Успехи биологической химии, 2019, 59, с. 103-138.
3. Многофотонная микроскопия с эндогенным контрастом: природа флуорофоров и возможности в исследовании биохимических процессов / Е.А. Ширшин, Б.П. Якимов, М.Е. Дарвин и др. // Успехи биологической химии, 2019, 59, с. 139-180.

УДК 615.471+681.784.8

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ЖЁСТКОЙ ЭНДОСКОПИИ**

Н.В. Голубова<sup>1</sup>, В.В. Шуплецов<sup>1</sup>, Д.Д. Ставцев<sup>1</sup>,  
Е.В. Потапова<sup>1</sup>, В.В. Дремин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, РФ

<sup>2</sup>College of Engineering and Physical Sciences, Aston University, Birmingham, United Kingdom

*Рассмотрена возможность реализации оптических методов визуализации в канале жесткого эндоскопа. Проведены исследования на разработанных фантомах, моделирующих варибельность скорости кровотока, а также различные содержания хромофоров и флуорофоров в биологических тканях. Получены качественные и количественные результаты.*

**Ключевые слова:** оптические методы, жесткая эндоскопия, лазерная спекл-контрастная визуализация, флуоресцентная визуализация, гиперспектральная визуализация.

## INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF INTEGRATING MULTIMODAL IMAGING IN A RIGID ENDOSCOPY

N.V. Golubova<sup>1</sup>, V.V. Shupletsov<sup>1</sup>, D.D. Stavtsev<sup>1</sup>,

E.V. Potapova<sup>1</sup>, V.V. Dremir<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russian Federation

<sup>2</sup>College of Engineering and Physical Sciences, Aston University, Birmingham,  
United Kingdom

*The possibility of integrating optical imaging methods into a rigid endoscope is considered. Studies were performed on phantoms that simulate the variability of blood flow velocity, as well as different concentrations of chromophores and fluorophores in biological tissue. Qualitative and quantitative results were obtained.*

**Key words:** *optical methods, rigid endoscopy, laser speckle contrast imaging, fluorescence imaging, hyperspectral imaging.*

Несмотря на достижения последних лет в области медицины, остается актуальной проблема своевременного обнаружения и разработки адекватной тактики лечения некоторых острых хирургических заболеваний внутренних органов брюшной полости. Подобные состояния часто сопровождаются серьезным нарушением мезентериального кровотока и метаболическими изменениями, что в свою очередь приводит к ишемическим поражениям тканей и высоким показателям смертности [1].

Для оценки жизнеспособности тканей в последние годы широкое распространение получила лапароскопическая хирургия с использованием жестких эндоскопов (лапароскопов) [2], имеющая ряд преимуществ, таких как малоинвазивность, низкая травматизация тканей, сокращение послеоперационного периода. Однако существенным недостатком данного вида диагностики является субъективность, так как оценка состояния тканей проводится на основании визуального и пальпаторного обследований.

В работе предложено использовать многопараметрический подход с применением таких методов оптической диагностики, как лазерная спекл-контрастная (ЛСКВ), флуоресцентная (ФВ) и гиперспектральная (ГВ) визуализация, на основе которых возможно разработать инструментальные критерии оценки жизнеспособности ишемизированных тканей. Целью работы являлось исследование возможности интеграции данных методов визуализации в систему жесткой эндоскопии.

Для канала ЛСКВ был выбран лазерный источник излучения LASER-785-LAB-ADJ (Ocean Optics Inc., США) с длиной волны 785 нм. Спекл-картина регистрировалась монохромной КМОП-камерой UI-3360CP-NIR-GL Rev 2 (IDS GmbH, Германия) через ахроматическую линзу AC254-050-B-ML (Thorlabs, Inc., США) [3]. Для каналов ФВ и ГВ использовались светодиодный источник M450LP1 (Thorlabs, США) с длиной волны 450 нм и

эндоскопический ксенонный осветитель OSV-01 (ELEPS, Россия) соответственно. Для каналов ФВ и ГВ в качестве регистрирующего устройства использовалась гиперспектральная камера Specim IQ (Specim, Spectral Imaging Ltd., Финляндия) с диапазоном длин волн от 400 до 1000 нм и минимальной шириной полосы пропускания 7 нм. Также в канале регистрации флуоресценции был установлен фильтр FELH0500 (Thorlabs, США), пропускающий излучение с длиной волны от 500 нм.

Фантом для канала ЛСКВ представлял собой систему, состоящую из двух капилляров, по одному из которых с помощью электронасоса с заданной скоростью (0,5, 1, 1,5 и 2 мм/с) прокачивался 8% водный раствор 20% интралипида, в то время как другой капилляр был стационарно заполнен данным раствором, т.е. скорость перемещения модельной жидкости была равна нулю. Для канала ФВ был изготовлен оригинальный составной фантом на полиакриламидной основе, совмещающий в себе четыре области с различными концентрациями (0, 5, 10 и 15 мкМ) флуоресцирующего кофермента флавинадениндинуклеотида (ФАД). Для верификации канала ГВ использовался капилляр, заполненный раствором интралипида (20 мл), воспроизводящего рассеивающие свойства, и фуксина (20, 25 и 30 мкл) в качестве поглотителя [4]. Капилляр исследовался как отдельно, так и с ФАД-содержащим фантомом (5 мкМ), покрывающим его.

При обработке последовательностей десятисекундных записей, полученных методом ЛСКВ, был применен пространственный алгоритм. С помощью специально разработанного программного обеспечения в среде MatLab вычислялось значение спекл-контраста  $K$  для каждого изображения в области  $40 \times 40$  пикселей в центральной части каждого капилляра. Критерий Манна-Уитни продемонстрировал значимые различия в массивах значений  $K$  для каждой из пар капилляров (с различием в скорости передвижения жидкости 0,5, 1, 1,5 и 2 мм/с).

Для испытания канала ФВ была произведена регистрация гиперкуба флуоресценции фантома с разрешением по длине волны. Максимальные значения интенсивности составили 6,94 отн.ед. для 15 мкМ ФАД, 5,24 отн.ед. для 10 мкМ ФАД, 4,30 отн.ед. для 5 мкМ ФАД и 1,24 отн.ед. для 0 мкМ ФАД.

Для проверки канала ГВ были получены гиперспектральные изображения капилляра (отдельно и с покрытием фантомом с ФАД) в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм. Полученный спектр имел характерный провал, обусловленный поглощением фуксина, а амплитуда спектра варьировалась в зависимости от концентрации фуксина в растворе. К примеру, максимальные значения интенсивности для капилляра, покрытого фантомом с ФАД, составили 0,63 отн.ед., 0,71 отн.ед. и 0,86 отн.ед. для концентраций фуксина 20 мкл, 25 мкл и 30 мкл соответственно.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что описанная система чувствительна к различиям в скорости движения жидкости по капиллярам, а также к концентрации фуксина и ФАД в изготовленных

фантомах. Реализация предлагаемых методов в системе жесткой эндоскопии представляется перспективной, однако требует дальнейших исследований и технических улучшений.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №18-15-00201.

#### *Библиографический список*

1. Тимербулатов В.М., Сахаутдинов В.Г., Тимербулатов Ш.В., Смыр Р.А., Саргсян А.М. Острое нарушение мезентериального кровообращения // Эндоскопическая хирургия. – 2016. – №3. – С. 44–49.
2. Кудрявцев П.В., Панченков Д.Н., Лакунин К.Ю. и др. Лапароскопия в лечении острой тонкокишечной непроходимости // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2014. – Т.7, №3. – С. 228-236.
3. Potapova E., Seryogina E., Dremin V., Stavtsev D., Kozlov I., Zherebtsov E., Mamoshin A., Ivanov Yu., Dunaev A. Laser speckle contrast imaging of blood microcirculation in pancreatic tissues during laparoscopic interventions // Quantum Electronics. – 2020. – 50(1). – P.33-40.
4. Потапова Е.В., Дрёмин В.В., Жеребцов Е.А., Подмастерьев К.В., Дунаев А.В. Разработка жидкого оптического фантома для флуоресцентных спектроскопических исследований // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т.332, № 6. – С. 105-114.

УДК 535.372+616-089.819

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КОЖИ ПРИ ЭЛЕКТРОФОРЕЗЕ АДРЕНАЛИНА**

О.А. Стельмашук<sup>1</sup>, В.В. Шуплецов<sup>2</sup>, Е.А. Жеребцов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория клеточной физиологии и патологии,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел

<sup>2</sup> Научно-технологический центр биомедицинской фотоники,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел

<sup>3</sup> Optoelectronics and Measurement Techniques Unit,

University of Oulu, Oulu, Finland

*В работе показаны результаты исследования изменений параметров флуоресценции (интенсивности и времени жизни) кожи человека в ответ на ионофорез адреналина, полученные in vivo методом время-коррелированного счета одиночных фотонов.*

**Ключевые слова:** флуоресценция кожи, время жизни флуоресценции, электрофорез.