

УДК 615.471, 681.784.8

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ

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

Научные руководители – к.т.н., доцент Потапова Е.В.

(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл)

к.т.н., доцент Дремин В.В. (ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл; College of Engineering and Physical Sciences, Aston University, Birmingham)

В работе представлены исследования, осуществленные на специально разработанных фантомах, по теме возможности получения данных методами флуоресцентной, гиперспектральной и лазерной спекл-контрастной визуализации при проведении экспериментов с лапароскопической системой. Также описаны полученные результаты и предложения по дальнейшему развитию проводимых исследований в рамках данной темы.

Введение. В связи с широким внедрением органосохраняющих операций во всем мире в настоящий момент проводится все больше лапароскопических вмешательств в области хирургии. Это обусловлено тем, что данный метод хирургического доступа имеет важные преимущества по сравнению с традиционным (лапаротомным), среди которых выделяют малую инвазивность и сокращение времени послеоперационной реабилитации. Но несмотря на достоинства лапароскопической хирургии, все еще остается актуальной проблема своевременной диагностики и лечения некоторых острых хирургических заболеваний внутренних органов, в частности локализованных в брюшной полости. Процессы, протекающие при данных состояниях, зачастую вызывают сильное нарушение мезентериального кровообращения и метаболизма в тканях, что приводит к дисфункции органов за счет их ишемических поражений, и вследствие этого к высокому проценту смертности пациентов. Стандартными методами лапароскопии решить данную проблему не представляется возможным, так как среди недостатков этого вида диагностики и лечения присутствует субъективность интраоперационной оценки состояния тканей, потому как она проводится на основании визуального обследования.

Основная часть. В работе рассматривается использование таких оптических методов, как флуоресцентная (ФВ), гиперспектральная (ГВ) и лазерная спекл-контрастная (ЛСКВ) визуализация, на основании которых в дальнейшем представляется возможным создание объективных инструментальных критериев для определения жизнеспособности ишемизированных тканей. Целью работы явилась регистрация и обработка получаемых данных для каждого метода, а также исследование осуществимости совмещения систем оптической диагностики с лапароскопическим оборудованием.

Для каналов ФВ и ГВ были выбраны светодиодный источник M450LP1 (Thorlabs, США) с длиной волны 450 нм и эндоскопический ксеноновый осветитель OSV-01 (ELEPS, Россия) соответственно. Для каналов ФВ и ГВ для регистрации сигналов 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. Для канала ЛСКВ использовался 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).

Каждому из методов исследования соответствовал свой фантом. Для канала ФВ был изготовлен оригинальный составной фантом на полиакриламидной основе, содержащий четыре области с различными концентрациями (0, 5, 10 и 15 мкМ) флуоресцирующего кофермента флавинадениндинуклеотида (ФАД). Для испытания канала ГВ исследовался капилляр, заполненный 20 мл раствора интралипида, воспроизводящего рассеивающие свойства, и 20, 25 и 30 мкл фуксина в качестве поглотителя. Капилляр исследовался как отдельно, так и с покрытием ФАД-содержащим фантомом (5 мкМ). В свою очередь для канала ЛСКВ была собрана система из двух стеклянных капилляров, по одному из которых с помощью электронасоса со скоростью 0,5, 1, 1,5 и 2 мм/с прокачивался 8% водный раствор 20% интралипида, в то время как другой капилляр был просто заполнен данным раствором. Скорость перемещения жидкости во втором капилляре была равна нулю.

При исследовании методом ФВ была произведена регистрация флуоресценции с разрешением по длине волны, то есть получение из данных гиперкуба. Максимальные значения интенсивности составили 6,94 отн.ед., 5,24 отн.ед., 4,30 отн.ед. и 1,24 отн.ед. для 15 мкМ, 10 мкМ, 5 мкМ и 0 мкМ ФАД соответственно.

При помощи канала ГВ в диапазоне от 400 до 700 нм были зарегистрированы гиперспектральные изображения фантома-капилляра. Полученный спектр имел форму, характерную для жидкости, содержащей поглотитель фуксин. Амплитуда спектра варьировалась в зависимости от концентрации поглотителя в растворе. Если рассматривать опыт с капилляром, покрытым фантомом с ФАД, то максимальные значения интенсивности составили 0,64 отн.ед., 0,74 отн.ед. и 0,89 отн.ед. для концентраций фуксина 20 мкл, 25 мкл и 30 мкл соответственно.

Для анализа данных, полученных методом ЛСКВ, был применен пространственный алгоритм обработки десятисекундных последовательностей. В среде MatLab с помощью разработанного кода вычислялось значение спекл-контраста K для каждого изображения. Расчеты производились в области 40×40 пикселей в центральной части каждого из капилляров. 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) продемонстрировал критерий Манна-Уитни.

Выводы. В заключение следует отметить, что полученные данные отражают возможность регистрации предложенными методами различий в концентрации фуксина и ФАД в фантомах, а также в скорости движения жидкости по капиллярам. Совмещение систем оптической диагностики с лапароскопическим оборудованием в будущем выглядит многообещающе, однако в настоящем требует дальнейших технических доработок. Также имеет смысл поиск и разработка более совершенных фантомов и развитие методологии проведения подобных экспериментов.

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

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Голубова Н.В. (автор) | Подпись |
| Потапова Е.В. (научный руководитель) | Подпись |
| Дремин В.В. (научный руководитель) | Подпись |