

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ МИНИИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ

Н.В. Голубова¹, Н.И. Поленов², К.А. Закураева², Е.В. Потапова¹,
В.В. Дремин^{1,3}, М.И. Ярмолинская², А.В. Дунаев¹, И.Ю. Коган²

¹*Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95*

²*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и репродуктологии имени Д.О. Отта»
199034, г. Санкт-Петербург, Менделеевская линия, 3*

³*College of Engineering and Physical Sciences, Aston University
B4 7ET, Aston Triangle, Birmingham, United Kingdom
e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru*

В работе описан мультимодальный подход к оптической диагностике в задачах миниинвазивной хирургии. Описана технология совмещения методов лазерной спекл-контрастной, флуоресцентной и гиперспектральной визуализации со стандартным жестким лапароскопическим инструментом малого диаметра. Показаны результаты апробации мультимодальной лапароскопической визуализации на фантомах и биологической ткани. Также представлены результаты применения методов флуоресцентной спектроскопии и лазерной доплеровской флоуметрии в клинической практике врача акушера-гинеколога.

Ключевые слова: миниинвазивная хирургия, лазерная спекл-контрастная визуализация, флуоресцентная визуализация, гиперспектральная визуализация, флуоресцентная спектроскопия, лазерная доплеровская флоуметрия.

При хирургическом миниинвазивном вмешательстве распространенным методом обратной связи для хирурга является использование видеоизображения операционного поля в белом свете [1]. Такая визуализация позволяет хирургу различать анатомические структуры и оценивать их наиболее значимые патологические изменения. Однако в некоторых случаях особенности передачи и отображения данных затрудняют зрительное восприятие и адекватную оценку состояния оперируемых тканей [2,3].

Одним из способов решения данной проблемы является использование методов оптической спектроскопии и визуализации во время проведения оперативных вмешательств. В то время как задача получения визуальной

информации о процессах, протекающих в биоткани, все еще остается нетривиальной, а разрабатываемые системы в своём большинстве находятся на стадии доклинических исследований, методы и приборы интраоперационной мультимодальной спектроскопии на данный момент успешно внедряются в клинические исследования.

Целью данной работы является рассмотрение мультимодального подхода к оптической диагностике в миниинвазивной хирургии. В частности, представлено описание исследований и их результатов при реализации мультимодальной лапароскопической визуализации на фантомах и биологической ткани, а также мультимодальной спектроскопии в оперативной гинекологии.

Чтобы реализовать возможность визуализации интенсивности кровотока, протекающих метаболических процессов и оксигенацию тканей в исследуемой области, была разработана система регистрации изображений. Она основана на применении методов лазерной спекл-контрастной (ЛСКВ), флуоресцентной (ФВ) и гиперспектральной (ГВ) визуализации и совмещена с коммерчески доступным пятимиллиметровым жестким лапароскопом для упрощения внедрения в клиническую практику.

Исследования проводились как на специально разработанных фантомах, так и на биологических тканях верхней конечности человека с проведением окклюзионного теста.

Лазерная спекл-контрастная визуализация осуществлялась с помощью лазерного источника излучения LASER-785-LAB-ADJ (Ocean Optics, США) с длиной волны 785 нм, а спекл-картина регистрировалась монохромной камерой UI-3360CP-NIR-GL Rev 2 через ахроматическую линзу AC254-050-B-ML (Thorlabs, США). Данные для ГВ и ФВ регистрировались с помощью гиперспектральной камеры Specim IQ (Spectral Imaging Ltd., Finland). Для измерения гиперспектрального диффузного отражения фантом и биоткань освещали широкополосным осветительным прибором собственной сборки. Канал флуоресценции включал в себя светодиодный источник M450LP1 (Thorlabs, США) с длиной волны 450 нм. Фильтр возбуждения MF445-45 (Thorlabs, США) с центральной длиной волны 445 нм и фильтр FELH0500 (Thorlabs, США) на 500 нм были установлены перед источником и перед камерой соответственно.

Полученные результаты подтвердили возможность системы регистрировать изменение скорости движения жидкости в капиллярах, а также различать концентрацию присутствующих флуорофоров и хромофоров. Также при исследовании биологического объекта были получены карты кровенаполнения и оксигенации биотканей.

Одной из активно развивающихся областей хирургии, использующей миниинвазивные органосохраняющие вмешательства, является оперативная гинекология. Для интраоперационного получения дополнительной диагностической информации в проведенном исследовании были выбраны методы лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС), позволяющие оценить показатели микроциркуляции крови и интенсивность тканевых метаболических процессов [4]. Для реализации данных методов был выбран многофункциональный лазерный диагностический комплекс «ЛАКК-М» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва), который разрешен для проведения клинических исследований и выпускается серийно. В канале ЛДФ установлен лазер с длиной волны 1064 нм, в каналах ФС – лазерные светодиоды 365 нм и 450 нм. Доставка и прием излучения происходили с помощью оптического лапароскопического зонда, вводимого в полость малого таза через созданный в ходе проведения операции инструментальный канал.

Зарегистрированные данные, описывающие перфузионно-метаболические процессы в исследуемых точках внутренних органов женской репродуктивной системы, свидетельствуют о том, что методы ЛДФ и ФС достаточно чувствительны и имеют потенциал к применению в рассматриваемой области хирургии.

Таким образом, дальнейшее развитие способов внедрения мультимодальных оптических технологий в клиническую практику проведения миниинвазивных вмешательств в разных областях хирургии представляется потенциально перспективным и способным предоставить оперирующему хирургу дополнительную ценную информацию для проведения диагностики и определения тактики дальнейшего лечения.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Breedveld, P., Stassen, H.G., Meijer, D.W., Jakimowicz, J.J. Observation in laparoscopic surgery: Overview of impeding effects and supporting aids // *Journal of laparoendoscopic & advanced surgical techniques. Part A.* – 2000. – №10. – P. 231–241.
3. Dankelman, J., Wentink, M., Stassen, H.G. Human reliability and training in minimally invasive surgery // *Minimally invasive therapy & allied technologies.* – 2003. – №12. – P. 129–135.

4. Jones, D.B., Brewer, J.D., Soper, N.J. The influence of three-dimensional video systems on laparoscopic task performance // *Surgical laparoscopy & endoscopy*. – 1996. – №6. – P. 191–197.
5. Кандурова К.Ю., Дрёмин В.В., Жеребцов Е.А., Альянов А.Л., Мамошин А.В., Потапова Е.В., Дунаев А.В., Мурадян В.Ф., Сидоров В.В., Крупаткин А.И. Методы оптической биопсии и их перспективы применения для интраоперационного анализа тканевого метаболизма и микроциркуляции крови в миниинвазивной хирургии // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2018. – Т.17, №3. – С. 71–79.

MULTIMODAL SPECTROSCOPY AND IMAGING IN THE TASKS OF MINIMALLY INVASIVE SURGERY

N.V. Golubova¹, N.I. Polenov², K.A. Zakuraeva², E.V. Potapova¹, V.V. Dremin^{1,3}, M.I. Yarmolinskaya², A.V. Dunaev¹, I.Yu. Kogan²

*¹Orel State University named after I.S. Turgenev
Komsomolskaya st., 95, Orel, Russia, 302026*

*²FSBSI «The Research Institute of Obstetrics, Gynecology
and Reproductology named after D.O. Ott»
Mendeleevskaya line, 3, Saint Petersburg, Russia, 199034*

*³College of Engineering and Physical Sciences, Aston University
B4 7ET, Aston Triangle, Birmingham, United Kingdom
e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru*

The paper describes a multimodal approach to optical diagnostics in the tasks of minimally invasive surgery. The technology of combining the methods of laser speckle contrast imaging, fluorescence imaging and hyperspectral imaging with a standard rigid laparoscopic instrument of small diameter is described. The results of multimodal laparoscopic imaging system testing on phantoms and biological tissues are shown. The results of the application of the methods of fluorescence spectroscopy and laser Doppler flowmetry in the clinical practice of an obstetrician-gynecologist are also presented.

Keywords: minimally invasive surgery, laser speckle contrast imaging, fluorescence imaging, hyperspectral imaging, fluorescence spectroscopy, laser Doppler flowmetry.