

Abstract. The method of wave train electrical activity analysis was used to study neurophysiological regularities in electromyographic signals in patients with Parkinson's disease at the first stage. The parameters of different types of tremor have been investigated. A statistically significant negative correlation was found between the number of wave trains of physiological tremor and the age of patients. A statistically significant negative correlation was found between the number of wave trains of parkinsonian and physiological tremor in patients with Parkinson's disease at the first stage.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ТКАНЕЙ МАТКИ ПРИ МИОМЭКТОМИИ МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ И ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Крутикова В.Ю.^{1*}, Поленов Н.И.², Закураева К.А.², Голубова Н.В.¹,
Ярмолинская М.И.², Коган И.Ю.², Потапова Е.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», *krutikowa@bk.ru

²ФГБНУ «НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии имени Д.О. Отта»

Миома матки представляет собой наиболее распространенную доброкачественную опухоль у женщин репродуктивного возраста [1]. Частота возникновения заболевания достигает по различным данным 70 % в зависимости от изучаемой популяции и методов диагностики [2]. Для матки характерен сетевой тип строения микроциркуляторного русла, встречающийся у органов, чья работа отличается резкими колебаниями функциональной нагрузки. Маточный кровоток отличается асинхронностью, сложными вазомоторными реакциями, постоянными изменениями числа функционирующих капилляров [3]. Лейомиомы матки представляют собой разрастания гладкомышечных клеток миометрия, содержащих большое количество внеклеточного матрикса (фибронектин, коллаген, протеогликан). При своем росте миома оказывает компрессионное сдавливание на окружающую миометрий и формирует так называемую псевдокапсулу, состоящую из уплотненной ареолярной ткани и гладкомышечных клеток и имеющую меньшую плотность кровеносных и лимфатических сосудов [4,5].

Лапароскопическая миомэктомия является методом выбора хирургического лечения при симптоматической миоме матки. Минимально инвазивные методы миомэктомии основаны на сохранении целостности миометрия. Послеоперационная васкуляризация миометрия имеет решающее значение для регенерации поврежденных мышц. Предполагается, что важную роль в этом процессе играет псевдокапсула миомы. Так, повреждение псевдокапсулы во время проведения миомэктомии может привести к уменьшению количества нейропептидов и нейроволокон, следовательно, к плохому физиологическому заживлению миометрия с усилением фиброза из-за гипоксии и ишемии. В настоящее время идет активный поиск путей повышения качества оценки функционального состояния псевдокапсулы и окружающей мышечной ткани при лапароскопии для решения вопроса о целесообразности сохранения псевдокапсулы и предупреждения развития рецидивов в послеоперационном периоде. Применение оптических технологий, которые в настоящее время успешно внедряются в минимально инвазивную хирургию [6–8], является одним из путей решения этой задачи. Метод флуоресцентной спектроскопии (ФС) основан на явлении возбуждения флуоресценции в биологических тканях под действием света ультрафиолетового или видимого диапазона с последующей регистрацией спектрометром испускаемого излучения, прошедшего через соответствующие светофильтры. ФС широко используется для оценки состояния биологических тканей в медицине, в том числе в гинекологической практике [9,10]. Суммарное излучение содержит много информации, имеющей диагностическое значение, поскольку представляет собой сумму вкладов автофлуоресценции флуорофоров. Изменения, происходящие в состоянии клеток и тканей во время физиологических или патологических процессов, приводят к модификации количества и распределения эндогенных флуорофоров и химико-физических свойств их микроокружения. Наиболее выражено собственно флуоресцирующими веществами в биологических системах являются NADH, флавины, коллаген и эластин, порфирин и др. [11].

Метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) основан на измерении доплеровской компоненты в спектре отраженного лазерного сигнала, рассеянного на движущихся эритроцитах. Данная технология является относительно неинвазивной, позволяющей проводить динамическую количественную оценку перфузии в микрососудистом русле органов. В гинекологической практике ЛДФ признается высокочувствительным методом измерения локализованной перфузии эндометрия [12–14]. Широкие диагностические возможности дает применение математического аппарата вейвлет-преобразования для анализа сигналов ЛДФ. Такой подход позволяет оценивать изолированно вклад каждого звена микрососудистого русла, принимающего участие в модуляции кровотока при различных физиологических и патологических процессах. В настоящее время выделяют 5 диапазонов колебаний кровотока, учитывающих влияние различных механизмов регуляции, а именно: эндотелиальные (0,0095-0,02 Гц), отражающие NO-зависимые влияния; нейрогенные (0,021-0,046 Гц),

отражающие влияние нейрогенной симпатической вазомоторной активности; общие миогенные (0,047-0,145 Гц), связанные с активностью гладкомышечных клеток сосудов; дыхательные (0,2-0,4 Гц) и пульсовые (0,8-1,6 Гц), отражающие влияние дыхания и сердечных сокращений соответственно [15].

Целью данной работы является оценка возможности мультимодального подхода в гинекологической практике за счёт интеграции методов ФС и ЛДФ в стандартную лапароскопическую процедуру миоэктомии для изучения особенностей микроциркуляторных процессов в тканях матки.

Измерения проводились с помощью специально адаптированной под данную задачу волоконно-оптической системы (рисунок 1), реализующей метод ФС и ЛДФ, включающей в себя диагностический комплекс «ЛАКК-М» и лапароскопический оптоволоконный зонд (основные блоки установки спроектированы совместно с ООО НПП «ЛАЗМА»). Для регистрации оптических сигналов лапароскопический оптоволоконный зонд вводился в полость малого таза через инструментальный канал. Зонд имеет жесткую часть диаметром 3 мм, что обеспечивает удобный контроль и хорошую фиксацию в исследуемой точке. Для частотного анализа зарегистрированных сигналов ЛДФ применялась программа LDF 3.2.0.441 (ООО НПП «ЛАЗМА»), которая реализует непрерывное вейвлет-преобразование с использованием в качестве анализирующего вейвлета комплексный вейвлет Морле.

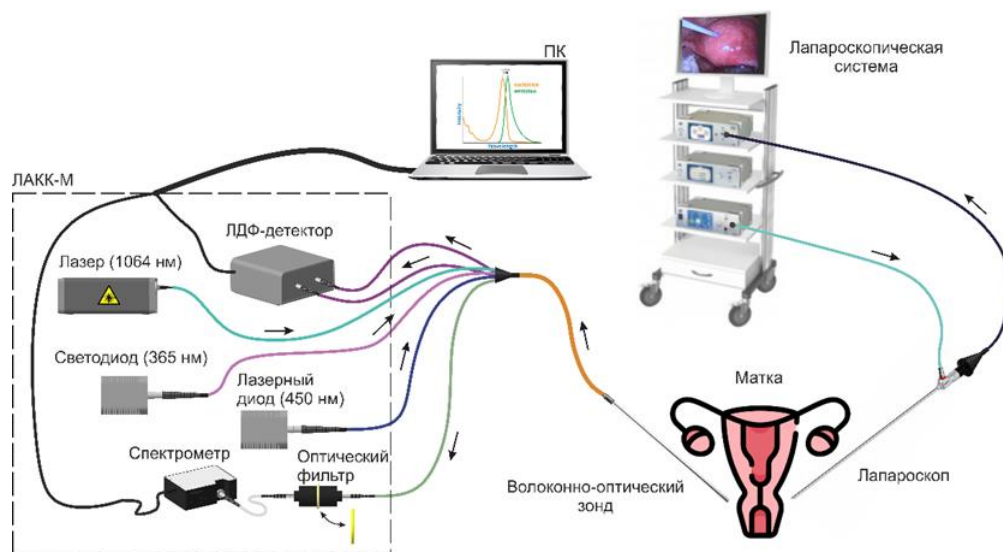


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования особенностей микроциркуляторных процессов в тканях матки

В пилотных экспериментальных исследованиях, которые проводились на базе ФГБНУ «Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д. О. Отта», приняли участие семь пациенток. Исследования проводились как дополнительная диагностическая процедура в рамках планового оперативного вмешательства и были одобрены этическим комитетом НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта (протокол заседания № 110 от 10 июня 2021 г.). Участники подписывали информированное согласие с указанием их добровольной готовности к участию в исследовании. Сигналы ЛДФ и ФС регистрировались в тканях эндометрия, миометрия, миоматозного узла и псевдокапсулы. Точка исследования выбиралась для каждой женщины исходя из удобства выполнения основной гинекологической операции.

Время записи сигналов ЛДФ составляло не менее 1 мин для возможности дальнейшего выбора записей длительностью 60 с без артефактов движения. В ходе экспериментальных исследований производили анализ показателя микроциркуляции крови (ПМ). Из-за ограниченной длительности записей сигналов ЛДФ усредненную по времени амплитуду осцилляций кровотока оценивали по максимальным значениям в трех частотных диапазонах – миогенном (Ам), дыхательном (Ад) и сердечном (Ас).

В канале ФС производилась последовательная регистрация спектров флуоресценции, возбужденной на длинах волн 365 и 450 нм. Анализируемыми параметрами были максимальные амплитуды флуоресценции, нормированные на интенсивность обратно отраженного излучения возбуждения соответственно (I_{365} и I_{450}).

Результаты полученных данных приведены в таблице 1. Обработка полученных данных показала, что перфузия в тканях миометрия и эндометрия является варибельным параметром ($8,7 \pm 2,5$ пф.ед. и $7,8 \pm 3,1$ пф.ед. соответственно). Высокое значение микроциркуляции крови в данных тканях, а также амплитуды миогенных и сердечных осцилляций, подтверждают мнение о том, что характерной особенностью кровообращения матки является вазомоторный характер движения крови по микрососудам [3]. При этом прерывистое движение крови в капиллярах матки обусловлено, прежде всего, изменениями тонуса прекапиллярных сфинктеров [16].

Таблица 1 - Результаты расчета показателей гемодинамики и интенсивностей флуоресценции тканей матки

Параметр	ПМ, пф.ед.	Ам, пф.ед.	Ад, пф.ед.	Ас, пф.ед.	I ₃₆₅ , отн.ед.	I ₄₅₀ , отн.ед.
Миометрий	8,7±2,5	1,2±0,9	1,3±0,8	1,3±0,9	0,3±0,1	0,4±0,2
Эндометрий	7,8±3,1	0,7±0,5	0,4±0,3	0,6±0,4	0,4±0,3	0,2±0,1
Псевдокапсула	5,4±1,3	0,6±0,2	0,6±0,2	0,6±0,2	0,3±0,1	0,2±0,1
Миоматозный узел	8,5±2,6	1,1±0,6	1,1±0,5	0,9±0,3	0,6±0,4	-

Обработка полученных данных показала, что перфузия в тканях миометрия и эндометрия является вариабельным параметром ($8,7 \pm 2,5$ пф.ед. и $7,8 \pm 3,1$ пф.ед. соответственно). Высокое значение микроциркуляции крови в данных тканях, а также амплитуды миогенных и сердечных осцилляций подтверждает мнение о том, что характерной особенностью кровообращения матки является вазомоторный характер движения крови по микрососудам [3]. При этом прерывистое движение крови в капиллярах матки обусловлено, прежде всего, изменениями тонуса прекапиллярных сфинктеров [16].

Зарегистрированная средняя перфузия в псевдокапсуле была значительно ниже и имела статистически значимые различия с перфузией миоматозного узла ($5,4 \pm 1,3$ пф.ед. и $8,5 \pm 2,6$ пф.ед.). Мнения о количестве микрососудов в псевдокапсуле различаются. Есть данные о том, что эта структура богата кровеносными сосудами [4], по другим источникам эта анатомическая структура содержит очень мало кровеносных и лимфатических сосудов [5]. Результаты данного пилотного исследования указывают на снижение уровня микроциркуляции крови в псевдокапсуле относительно миоматозного узла и миометрия. Важно отметить, что такое наблюдение может быть связано не только с меньшим количеством кровеносных сосудов, но и со сложной сосудистой архитектурой псевдокапсулы, что может вызывать застойное кровенаполнение.

Интересной гистопатологической особенностью миоматозных узлов является различие в их сосудистой сети по сравнению с прилежащим миометрием. Ранее было показано, что миомы имеют меньшую площадь сосудов и плотность микрососудов, чем прилежащий миометрий [17–19]. При этом долгое время считалось, что солидным опухолям требуется повышенная плотность микрососудов, чтобы поддерживать рост опухолевой массы. В данном исследовании не обнаружено различий между уровнем микроциркуляции крови миоматозных узлов и прилежащего миометрия. Возможно, это объясняется тем, что миомы могут вести себя по-разному, поскольку это доброкачественные опухоли.

При анализе данных ФС стоит отметить важное наблюдение – значительное повышение сигнала флуоресценции на длине волны возбуждения 365 нм в миоматозном узле ($0,6 \pm 0,4$ отн.ед.) относительно этих же значений в псевдокапсуле. Это можно объяснить тем, что большой вклад в сигнал ФС вносит коллаген. Миоматозные узлы состоят в основном из богатых коллагеном масс пролиферирующих гладкомышечных клеток, отграниченных от миометрия псевдокапсулой, при этом в большинстве случаев они содержат на 50% больше коллагена, чем нормальный миометрий [20].

В последние годы лапароскопическая миомэктомия активно развивается как альтернатива лапаротомии с многочисленными преимуществами, включая более короткое время госпитализации, меньшую потребность в анестезии, снижение интраоперационной кровопотери и благоприятный исход при последующей беременности. Интракапсулярная миомэктомия улучшает целостность миометрия периферического участка миомы, сохраняя сосудисто-нервный пучок и нейротрансмиттеры, окружающие миому, для заживления матки и восстановления миометрия после операции. Расширение знаний о микроциркуляции крови тканей матки может сыграть важную роль в понимании роли псевдокапсулы как отдельной анатомо-хирургической структуры, происхождения и рецидивов лейомиомы матки, что позволит в дальнейшем подбирать оптимальное лечение.

Таким образом, проведенные пилотные экспериментальные исследования подтверждают возможность мультимодальных оптических исследований методами ФС и ЛДФ в качестве дополнительной диагностики при выполнении миомэктомии. Внедрение предложенных методов в гинекологическую хирургию представляется перспективным, так как расширение возможностей стандартной лапароскопии с помощью технологий оптической диагностики может позволить хирургу получить дополнительную диагностическую информацию о перфузионно-метаболических характеристиках тканей матки.

Библиографический список

1. Абрамова, С.В. Клинико-эпидемиологические аспекты миомы матки (обзор литературы) / С.В. Абрамова, И.Н. Миронова, О.Ю. Курганова, Т.Ю. Богомолова, А.А. Каримова // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4. – №. 4. – С. 69-74.
2. Stewart, E.A. Epidemiology of uterine fibroids: a systematic review / E.A. Stewart, C.L. Cookson, R.A. Gandolfo, R. Schulze-Rath // BJOG: an International Journal of Obstetrics & Gynaecology. – 2017. – Vol. 124. – № 10. – P. 1501-1512.
3. Храмова, И.А. Структурная организация кровеносной системы матки / И.А. Храмова, В.М. Черток, А.Е. Коцюба, А.Г. Черток // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2018. – Т. 73. – №. 3. – С. 13-23.
4. Tinelli A., Malvasi A. (ed.). Uterine myoma, myomectomy and minimally invasive treatments. – Springer International Publishing, 2015. – 281 p.

5. Zikopoulos, A. Faster healing process by sparing intramural myoma's pseudocapsule during laparoscopic myomectomy compared with removing it during open myomectomy / A. Zikopoulos, Y. Prapas, M. Paraskevaidi, C. Siristatidis, A. Galani, O. Tsonis, M. Paschopoulos, K. Zikopoulos, E. Kolibianakis // *International Journal of Clinical Medicine*. – 2021. – Vol. 12. – № 10. – P. 424-432.
6. Kandurova, K. Fiber-Optic System for Intraoperative Study of Abdominal Organs during Minimally Invasive Surgical Interventions / K. Kandurova, V. Dremin, E. Zherebtsov, E. Potapova, A. Alyanov, A. Mamoshin, Y. Ivanov, A. Borsukov, A. Dunaev // *Applied Sciences*. – 2019. – Vol. 9 – № 2. – P. 217.
7. Zherebtsov, E. Machine learning aided photonic diagnostic system for minimally invasive optically guided surgery in the hepatoduodenal area / E. Zherebtsov, M. Zajnulina, K. Kandurova, E. Potapova, V. Dremin, A. Mamoshin, S. Sokolovski, A. Dunaev, E.U. Rafailov // *Diagnostics*. – 2020. – Vol.10. – №. 11. – P. 873.
8. Кандурова, К.Ю. Методы оптической биопсии и их перспективы применения для интраоперационного анализа тканевого метаболизма и микроциркуляции крови в мини-инвазивной хирургии / К.Ю. Кандурова, В.В. Дрёмин, Е.А. Жеребцов, А.Л. Альянов, А.В. Мамошин, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, В.Ф. Мурадян, В.В. Сидоров, А. И. Крупаткин // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2018. – Т. 17. – №. 3. – С. 71-79.
9. Ramanujam, N. Development of a multivariate statistical algorithm to analyze human cervical tissue fluorescence spectra acquired in vivo / N. Ramanujam, M.F. Mitchell, A. Mahadevan, S. Thomsen, A. Malpica, T. Wright, N. Atkinson, R. Richards-Kortum // *Lasers in Surgery and Medicine*. – 1996. – Vol. 19. – №. 1. – P. 46-62.
10. Lucovnik, M. Assessment of parturition with cervical light-induced fluorescence and uterine electromyography / M. Lucovnik, R.J. Kuon, R.E. Garfield // *Computational and mathematical methods in medicine*. – 2013. – Vol. 2013.
11. Жеребцов, Е.А. Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях in vivo: монография / Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. – 107 с.
12. Hickey, M. Long-term progestin-only contraceptives result in reduced endometrial blood flow and oxidative stress / M. Hickey, G. Krikun, P. Kodaman, F. Schatz, C. Carati, C.J. Lockwood // *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. – 2006. – Vol. 91. – №. 9. – P. 3633-3638.
13. Bungum, L. Laser Doppler flowmetry of human endometrial microvasculature: A preliminary communication / L. Bungum, S. Kullander, J.M. Maltau // *Acta obstetrica et gynecologica Scandinavica*. – 1996. – Vol. 75. – №. 2. – P. 178-181.
14. Дамиров, М.М. Применение лазерной доплеровской флоуметрии для оценки состояния микроциркуляции у больных с гиперпластическими процессами эндометрия / М.М. Дамиров, З.З. Муртузалиева, Т.Н. Полетова, К.В. Бабков, Л.Г. Созаева, Т.К. Гогичаев // *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии*. – 2006. – Т. 5. – №. 5. – С. 40-44.
15. Stefanovska, A. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique / A. Stefanovska, M. Bracic, H.D. Kvernmo // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. – 1999. – Vol. 46. – №. 10. – P. 1230-1239.
16. Kardon, R.H. Intraarterial cushions of the rat uterine artery: a scanning electron microscope evaluation utilizing vascular casts / R.H. Kardon, D.B. Farley, P.M. Heidger Jr., D.E. Van Orden // *The Anatomical Record*. – 1982. – Vol. 203. – №. 1. – P. 19-29.
17. Casey, R. An immunohistochemical analysis of fibroid vasculature / R. Casey, P.A.W Rogers, B.J. Vollenhoven // *Human reproduction*. – 2000. – Vol. 15. – №. 7. – P. 1469-1475.
18. Poncelet, C. Expression of von Willebrand's factor, CD34, CD31, and vascular endothelial growth factor in uterine leiomyomas / C. Poncelet, P. Madelenat, G. Feldmann, F. Walker, E. Darai // *Fertility and sterility*. – 2002. – Vol. 78. – №. 3. – P. 581-586.
19. Weston, G. Fibroids display an anti-angiogenic gene expression profile when compared with adjacent myometrium / G. Weston, A.C. Trajstman, C.E. Gargett, U. Manuelpillai, B.J. Vollenhoven, P.A. Rogers // *Molecular human reproduction*. – 2003. – Vol. 9. – №. 9. – P. 541-549.
20. Aleksandrovych, V. Uterine fibroid: common features of widespread tumor / V. Aleksandrovych, T. Bereza, M. Sajewicz, J. Walocha, K. Gil // *Folia Medica Cracoviensia*. – 2015. – Vol. 55. – №. 1. – P. 61-75.

STUDY OF THE FEATURES OF MICROCIRCULATION OF UTERINE TISSUES DURING MYOMECTOMY USING LASER DOPPLER FLOWMETRY AND FLUORESCENCE SPECTROSCOPY

Krutikova V. Yu.^{1*}, Polenov N.I.², Zakuraeva K.A.², Golubova N.V.¹,
Yarmolinskaya M.I.², Kogan I.Yu.², Potapova E.V.¹

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev *krutikowa@bk.ru

²FSBSI «The Research Institute of Obstetrics,
Gynecology and Reproductology named after D.O. Ott»

Annotation. The article describes the results of pilot experimental studies of blood microcirculation in uterine tissues using a multimodal optical system specially designed for laparoscopic diagnostic tasks. The system

allows recording signals from laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy through a laparoscopic fiber optic probe. The studies were carried out as an additional diagnostic procedure as part of a planned surgical intervention. The signals were recorded from the tissues of the endometrium, myometrium, myomatous node and pseudocapsule. A statistically significant decrease in perfusion in the pseudocapsule was revealed, which can be explained by the complexity of the microvascular architecture of this structure. An increase in fluorescence at an excitation wavelength of 365 nm was also registered in the myomatous node, which may be due to an increased collagen content in this structure. The proposed multimodal approach seems promising for further development, testing and implementation in clinical gynecological practice.

ТОНКОИГОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ БИОПСИЯ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧРЕСКОЖНОЙ ПУНКЦИОННОЙ БИОПСИИ ПЕЧЕНИ

Потапова Е.В.^{1*}, Жеребцов Е.А.^{1,2}, Шуплецов В.В.¹, Кандурова К.Ю.¹,
Дрёмин В.В.^{1,3}, Мамошин А.В.^{1,4}, Дунаев А.В.¹

¹ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», *potapova_ev_ogu@mail.com

² Optoelectronics and Measurement Techniques, University of Oulu, Oulu, Finland

³ College of Engineering and Physical Sciences, Aston University, Birmingham, UK

⁴БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница»

Злокачественное поражение печени занимает третье место среди ведущих причин смерти от рака в мире [1]. Рак печени характеризуется быстрым прогрессированием. Поэтому проблемы своевременной диагностики и дальнейшего лечения не теряют актуальности. Несмотря на высокий уровень летальности в более поздних стадиях онкопроцесса, уровень излечения может быть достаточно высоким, если патологические изменения выявлены на раннем этапе развития заболевания [2].

В настоящее время золотым стандартом для окончательной верификации злокачественного процесса является гистологическое и цитологическое исследования. Одними из самых безопасных минимально инвазивных вмешательств для получения образца ткани являются методы чрескожной пункционной биопсии (ЧПБ). Ошибки в получении информативного образца ткани обусловлены проблемами визуализации кончика пункционной иглы, физиологическим перемещением органов и произвольными движениями пациента во время проведения оперативного вмешательства, приводящими к смещению пункционной иглы из области интереса, определенной оператором при УЗИ для взятия материала. Неинформативность гистологического исследования биоптата обусловлена взятием материала на границе опухолевого очага, участков некроза, фиброзной ткани капсулы, жировой клетчатки, кровяных сгустков [3]. Таким образом, разработка новых методов повышения диагностической эффективности стандартной процедуры ЧПБ печени остается вопросом первостепенной важности с точки зрения своевременной диагностики и лечения рака печени. Оптические технологии открывают исключительные возможности для разработки технологии выбора правильных областей забора биоптата, так как обладают высокой чувствительностью к изменениям в молекулярной и морфологической структуре биологических тканей. Современные технологии позволяют объединять флуоресцентные измерения со стандартными инструментами для минимально инвазивной хирургии [4,5]. Кроме того, эти методы возможно реализовать в формате тонкоигольного зонда [6,7], что позволит предоставлять информацию о состоянии ткани в режиме реального времени во время проведения стандартной процедуры ЧПБ.

Одним из методов оптической биопсии, широко используемым для мониторинга клеточного и тканевого метаболизма, является метод флуоресцентной спектроскопии (ФС). Применение ФС в онкологии основано на изучении различий характеристик излучения флуоресценции здоровых и злокачественных тканей под действием лазерного излучения в УФ или видимом диапазоне спектра [8]. Известно, что NAD(P)H и FAD⁺⁺ являются важными участниками энергетического метаболизма клеток, и, следовательно, могут служить в качестве биомаркеров для изучения различий между нормальными и опухолевыми тканями [9]. Стоит отметить, что технология стандартной ФС не позволяет различать формы NADH и NADPH, которые имеют сходные спектры, но играют разные роли в клетках. NADH в основном необходим для производства энергии, в то время как NADPH участвует в антиоксидантной защите [10]. Указанные эндогенные флуорофоры связываются с белками различными способами и могут быть обнаружены с использованием ФС с временным разрешением. Ранее было доказано, что измерение времени жизни флуоресценции является эффективным методом изучения биологических тканей и обнаружения сдвига в энергообеспечении от митохондриального окислительного фосфорилирования к аэробному гликолизу, который происходит в раковых клетках [11].

Другой метод, известный как спектроскопия диффузного отражения (СДО), дает информацию о поглощающих и рассеивающих свойствах тканей, которые связаны с их составом и морфологической структурой. Количественный анализ отраженного света выявляет специфические биохимические и функциональные особенности биологических тканей, которые могут быть полезны для верификации