

©КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024

С. В. Попов^{1,2}, Р. Г. Гусейнов¹⁻³, Е. В. Потапова⁴, К. В. Сивак^{1,5}, В. В. Дрёмин⁴,
В. В. Перепелица^{1,2}, Т. А. Лелявина^{1,6}, А. В. Дунаев⁴

СОВРЕМЕННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ НЕИНВАЗИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ УРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ЧАСТЬ I

¹ СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки», Санкт-Петербург, Россия; ² ЧОУВО «Санкт-Петербургский медико-социальный институт», Санкт-Петербург, Россия; ³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия; ⁴ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева», Орел, Россия; ⁵ ФГБУ «Научно-исследовательский институт гриппа им. А. А. Смородинцева», Санкт-Петербург, Россия; ⁶ ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Автор для связи: Т. А. Лелявина – д.м.н., ведущий научный сотрудник НИО микроциркуляции и метаболизма миокарда Института экспериментальной медицины ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России; научный сотрудник научного отдела СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки», Санкт-Петербург, Россия; e-mail: tatianalelyavina@mail.ru

Эффекты взаимодействия оптического излучения и биологических тканей лежат в основе различных технологий оптической диагностики – лазерной доплеровской флоуметрии, спектроскопии диффузного отражения, флуоресцентной спектроскопии, фотодинамической диагностики (флуоресцентной цистоскопии), конфокальной микроскопии, оптической когерентной томографии и др. Результативность применения данных технологий является предметом изучения в разных областях медицины – дерматологии и офтальмологии, анестезиологии и кардиохирургии, при диагностике злокачественных новообразований и др.

В первой части нашего обзора были рассмотрены и систематизированы имеющиеся данные о целесообразности использования в качестве диагностического инструмента лазерной доплеровской флоуметрии и спектроскопии диффузного отражения в урологической практике.

К л ю ч е в ы е с л о в а: урология, оптическая диагностика, лазерная доплеровская флоуметрия, спектроскопия диффузного отражения

Авторы заявляют об отсутствии конфликтных интересов. Для цитирования: Попов С.В., Гусейнов Р.Г., Потапова Е.В., Сивак К.В., Дрёмин В.В., Перепелица В.В., Лелявина Т.А., Дунаев А.В. Современные оптические неинвазивные технологии в диагностике урологических заболеваний. Обзор литературы. Часть I. Урология. 2024;5:109-115. Doi: <https://dx.doi.org/10.18565/urology.2024.5.109-115>

Постоянный поиск новых и усовершенствование уже имеющихся диагностических технологий являются одним из важнейших условий повышения качества медицинской помощи [1]. При этом особой ценностью отличаются такие методы диагностики, которые сочетают, с одной стороны, высокую информативность, чувствительность и специфичность, с другой, быстроту, динамичность и возможность практически немедленного получения результатов в режиме реального времени, с третьей, минимальную инвазивность или в идеале полное отсутствие таковой. С этих позиций весьма перспективными представляются оптические методы выявления повреждений внутренней среды на органном, тканевом, клеточном и молекулярном уровнях [2].

Все методы оптической диагностики базируются на эффектах взаимодействия оптического излучения и биологических тканей. Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, диапазон длин которых ограничен с одной стороны ультрафиолетовой (УФ) частью спектра, с другой – инфракрасной (ИК). Как показано на рис. 1, длина волн непосредственно оптического диапазона (видимой части спектра) составляет 0,40–0,76 мкм,

УФ-диапазона – 0,18–0,40 мкм, ИК-диапазона – 0,76–2000 мкм [3].

После поглощения оптического излучения одна часть световой энергии преобразуется в тепловую, другая расходуется на фотохимические реакции, третья поглощается хромофорами с дальнейшим испусканием кванта света с

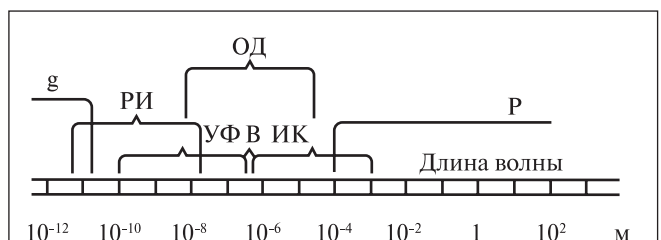


Рис. 1. Спектр электромагнитных излучений:
g – γ -излучение; РИ – рентгеновское излучение;
ОД – оптический диапазон; УФ – ультрафиолетовое излучение; В – видимое излучение;
ИК – инфракрасное излучение; Р – радиоволны
(цит. по В.А. Голенищеву-Кутузову и соавт., 2013) [3]

большой длиной волны. Данный феномен получил название «люминесценции», две ее разновидности – «флуоресценция» и «фосфоресценция» – различаются длительностью свечения и энергией излучаемых фотонов.

Оптические характеристики биологических тканей определяют те или иные хромофоры – ненасыщенные атомарные группы в составе молекулы, способные поглощать свет с определенной длиной волны и за счет этого обеспечивать цвет соединения. К хромофорам относятся, например, меланин, гемоглобин, билирубин и др. [4, 5].

Хромофоры со способностью к флуоресценции – флуорофоры – в различных тканях имеют разные спектральные области поглощения и флуоресценции, различные квантовые выходы флуоресценции, различные времена затухания флуоресценции. Атомарные группировки со свойствами флуорофоров присутствуют в составе гемоглобина и оксигемоглобина, коллагена и эластина, меланина, триптофана и триптофан-содержащих белков, пиридоксина, липоферментов, флавинов, порфиринов, окисленных и восстановленных форм внутриклеточных никотинамидных коферментов НАДН (никотинамидадениндинуклеотид) и НАДФН (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) и др. [6–10].

В настоящее время среди различных диагностических оптических технологий внимание исследователей прежде всего привлекают такие методы диагностики, как лазерная доплеровская флоуметрия, спектроскопия диффузного отражения, флуоресцентная спектроскопия, фотодинамическая диагностика, конфокальная микроскопия, оптическая когерентная томография [11–13].

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) представляет собой современный неинвазивный оптический метод изучения особенностей движения крови по сосудам микроциркуляторного русла (сосуды с диаметром от 2 до 200 мкм), выявления нарушений микроциркуляции крови (артериальная и венозная гиперемия, ишемия, стаз), анализа состояния механизмов регуляции тонуса микрососудов (нейрогенного, миогенного, эндотелиального, дыхательного, сердечного) [14].

Клиническая значимость метода ЛДФ обусловлена тем, что все нарушения регионарного кровотока и микроциркуляции как типовые патологические процессы являются фрагментом патогенеза чрезвычайно множества заболеваний и/или их осложнений, в т.ч. урологического профиля, например, таких, как доброкачественная гиперплазия предстательной железы, гиперактивный мочевого пузыря, посттравматические стриктуры уретры [15].

В основе метода ЛДФ лежит эффект Доплера, суть которого заключается в изменении частоты и, соответственно, длины волны колебаний, воспринимаемых наблюдателем (преемником) при движении источника колебаний и наблюдателем относительно друг друга [16]. Эффект Доплера возникает при отражении зондирующего лазерного луча от подвижных биологических структур – циркулирующих в крови эритроцитов. Разность между частотами зондирующего и отраженного лучей получила название доплеровского сдвига частоты. Доплеровский сдвиг частоты является количественной величиной (обозначается символом Δf) и, как видно из уравнения $\Delta f = 2nV/\lambda$, прямо пропорционален скорости движения эритроцитов (V) и показателю преломления зондирующего излучения (n), обратно пропорционален длине волны зондирующего излучения (λ) [17].

Состояние микроциркуляции крови оценивают по показателю микроциркуляции (ПМ), характеризующему изме-

нение потока крови в единицу времени в зондируемом объеме биологической ткани и равному произведению численности эритроцитов ($N_{\text{эп}}$) и их линейной средней скорости ($V_{\text{ср}}$) в изучаемом фрагменте ($\text{ПМ} = K \cdot N_{\text{эп}} \cdot V_{\text{ср}}$, K – приборный коэффициент); величинам среднеквадратического отклонения σ и коэффициента вариации K_v . Единицами измерения ПМ и σ являются перфузионные (относительные) единицы (пф.ЕД). Кроме того, метод ЛДФ позволяет определять количественно показатели шунтирования, нутритивного кровотока, эндотелиального, нейрогенного и миогенного тонусов [18].

Одно из первых сообщений о применении метода ЛДФ в научных исследованиях и в клинической урологической практике было опубликовано в 1986 г. Н. О. Beisland и соавт. [19]. В работе сравнивалось состояние микроциркуляции крови в эритематозной зоне, окружающей некроз при коагуляции опухолей мочевого пузыря (МП) с применением диатермии и неодимового YAG-лазера. Показано, что воздействие неодимового YAG-лазера обеспечивает гомогенную коагуляцию опухолевой ткани и мгновенное стаивание крови во всей области, окружающей некроз, тогда как в случаях с использованием диатермии остановка кровотока в микрососудах была неполной и неоднородной.

В последующие годы метод ЛДФ был успешно использован М. Albert и соавт. (2004) для изучения в эксперименте влияния аргинин-вазопрессина на кровоток коркового слоя почек в условиях эндотоксемической гипотензии и эндотоксемического шока [20]; А. Walkowska и соавт. (2004) для выявления изменений регионального кровообращения и микроциркуляции в корковом и мозговом слоях почки при неселективном фармакологическом ингибировании синтеза оксида азота под влиянием метилэфир N-нитро-L-аргинина и при инактивации нейрональной изоформы синтазы оксида азота на фоне действия 7-нитроиндазола [21]; А. А. Казихиновым и соавт. (2011) для анализа общих закономерностей развития микроциркуляторных изменений МП и уретры при инфравезикальной обструкции и детрузорной активности МП, уретероанастомозе и стриктурах уретры [22].

А. И. Неймарк и соавт. (2013), А. В. Яковлев и соавт. (2013) на основании результатов собственных исследований доказали целесообразность применения ЛДФ в дифференциальной диагностике полипов уретры, ассоциированных с урогенитальной инфекцией, и полипов уретры неинфекционной этиологии, подчеркнув при этом неинвазивность, атравматичность, высокоинформативность и точность, а также простоту использования и экономичность данного метода [23, 24].

В. Н. Павлов и соавт. в своей публикации от 2013 г. [25] сообщили о результатах применения ЛДФ для оценки состояния пенильной микроциркуляции у здоровых мужчин и пациентов с эректильной дисфункцией (ЭД) после радикальной простатэктомии (РПЭ) по поводу локализованного рака предстательной железы (РПЖ). Еще одной задачей исследования явилось изучение диагностической значимости ЛДФ при анализе эффективности реабилитационного лечения ЭД, включившего специальный комплекс упражнений и электростимуляцию мышц дна таза, а также медикаментозной терапии в виде ингибитора ФДИ-5 варденафила (левитры), способствующего увеличению кровенаполнения полового члена и за этот счет – повышению естественной реакции на сексуальную стимуляцию. Для решения поставленных задач использовалось устройство «ЛАКК-01» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва). Согласно полученным данным, у лиц, страдающих лока-

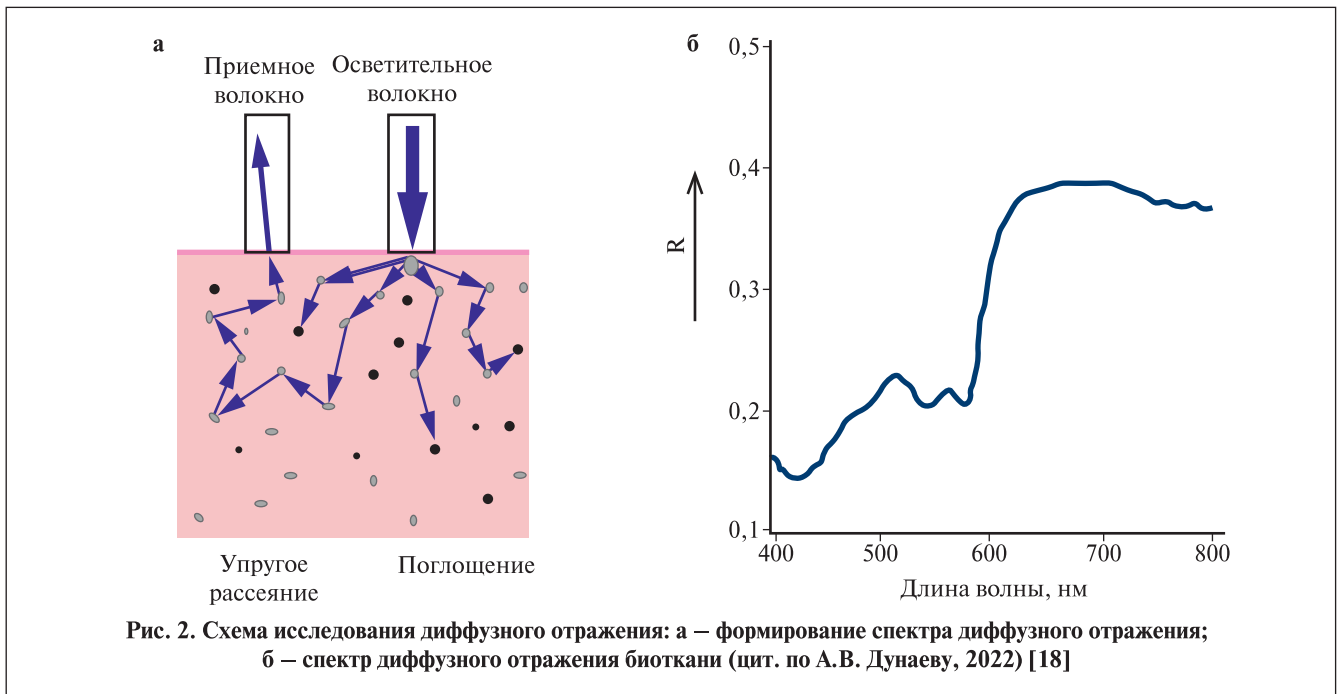


Рис. 2. Схема исследования диффузного отражения: а – формирование спектра диффузного отражения; б – спектр диффузного отражения биоткани (цит. по А.В. Дунаеву, 2022) [18]

лизованным РПЖ, до и после РПЭ, выполнявшейся с применением нервосберегающей техники или без таковой, имела место ангиоспастическая ишемия пещеристых тел (ПТ), обусловленная повышением симпатической вазомоторной активности. Выраженность ишемии была максимальной в течение первых 2 послеоперационных месяцев, затем постепенно уменьшалась, о чем свидетельствовал статистически значимый рост ПМ, впервые отмеченный у больных в конце третьего месяца и продолжавшийся до конца периода наблюдения (12 мес.). Наилучшие результаты (более быстрое восстановление кровоснабжения ПТ и более быстрое снижение степени тяжести ЭД) наблюдали в случаях с применением нервосберегающей техники и/или у лиц, получавших реабилитационное лечение ЭД. В заключение авторы подчеркнули диагностическую значимость ЛДФ при анализе эффективности реабилитационной терапии ЭД.

По данным ряда исследователей, ЛДФ является весьма точным и надежным методом оценки адекватности и эффективности лечения хронического цистита у женщин [26], хронического простатита у мужчин [27], в т.ч. хронического абактериального простатита [28], острых воспалительных заболеваний чашечно-лоханочной системы и паренхимы почки, МП, предстательной железы, тестикул и ткани придатков яичка [29–31], стрессового недержания мочи у женщин [32].

В основе метода спектроскопии диффузного отражения (СДО) лежат особенности поглощения и рассеяния электромагнитных волн видимой и инфракрасной частей спектра при их взаимодействии с биологической тканью. В процессе этого взаимодействия, как показано на рис. 2, из части фотонов, многократно и под различными углами отражающихся от поверхностей рассеивающих структур биоткани, формируется обратно рассеянное (диффузно отраженное) излучение, величина которого может быть измерена и представлена в виде коэффициента диффузного отражения (КДО) на выбранной длине волны [33].

Далее результаты определения КДО используют для расчета параметров поглощения и транспортного рассеяния [34, 35], значения которых позволяют выполнять ана-

лиз особенностей клеточного состава ткани (показатель транспортного рассеяния) и концентрации в этой ткани различных хромофор-содержащих соединений (показатель поглощения) [36–39]. Так, например, по показателям поглощения оксигенированного и восстановленного гемоглобина можно оценивать степень кровенаполнения ткани, уровни доставки и потребления кислорода, гипоксический статус органа или ткани [40]. Имеются данные об эффективности применения метода СДО для дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных новообразований молочной железы и печени [41–43], для оценки васкуляризации при реконструкции органов и тканей [44–50] в целях определения уровня оксигенации тканей и выраженности гипоксии, а также для выявления причин и механизмов кислородного голодания при опухолевом росте [51–53], для оценки состояния микроциркуляции в тканях нижних конечностей у лиц, страдающих сахарным диабетом [54–58] и ревматическими заболеваниями [59].

Целесообразность и эффективность использования метода СДО в экспериментальной и клинической урологии изучены крайне мало. Так, например, О. Brunckhorst и соавт. в своем систематическом обзоре (2019) предоставили результаты анализа сообщений об использовании различных оптических технологий для диагностики злокачественных урологических заболеваний, опубликованных в специальной медицинской литературе почти за 50-летний период – с 1970 г. по 2018 г. Авторами было изучено 5475 публикаций (систематический поиск литературы с использованием баз данных MEDLINE, EMBASE и библиотеки Кокрейн), среди них было обнаружено только две работы, посвященные проблеме использования СДО в качестве инструмента диагностики онкологических заболеваний системы мочеобразования и мочевого выделения. В каждой из этих двух работ рассматривались точность, чувствительность и специфичность СДО-диагностики при раке МП, составившие, по данным авторов публикаций (J. R. Mourant и соавт., 1995; F. Koenig и соавт., 1998), 91–100 и 60–97% соответственно [60–62].

Сообщения в медицинской периодике об экспериментальных исследованиях прикладной значимости СДО в

области урологии практически ограничиваются работой U. O. Goel и соавт. (2014), которые на экспериментальной модели *in vivo* (йоркширские свиньи, $n=3$, число почек – 6) суперселективной окклюзии сегментарной почечной артерии 3-го порядка изучили возможности СДО как метода оценки адекватности и селективности полученного обескровливания при лапароскопической резекции почки. По данным авторов, СДО является простым, удобным и надежным методом идентификации сегментарной артерии, кровоснабжающей подлежащий резекции участок, а также эффективным инструментом оценки глубины ишемии в области резекции, пространственной распространенности ишемии за пределами области резекции, картирования обескровленных участков, мониторинга в режиме реального времени состояния микроциркуляции после сегментарной окклюзии кровоснабжения почки [63].

Разновидностью СДО является спектроскопия в ближней инфракрасной области (ближняя инфракрасная спектроскопия, БИКС или в англоязычной литературе NIRS, near-infrared spectroscopy). При проведении БИКС изучают результаты взаимодействия с тканью ближнего инфракрасного излучения, длины волн которого находятся в диапазоне от 650 до 1350 нм. Метод позволяет оценивать региональный кислородный статус той или другой ткани (скелетная мускулатура, миокард, почки, кишечник, печень, головной мозг) посредством определения уровня оксигенации этой ткани [64].

В специальной медицинской периодике имеется ряд сообщений (появились в период с 1988 по 2022 г.), посвященных диагностической значимости и эффективности БИКС при некоторых заболеваниях нижних отделов мочевыводящих путей. Так, например, по данным А. J. Маснаб и соавт. (2012), БИКС является весьма информативной, неинвазивной и атравматичной методикой оценки кислородного статуса и состояния микроциркуляции в стенке мочевого пузыря и тазового дна в физиологических условиях и при обструкции выходного отверстия МП, гипо- или гиперактивном МП, нейрогенной дисфункции нижних мочевыводящих путей, в т.ч. у детей, интерстициальном цистите [65, 66]. А. J. Маснаб и соавт. (2007), R. Guevara и соавт. (2011), F. Farag и соавт. (2011) были разработаны и протестированы алгоритмы БИКС-диагностики обструкции выходного отверстия МП с чувствительностью и специфичностью, равными 87,7 и 88,9% соответственно [67–69].

В. Т. Наулен и соавт. в своей работе (2010) сообщили об успешном апробировании БИКС в качестве инструмента диагностики гиперактивности МП нейрогенного происхождения [70]. Выводы В. Т. Наулен и соавт. подтвердили в своих публикациях F. Farag и соавт. (2011), а также G. Vijaya и соавт. (2012) [71, 72]. Однако в других исследованиях была отмечена недостаточная специфичность БИКС (не более 28,1%) при выявлении гиперактивности детрузора у женщин с синдромом гиперактивного мочевого пузыря [73, 74].

Согласно литературным данным, БИКС может быть весьма полезной при дифференциальной диагностике недостаточной активности детрузора МП и обструкции входного отверстия МП [75], для оценки в динамике функции МП у лиц с повреждением спинного мозга [76]; для анализа функционального состояния мышц тазового дна при стрессовом недержании мочи у женщин [77, 78].

Однако в целом сообщения об опыте применения БИКС в области урологии весьма ограничены, малочисленны, практически единичны. По мнению А. Ковен и соавт. (2022), будущее БИКС-диагностики определяют только

обновленные и более масштабные исследования, проводимые в тесном сотрудничестве с медицинскими и техническими специалистами [79].

В данной части (первой) нашего обзора был собран и детализирован опыт применения в качестве инструмента диагностики заболеваний урологического профиля таких методик, как лазерная доплеровская флоуметрия и спектроскопия диффузного отражения.

Результаты анализа рассмотренных публикаций позволили нам сделать следующие обобщения:

- 1) по данным экспериментальных и клинических исследований лазерная доплеровская флоуметрия является достаточно полезным методом оценки особенностей микроциркуляции органов мочеоловой системы и контроля эффективности лечения острых и хронических заболеваний чашечно-лоханочной системы и паренхимы почки, МП, предстательной железы, тестикул и ткани придатков яичка. Однако вывод о том, что включение лазерной доплеровской флоуметрии в схему лечебно-диагностических мероприятий у пациентов урологического профиля повысит качество диагностики и лечения этих больных, представляется преждевременным в отсутствие крупномасштабных клинических испытаний;
- 2) в отношении спектроскопии диффузного отражения мы вынуждены сделать аналогичное заключение прежде всего в силу немногочисленности исследований и несмотря на положительное мнение исследователей о диагностическом потенциале методики.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Glybochko P.V., Mukhin N.A., Svistunov A.A., Flmin V.V. Improving diagnostics is a prerequisite for improving the quality of medical care. *Terapevticheskii arkhiv*. 2015;4:4-7. doi: 10.17116/terarkh20158744-7.
2. Grinko S.S., Denisenko A.I., Novikova A.A. Modern technologies of optoelectronic diagnostics in medicine. *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2010;5(2(47)):17–20.
3. Golenishchev-Kutuzov V.A., Golenishchev-Kutuzov A.V., Nesmelova I.M. Promising materials and radiation receivers of photoelectronics and photoenergetics: monograph. Kazan': Kazan. gos. energ. un-t, 2013. – 171 p. ISBN 978-5-89873-396-4.
4. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues: a review. *Phys. Med. Biol.* 2013;58(11):R37–61. doi: 10.1088/0031-9155/58/11/R37.
5. Kuball H.G., Höfer T., Kiesewalter S. Chiroptical Spectroscopy, General Theory. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* Ed. 3. 2017. P.217–231.
6. Giraev K.M., Ashurbekov N.A., Murtazayeva A.A., Abdurakhmanov G.M. Investigation of the dynamics of morpho-functional and biochemical parameters of precancerous biological tissues by methods of stationary fluorescence and diffuse-reflective spectroscopy. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011;6:16–26.
7. Sasin M.E., Gorbunova I.A., Bezverkhny N.O., Belyukov Ya.M., Rubayso Soneira J., Vasyutinsky O.S. Polarized fluorescence of NADH molecules with two-photon excitation by femtosecond laser pulses with a wavelength of 720–780 nm. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 2019;45(13):37. DOI:10.21883/PJTF.2019.13.47956.17803.
8. Shirshin E.A., Yakimov B.P., Darwin M.E., Omelianenko N., Rodionov S.A., Gurfinkel Yu.I., Lademann Yu., Fadeev V.V., Priezdev A.V. Multiphoton microscopy with endogenous contrast: the basis of fluorophores and possibilities in the study of biochemical processes. *Uspekhi biologicheskoy khimii*. 2019;59:139–180.
9. Giovannacci I., Magnoni C., Vescovi P., Painelli A., Tarentini E., Meleti M. Which are the main fluorophores in skin and oral mucosa? A review with emphasis on clinical applications of tissue autofluorescence. *Arch. Oral. Biol.* 2019;105:89–98. doi: 10.1016/j.archoralbio.2019.07.001.
10. Zhrebtsov E.A., Dremim V.V., Zhrebtsova A.I. and others. Fluorescent diagnostics of mitochondrial function in epithelial tissues in vivo: monograph. Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva, 2018. 107 p.
11. Rogatkin D.A., Bychenkov O.A., Polyakov P.Yu. Noninvasive medical spectrophotometry in modern radiology: issues of accuracy and informativeness of measurement results. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny*. 2008;XVII(1):83–87.

12. *Tuchin V.V.* Optical biomedical diagnostics. V 2 t. 1: uchebnoye posobiye. M.: Ay Pi Ar Media, 2021. 549 p. ISBN 978-5-4497-0570-9 (t. 1), 978-5-4497-0592-1).
13. *Dunaev A.V.* Multimodal optical diagnostics of microcirculatory and tissue systems of the human body: monograph. Staryy Oskol: TNT, 2022. 440 p.
14. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation. Guidelines for doctors / pod red. A.I. Krupatkina, V.V. Sidorova. Moskva: OAO «Izdatel'stvo «Meditsina», 2005. 125 p.
15. *Kazikhinurov A.A., Kazikhinurov R.A., Safiullin R.I., Zagidullin A.A., Ishemgulov R.R., Mustafin A.T., Nasibullin I.M.* Disorders and methods of correction of microcirculation in lower urinary tract diseases. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana.* 2005;5:94–98.
16. *Kolodrivov V.N.* The Doppler effect in classical physics. M.: MFTI, 2012.
17. *Barkhatov I.V.* Evaluation of the blood microcirculation system using laser Doppler flowmetry. *Klinicheskaya meditsina.* 2013;11:21–27.
18. *Dunaev A.V. et al.* Fundamentals of medical biophotonics: a textbook. Orel: OGU imeni I.S. Turgenyeva, 2022. 195 p.
19. *Beisland H.O., Kvernebo K.* The microcirculation in neodymium-YAG laser irradiated and in electrocoagulated urinary bladder tumors evaluated with laser Doppler flowmetry. *Urol. Res.* 1986;14(3):149–152. DOI: 10.1007/BF00255835.
20. *Albert M., Lossler M.R., Hayon D., Faivre V., Payen D.* Systemic and renal macro- and microcirculatory responses to arginine vasopressin in endotoxic rabbits. *Crit. Care Med.* 2004;32(9):1891–1898. DOI: 10.1097/01.ccm.0000139708.10718.e3.
21. *Walkowska A., Kompanowska-Jeziwska E., Sadowski J.* Nitric oxide and renal nerves: comparison of effects on renal circulation and sodium excretion in anesthetized rats. *Kidney Int.* 2004;66(2):705–12.
22. *Kazikhinurov A.A., Galimzyanov V.Z., Zagitov A.R., Zagidullin A.A., Mustafin A.T., Maganov K.V., Boyarko A.V., Akhulpanov N.F., Gabdrakhimov T.R., Krasnikov M.V.* Experimental rationale of the use of laser Doppler flowmetry as a diagnostic criterion for microcirculation disorders in modeling diseases of the lower urinary tract. *Kreativnaya khirurgiya i onkologiya.* 2011;1:58–61.
23. *Neymark A.I., Yakovlev A.B., Kondratieva Yu.S., Taranina T.S.* Use of laser Doppler flowmetry to assess microcirculation in urethral polyps in women. *Meditsina i obrazovaniye v Sibiri.* 2013;5:47–49.
24. *Yakovlev A.B., Neymark A.I., Kondratieva Yu.S., Taranina T.S.* The role of microcirculatory disorders in the differential diagnosis of urethral polyps associated with ureaplasma infection and polyps of non-infectious etiology. *Materialy XIII Kongressa Rossiyskogo obshchestva urologov. M., 2013.* p. 468.
25. *Pavlov V.N., Zagitov A.R., Kazikhinurov A.A., Ishemgulov R.R., Mustafin A.T., Abzalilov R.A., Boyarko A.V., Ishmurzin R.R., Mukhamedianov F.N., Usmanova N.V., Nasibullin I.M.* The role of laser Doppler flowmetry in assessing the efficiency of rehabilitation of patients with pelvic organs diseases. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana.* 2013;8(2):121–125.
26. *Shulgina A.S., Mironov V.N.* Laser Doppler flowmetry in the diagnosis and control of the efficiency of treatment of chronic cystitis in women. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal.* 2009;8(62):54–57.
27. *Vinnik Yu.Yu., Prokhorenkov V.I., Nikolaev V.G.* Monitoring the efficiency of treatment of chronic prostatitis using laser Doppler flowmetry. *Sibirskoye meditsinskoye obozreniye.* 2009;5:58–61.
28. *Neymark A.I., Maksimova S.S.* The effect of complex therapy of patients with chronic bacterial prostatitis on hemodynamics of the prostate. *Ekspertimetal'naya i klinicheskaya urologiya.* 2019;3:144–150.
29. *Kruglov V.A., Miroshnikov V.M.* The role of microcirculation in the diagnosis of acute pyelonephritis based on laser Doppler flowmetry. *Fundamental'nyye issledovaniya. Meditsinskiye nauki.* 2004;1:16–20.
30. *Kruglov V.A.* The state of microcirculation in patients with inflammatory diseases of the genitourinary system. *Fundamental'nyye issledovaniya.* 2005;5:61–64. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=6069> (date of access: 10/21/2023).
31. *Kruglov V.A.* The role of laser Doppler flowmetry in the diagnosis, treatment and prevention of acute inflammatory diseases of the genitourinary system: diss. ... kand. med. nauk: 14.00.40. M., 2006. 173 p.
32. *Neymark A.I., Yakovleva A.Yu., Lapiy G.A.* The use of laser Doppler flowmetry in the assessment of microcirculation in the vaginal wall in the treatment of stress urinary incontinence. *Lazernaya meditsina.* 2017;21(1):27–29.
33. *Plotnikova L.V., Nechiporenko A.P., Garifullin A.D., Kuvshinov A.Yu., Voloshin S.V.* Electron diffuse reflectance spectroscopy in the study of serum in patients with multiple myeloma. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki.* 2020;20(2):185–192. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-2-185-192.
34. *Chen W., Wang X., Wang B., Wang Y., Zhang Y., Zhao H., Gao F.* Lock-in-photon-counting-based highly-sensitive and large-dynamic 164 imaging system for continuous-wave diffuse optical tomography. *Biomed. Opt. Express.* 2016;7(2):499–511. <https://doi.org/10.1364/boe.7.000499>.
35. *Konovalov A., Genina E., Barkhatov A.* Diffuse optical mammotomography: state-of-the-art and prospects. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering.* 2016;2(2):020202-1. <https://doi.org/10.18287/jbpe.16.02.020202>.
36. *Pham T., Hornung R., Ha H., Burney T., Serna D., Powell L., Brenner M., Tromberg B.* Noninvasive monitoring of hemodynamic stress using quantitative near-infrared frequency-domain photon migration spectroscopy. *J. Biomed. Opt.* 2002;7(1):34–44. <https://doi.org/10.1117/1.1427046>.
37. *Liu Y., Su J., Lin Z.-J., Teng S., Rhoden A., Pantong N., Liu H.* Reconstructions for continuous-wave diffuse optical tomography by a globally convergent method. *Journal of Applied Mathematics and Physics.* 2014;2(5):204–213. <https://doi.org/10.4236/jamp.2014.25025>.
38. *Yamada Y., Okawa S.* Diffuse optical tomography: present status and its future. *Optical Review.* 2014;21(3):185–205. <https://doi.org/10.1007/s10043-014-0028-7>.
39. *Ban H.Y., Schweiger M., Kavuri V.C., Cochran J.M., Xie L., Busch D.R., Katrašnik J., Pathak S., Chung S.H., Lee K., Choe R., Czerniecki B.J., Arridge S.R., Yodh A.G.* Heterodyne frequency-domain multispectral diffuse optical tomography of breast cancer in the parallel-plane transmission geometry. *Med. Phys.* 2016;43(7):4383–4485. <https://doi.org/10.1118/1.4953830>.
40. *Beschastnov V.V., Ryabkov M.G., Pavlenko I.V., Bagryantsev M.V., Dezortsev I.L., Kichin V.V., Baleyev M.S., Maslennikova A.V., Orlova A.G., Kleshnin M.S., Turchin I.V.* Current methods for the assessment of oxygen status and biotissue microcirculation condition: diffuse optical spectroscopy (review). *Sovremennyye tekhnologii v medicine.* 2018;10(4):183–194. <https://doi.org/10.17691/stm2018.10.4.22>.
41. *Zhu Q., Huang M., Chen N., Zarfos K., Jagivan B., Kane M., Hedge P., Kurtzman S.H.* Ultrasound-guided optical tomographic imaging of malignant and benign breast lesions: initial clinical results of 19 cases. *Neoplasia.* 2003;5(5):379–388. [https://doi.org/10.1016/s1476-5586\(03\)80040-4](https://doi.org/10.1016/s1476-5586(03)80040-4).
42. *Cerussi A., Shah N., Hsiang D., Durkin A., Butler J., Tromberg B.J.* In vivo absorption, scattering, and physiologic properties of 58 malignant breast tumors determined by broadband diffuse optical spectroscopy. *J. Biomed. Opt.* 2006;11(4):044005. <https://doi.org/10.1117/1.2337546>.
43. *Dremin V., Potapova E., Zherebtsov E., Kandurova K., Shupletsov V., Alekseyev A., Mamoshin A., Dunaev A.* Optical percutaneous needle biopsy of the liver: a pilot animal and clinical study. *Sci. Rep.* 2020;10(1):14200. doi: 10.1038/s41598-020-71089-5.
44. *Payette J.R., Kohlenberg E., Leonardi L., Pabbies A., Kerr P., Liu K.Z., Sowa M.G.* Assessment of skin flaps using optically based methods for measuring blood flow and oxygenation. *Plast. Reconstr. Surg.* 2005;115(2):539–546. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000148415.54546.ca>.
45. *Colwell A.S., Wright L., Karanas Y.* Near-infrared spectroscopy measures tissue oxygenation in free flaps for breast reconstruction. *Plast. Reconstr. Surg.* 2008;121(5):344e–345e. <https://doi.org/10.1097/prs.0b013e31816b11e5>.
46. *Repež A., Oroszy D., Arnez Z.M.* Continuous postoperative monitoring of cutaneous free flaps using near infrared spectroscopy. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 2008;61(1):71–77. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2007.04.003>.
47. *Colwell A.S., Craft R.O.* Near-infrared spectroscopy in autologous breast reconstruction. *Clin. Plast. Surg.* 2011;38(2):301–307. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2011.03.014>.
48. *Lin S., Nguyen M., Chen C., Colakoglu S., Curtis M., Tobias A.M., Lee B.T.* Tissue oximetry monitoring in microsurgical breast reconstruction to decrease flap loss. *Plast. Reconstr. Surg.* 2011;127(3):1080–1085. <https://doi.org/10.1097/prs.0b013e31820436cb>.
49. *Whitaker I.S., Pratt G.F., Rozen W.M., Cairns S.A., Barrett M.D., Hiew L.Y., Cooper M.A., Leaper D.J.* Near infrared spectroscopy for monitoring flap viability following breast reconstruction. *J. Reconstr. Microsurg.* 2012;28(3):149–154. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1296030>.
50. *Beniz B.Z., Wu T.C., Gaiind V., Webb K.J.* Diffuse optical localization of blood vessels and 3D printing for guiding oral surgery. *Appl. Opt.* 2017;56(23):6649–6654. <https://doi.org/10.1364/ao.56.006649>.
51. *Maslennikova A.V., Orlova A.G., Golubiatnikov G.Y., Kamensky V.A., Shakhova N.M., Babaev A.A., Snopova L.B., Ivanova I.P., Plekhanov V.I., Prjanikova T.I., Turchin I.V.* Comparative study of tumor hypoxia by diffuse optical spectroscopy and immunohistochemistry in two tumor models. *J. Biophotonics.* 2010;3(12):743–751. <https://doi.org/10.1002/jbio.201000060>.
52. *Orlova A.G., Maslennikova A.V., Golubiatnikov G.Y., Kamensky V.A., Shakhova N.M., Plekhanov V.I., Turchin I.V., Snopova L.B., Ivanova I.P., Babaev A.A., Prjanikova T.I.* Noninvasive estimation of the oxygen status of experimental tumors by diffuse optical spectroscopy. *Biophysics.* 2011;56(2):304–308. <https://doi.org/10.1134/s0006350911020230>.
53. *Orlova A.G., Kirillin M.Yu., Volovetsky A.B., Shilyagina N.Yu., Sergeeva E.A., Golubiatnikov G.Yu., Turchin I.V.* Diffuse optical spectroscopy monitoring of oxygen state and hemoglobin concentration during SKBR-3 tumor model growth. *Laser Physics Letters.* 2016;14(1):015601. <https://doi.org/10.1088/1612-202x/aa4fc1>.

54. Papazoglou E.S., Weingarten M.S., Zubkov L., Zhu L., Tyagi S., Pourezaei K. Near infrared diffuse optical tomography: improving the quality of care in chronic wounds of patients with diabetes. *Biomed. Instrum. Technol.* 2007;41(1):83–87. [https://doi.org/10.2345/0899-8205\(2007\)41\[83:nidoti\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2345/0899-8205(2007)41[83:nidoti]2.0.co;2).
55. Khalil M.A., Kim H.K., Kim I.K., Flexman M., Dayal R., Shrikhande G., Hielscher A.H. Dynamic diffuse optical tomography imaging of peripheral arterial disease. *Biomed. Opt. Express.* 2012;3(9):2288–2298. <https://doi.org/10.1364/boe.3.002288>.
56. Sujatha N., Anand B.S.S., Nivetha K.B., Narayanamurthy V.B., Seshadri V., Poddar R. Assessment of microcirculatory hemoglobin levels in normal and diabetic subjects using diffuse reflectance spectroscopy in the visible region – a pilot study. *Journal of Applied Spectroscopy.* 2015;82(3):432–437. <https://doi.org/10.1007/s10812-015-0125-9>.
57. Dremmin V., Zhrebtsov E., Sidorov V., Krupatkin A., Makovik I., Zhrebtsova A., Zharkikh E., Potapova E., Dunaev A., Doronin A., Bykov A., Rafailov I., Litvinova K., Sokolovski S., Rafailov E. Multimodal optical measurement for study of lower limb tissue viability in patients with diabetes mellitus. *J. of Biomedical Optics.* 2017;22(8):1–10. doi: 10.1117/1.JBO.22.8.085003.
58. Potapova E.V., Dremmin V.V., Zhrebtsov E.A., Makovik I.N., Zharkikh E.V., Dunaev A.V., Pilipenko O.V., Sidorov V.V., Krupatkin A.I. A Complex Approach to Noninvasive Estimation of Microcirculatory Tissue Impairments in Feet of Patients with Diabetes Mellitus using Spectroscopy. *Optics and Spectroscopy.* 2017;123(6):955–964.
59. Potapova E.V., Dremmin V.V., Zhrebtsov E.A., Makovik I.N., Zhrebtsova A.I., Dunaev A.V., Podmasteryev K.V., Sidorov V.V., Krupatkin A.I., Khakhicheva L.S., Muradyan V.F. Evaluation of Microcirculatory Disturbances in Patients with Rheumatic Diseases by the Method of Diffuse Reflectance Spectroscopy. *Human Physiology.* 2017;43(2):222–228.
60. Mourant J.R., Bigio I.J., Boyer J., Conn R.L., Johnson T., Shimada T. Spectroscopic diagnosis of bladder cancer with elastic light scattering. *Lasers Surg. Med.* 1995;17(4):350–357. doi: 10.1002/lsm.1900170403.
61. Koenig F., Larne R., Enquist H., McGovern F.J., Schomacker K.T., Kollias N., Deutsch T.F. Spectroscopic measurement of diffuse reflectance for enhanced detection of bladder carcinoma. *Urology.* 1998;51(2):342–345. doi: 10.1016/s0090-4295(97)00612-2.
62. Brunckhorst O., Ong Q. J., Mayer E. Novel real-time optical imaging modalities for the detection of neoplastic lesions in urology: a systematic review. *Surgical Endoscopy.* 2019;33(5):1349–1367. DOI:10.1007/s00464-018-6578-1.
63. Goel U.O., Maddox M.M., Elfer K.N., Dorsey P.J., Wang M., McCaslin I.R., Brown J.Q., Lee B.R. Feasibility of quantitative diffuse reflectance spectroscopy for targeted measurement of renal ischemia during laparoscopic partial nephrectomy. *J. Biomed. Opt.* 2014;19(10):107001. doi: 10.1117/1.JBO.19.10.107001.
64. Engelhardt B., Gillam-Krakauer M. Use of near-infrared spectroscopy in the management of patients in neonatal intensive care units – an example of implementation of a new technology In: Th. Theophanides (ed.). *Infrared Spectroscopy – Life and Biomedical Sciences*, 2012. P. 5-24. ISBN: 978-953-51-0538-1. doi: 10.5772/37994.
65. Stothers L., Macnab A.J. Near-infrared spectroscopy (NIRS) changes in oxy and deoxyhemoglobin during natural bladder filling and voiding in normal volunteers. *J. Urol.* 2007;177:506.
66. Macnab A.J., Shadgan B., Stothers L. The evolution of wireless near infrared spectroscopy applications in urology and rationale for clinical use. *J. Near Infrared Spec.* 2012;20(1):57–73. <https://doi.org/10.1255/jnirs.963>.
67. Macnab A.J., Stothers L. Near infrared spectroscopy (NIRS): Validation of bladder-outlet obstruction assessment using non-invasive parameters. *Can. J. Urol.* 2008;15(2):4241–4248.
68. Guevara R., Stothers L., Macnab A.J. Mathematical modeling methodology for generation of a diagnostic algorithm using near-infrared data. *Spectroscopy.* 2011;25(1):1–11.
69. Farag F., Martens F., D'Hauwers K., Feitz W., Heesakkers J.P. Near infrared spectroscopy: a novel non-invasive diagnostic method for detrusor overactivity in patients with overactive bladder symptoms a preliminary and experimental study. *Eur. Urol. Suppl.* 2011;10(2):289–290.
70. Haylen B.T., de Ridder D., Freeman R.M., et al. An international urogynecological association (IUGA)/international continence society (ICS) joint report on the terminology for female pelvic floor dysfunction. *Neurourol. Urodyn.* 2010;29(1):4–20. <https://doi.org/10.1002/nau.20798>.
71. Farag F., Martens F., D'Hauwers K., Feitz W., Heesakkers J.P. Near infrared spectroscopy: a novel non-invasive diagnostic method for detrusor overactivity in patients with overactive bladder symptoms a preliminary and experimental study. *Eur. Urol. Suppl.* 2011;10(2):289–290.
72. Vijaya G., Digesu G.A., Derpapas A., Panayi D.C., Fernando R., Khullar V. Changes in detrusor muscle oxygenation during detrusor overactivity contractions. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 2012;163(1):104–107. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2012.03.030>.
73. Macnab A.J., Shadgan B., Stothers L. The evolution of wireless near infrared spectroscopy applications in urology and rationale for clinical use. *J. Near Infrared Spec.* 2012;20(1):57–73. <https://doi.org/10.1255/jnirs.963>
74. Mastoroudes H., Giarenis I., Vella M. et al. Use of near infrared spectroscopy as an alternative to videourodynamics to detect detrusor overactivity in women with the overactive bladder syndrome. *Urology.* 2012;80(3):547–550. <https://doi.org/10.1016/j.urol.2012.05.036>.
75. Romai L., Tuzzolo P., Civitella A. et al. Bladder NIRS: a non-invasive method functional to distinguish between detrusor underactivity (DU) and bladder outlet obstruction (BOO), in men with LUTS. *Eur. Urol.* 2020;20:S177–178. DOI: 10.1016/S0302-2838(22)00924-1.
76. Shadgan B., Macnab A., Nigro M., Stothers L. Monitoring of lower urinary tract function in patients with spinal cord injury using near infrared spectroscopy. *Proceedings Volume 8207, Photonic Therapeutics and Diagnostics VIII.* 2012. DOI:10.1117/12.906051.
77. Shadgan B., Stothers L., Macnab A.J. A transvaginal probe for near-infrared spectroscopic monitoring of the bladder detrusor muscle and urethral sphincter. *Spectroscopy.* 2008;22(6):429–436. DOI: 10.3233/SPE-2008-0367.
78. Macnab A.J., Stothers L. Measurement of exercise treatment effect from pelvic floor muscle therapy for lower urinary tract dysfunction using near infrared spectroscopy / *Proc. SPIE 11638, Biophotonics in Exercise Science, Sports Medicine, Health Monitoring Technologies, and Wearables II.* March 5, 2021. <https://doi.org/10.1117/12.2586348>
79. Koven A., Herschorn S. NIRS: Past, Present, and Future in Functional Urology. *Curr. Bladder Dysfunct. Rep.* 2022;17:241–249. <https://doi.org/10.1007/s11884-022-00665-4>.

Поступила 09.04.2024

Принята в печать 25.06.2024

Received 09.04.2024

Accepted 25.06.2024

Источник финансирования: Отсутствует

Financing source: Absents

MODERN OPTICAL NON-INVASIVE TECHNOLOGIES IN DIAGNOSTICS OF UROLOGICAL DISEASES. LITERATURE REVIEW. PART I

S.V. Popov^{1,2}, R.G. Guseinov^{1,2,3}, E.V. Potapova⁴, K.V. Sivak^{1,5},
V.V. Dremmin⁴, V.V. Perepelitsa^{1,2}, T.A. Lelyavina^{1,6}, A.V. Dunaev⁴

¹GBUZ «City Hospital Saint Luka», Saint Petersburg, Russia; ²PHEI «St. Petersburg Medical and Social Institute», Saint Petersburg, Russia; ³FGBOU VO Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; ⁴Orel State University, Orel, Russia; ⁵FGBU Smorodintsev Research Institute of Influenza of the Ministry of Health of Russia, Saint Petersburg, Russia; ⁶FGBU National Medical Research Center named after V.A. Almazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: T.A. Lelyavina – Ph.D., MD, leading researcher at the Research Institute of Microcirculation and Myocardial Metabolism, Institute of Experimental Medicine of FGBU National Medical Research Center named after V.A. Almazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, researcher at the Saint Petersburg GBUZ «City Hospital Saint Luka», Saint Petersburg, Russia; e-mail: tatianalelyavina@mail.ru

The effects of the interaction of optical radiation and biological tissues underlie various optical diagnostics technologies, including laser Doppler flowmetry, diffuse reflection spectroscopy, fluorescent spectroscopy, photodynamic diagnostics (fluorescent cystoscopy), confocal microscopy, optical coherence tomography, etc. The efficiency of these technologies is the subject of study in various fields of medicine, such as dermatology and ophthalmology, anesthesiology and cardiac surgery, in the diagnosis of malignant tumors and others.

In the first part of our review, the available data on the feasibility of using laser Doppler flowmetry and diffuse reflection spectroscopy as a diagnostic tool in urological practice are reviewed and systematized.

Key words: urology, optical diagnostics, laser Doppler flowmetry, diffuse reflection spectroscopy

The authors declare that they have no conflicts of interest. For citation: Popov S.V., Guseinov R.G., Potapova E.V., Sivak K.V., Dremmin V.V., Perepelitsa V.V., Lelyavina T.A., Dunaev A.V. Modern optical non-invasive technologies in diagnostics of urological diseases. Literature review. Part I. *Urologia.* 2024;5:109–115.

Информация об авторах:

Попов С. В. — д.м.н., профессор, главный врач, руководитель городского центра эндоскопической урологии и новых технологий СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки»; профессор кафедры урологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Минобороны России; заведующий кафедрой хирургии и урологии ЧОУВО «СПбМСИ», Санкт-Петербург, Россия; e-mail: doc.popov@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2767-7153>

Гусейнов Р. Г. — к.м.н., заместитель главного врача по научной деятельности СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки»; старший преподаватель кафедры хирургии и урологии ЧОУВО «СПбМСИ»; ассистент кафедры госпитальной хирургии СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: rusfa@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9935-0243>

Потапова Е.В. — к.т.н., старший научный сотрудник НТЦ биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева», Орел, Россия; e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9227-6308>

Дремин В.В. — к.т.н., старший научный сотрудник НТЦ биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева», Орел, Россия; e-mail: dremin_viktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6974-3505>

Сивак К.В. — д.б.н.; ведущий научный сотрудник СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки»; руководитель отдела доклинических исследований лекарственных средств ФГБУ «НИИ гриппа им. А. А. Смородинцева» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: kvsivak@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-4064-5033>

Перепелица В.В. — к.м.н., врач-уролог урологического отделения № 2 Городского центра эндоскопической урологии и новых технологий СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки»; доцент кафедры хирургии и урологии ЧОУВО «СПбМСИ», Санкт-Петербург, Россия; e-mail: perepelitsa_vit@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7656-4473>

Леявина Т.А. — д.м.н., ведущий научный сотрудник НИО микроциркуляции и метаболизма миокарда Института экспериментальной медицины ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России; научный сотрудник научного отдела СПб ГБУЗ «Клиническая больница Святителя Луки», Санкт-Петербург, Россия; e-mail: tatianalelyavina@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6796-4064>

Дунаев А.В. — д.т.н., ведущий научный сотрудник НТЦ биомедицинской фотоники ФГБОУ ВО «Орловский госу-

дарственный университет им. И. С. Тургенева», Орел, Россия; e-mail: dunaev@bmccenter.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4431-6288>

Author information:

Popov S.V. — Ph.D., MD, professor, Chief of the Saint Petersburg GBUZ «City Hospital Saint Luka», Head of the Center of Endourology and New Technologies, professor at the Department of Urology of FGBVOU VO S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of Russian Federation, Head of the Department of Urology of PHEI "St. Petersburg Medical and Social Institute", Saint Petersburg, Russia; e-mail: doc.popov@gmail.com. ORCID iD 0000-0003-2767-7153

Guseinov R.G. — Ph.D., Deputy Director on Scientific work of GBUZ «City Hospital Saint Luka», senior tutor of the Department of Surgery and Urology of assistant at the Department of Hospital Surgery of PHEI "St. Petersburg Medical and Social Institute", assistant at the Department of Hospital Surgery of FGBOU VO Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; e-mail: rusfa@yandex.ru. ORCID iD 0000-0001-9935-0243

Potapova E.V. — Senior Researcher, Orel State University, Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel, Russia; e-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9227-6308>

Dremin V.V. — Senior Researcher, Orel State University, Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel, Russia; e-mail: dremin_viktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6974-3505>

Sivak K.V. — Doctor of Biological Sciences, leading researcher at the Saint Petersburg GBUZ «City Hospital Saint Luka», Head of the Department of Preclinical Studies of Smorodintsev Research Institute of Influenza of the Ministry of Health of Russia, Saint Petersburg, Russia; e-mail: kvsivak@gmail.com. ORCID: iD 0000-0003-4064-5033

Perepelitsa V.V. — Ph.D., urologist at the Department of Urology No2 of the Center of Endourology and New Technologies of Saint Petersburg GBUZ «City Hospital Saint Luka»; associate professor Department of Surgery and Urology of assistant at the Department of Hospital Surgery of PHEI "St. Petersburg Medical and Social Institute", Saint Petersburg, Russia; e-mail: perepelitsa_vit@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7656-4473>

Lelyavina T.A. — Ph.D., MD, leading researcher at the Research Institute of Microcirculation and Myocardial Metabolism, Institute of Experimental Medicine of FGBU National Medical Research Center named after V.A. Almazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, researcher at the Saint Petersburg GBUZ «City Hospital Saint Luka», Saint Petersburg, Russia; e-mail: tatianalelyavina@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6796-4064>

Dunaev A.V. — Leading Researcher, Orel State University, Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel, Russia; e-mail: dunaev@bmccenter.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4431-6288>