

Метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) [1] основан на регистрации рассеянного на движущихся эритроцитах лазерного излучения и является удобным и неинвазивным методом оценки функционального состояния микроциркуляции крови при таких заболеваниях, как сахарный диабет 2 типа, синдром Рейно, псориаз, склеродермия, системная красная волчанка и другие. Метод основан на эффекте Доплера – изменении частоты динамически рассеянного излучения, которое может быть оценено с помощью фотодиода, работающего в режиме квадратического фотосмещения. После соответствующего усиления и обработки, сигнал дискретизируется с помощью платы сбора данных и передаётся в компьютер для дальнейших расчётов. Согласно алгоритму, описанному в работе [2], на следующем этапе производится расчёт спектра мощности на зарегистрированной выборке с последующим интегрированием по всему частотному диапазону и нормированием на постоянную составляющую фототока. Традиционно, в ЛДФ не используется информация о структуре зарегистрированных спектров мощности и не принимается во внимание специфика такого распределения.

В предлагаемой модификации метода ЛДФ реализована возможность сохранять и использовать спектры доплеровского уширения. Последовательность зарегистрированных спектров мощности преобразуется в таблицу значений и умножается на соответствующие частоты доплеровского уширения. Далее, производится

суммирование значений по частотным поддиапазнам в 200 Гц в полосе частот от 0 до 12800 Гц. На следующем этапе полученная последовательность может быть представлена в виде графика, где по оси ОХ – время, по оси ОУ – частоты доплеровского уширения, и амплитудное значение картируется цветовой кодировкой. Подобное представление позволяет наглядно отобразить распределение перфузии крови по частотам доплеровского уширения и оценить вклад каждого диапазона в суммарный сигнал при проведении тепловой пробы и других функциональных проб.

Использование распределения перфузии крови по частотам доплеровского уширения позволяет перейти к анализу осцилляций на каждой частотной полосе, таким образом, учитывая распределение осцилляций перфузии. Использование дополнительного пространства признаков для анализа данных усилит диагностические возможности метода ЛДФ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19–32–90253.

Список использованных источников

1. *Bonner, R.* Model for laser Doppler measurements of blood flow in tissue / R. Bonner, R. Nossal // *Applied optics*. 1981. Т. 20. № 12. – С. 2097–2107.
2. *Obeid, A. N.* In vitro comparison of different signal processing algorithms used in laser Doppler flowmetry / A. N. Obeid // *Medical and Biological Engineering and Computing*. 1993. Т. 31. № 1. – С. 43–52.

УСТРОЙСТВО ОПТИЧЕСКОЙ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ НАРУШЕНИЙ

THE OPTICAL NON-INVASIVE DIAGNOSTIC DEVICE FOR MONITORING MICROCIRCULATORY DISORDERS

А. К. Королева, Д. Д. Ставцев, М. А. Михайлова, Е. В. Потапова

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева»

Королева А. К. – студентка кафедры приборостроения, метрологии и сертификации,

Ставцев Д. Д. – аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации,

Михайлова М. А. – аспирант кафедры промышленной химии и биотехнологии

Научный руководитель – доцент Потапова Е. В.

Аннотация. В статье обосновывается необходимость применения комплексного метода оптической неинвазивной диагностики для контроля микроциркуляторных нарушений в динамике лечения псориаза, а также предлагается инструментальная реализация оптического устройства, реализующего данный метод диагностики.

Псориаз, являясь социально значимым системным неизлечимым заболеванием с до сих пор точно не выясненной этиологией и спрово-

ждаемым деструктивными нарушениями в системе микроциркуляции крови (МЦК), существенно снижает качество жизни пациентов.

Поэтому в последние годы ряд научных коллективов проводит исследования, конечной целью которых является ранняя диагностика данного заболевания и подбор консервативного лечения с высокой результативностью, ориентированного на индивидуальные особенности организма. Одним из инструментов в данном случае может служить диагностика нарушений МЦК в динамике проведения лечения. К числу наиболее информативных методов в этой области относятся оптические методы, неоспоримыми преимуществами которых являются неинвазивность, безопасность, безболезненность, быстрота проведения диагностики в режиме real-time и эффективность, что обуславливает их интенсивное развитие в последние годы. Ни один из методов диагностирования не позволяет дать исчерпывающую информацию о сложных процессах и явлениях, происходящих в системе МЦК, поэтому перспективным направлением повышения достоверности оценки состояния МЦК является комплексирование различных методов, при котором обеспечивается получение более полной и достоверной информации.

Предлагается комплексный метод оптической неинвазивной диагностики для контроля микроциркуляторных нарушений в динамике лечения псориаза, включающий две наиболее отработанные как в медицине оптические технологии: лазерную доплеровскую флоуметрию (ЛДФ) и видеокапилляроскопию (ВКС). Метод ЛДФ предоставляет ценную информацию как о параметрах перфузии, так и о состоянии механизмов регуляции кровотока внутри системы МЦК и вне ее, а метод ВКС может быть использован для визуального подтверждения данных, полученных ЛДФ-устройствами, и для интерпретации выявленных особенностей ЛДФ-грамм.

Для реализации предложенного метода разработана оптическая диагностическая система, включающая в себя два диагностических канала: ЛДФ-канал и канал ВКС. ЛДФ-канал включает в себя лазерный источник излучения (ЛИ) с длиной волны 1064 нм, соединенный с драйвером излучателя, задающим питание, а также оптико-электронной системы регистрации вторичного оптического излучения, состоящей из фотоприемников с оптическими фильтрами, последовательно попарно соединенных с блоком формирования ЛДФ-сигнала, состоящего из преобразователей ток-напряжение (ПТН), усилителей сигнала (УС) и АЦП. Для частотного анализа зарегистрированных ЛДФ-сигналов применяется программа, реализующая непре-

рывное вейвлет-преобразование (комплексный вейвлет Морле). Канал ВКС включает осветительный канал (светодиодный источник излучения с длиной волны 560 нм, наиболее близкой к изобестической точке крови, драйвер светодиода, потенциометр и ЦАП), канал контроля мощности освещения (фотодиод, последовательно соединенный с ПТН, неинвертирующим УС, ФВЧ и АЦП) и канал регистрации изображения (микрообъектив Mitutoyo M Plan Apo 5X, линза, ПЗС-камера с разрешением 800x800 пикс. при кадровой частоте 150 Гц и система фокусировки). Также устройство снабжено каналом контроля мощности освещения, который необходим для обеспечения стабильности мощности светового потока в зоне исследования.

В основу принципа действия ЛДФ-канала положена регистрация доплеровского сдвига частоты и амплитуды обратно рассеянного лазерного излучения и расчет показателя МЦК, пропорционального скорости и концентрации эритроцитов в диагностическом объеме, а также оценка эндотелиальных, нейрогенных, миогенных, дыхательных и сердечных осцилляций регистрируемого сигнала. При использовании канала ВКС светодиодный источник освещает область исследования сфокусированным излучением, изображение капилляров в этой области через микрообъектив и линзу проецируется на матрицу ПЗС-камеры, с которой через блок управления передается на компьютер. Посредством анализа серии видеок кадров делаются выводы о плотности капилляров, их морфологии и геометрических параметрах.

С помощью прототипа устройства проведены оценочные исследования на 6 пациентах БУЗ Орловской области «Орловский областной кожно-венерологический диспансер», результаты которых [1] подтвердили возможность применения разработанной диагностической системы, реализующей комплексный метод оптической неинвазивной диагностики, для контроля микроциркуляторных нарушений в динамике лечения псориаза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-50007.

Список использованных источников

1. Multimodal approach to monitoring the state of microvasculature in patients with psoriasis in the course of treatment / M. Mikhailova, E. Potapova, A. Koroleva et al. // Proc. SPIE 11363, Tissue Optics and Photonics. 2020, № 113631N.