

УДК 615.47:612.135, 535.371

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОРТАТИВНОГО И СТАЦИОНАРНОГО МОНИТОРОВ ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ И ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Дроздов Д.Г. (Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия), **Жарких Е.В.** (Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия), **Локтионова Ю.И.** (Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия), **Дрёмин В.В.** (Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дунаев А.В. (Научно-технологический центр биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия), **к.т.н. Сидоров В.В.** (Научно-производственное предприятие «ЛАЗМА», Москва, Россия)

Аннотация. Для сравнения параметров, регистрируемых новым портативным и стандартным стационарным мониторами лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии, были проведены экспериментальные исследования с участием условно-здоровых добровольцев. Исследование продемонстрировало воспроизводимость измерений кожной микроциркуляции и интенсивности автофлуоресценции двумя приборами.

Введение. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) — это неинвазивный метод исследования микроциркуляторного кровотока. ЛДФ основан на эффекте Доплера: свет, падающий на движущийся объект, претерпевает сдвиг в частоте, пропорциональный скорости движущегося объекта. Метод ЛДФ давно нашел широкое применение в различных исследованиях и разработках. Диагностические устройства, реализующие метод ЛДФ, обычно представляют собой стационарные мониторы, позволяющие анализировать микроциркуляцию крови. Зачастую помимо метода ЛДФ данные аппараты реализуют и другие методы биофотоники для комплексной оценки состояния биологических тканей, например, метод флуоресцентной спектроскопии. Научные достижения последних лет позволили разработать портативную реализацию таких мониторов с целью перейти вместо локальных исследований с помощью стационарных приборов к изучению микроциркуляторно- тканевой системы человека, применяя распределенную из нескольких носимых анализаторов схему регистрации на теле человека.

В настоящей работе проводится сравнение двух мониторов лазерной доплеровской флоуметрии: нового портативного анализатора «ЛАЗМА-ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия) и стационарного устройства «ЛАЗМА-Д» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия). В стационарном анализаторе лазерное излучение передается по оптическому волокну на поверхность кожи. Отраженное как от неподвижной ткани (опорное излучение), так и от движущихся эритроцитов (претерпевшее доплеровское рассеяние) излучение собирается и передается по отдельному каналу оптического волокна для анализа. В то же время портативное устройство не требует наличия оптического волокна, что уменьшает потери на пути приема-передачи данных и снижает влияние артефактов движения на качество регистрируемого сигнала. Можно отметить тот факт, что стационарные и портативные устройства имеют некоторые различия в конструктивном исполнении приемо-передающих частей. В стационарном устройстве в качестве источника излучения используется одномодовый лазер с длиной волны 1064 нм, в то время как в носимых устройствах используется вертикально-излучающий лазер с длиной волны 850 нм в качестве одномодового источника излучения. Цель настоящей работы заключалась в проведении сравнения величин параметров, измеряемых портативным и стационарным мониторами лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии.

Основная часть. Для сравнительной оценки портативного и стационарного устройств были проведены экспериментальные исследования с участием условно-здоровых добровольцев. В исследовании приняли участие 14 человек (6 женщин, 8 мужчин) 22±3 лет. Для оценки микроциркуляции крови были использованы носимый («ЛАЗМА-ПФ») и стационарный («ЛАЗМА-Д») лазерные анализаторы, реализующие методы ЛДФ и флуоресцентной спектроскопии. Исследования проводились в первой половине дня, не ранее чем через два часа после приема пищи и физических нагрузок. Доброволец располагался на стуле, в сидячем положении с руками, расположенными на столе на уровне сердца. Носимое устройство располагалось на наружной стороне предплечья в точке, расположенной на срединной линии в 2-3 см от шиловидного отростка. В пределах 0.5-1 см от корпуса носимого устройства располагался волоконно-оптический зонд стационарного устройства. Таким образом, расстояние между точками сбора данных ЛДФ двух устройств составило порядка 3 см. Регистрация сигналов проводилась одновременно двумя устройствами и длилась 20 мин. В конце 20-минутного периода регистрации сигналов ЛДФ производилась запись спектра флуоресценции кожи при возбуждении излучением с длиной волны 365 нм.

В процессе проведения исследований анализировались следующие параметры: показатель микроциркуляции (I_m , пф.ед.) и амплитуды колебаний кровотока, полученные посредством вейвлет-анализа ЛДФ-сигналов, сравнивались также значения интенсивности флуоресценции тканей, нормированной на интенсивность обратно-отраженного излучения (I_F^{460} , отн.ед.). Для сопоставления сигналов ЛДФ и флуоресценции, измеренных двумя приборами, применяли линейную аппроксимацию Пирсона. Для частотно-временного сравнения двух нестационарных ЛДФ сигналов был рассчитан параметр вейвлет-когерентности.

Исследование продемонстрировало воспроизводимость измерений кожной микроциркуляции и интенсивности автофлуоресценции новыми носимыми мониторами при сравнении со стандартным стационарным устройством. Были получены высокие значения коэффициента корреляции для параметра нормированной интенсивности флуоресценции ($r = 0,81$). Коэффициент корреляции показателя микроциркуляции был ниже по сравнению с данными канала флуоресцентной спектроскопии, что может объясняться различиями в конструктивном исполнении устройств, а также различием областей измерения, удаленных друг от друга в ходе регистрации сигналов. Анализ вейвлет-когерентности сигналов ЛДФ, измеренных двумя приборами, показал область значительной когерентности в диапазоне 1-2 Гц, что соответствует частоте пульсовой волны, кроме того, наблюдаются области значительной когерентности от 0,01 до 0,03 Гц.

Выводы. Настоящая работа представляет собой первый этап тестирования новых носимых устройств, реализующих методы ЛДФ и флуоресцентной спектроскопии. Были продемонстрированы воспроизводимость измерений показателя микроциркуляции методом ЛДФ и высокая корреляция параметра интенсивности флуоресценции при сравнении с используемым стационарным монитором. Для получения более точных результатов необходимо продолжить набор данных, также в дальнейшем планируется осуществление сравнения динамических изменений регистрируемых параметров при проведении функциональных проб.

Дроздов Д.Г. (автор)

Подпись

Дунаев А.В. (научный руководитель)

Подпись

Сидоров В.В. (научный руководитель)

Подпись