

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ С ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ И ПОРТАТИВНЫЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР В ОЦЕНКЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА БИОТКАНЕЙ

В.С. Янушин¹, Е.В. Жарких¹, Ю.И. Локтионова¹, И.А. Горюнов¹, В.В. Шуплецов¹
А.В. Дунаев¹

¹Научно-технологический центр биомедицинской фотоники ОГУ имени И.С. Тургенева
(302020, г. Орёл, Наугорское шоссе 29)

e-mail: slava.yanushin@bk.ru

Работа посвящена исследованию параметров микроциркуляторно-тканевых систем с помощью методов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, время жизни флуоресценции, окклюзионная проба.

Большую популярность приобретают мультимодальные оптические неинвазивные системы, позволяющие обеспечить раннюю диагностику функциональных изменений микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) организма человека до развития клинических симптомов при различных социально-значимых заболеваниях [1].

Целью данной работы явилось изучение влияния уровня кровенаполнения на регистрируемый сигнал флуоресценции носимого анализатора в условиях искусственной ишемии, с применением опорного метода флуоресцентной спектроскопии с временным разрешением для последующего обоснования медико-технических требований, предъявляемых к каналу флуоресцентной спектроскопии носимого анализатора.

Для оценки параметров МТС применялся носимый мультимодальный анализатор «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА»), включающий в себя каналы лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии (с длиной волны возбуждения флуоресценции 365 нм). Свет ближней УФ области спектра возбуждает флуоресценцию кофактора НАДН, участвующего в окислительно-восстановительных реакциях в клетках биотканей. НАДН может быть свободным при гликолизе ($\tau_1 \approx 0,4$ нс) и находиться в связанной с белком форме ($\tau_2 \approx 2$ нс), участвующей в митохондриальном дыхании [2]. С помощью установки для регистрации времени жизни флуоресценции анализировались такие параметры как интенсивность флуоресценции НАДН, α_1 и τ_1 , α_2 и τ_2 .

В исследовании приняли участие 5 условно здоровых добровольцев 22-27 лет. В качестве областей исследования была выбрана правая рука, а именно ладонная поверхность подушечки среднего пальца (область богатая артериоло-венулярными анастомозами - АВА) и дорсальная сторона предплечья (область без АВА). С помощью носимого устройства регистрировалась интенсивность обратно-отражённого излучения на длине волны источника излучения - 365 нм, интенсивность флуоресценции НАДН на

длине волны 460 нм. Исследование включало проведение 3-минутной окклюзионной пробы (ОП) для оценки влияния условий искусственной ишемии на изменение параметров флуоресценции. Во время ОП у всех добровольцев наблюдалось снижение ПМ. Изменения интенсивности флуоресценции НАДН, зарегистрированные носимым устройством и системой время-коррелированного счёта одиночных фотонов, показывали как положительную, так и отрицательную корреляцию параметров флуоресценции с изменениями кровенаполнения биотканей, независимо от области исследования. В области пальцев рук положительная зависимость наблюдалась в 50% случаев, в области предплечий — в 25%. Относительное содержание двух форм НАДН (α_1 , α_2) всегда имело отрицательную взаимосвязь с параметрами перфузии, что, вероятно, свидетельствует об изменении содержания обеих форм НАДН во время ОП. Время жизни флуоресценции (τ_1 , τ_2) также коррелировало отрицательно, указывая на возможные переходы между связанными и свободными формами НАДН. В пальцах уменьшалось время жизни короткоживущей компоненты α_1 , тогда как в предплечьях оно увеличивалось. Для долгоживущей компоненты α_2 наблюдалась противоположная динамика.

Таким образом, исследование подчеркивает сложную взаимосвязь между периферическим кровотоком и интенсивностью флуоресценции НАДН, подчеркивая необходимость анализа конкретной области из-за анатомической вариабельности. Динамические сдвиги форм НАДН в условиях ишемии указывают на потенциальную диагностическую значимость неинвазивной оценки метаболического статуса тканей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Российской Федерации № 075-15-2024-621.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Дунаев, Мульти模альная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека. // Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2022, 440 с.
2. Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях *in vivo*: монография. // Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018, 107 с.

TIME-RESOLVED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY AND PORTABLE MULTIMODAL ANALYZER IN THE ASSESSMENT OF OXIDATIVE METABOLISM IN BIOLOGICAL TISSUES

V.S. Yanushin,¹ E.V. Zharkikh¹, Yu.I. Loktionova¹, I.A. Goryunov¹, V.V. Shupletsov¹,
E.V. Potapova¹, A.V. Dunaev¹

¹*Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University
(302020, Orel, Naugorskoe shosse 29)*

e-mail: slava.yanushin@bk.ru

This study investigated blood microcirculation parameters and oxidative metabolism parameters of biological tissue using laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy methods.

Keywords: laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy.