УДК 612.135:535.371

Применение методов оптической спектроскопии для оценки микрососудистых и метаболических нарушений при сахарном диабете

Жарких Е.В., Дремин В.В., Потапова Е.В., Маковик И.Н., Жеребцов Е.А., Алимичева Е.А., Масалыгина Г.И., Мурадян В.Ф., Дунаев А.В.

Жарких Е.В. – стажер-исследователь Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский Государственный университет имени И.С. Тургенева, +7 953 474 06 86, [loread@mail.ru](mailto:loread@mail.ru)

Дремин В.В. – научный сотрудник Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский Государственный университет имени И.С. Тургенева, [dremin\_viktor@mail.ru](mailto:dremin_viktor@mail.ru)

Потапова Е.В. – к.т.н., доцент, инженер-исследователь Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский Государственный университет имени И.С. Тургенева, [potapova\_ev\_ogu@mail.ru](mailto:potapova_ev_ogu@mail.ru)

Маковик И.Н. – инженер-исследователь Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский Государственный университет имени И.С. Тургенева, [irina.makovik@gmail.com](mailto:irina.makovik@gmail.com)

Жеребцов Е.А. – к.т.н., Aston Institute of Photonic Technologies, Aston University, [zherebzow@gmail.com](mailto:zherebzow@gmail.com)

Алимичева Е.А. – врач-эндокринолог, заведующая эндокринологическим отделением БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», [clinic@orel.ru](mailto:clinic@orel.ru)

Масалыгина Г.И. – главный внештатный специалист эндокринолог, врач-эндокринолог эндокринологического отделения БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», [clinic@orel.ru](mailto:clinic@orel.ru)

Мурадян В.Ф. – хирург, главный врач БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», [clinic@orel.ru](mailto:clinic@orel.ru)

Дунаев А.В. – к.т.н., доцент, директор Научно-технологического центра биомедициской фотоники, Орловский Государственный университет имени И.С. Тургенева, [inohvat@yandex.ru](mailto:inohvat@yandex.ru)

Аннотация: В работе рассмотрено применение нескольких оптических методов диагностики для оценки состояния микроциркуляторных и метаболических нарушений у пациентов с сахарным диабетом.

Ключевые слова: лазерная допплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, спектроскопия диффузного отражения, сахарный диабет, оптическая неинвазивная диагностика

Согласно Международной Диабетической Федерации проблема ранней диагностики сахарного диабета (СД) и его осложнений является одной из самых острых в современной системе здравоохранения. Среди самых важных факторов развития осложнения – сниженная перфузия тканей кровью, доставка и и потребление кислорода. Кожа в связи с доступностью ее расположения легко поддается исследованию с использованием оптических неинвазивных методов, которые дают представление о физиологии и различных патологиях тканей. В этой работе предложено совместное применение методов лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ), флуоресцентной спектроскопии (ФС) и спектроскопии диффузного отражения (СДО). Целью данной работы явилось оценить возможности оптических неинвазивных методов диагностики для оценки микроциркуляторных нарушений и нарушений окислительного метаболизма у пациентов с СД.

Были проведены экспериментальные исследования, в которых приняли участие 76 пациентов с СД и 46 условно-здоровых добровольцев, составивших контрольную группу. Исследование включало 4 стадии: запись сигнала в базовых условиях в течение 4 минут, охлаждение места исследования до 25 ᵒC в течение 4 минут, локальная тепловая проба с температурой 35 ᵒC в течение 4 минут и локальная тепловая проба с температурой 42 ᵒC в течение 10 минут. В течение каждой стадии пара спектров флуоресценции записывалась одновременно с регистрацией ЛДФ-граммы (длины волн возбуждения: 365 и 450 нм). Оптический зонд устанавливали на дорсальной поверхности стопы в точке, расположенной на плато между 1-й и 2-й плюсневыми костями. Экспериментальные исследования были проведены с использованием диагностического комплекса ЛАЗМА-СТ (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия). Перед началом каждого исследования производилась регистрация спектров диффузного отражения в указанной точке с использованием малогабаритного спектрометра “FLAME” (Ocean Optics, США). Дополнительно для пациентов с видимыми трофическими нарушениями в виде трофических язв спектры отражения снимались непосредственно в области язвы и в 1 см от нее (в интактной области).

Результаты исследований выявили, что уровень перфузии у пациентов при нагреве до 35 и 42 градусов (Iм3 = 6.74±2.70 пф.ед.; Iм4 = 11.89±3.71 пф.ед.) значительно меньше по сравнению с контрольной группой (Iм3 = 9.44±3.28 пф.ед.; Iм4 = 20.12±4.35 пф.ед.), что может означать недостаточную регуляцию системы микроциркуляции крови механизмами, обеспечивающими вазодилатацию. Повышенные значения интенсивности флуоресценции у пациентов по сравнению с контрольной группой (3.1 ± 0.9 отн.ед. vs 2.2 ± 0.8 отн.ед. и 2.3 ± 1.1 отн.ед. vs 1.2 ± 0.4 отн.ед. при возбуждении УФ и синим светом соответственно). Такое увеличение флуоресценции может быть следствием накопления конечных продуктов гликирования, которые инициируют экспрессию генов коллагена и других белков капиллярной мембраны и кожи. В ходе работы также обнаружено, что самое высокое кровенаполнение (по данным спектроскопии диффузного отражения) наблюдается у пациентов с трофическими нарушениями (66.9 отн.ед.). Индекс эритемы для пациентов без язв был выше, чем у добровольцев из контрольной группы (28.7 отн.ед. vs 13.3 отн.ед.), что может свидетельствовать о наличии нарушений периферического кровока.

Предложенный подход показал высокую чувствительность в определении нарушений периферического кровотока и окислительного метаболизма. Примененные методы могут быть использованы как дополнительные неинвазивные диагностические методы в эндокринологических отделениях для долговременного мониторинга за состоянием пациента.

Application of optical spectroscopy methods for assessment of microvascular and metabolic complications in diabetes

Zharkikh E.V., Dremin V.V., Potapova E.V., Makovik I.N., Zherebtsov E.A., Alimicheva E.A., Masalygina G.I., Muradyan V.F., Dunaev A.V.

Abstract: In the paper the application of several optical diagnostic methods for evaluation of microcirculatory and metabolic disorders in patients with diabetes was investigated.

Keywords: laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy, diffuse reflectance spectroscopy, diabetes mellitus, optical non-invasive diagnostics