

УДК 616.12.008.331-073.65.78

СЕМИН Д.С.

магистрант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

E-mail: sema295@yandex.ru

ПОТАПОВА Е.В.

кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

E-mail: elenasweet2007@gmail.com

КОЗЛОВ И.О.

аспирант, стажёр-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орёл, Россия

E-mail: igor57_orel@mail.ru

ДРЁМИН В.В.

кандидат технических наук, научный сотрудник Научно-технологического центра биомедицинской фотоники, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орёл, Россия

E-mail: dremin_viktor@mail.ru

UDC 616.12.008.331-073.65.78

SEMIN D.S.

Graduate of the Department of Instrument Engineering, Metrology and Certification, Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

E-mail: sema295@yandex.ru

POTAPOVA E.V.

PhD degree, docent of the Department of Instrument Engineering, Metrology and Certification, Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

E-mail: elenasweet2007@gmail.com

KOZLOV I.O.

Postgraduate, probationer of the Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

E-mail: igor57_orel@mail.ru

DREMIN V.V.

PhD degree, researcher of the Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

E-mail: dremin_viktor@mail.ru

УСТРОЙСТВО ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КОЖИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ

DEVICE OF REFLECTANCE SPECTROSCOPY FOR EVALUATION FUNCTIONAL CONDITION OF SKIN AND IT'S APPLICATION IN DIAGNOSIS OF DISEASES

Аннотация. В работе рассматривается метод отражательной спектроскопии для измерения показателей, характеризующих функциональное состояние кожи (индексы эритемы и меланина, тканевая сатурация). Показана целесообразность создания устройства

отражательной спектроскопии с лазерными диодами в качестве источников диагностического излучения, способного осуществлять измерение в реальном времени.

Ключевые слова: индекс эритемы, индекс меланина, тканевая сатурация, отражательная спектрометрия.

Annotation. In this work, a method of reflectance spectroscopy for measuring indicators that characterize the functional state of the skin (erythema index, melanin index, tissue saturation) is considered. The expediency of creating device of reflectance spectroscopy with LED as sources of diagnostic radiation and capable of real-time measurement is shown.

Key words: erythema index, melanin index, tissue saturation, reflectance spectroscopy.

В настоящее время существует множество устройств, осуществляющих измерение оптических параметров биоткани *in vivo*. На основании этих измерений осуществляется регистрация содержания различных биомаркеров, а также производится расчет параметров, отражающих патологические изменения в диагностируемом объеме. Однако многие из этих устройств регистрируют только один параметр, что не позволяет проводить комплексную диагностику. Кроме того, зачастую эти устройства лишь регистрируют оптические параметры биоткани (спектры поглощения, отражения, флуоресценции), а расчет диагностических параметров происходит позднее вручную. Исходя из вышесказанного, актуальной задачей является создание устройства, способного регистрировать оптические характеристики биоткани и в автоматическом режиме анализировать диагностические параметры в режиме реального времени.

Одними из параметров, отражающих функциональное состояние микроциркуляторного русла, являются индексы эритемы и меланина, а также тканевая сатурация. Эритема является индикатором увеличения содержания крови в поверхностном сосудистом сплетении дермы и оценивает кровенаполнение тканей [2]. Изменения индекса эритемы могут вызывать заболевания, связанные с воспалительными процессами, ишемические расстройства, артериальные гиперемии. Тканевая сатурация является параметром, позволяющим получить информацию о степени насыщения крови кислородом в ткани. Аномальная оксигенация тканей может наблюдаться при онкологических заболеваниях, осложнениях

сахарного диабета, заболеваниях сердечно-сосудистой системы и других патологиях, сопровождающихся нарушениями утилизации кислорода тканями [1,6]. Кроме перечисленных параметров важным показателем в оценке состояния кожных покровов является индекс меланина. Изменения концентрации меланина в коже могут быть вызваны гормональными сдвигами (болезнь Аддисона), локальными дефектами развития (белые пятна при туберозном склерозе), результатом воспаления кожи (поствоспалительная гипо- или гиперпигментация) или же являться признаком развития злокачественной меланомы. Кроме того учет вклада меланина в общий сигнал может повысить точность вычислений индекса эритемы и сатурации [3]. Одним из возможных методов оценки перечисленных параметров является метод отражательной спектроскопии. Данный метод является неинвазивным, безболезненным и не оказывает влияние на объект исследования. Отражательная спектроскопия основана на анализе спектров диффузного отражения [4].

В основе измерения показателя тканевой сатурации лежит разница между спектрами поглощения гемоглобина и дезоксигемоглобина [8]. Принцип измерения заключается в измерении коэффициента диффузного отражения (КДО), на двух длинах волн, соответствующих изобестическим и неизобестическим точкам окси- и дезоксигемоглобина с помощью выражения, предложенного T. Spott et al. [7]:

$$SO_2 = \frac{\mu_{Hb}(\lambda_1) - \mu_{Hb}(\lambda_2) \cdot \frac{R(\lambda_2)}{R(\lambda_1)}}{\mu_{Hb}(\lambda_1) - \mu_{HbO_2}(\lambda_1)},$$

где $R(\lambda)$ – измеренный коэффициент диффузного отражения (КДО) на выбранной длине волны;

μ_{Hb} и μ_{HbO_2} – коэффициенты поглощения дезоксигенированной и насыщенной кислородом крови, соответственно;

λ_1 и λ_2 – длина волны неизобестической и изобестической точек, соответственно

Зондирующее излучение в зависимости от длины волны проникает в биоткань на разную глубину. Это позволяет, используя различные комбинации изобестических и неизобестических точек, осуществлять измерение оксигенации крови в разных слоях биоткани.

Для определения индекса эритемы существует несколько подходов. Наиболее широко применяется определение индекса эритемы по формуле [5]:

$$E = 100 \times [OD_{360} + 1,5 \times (OD_{345} + OD_{375}) - 2,0 \times (OD_{310} + OD_{610})],$$

где $OD = \log(1/R)$ – оптическая плотность. Нижние индексы обозначают длину волны в нм, на которой производилось измерение.

В исследовании [2] показано, что данная методика может успешно применяться для оценки степени активности воспалительного процесса у больных ревматологического профиля.

Для измерения индекса меланина существует несколько подходов, основанных на измерении наклона зависимости оптической плотности кожи в различных диапазонах спектра. Наиболее оптимальным является измерение угла наклона зависимости оптической плотности кожи в диапазоне свыше 620-640 нм, поскольку в данном диапазоне поглощение других хромофоров не оказывает существенного влияния на КДО. Индекс меланина может быть определен согласно выражению [4]:

$$M = 100(OD_{650} - OD_{700}) + \alpha,$$

где α – фактор коррекции ($\alpha \sim 0,01$), необходимый для учета изменения рассеивающих свойств кожи в этом диапазоне спектра.

Оптимальным решением для реализации устройства измерения тканевой сатурации, индекса эритемы и индекса меланина является трёхканальный прибор, источниками диагностического излучения в котором являются лазерные диоды, с пиками мощности излучения на длинах волн 510, 545, 560, 575, 610, 650 и 700 нм. Диффузно-отраженное от биообъекта излучение предполагается собирать оптоволоконным зондом и преобразовывать в фототок на фотопреобразователе. Полученный сигнал необходимо усилить и оцифровать на плате сбора данных NI USB 6211. Обработка сигнала и расчёт характеристик для оценки функционального состояния кожи предлагается проводить в среде визуального программирования NI Labview. Такой подход способен упростить математическую обработку получаемого сигнала и позволит создать устройство, способное в реальном времени измерять параметры, определяющие функциональное состояние кожи.

Библиографический список

1. Аксельрод Б.А., Толстова И.А., Гуськов Д.А. Мониторинг тканевой оксигенации во время кардиохирургических операций / Б.А. Аксельрод, И.А. Толстова, Д.А. Гуськов // Анестезиология и реаниматология, 2013. - №2 – С.19-24.
2. Потапова Е.В., Дремин В.В., Жеребцов Е.А. и др. Оценка микроциркуляторных нарушений у пациентов ревматологического профиля с использованием метода спектроскопии диффузного отражения / Е.В. Потапова, В.В. Дремин, Е.А. Жеребцов, и др. // Физиология человека, 2017. – №2 (43) – С.116-124.
3. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2-х т. Т. 2: Пер. с англ. под ред. Тучина В.В. М.: Физматлит, 2007. 368 с.
4. Синичкин Ю.П. Флуоресцентная и спектрально-поляризационная диагностика биологических тканей *in vivo*: дисс. доктора физ.-мат. наук: 03.00.02 / Синичкин Ю.П. - Саратов, 2003. - 416 с.
5. Dawson J.B., Barker D.J., Elliset D.J. et al. A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by *in vivo* skin // Phys. Med. Biol. 1980. V. 25. № 4. P. 695.
6. Forst T, Hohberg C, Tarakci E, Forst S, Kann P, et al. Reliability of lightguide spectrophotometry (O2C) for the investigation of skin tissue microvascular blood flow and tissue oxygen supply in diabetic and nondiabetic subjects. Journal of Diabetes Science and Technology, 2008; 2: 1151-1156.
7. Spott T., Svaasand L.O., Anderson R.E., Schmedling P.F. Application of optical diffusion theory to transcutaneous bilirubinometry // Proc. SPIE 3195. 1998. P. 234.
8. Torching V.V. Handbook of Optical Biomedical Diagnostics. Bellingham: SPIE Press, 2002. 1110 p.

References

1. Axelrod B.A., Tolstova I.A., Guskov D.A. Monitoring of tissue oxygenation during cardiac surgery / B.A. Axelrod, I.A. Tolstova, D.A. Guskov // Anaesthesiology and Reanimatology, 2013. - №2 – P.19-24.
2. Potapova E.V., Dremin V.V., Zherebtsov E.A et al. Evaluation of Microcirculatory Disturbances in Patients with Rheumatic Diseases by the Method of Diffuse Reflectance Spectroscopy // Human Physiology, 2017, №2 (43) – P.116-124.

3. Optical Biomedical Diagnostics. In 2 volumes vol. 2: Trans. with English. Ed. Tuchin V.V. Moscow: Fizmatlit, 2007. 368 p.
4. Sinichkin Y.P. Fluorescence and spectral-polarization diagnostics of biological tissues in vivo: diss. Doctor of Phys.-Math. Sciences: 03.00.02 / Sinichkin Y.P. - Saratov, 2003. - 416 p.
5. Dawson J.B., Barker D.J., Elliset D.J. et al. A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by in vivo skin // Phys. Med. Biol. 1980. V. 25. № 4. P. 695.
6. Forst T, Hohberg C, Tarakci E, Forst S, Kann P, et al. Reliability of lightguide spectrophotometry (O2C) for the investigation of skin tissue microvascular blood flow and tissue oxygen supply in diabetic and nondiabetic subjects. Journal of Diabetes Science and Technology, 2008; 2: 1151-1156.
7. Spott T., Svaasand L.O., Anderson R.E., Schmedling P.F. Application of optical diffusion theory to transcutaneous bilirubinometry // Proc. SPIE 3195. 1998. P. 234.
8. Torching V.V. Handbook of Optical Biomedical Diagnostics. Bellingham: SPIE Press, 2002. 1110 p.

УДК 535.372+ 612.26

СЕРЕГИНА Е.С.

бакалавр 4-го курса специальности 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники

E-mail: e.s.seryogina@gmail.com

UDC 535.372+ 612.26

SEREGINA E.S.

Bachelor of the 4th year of specialty 12.03.04 "Biotechnical Systems and Technologies" of the Department "Instrument-Making, Metrology and Certification" Orel State University named after IS. Turgeneva, intern-researcher of the scientific and technological center of biomedical photonics

E-mail: e.s.seryogina@gmail.com

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТАБОЛИЗМА МОДЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС
POSSIBILITIES OF APPLICATION OF FLUORESCENT
SPECTROSCOPY FOR ESTIMATION OF METABOLISM OF MODEL
SYSTEMS BY THE EXAMPLE OF LABORATORY RATS**