

фантомах. Реализация предлагаемых методов в системе жесткой эндоскопии представляется перспективной, однако требует дальнейших исследований и технических улучшений.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №18-15-00201.

#### *Библиографический список*

1. Тимербулатов В.М., Сахаутдинов В.Г., Тимербулатов Ш.В., Смыр Р.А., Саргсян А.М. Острое нарушение мезентериального кровообращения // Эндоскопическая хирургия. – 2016. – №3. – С. 44–49.
2. Кудрявцев П.В., Панченков Д.Н., Лакунин К.Ю. и др. Лапароскопия в лечении острой тонкокишечной непроходимости // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2014. – Т.7, №3. – С. 228-236.
3. Potapova E., Seryogina E., Dremin V., Stavtsev D., Kozlov I., Zherebtsov E., Mamoshin A., Ivanov Yu., Dunaev A. Laser speckle contrast imaging of blood microcirculation in pancreatic tissues during laparoscopic interventions // Quantum Electronics. – 2020. – 50(1). – P.33-40.
4. Потапова Е.В., Дрёмин В.В., Жеребцов Е.А., Подмастерьев К.В., Дунаев А.В. Разработка жидкого оптического фантома для флуоресцентных спектроскопических исследований // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т.332, № 6. – С. 105-114.

УДК 535.372+616-089.819

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КОЖИ ПРИ ЭЛЕКТРОФОРЕЗЕ АДРЕНАЛИНА**

О.А. Стельмашук<sup>1</sup>, В.В. Шуплецов<sup>2</sup>, Е.А. Жеребцов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория клеточной физиологии и патологии,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел

<sup>2</sup> Научно-технологический центр биомедицинской фотоники,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел

<sup>3</sup> Optoelectronics and Measurement Techniques Unit,

University of Oulu, Oulu, Finland

*В работе показаны результаты исследования изменений параметров флуоресценции (интенсивности и времени жизни) кожи человека в ответ на ионофорез адреналина, полученные in vivo методом время-коррелированного счета одиночных фотонов.*

**Ключевые слова:** флуоресценция кожи, время жизни флуоресценции, электрофорез.

## MEASUREMENTS OF FLUORESCENCE PARAMETERS OF SKIN DURING ADRENALINE ELECTROPHORESIS

O.A. Stelmashchuk<sup>1</sup>, V.V. Shupletsov<sup>2</sup>, E.A. Zherebtsov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>The Cell Physiology and Pathology Laboratory,

Orel State University named after I.S. Turgenyev, Orel

<sup>2</sup>Research and Development Center of Biomedical Photonics,

Orel State University named after I.S. Turgenyev, Orel

<sup>3</sup>Optoelectronics and Measurement Techniques Unit,  
University of Oulu, Oulu, Finland

*The paper presents results of a study on changes in the parameters of fluorescence (intensity and lifetime) in human skin in response to adrenaline iontophoresis, obtained in vivo by the method of time-correlated single photon counting.*

**Key words:** *skin fluorescence, fluorescence lifetime, electrophoresis.*

Моноаминоксидазы (MAO) обоих типов является хорошо изученными ферментами, при этом оценка их активности *in vivo* является сложной задачей. MAO в организме выполняют важнейшую функцию инактивации эндогенных и экзогенных моноаминов. Известно, что дисфункция MAO (слишком большая или слишком низкая активность MAO) является причиной ряда психических и неврологических расстройств. Активность MAO типов А и Б количественно зависит от внутриклеточного эндогенного флуоресцирующего протеин-связанного кофактора FAD [1]. В связи с вышесказанным неинвазивный контроль активности MAO может быть полезен для подбора индивидуальной терапии при заболеваниях, связанных с недостаточной или избыточной активностью MAO. Одним из перспективных направлений исследований, является возможность транскутанного определения активности данного жизненно важного фермента окислительного дезаминирования в фибробластах кожи, что позволило бы неинвазивно диагностировать ряд патологий наследственной и приобретенной этиологии (шизофрении, депрессии, дефицита внимания, склонности к наркотическим зависимостям, а также мигреням), связанных с отклонениями в активности MAO [3].

Целью данной работы являлась разработка новых методов регистрации интенсивности и времени жизни флуоресценции ФАД кожи для дальнейшего применения в транскутанной оценке параметров активности MAO.

Для оценки параметров интенсивности и времени жизни флуоресценции была собрана экспериментальная система, реализующая метод время-коррелированного счета одиночных фотонов. Для возбуждения флуоресценции использовался лазерный источник BDS-SM-375-FBC-101 совместно с монохроматором MonoScan2000 (OceanOptics), обеспечивающие возбуждение флуоресценции на длине волны 375 нм. В качестве детектора использовался гибридный фотодетектор HPM-100-40-CMOUNT (Becker &

Nickl, Германия) со спектральным диапазоном чувствительности 250-720 нм и квантовой эффективностью в 45% (для 500 нм). Для выделения участка спектра флуоресценции, использовался полосовой фильтры MF 530-43 (ThorLabs, США). Источник лазерного излучения и детектор были подключены к волоконно-оптическому зонду с диаметром 3 мм.

В качестве вещества из группы катехоламинов в исследовании использовался адреналин. Введение катехоламинов посредством ионофореза позволяло быстро регистрировать изменения флуоресценции в ткани кожи, потенциально связанных с окислением адреналина моноаминоксидазой А до альгинатов [4]. При добавлении катехоламина к клеткам содержащим в достаточном количестве MAO наблюдается снижение интенсивности флуоресценции, ассоциированной с компонентами, имеющими малое время жизни (фракция протеин-связанных флавинов) [2].

В экспериментальных исследованиях приняли участие 10 добровольцев в возрасте 21–49 лет без заболеваний, связанных с изменением активности MAO в анамнезе. Исследования включали одновременную регистрацию параметров интенсивности и времени жизни флуоресценции совместно с ионофорезом физиологического раствора в течении 10 минут и последующим добавлением адреналина в течении следующих 10 минут. Измерения проводились на внутренней части предплечья с предварительной обработкой поверхности кожи этиловым спиртом. Электрод для ионофореза имел отверстие для установки оптического волокна для измерения времени жизни флуоресценции на поверхности кожи. Поступление адреналина (500 мкл 5,5 мМ) на поверхность кожи в область измерения осуществлялось с помощью инфузионного насоса.

Таблица 1

Сравнение параметров времени жизни флуоресценции кожи человека до и после ионофореза с адреналином

Измер. параметр	$\alpha_1$ , %	$a_{1a}$ , отн.ед	$\alpha_2$ , %	$a_{2a}$ , отн.ед	$\tau_1$ , пс	$\tau_2$ , пс	Интенс., отн.ед
479-40 нм							
До нанесения адреналина	57,8± 0,2	1470± 62	42,1± 0,12	1064± 46	495± 1,4	2905±4 ,1	1612162± 68978
После нанесения адреналина	57,0± 0,3	2313± 87	42,6± 0,13	1689± 61	525± 1,9	2901±3 ,4	2523447± 91967
530-43 нм							
До нанесения адреналина	57,0± 0,12	1396± 51	42,0± 0,12	999± 36	493± 1,3	2905±4 ,0	1518799± 54672
После нанесения адреналина	58,0± 0,14	1719± 68	41,0± 0,14	1190± 46	495± 1,2	2904±5 ,0	1817291± 71126

Основные измеренные параметры, представлены в таблице 1. Все указанные параметры, кроме компоненты времени жизни флуоресценции  $\tau_2$  демонстрировали статистически значимые различия в измерениях до и после воздействия адреналина. Таким образом, в результате исследований была разработана и исследована новая методика измерения параметров времени жизни флуоресценции кожи человека одновременно с ионофорезом катехоламинов, что потенциально может стать основой нового метода для транскутанной оценки параметров активности МАО.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 20-75-00123.

#### *Библиографический список*

1. Guang H.M., Du G.H. High-throughput screening for monoamine oxidase-A and monoamine oxidase-B inhibitors using one-step fluorescence assay // Acta Pharmacologica Sinica. 2006.
2. Krysiak J.M. [и др.]. Activity-based probes for studying the activity of flavin-dependent oxidases and for the protein target profiling of monoamine oxidase inhibitors // Angewandte Chemie - International Edition. 2012.
3. Li L. [и др.]. A sensitive two-photon probe to selectively detect monoamine oxidase B activity in Parkinson's disease models // Nature communications. 2014.
4. Удут В.В. [и др.]. Стресс-лимитирующие эффекты фармакологической модуляции симпато-адреналовой системы // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2011. № 39.

УДК 615

### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГУЛЯЦИИ НАРУШЕНИЙ СНА**

Э.В. Габитова

ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

*В представленной работе исследованы теоретические данные метода. Описаны основные функциональные блоки устройства. Произведены расчеты блоков устройства.*

**Ключевые слова:** *электросонотерапия, физиотерапия, цнс, импульсная терапия, ток, лечение, применение, стабилизатор, воздействие, обслуживание*