

УДК 615.831.7

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

Н.В. Голубова<sup>1</sup>, Д.Д. Ставцев<sup>1</sup>, В.С. Дмитриев<sup>2</sup>, Е.В. Потапова<sup>1</sup>, А.В. Дунаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, РФ

<sup>2</sup>ООО «РИКТАМЕД», ЗАО «МИЛТА-ПКП ГИТ», г. Москва

*Проведены исследования отклика микроциркуляторной системы человека на терапевтическое воздействие, оказываемое аппаратом низкоинтенсивной лазерной терапии (НИЛТ). В данной работе для оценки показателей состояния микроциркуляции были применены методы лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и видеокапилляроскопии (ВКС). Получены микрогемодициркуляторные параметры в периоды до, после, и во время воздействия.*

**Ключевые слова:** оптические методы, неинвазивный, видеокапилляроскопия, лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляция, низкоинтенсивная лазерная терапия.

## COMPLEX INVESTIGATION OF THE MICROVASCULATURE DURING LOW LEVEL LASER THERAPY

N.V. Golubova<sup>1</sup>, D.D. Stavtsev<sup>1</sup>, V.S. Dmitriev<sup>2</sup>, E.V. Potapova<sup>1</sup>, A.V. Dunaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

<sup>2</sup>Ltd. «RIKTAMED», JSC «MILTA-PCP GIT», Moscow

*The investigations of the response of the human microcirculatory system to the therapeutic effect exerted by the low level laser therapy (LLLТ) apparatus were held. This paper shows the appliance of laser Doppler flowmetry (LDF) and videocapillaroscopy (VCS) methods to assess the microcirculation parameters. Microhemocirculatory parameters in the periods before, after, and during exposure were obtained.*

**Key words:** optical methods, non-invasive, videocapillaroscopy, laser Doppler flowmetry, velocity of capillary blood flow, microcirculation, low level laser therapy.

Капиллярное звено микроциркуляторного русла человека играет ключевую роль в процессе газообмена, обеспечения тканей питательными веществами, и участвует в ответной реакции организма на локальные терапевтические воздействия. Целью этого исследования являлось изучение влияния НИЛТ на параметры микроциркуляции крови.

Методы ВКС и ЛДФ являются неинвазивными методами получения информации о микроциркуляторной системе человека. ВКС основана на высокоскоростной видеосъёмке капилляров ногтевого валика и

последующей обработке полученных видеофрагментов, потенциально позволяющей определить скорости движения эритроцитов в отдельно взятом капилляре либо в его отделах в мм/с [1]. Данный метод также позволяет количественно и качественно оценивать морфологию капилляра, ширину периваскулярной (локализующейся вокруг капилляров) зоны (ПЗ).

Метод ЛДФ получил широкое распространение при оценке показателей микроциркуляции крови. Эта технология основана на зондировании ткани низкоинтенсивным лазерным излучением с последующей регистрацией обратно рассеянного излучения и определении параметров микроциркуляции по доплеровскому сдвигу, возникающему при рассеянии зондирующего излучения на движущихся форменных элементах крови. После обработки записанного сигнала определяется показатель микроциркуляции, пропорциональный произведению скорости кровотока и концентрации форменных элементов крови в исследуемом диагностическом объёме и измеряющийся в перфузионных единицах (пф. ед.). Также возможно провести анализ полученных данных и выявить частотные ритмы процессов микрогемодинамики [2, 3].

Исследование проводилось с одновременным применением методов ВКС и ЛДФ. Метод ВКС был реализован с помощью разработанной экспериментальной установки, состоящей из микрообъектива Mitutoyo M Plan Apo 5X (Thorlabs, США), высокоскоростной ПЗС-камеры IDS UI-3060CP-C-HQ (IDS GmbH, Германия) и боковой LED-подсветки, сфокусированной на области исследования. Были исследованы капилляры ногтевого ложа безымянного пальца и предплечье правой руки. Для регистрации показателей микроциркуляции крови использовались два портативных лазерных анализатора микроциркуляции крови "ЛАЗМА ПФ" (НПП «ЛАЗМА», Россия). В ЛДФ-канале используется лазер с длиной волны 850 нм. Один из портативных ЛДФ-анализаторов размещался в специальной подставке, на которую помещалась дистальная фаланга исследуемого пальца. Второе устройство крепилось на предплечье исследуемой руки. Для записи и последующей обработки ЛДФ сигнала использовалось специализированное программное обеспечение НПП «ЛАЗМА».

Протокол исследования включал в себя регистрацию 3-х базовых тестов (БТ): первый (БТ1) – запись параметров непосредственно до лазерной терапии (10 минут), второй (БТ2) – запись параметров при воздействии аппаратом НИЛТ (5 минут), третий (БТ3) – запись параметров после проведения терапии (10 минут). Для обеспечения корректности и объективности получаемых данных измерения проводились одновременно на одном и том же пальце, при этом с помощью инфракрасного термометра Sensitec NB-401 регистрировалась температура исследуемого пальца. В исследовании принимали участие 9 условно здоровых добровольцев (6 мужчин и 3 женщины) в возрасте  $20,8 \pm 2$  года.

Воздействие осуществлялась при помощи аппарата «РИКТА-ЭСМИЛ 1А» (ООО "РИКТАМЕД") на проксимальную фалангу исследуемого пальца. Длины волн излучения, мкм: лазерного (ЛИ) - 0,80-0,91, светодиодного инфракрасного диапазона (ИСИД) - 0,86-0,96 и видимого диапазона - 0,60-0,67. Частота повторения импульсов ЛИ и ИСИД: 1000 Гц. Импульсная мощность лазерного излучения: 16 Вт. При площади облучения  $1 \text{ см}^2$  средняя плотность мощности ЛИ =  $3,2 \text{ мВт/см}^2$  и энергетическая облученность за сеанс =  $0,96 \text{ Дж/см}^2$ .

При обработке результатов измерений, полученных с помощью метода ЛДФ, были рассчитаны показатели шунтирования (В) и нутритивного кровотока ( $I_{\text{nutrit}}$ ), определены индексы микроциркуляции (М) и амплитуды эндотелиальных (Аэ), нейрогенных (Ан), миогенных (Ам), дыхательных (Ад) и сердечных (Ас) колебаний, участвующих в регулировании микрокровоотока.

Для выявления значимых различий в выборках данных, соответствующих одному и тому же параметру был использован критерий Манна-Уитни. По результатам его применения можно сделать вывод, что для пальца значимые различия значений были зафиксированы для параметров Аэ, Ан, Ам и Ад. Для предплечья значимые различия выявились в М ( $M_{\text{срБТ1пн}} = 6,1 \pm 0,8 \text{ пф.ед.}$ ,  $M_{\text{срБТ3пн}} = 9,1 \pm 3,0 \text{ пф.ед.}$ ), Ад и Ас.

При обработке данных ВКС рассчитана ширина периваскулярной зоны для всех добровольцев. В значениях для БТ1 и БТ2 ( $PZ_{\text{срБТ1}} = 112,2 \pm 24,6 \text{ мкм}$ ,  $PZ_{\text{срБТ2}} = 109,5 \pm 25,1 \text{ мкм}$ ) различий не выявлено.

К данным, полученным при регистрации температуры, также был применен данный критерий. При попарном сравнении выборок значимые различия отсутствовали, что говорит о несущественном колебании температуры исследуемого пальца у всех добровольцев.

Полученные результаты показывают перспективность комплексного подхода к исследованию влияния низкоинтенсивного лазерного воздействия на микроциркуляторное русло, а также наличие изменений в параметрах ЛДФ после его оказания. В дальнейшем планируется исследовать изменение скорости кровотока в отдельно взятых капиллярах при проведении НИЛТ. Требуется проведение дополнительных исследований для уточнения результатов и создания более широкой статистической выборки.

#### *Библиографический список*

1. Волков, М.В. Исследование параметров капиллярного кровотока методом видеокапилляроскопии / М.В. Волков, Д.А. Кострова, Н.Б. Маргарянц, А.Ю. Пименов // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2016 Доклады XII Международной научной конференции с научной молодежной сессией. Владимир. – 2016. – С. 77-80.
2. Дунаев, А. В., Жеребцов Е. А. Применение методов неинвазивной спектрофотометрии для исследования системы микроциркуляции крови при

низкоинтенсивной лазерной терапии // Биотехносфера. – 2009. – № 6. – С. 40-44.

3. Rogatkin D.A., Dunaev A.V. Stimulation of Blood Microcirculation at Low Level Laser Therapy: Monitoring Tools and Preliminary Data // Journal of Medical Research and Development (JMRD). – 2014. – Т. 3. - № 1. – P. 100-106.

УДК 535.372

## **ВЕРИФИКАЦИЯ КАНАЛА ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ИНГИБИТОРА**

К.Ю. Кандурова, В.В. Шуплецов, Е.В. Потапова

Научно-технологический центр биомедицинской фотоники,  
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел

*Проведены измерения спектров флуоресценции печени лабораторной крысы in vivo при воздействии на ткани митохондриальным ингибитором. Наблюдались изменения интенсивности флуоресценции, свидетельствующие о чувствительности разработанного канала флуоресцентной спектроскопии к изменениям метаболизма клеток.*

**Ключевые слова:** оптическая биопсия, флуоресцентная спектроскопия.

## **FLUORESCENCE SPECTROSCOPY CHANNEL VERIFICATION WITH MITOCHONDRIAL INHIBITOR APPLICATION**

K.Y. Kandurova, V.V. Shupletsov, E.V. Potapova

Research and Development Center of Biomedical Photonics,  
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

*Fluorescence spectra of laboratory rats' liver were recorded in vivo under the influence of mitochondrial inhibitor on tissues. Changes in fluorescence intensity were observed, indicating the sensitivity of the developed fluorescence spectroscopy channel to changes in cell metabolism.*

**Key words:** optical biopsy, fluorescence spectroscopy.

В настоящее время оптическая биопсия находит все более широкое применение в биомедицинских исследованиях. Особый интерес для внедрения данных методов демонстрирует миниинвазивная абдоминальная хирургия. Оптическая биопсия может служить инструментом для получения дополнительной диагностической информации в режиме реального времени, что позволит ускорить процесс лечения и повысить его эффективность [1].

Одним из перспективных методов является флуоресцентная спектроскопия (ФС). Данный метод основан на регистрации флуоресценции эндогенных флуорофоров при зондировании биологической ткани монохроматическим излучением и анализе различий в спектральном составе