

УДК 612.15

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КАПИЛЛЯРНОГО КРОВОТОКА ПРИ  
АРТЕРИАЛЬНОЙ ОККЛЮЗИОННОЙ ПРОБЕ МЕТОДАМИ  
ВИДЕОКАПИЛЛЯРОСКОПИИ И ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ  
ФЛОУМЕТРИИ**

*Волков М.В.<sup>1</sup>, Кострова Д.А.<sup>1</sup>, Маргарянц Н.Б.<sup>1</sup>, Гуров И.П.<sup>1</sup>, Ерофеев Н.П.<sup>2</sup>,  
Дремин В.В.<sup>3</sup>, Козлов И.О.<sup>3</sup>, Жарких Е.В.<sup>3</sup>, Жеребцов Е.А.<sup>3</sup>, Дунаев А.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел, Россия

*fosp@grv.ifmo.ru*

**Резюме**

Неинвазивные методы лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и видеокапилляроскопии (ВКС) используются для исследования параметров микроциркуляции с целью ранней диагностики различных заболеваний и контроля эффективности лечебных мероприятий. В работе приведены результаты одновременного исследования перфузии тканей дистальной фаланги пальца кисти человека методом ЛДФ и скорости капиллярного кровотока в ногтевом ложе методом ВКС при проведении артериальной окклюзионной пробы.

**Ключевые слова:** видеокапилляроскопия, лазерная доплеровская флоуметрия, капиллярный кровоток, микроциркуляция.

**THE STUDY OF CAPILLARY BLOOD FLOW DINAMICS DURING  
ARTERIAL OCCLUSION TEST BY VIDEO CAPILLAROSCOPY AND LASER  
DOPPLER FLOWMETRY METHODS.**

*Gurov I.P.<sup>1</sup>, Volkov M.V.<sup>1</sup>, Kostrova D.A.<sup>1</sup>, Margaryants N.B.<sup>1</sup>, Erofeev N.P.<sup>2</sup>,  
Dremin V.V.<sup>3</sup>, Dunaev A.V.<sup>3</sup>, Zharkikh E.V.<sup>3</sup>, Zherebtsov E.A.<sup>3</sup>, Kozlov I.O.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ITMO University, Saint Peterburg, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University, Saint Peterburg, Russia

<sup>3</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

*fosp@grv.ifmo.ru*

**Abstract**

Non-invasive laser Doppler flowmetry (LDF) and video capillaroscopy (VCS) are widely used methods to study blood microcirculation parameters for early diagnosis of various diseases and to monitor the effectiveness of therapeutic measures. We present the results of simultaneous investigations of changes in tissue perfusion of the distal phalanx of the human fingers by LDF as well as changes in capillary blood flow velocity in the nail bed evaluated by the VCS method during arterial occlusion test.

**Keywords:** videocapillaroscopy, laser Doppler flowmetry, capillary blood flow, microcirculation.

**Введение.** Метод ЛДФ [2] широко используется в научно-исследовательских работах и медицинской клинической практике при изучении системы микроциркуляции крови (МЦК) человека. При изучении особенностей МЦК оценивают показатель микроциркуляции (ПМ), характеризующий наполнение (перфузию) тканей кровью. Изменение равновесия притока и оттока крови регистрируется в сигнале ЛДФ, анализ частотных составляющих которого позволяет количественно оценить физиологические характеристики микроциркуляторного русла. Эта оценка является интегральной, характеризующей общее функциональное состояние тканевого участка, представляющего из себя сложную неупорядоченную биологическую структуру. Метод ВКС [3], относящийся к методам цифровой микроскопии, основан на регистрации и анализе видеокadres капиллярного кровотока ногтевого ложа. Метод требует значительных вычислительных ресурсов, но позволяет восстанавливать параметры капиллярного кровотока для отдельных капилляров. Данный метод может быть использован для верификации данных, полученных на приборах ЛДФ, а также для интерпретации выявленных особенностей ЛДФ-грамм.

**Целью работы** являлось одновременное исследование динамики ПМ тканей дистальной фаланги пальца кисти условно-здоровых добровольцев методом ЛДФ и динамики скорости капиллярного кровотока в ногтевом ложе методом ВКС при проведении артериальной окклюзионной пробы.

**Методы исследования.** Исследование ПМ проводилось методом ЛДФ. Источником излучения служил одночастотный лазер с длиной волны 1064 нм, излучение которого подводилось через оптическое волокно, закрепленное в специальном держателе на большом пальце кисти руки. Отраженное излучение собиралось с помощью оптоволоконного датчика и регистрировалось кремниевым фотодетектором, подключенному к плате сбора данных NI USB 6211. Обработка и визуализация зарегистрированного сигнала проводилась с использованием программного обеспечения LabVIEW. Исследование капиллярной сети ногтевого ложа проводилось с использованием экспериментального стенда для измерения скорости капиллярного кровотока [1]. Область ногтевого ложа среднего пальца кисти руки освещалась светодиодным источником излучения. Светосильный микрообъектив с апертурой 0.12 и проекционный длиннофокусный объектив формировали изображение капилляра на матрице видеокамеры. Скорость регистрации видеокadres составляла 135 кадров/с. Флуктуации яркости по полю кадра и смещение изображения капилляра в зарегистрированной последовательности устранялись на этапе предварительной обработки [4]. Далее в каждый момент времени вычислялась локальная скорость капиллярного кровотока в каждой точке трека (средней линии) капилляра и восстанавливалось изменение средней по капилляру скорости кровотока во времени. В процессе измерений регистрировался базовый уровень перфузии и скорости кровотока в капилляре (в течение 15 – 30 с.), их изменение в процессе окклюзионной пробы (60 – 90 с.) и в

постокклюзионный период (15 – 30 с.). Давление в окклюзионной плечевой манжете составляло 220 мм. рт. ст.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенные предварительные эксперименты на семи условно-здоровых добровольцах показали значительную корреляцию между значениями ПМ и скоростью капиллярного кровотока. Метод ВКС позволил дополнительно визуально наблюдать и количественно оценить такую особенность МЦК у некоторых условно-здоровых добровольцев, как обратный кровоток в капилляре при артериальной окклюзии, а также особенности процессов релаксации в постокклюзионный период. В начале окклюзии наблюдается уменьшение амплитуды пульсаций ПМ и скорости кровотока в капилляре, при этом значение ПМ уменьшается от 30 до 2 перфузионных единиц (п.е.), а скорость уменьшается от 4 мм/с до 0 приблизительно через 50 с. от начала проведения окклюзии. Далее на ЛДФ-грамме регистрируется плавный рост ПМ до 5 п.е. в течение 60 с. и увеличение амплитуды колебаний сигнала ЛДФ. В этот период времени зарегистрировано обратное движение крови в наблюдаемом капилляре с постепенным увеличением скорости кровотока до 0.2 мм/с, при этом движение крови равномерно. Окончание периода окклюзии характеризуется резким увеличением значения ПМ и скорости кровотока с последующим постепенным восстановлением значений данных параметров до начала окклюзии.

**Выводы.** Сравнительные одновременные исследования динамики капиллярного кровотока методами ЛДФ и ВКС повышают достоверность интерпретации результатов исследования МЦК человека, так как позволяют сопоставлять изменение перфузии в объеме ткани с локальной скоростью и направлением тока крови в отдельном капилляре.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №16-32-50144 мол\_нр.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волков М.В., Кострова Д.А., Маргарянц Н.Б., Пименов А.Ю. Исследование параметров капиллярного кровотока методом видеокапилляроскопии // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. Труды 12-й международной научной конференции «ФРЭМЭ'2016» с научной молодежной сессией (Владимир-Суздаль, 5-7 июля 2016г.), 2016. – Т. 1. – С. 77-80.
2. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. – М, 2013. – 496 с.
3. Cutolo M., Pizzorni C., Secchi M. E., Sulli A. Capillaroscopy // Best Practice & Research Clinical Rheumatology. – 2008. – V. 22. – No. 6. – P. 1093-1108.
4. Karimov K., Volkov M. The phase correlation algorithm for stabilization of capillary blood flow video frames // Proc. of SPIE. – 2015. – V. 9528. – P. 952810-1 - 952810-1.