

Библиографический список

1. Вашетко Р.В., Толстой А.Д., Курыгин А.А., Стойко Ю.М., Красногоров В.Б. Острый панкреатит и травмы поджелудочной железы. СПб.: Питер, 2000; 320с.
2. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. М.: Физматлит, 2007.
3. Kalchenko, V., Brill, A., Bayewitch, M., Fine, I., Zharov, V., Galanzha, E., Tuchin, V. and Harmelin, A., "In vivo dynamic light scattering imaging of blood coagulation," J. Biomed. Opt. (2007)
4. Richards L.M., Kazmi S.M., Davis J.L., Olin K.E., Dunn A.K. Biomed. Opt. Express, 2013, 720с.
5. Zakharov, P., Völker, A., Buck, A., Weber, B. and Scheffold, F., "Quantitative modeling of laser speckle imaging," Opt. Lett. 31(23), 3465–3467 (2006).

УДК 612.15

**ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО
РУСЛА ПРИ СОВМЕЩЕНИИ МЕТОДОВ
ВИДЕОКАПИЛЛЯРОСКОПИИ И ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ
ФЛОУМЕТРИИ**

Д.Д. Ставцев¹, И.О. Козлов¹, И.Н. Маковик¹, А.В. Потёмкин², А.В. Дунаев¹
¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.

Тургенева»,

г. Орёл

²Университет ИТМО, г. Санкт -Петербург

Методы видеокапилляроскопии (ВКС) и лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) позволяют неинвазивно оценивать параметры микроциркуляции. В данной работе показано совместное применение ВКС и ЛДФ для оценки параметров периферического кровотока у пациентов ревматологического профиля при применении холодовой прессорной пробы. Получены данные об изменении скорости капиллярного кровотока при холодовой пробе и различиях в параметрах фиксируемых методами ВКС и ЛДФ.

Ключевые слова: *капилляроскопия, видеокапилляроскопия, лазерная доплеровская флоуметрия, скорость капиллярного кровотока, микроциркуляция, ревматические заболевания, холодовая прессорная проба.*

THE POSSIBILITY OF INVESTIGATION THE MICROVASCULATURE BY COMBINE USING THE VIDEOLAPAROSCOPY AND LASER DOPPLER FLOWMETRY METHODS

D.D. Stavtsev*, I.O. Kozlov¹, I.N. Makovik¹, A.V. Potemkin², A.V. Dunaev¹

¹Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

²ITMO University, Saint-Petersburg

Videocapillaroscopy and laser Doppler flowmetry methods allow researchers to assess microcirculation parameters non-invasively. The paper shows the combined use of VCS and LDF to assess the parameters of peripheral blood flow in rheumatological profile patients in the application of cold pressor test. The data of the change in the velocity of capillary blood flow in a cold sample and the differences in the parameters recorded by VCS and LDF were obtained.

Keywords: capillaroscopy, videocapillaroscopy, laser Doppler flowmetry, velocity of capillary blood flow, microcirculation, rheumatic diseases, cold pressor test.

Метод видеокапилляроскопии (ВКС) ногтевого ложа является одним из неинвазивных методов изучения микроциркуляции крови и анализа васкулярных нарушений на микроскопическом уровне. Метод основывается на высокоскоростной видеосъемке капилляров ногтевого валика. Обработка полученной последовательности видеок кадров позволяет определить скорость капиллярного кровотока в отдельно взятом капилляре, а также в различных отделах одного капилляра. Данный метод позволяет оценивать морфологию капиллярного звена микроциркуляторного русла и локальную скорость капиллярного кровотока в мм/с [1]. Метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) широко используется для оценки состояния системы микроциркуляции. Данная технология основана на зондировании ткани низкоинтенсивным лазерным излучением с последующей регистрацией обратно рассеянного излучения и определении динамических параметров микроциркуляции по доплеровскому сдвигу, возникающему при рассеянии зондирующего излучения на движущихся форменных элементах крови. После обработки полученного сигнала определяется показатель микроциркуляции, зависящий от произведения скорости кровотока и концентрации форменных элементов крови и измеряемый в относительных перфузионных единицах. Частотный анализ колебаний ЛДФ сигнала позволяет выявить модулирующие кровотока биологические ритмы. При ревматических заболеваниях наблюдаются изменения перфузии и спектральных характеристик ЛДФ сигнала. Целью данной работы было соотнести показания ЛДФ, фиксируемые при ревматических заболеваниях, с изменениями физиологических параметров, фиксируемых методом ВКС. Для оценки изменений параметров микроциркуляторного русла, резервных и адаптивных возможностей системы микроциркуляции была применена холодная прессорная проба (ХПП).[2]

Установка для проведения видеокапилляроскопии состоит из

оптической системы, включающей светосильный микрообъектив Mitutoyo M Plan APO 5X, ПЗС-камеры IDS UI-3060CP-C-HQ и боковой светодиодной подсветки. Для регистрации и последующей обработки результатов измерения используется специально разработанное программное обеспечение. Данная экспериментальная установка позволяет вести запись с кадровой частотой до 400 Гц. Для измерения показателя микроциркуляции используется многофункциональный лазерный неинвазивный диагностический комплекс «ЛАКК-М» (НПП «ЛАЗМА», Россия). Длина волны лазерного излучения в канале измерения ЛДФ составляет 1064 нм. Для записи ЛДФ сигнала, определения показателя микроциркуляции и вейвлет-анализа сигнала используется программное обеспечение НПП «ЛАЗМА».

Протокол эксперимента включал проведение трёх базовых измерений длительностью по 5 мин. каждое, а также холодной пробы. Холодовая прессиорная проба выполнялась путём погружения кистей обеих рук в ёмкость с холодной водой. Время экспозиции составляло 5 мин., температура воды $14 \pm 0,2$ °С. Измерения проводились непосредственно перед проведением ХПП, сразу после, и спустя 20 мин. после охлаждения [3]. Были проведены исследования на условно здоровом добровольце и пациентке с ревматическим заболеванием.

Капилляры у условно здорового добровольца имеют правильную U-образную форму. В тоже время у пациентки с ревматическим заболеванием выявлены значительные изменения формы капилляров, характерные для ревматических расстройств [4].

На основании результатов измерений были рассчитаны показатель шунтирования и уровень нутритивного кровотока, определяющие вклад различных отделов микроциркуляторного русла в общий микроциркуляторный ток [5].

У условно здорового добровольца после ХПП наблюдается увеличение показателя микроциркуляции на 10 пф.ед., сопровождающееся уменьшением нутритивного кровотока ($I_{\text{nutr1}}=16,7$ пф.ед., $I_{\text{nutr2}}=13,0$ пф.ед., $I_{\text{nutr3}}=13,1$ пф.ед.) и увеличением показателя шунтирования ($VI_1=1,3$ отн.ед., $VI_2=2,4$ отн.ед., $VI_3=1,8$ отн.ед.). При этом средняя скорость капиллярного кровотока непосредственно после ХПП не изменяется ($V=4,8$ мм/с, $V=4,8$ мм/с, $V=4,2$ мм/с). У пациентки с ревматическим заболеванием изменение показателя микроциркуляции после ХПП менее значительное (2 пф.ед.), при этом наблюдается уменьшение показателя шунтирования ($VI_1=3,8$ отн.ед., $VI_2=2,3$ отн.ед., $VI_3=2,0$ отн.ед.) и увеличение нутритивного кровотока ($I_{\text{nutr1}}=6,5$ пф.ед., $I_{\text{nutr2}}=11,4$ пф.ед., $I_{\text{nutr3}}=11,1$ пф.ед.). На фоне увеличения показателя микроциркуляции наблюдается значительное снижение скорости капиллярного кровотока после ХПП и более медленный темп её восстановления ($V=4,2$ мм/с, $V=0,8$ мм/с, $V=2,2$ мм/с).

Полученные результаты показывают возможность совместного применения методов ВКС и ЛДФ для получения дополнительной диагностической информации. В ходе работы были получены данные об

изменении скорости капиллярного кровотока после холодовой прессорной пробы, а также были выявлены различия в параметрах, фиксируемых методами ВКС и ЛДФ у пациентов с ревматическими заболеваниями при применении ХПП. Выявленные различия требуют проведения дополнительных исследований, призванных объяснить выявленный эффект с точки зрения физиологии, а также проведения дополнительных исследований для создания статистической выборки.

Данная работа поддержана грантом РФФИ (проект № 17-41-590560) и грантом президента Российской Федерации для государственной поддержки российских учёных № МК-3400.2018.8.

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. Маковик И. Н. Метод неинвазивной диагностики функционального состояния микроциркуляторно-тканевых систем верхних конечностей с помощью холодовой прессорной пробы //Декабрь. – 1998. – Т. 6. – №. 1. – С. 36.
3. Новикова И. Н. и др. Возможности применения вейвлет-анализа осцилляций параметров микроциркуляторно-тканевых систем при проведении холодовой прессорной пробы на пальцах рук //Биотехносфера. – 2015. – №. 6 (42).
4. Alekperov R. T., Volkov A. V., Guseva N. G. Wide-field capillaroscopy in diagnosis and differential diagnosis of rheumatic diseases //Terapevticheskii arkhiv. – 1998. – Т. 70. – №. 5. – С. 80.
5. Dunaev A. V. et al. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms //Physiological Measurement. – 2014. – Т. 35. – №. 4. – С. 607.