

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 612.135:616–002.78

А.И. ЖЕРЕБЦОВА

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СОСУДОВ ПАЛЬЦЕВ РУК ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ РЕВМАТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Разработан метод диагностики функционального состояния периферических сосудов пальцев рук, основанный на проведении окклюзионного теста в термостабилизированной среде с одновременной записью сигналов лазерной доплеровской флоуметрии и кожной термометрии. Проведены эксперименты по отработке данного метода на контрольной группе добровольцев без диагностированных заболеваний системы кровообращения, костно-мышечной системы и соединительной ткани, а также на группе пациентов, страдающих заболеваниями ревматолического профиля. Приведены и интерпретированы результаты экспериментальных исследований. Оценены перспективы применения разработанного метода для диагностики микроциркуляторных нарушений при ревматических заболеваниях.

Ключевые слова: *неинвазивная диагностика, лазерная доплеровская флоуметрия, кожная термометрия, окклюзионный тест, микроциркуляция крови, периферический кровоток, ревматические заболевания.*

Ревматические заболевания представляют собой большую группу заболеваний, носящих, как правило, системный характер и протекающих с поражением всех структур соединительной ткани человека, а также сосудов, внутренних органов и, нередко, кожных покровов и слизистых оболочек. Заболевания данного класса характеризуются поражением населения практически всех возрастных групп, неуклонным прогрессированием, склонностью к хронизации, ранней инвалидизацией, снижением качества и продолжительности жизни. Все это, наряду с отмечающимся в последнее время ростом распространенности, ставит ревматические заболевания на одно из лидирующих мест по уровню своего негативного влияния на современное общество [1]. В этой связи вопросы разработки и внедрения в медицинскую практику новых методов и методик диагностики ревматических заболеваний приобретают первостепенную важность, а их актуальность не вызывает сомнений.

В настоящее время в распоряжении врача-ревматолога имеется достаточно широкий выбор методов инструментального обследования, среди которых наибольшей популярностью пользуются реовазография (РВГ), ультразвуковая доплерография (УЗДГ), ногтевая капилляроскопия, конъюнктивальная биомикроскопия, электротермометрия, тепловизионная диагностика [2]. При этом несомненное предпочтение отдается методам РВГ и УЗДГ верхних или нижних конечностей в силу их относительной дешевизны, доступности, а также достаточной методической проработанности. Подобные исследования позволяют получить данные о периферической гемодинамике в венах и артериях. Тем не менее, известно, что одно из центральных мест в развитии ревматических заболеваний принадлежит нарушениям в системе микроциркуляции крови (МЦК), выражающимся, прежде всего, снижением величины потока крови в капиллярах [3]. Для оценки нарушений микроциркуляторного обеспечения наиболее подходящими являются методы ногтевой капилляроскопии и конъюнктивальной биомикроскопии, позволяющие визуализировать как особенности функционирования, так и специфические изменения анатомического строения микроциркуляторного русла. Однако в силу ряда причин (относительная дороговизна оборудования, высокие требования к квалификации обслуживающего персонала, сложность интерпретации результатов исследования из-за отсутствия у врачей опыта работы с подобными диагностическими данными) эти

методы остаются более востребованными в научных исследованиях, нежели в реальной клинической практике. Методы термометрии и тепловидения позволяют судить о наличии микроциркуляторных нарушений лишь косвенно – по изменению температуры в проекции пораженных микрососудов на поверхность тела, на практике применяются редко и используются как вспомогательные.

Огромным потенциалом в области исследования системы МЦК обладает метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), основанный на регистрации доплеровского сдвига частоты лазерного излучения, возникающего при отражении от движущихся эритроцитов в микрососудах. С помощью ЛДФ можно не только неинвазивно оценивать интенсивность кровотока в микроциркуляторном звене кровеносного русла, но и обнаруживать и исследовать коллективные ритмические процессы системы микроциркуляции крови [4–6]. Проблемы применения ЛДФ в качестве метода диагностики ревматических заболеваний разрабатываются на протяжении нескольких десятилетий [3], однако и по сей день не теряют своей актуальности [7, 8].

В области диагностики функционального состояния микроциркуляторного русла хорошо зарекомендовал себя подход, заключающийся в совместном использовании методов ЛДФ и термометрии при проведении нагрузочных тестов, в частности, окклюзионного [9, 10]. По данным ЛДФ судят о величине перфузии ткани кровью. А поскольку одной из функций крови в организме является функция теплоносителя, то возможность в эксперименте оценить изменение прилива крови к поверхности ткани позволяет существенно улучшить прогностическую достоверность диагностического метода, основанного на данных термометрии. В то же время измерения методом термометрии позволяют оценить эффективность кровоснабжения более интегрально, так как на температуру кожи влияют как приповерхностные, так и более глуболежащие сосуды [11, 12].

Основной целью данной работы явилась разработка оригинального метода диагностики функционального состояния периферических сосудов пальцев рук, позволяющего определять ранние стадии сосудистых нарушений у пациентов ревматологического профиля и основывающегося на одновременной регистрации ЛДФ– и термограмм во время окклюзионного теста.

Одной из решаемых задач при проведении исследований являлось создание устройства термометрии, пригодного для регистрации изменения кожной температуры совместно с сигналом ЛДФ. Основными требованиями, предъявляемыми к данному устройству на этапе проектирования, были:

- миниатюрность первичного преобразователя устройства;
- высокая чувствительность (порядка 0,1 °С);
- низкая инерционность (постоянная времени не более 1 с);
- диапазон измерения температуры: от 0 до 50 °С или шире.

Дополнительными требованиями являются линейность во всем диапазоне входных значений температуры, компактность, стабильность.

Исходя из предъявляемых требований, в качестве первичного преобразователя устройства термометрии использовался платиновый преобразователь температуры Heraeus M622 Pt 2000 [13]. Для компенсации нелинейности применялся метод линеаризации характеристики: преобразователь температуры включался в схему измерительного моста, который также имеет нелинейную характеристику. В результате, две нелинейные характеристики накладывались и компенсировали друг друга в рабочем диапазоне измерения температур, что достигалось благодаря точному назначению резисторов схемы включения. Напряжение, подаваемое на измерительный мост, выбиралось из соображений минимизации эффекта саморазогрева преобразователя температуры при приемлемой чувствительности на фоне помех. Разность напряжений на выходе измерительного моста подавалась на инструментальный усилитель. При сборке и настройке схемы требуемые расчетные номиналы резисторов формировались методом подбора и комбинации в виде последовательного и параллельного включения прецизионных резисторов. Текущие значения используемых резисторов измерялись лабораторным омметром с точностью до десятых долей Ома.

С применением описанной методики было собрано два канала измерения температуры. Получаемые с выходов инструментальных усилителей сигналы напряжения, пропорциональные температуре, подавались на плату сбора данных NI USB6009.

Внешний вид полученного устройства в корпусе (со снятой верхней крышкой) представлен на рисунке 1.

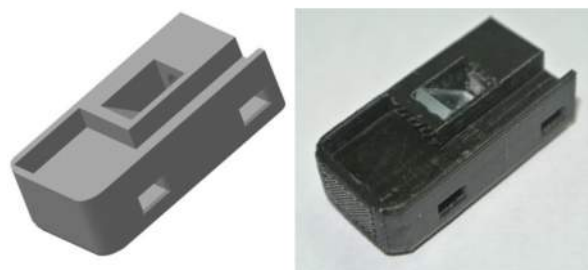
Программа для получения, визуализации и сохранения получаемых термограмм была разработана с помощью среды графического программирования NI LabVIEW. Данные, получаемые с платы сбора данных, усреднялись по выборке в 2000 точек и с частотой 5 Гц выводились на компонент выведения графиков. Усреднение по обширной выборке позволило получить приемлемое соотношение сигнал–шум. Полученный массив данных, дополненный массивом времени, сохранялся в файл для последующей обработки.

Калибровка каждого температурного канала проводилась по отработанной методике в двух точках: помещением гидроизолированного преобразователя температуры в смесь воды со льдом для корректировки погрешности при нулевой температуре; помещением гидроизолированного преобразователя температуры в кипящую воду для корректировки в точке 100 °С. Найденные таким образом аддитивная и мультипликативная погрешности учитывались при автоматической корректировке данных в ходе работы программы получения, визуализации и сохранения данных.

Для проверки работоспособности полученного комплекса проводились предварительные испытания. Чувствительность устройства составила порядка 0,05 °С. Данный уровень чувствительности позволяет с легкостью регистрировать диагностически значимые флуктуации температуры кожи как в состоянии покоя, так и при проведении нагрузочных тестов.



Рисунок 1 – Устройство термометрии



а

б

Рисунок 2 – Насадка на световодный зонд приборов серии «ЛАКК»: а – 3D модель; б – внешний вид

С целью отработки совместного использования прибора ЛДФ «ЛАКК–02» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва) и устройства термометрии проведена серия тестовых испытаний, заключающихся в одновременной регистрации сигнала ЛДФ (показателя микроциркуляции – ПМ, измеряемого в перфузионных единицах – пф. ед.) и температуры на дистальной фаланге третьего пальца правой руки с проведением стандартного окклюзионного теста. Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что существенное влияние на вид кривой изменения температуры оказывают условия окружающей среды: температура и влажность воздуха в помещении, скорость движения воздушных потоков и т.д. Непостоянство внешних условий делает полученные данные непригодными для дальнейшей обработки и затрудняет их интерпретацию.

Для поддержания постоянных условий микроклимата было предложено внести корректировку в методику измерений, а именно, регистрировать сигналы ЛДФ и температуры при нахождении кисти испытуемого в термостабилизированной среде с известными физическими свойствами – в воде. Обладая несомненными преимуществами, такой подход имеет и недостатки, одним из которых является необходимость гидроизоляции ЛДФ–зонда и преоб-

преобразователей температуры в процессе эксперимента. Указанный недостаток был устранен путем надевания на руку испытуемого медицинской перчатки. Другая проблема состояла в том, что техническая реализация прибора ЛДФ («ЛАКК–02») предусматривает расположение световодного зонда нормально к исследуемой поверхности, т.е. регистрация сигнала ЛДФ невозможна без нарушения целостности перчатки. Для решения данной проблемы была разработана и изготовлена посредством печати на 3D принтере специальная оснастка, представляющая собой насадку на металлический оконечник световодного зонда приборов серии «ЛАКК». На рисунке 2 представлена 3D модель (а) и внешний вид (б) разработанной насадки.

Благодаря зеркалу предлагаемая насадка преломляет ход световых лучей под углом 90° и, таким образом, позволяет располагать световодный зонд прибора не перпендикулярно, а вдоль поверхности тела. Кроме того, насадка предусматривает расположение на ней двух преобразователей температуры устройства термометрии: для регистрации кожной температуры – на внутренней стороне, для контроля изменения температуры окружающей среды в процессе эксперимента – на внешней стороне.

Тестовые эксперименты по отладке использования прибора «ЛАКК–02» с насадкой на световодный зонд показали, что ее использование снижает или исключает вовсе появление артефактов записи ЛДФ–граммы, связанных с двигательной активностью испытуемого, а также иными внешними влияющими факторами (толчки и вибрации поверхности, на которой лежит рука испытуемого, движения самого испытуемого, движения оптических волокон, шаги, открывание/закрывание дверей в лаборатории). Однако несмотря на слабую чувствительность к артефактам, способ регистрации ЛДФ–граммы с использованием насадки не утрачивает чувствительности к стандартным функциональным нагрузочным тестам, применяемым для оценки адаптационных резервов системы МЦК (дыхательному, постуральному, окклюзионному), что также было подтверждено экспериментально.

Для предварительной апробации метода диагностики функционального состояния периферического кровотока пальцев рук была проведена серия измерений, заключающаяся в одновременной регистрации сигнала ЛДФ и изменения кожной температуры дистальной фаланги третьего пальца правой руки при проведении окклюзионного теста в термостабилизированной водной среде. Анализ полученных данных показал, что несмотря на равные условия проведения экспериментов (положение руки испытуемого на 20 см ниже уровня сердца, температура воды 20–25 °С), ответная температурная реакция на окклюзию плечевой артерии у одного и того же условно здорового добровольца может существенно различаться. Так, к примеру, у одного из испытуемых разница между минимальной и максимальной температурой после снятия окклюзии в первом эксперименте составила почти 5 °С, в то время как во втором лишь 1,7 °С. При этом было отмечено, что начальная температура дистальной фаланги третьего пальца правой руки до погружения в воду в первом и втором случае также различалась и составляла 34,0 и 30,7 °С соответственно. Таким образом, был сделан вывод о зависимости результата эксперимента от начальной температуры зоны исследования.

Очевидно, что повторяемость экспериментов достигается путем соблюдения строгих требований к ходу их проведения и обеспечением равных начальных условий. Поэтому в методику проведения исследования было решено добавить предварительный этап, заключающийся в погружении кисти испытуемого в горячую воду с температурой 42 °С. Именно при этой температуре происходит полная дилатация сосудов, и кровоток стабилизируется на максимально возможном уровне [14]. Кроме того, целесообразным является введение в протокол исследования заключительного этапа, также состоящего в погружении кисти испытуемого в горячую воду с температурой 42 °С, с целью интенсификации восстановления кровотока в кисти после ее охлаждения и окклюзии, произведенных на предыдущем этапе.

Исследование функционального состояния периферического кровотока пальцев рук проводилось на двух группах: контрольной и основной. В контрольную группу входили добровольцы, лица мужского ($n = 6$) и женского ($n = 5$) пола, не имеющие по данным опроса диагностированных заболеваний системы кровообращения, костно–мышечной системы и соединительной ткани (условно здоровые добровольцы). Средний возраст в контрольной груп-

пе составил $23,2 \pm 5,9$ лет, общее количество экспериментов – 17. Основную группу составляли пациенты, мужчины ($n = 5$) и женщины ($n = 36$), находившиеся на стационарном лечении в ревматологическом отделении Орловской областной клинической больницы. Наиболее распространенными диагнозами в данной группе являлись: ревматоидный артрит, артрозы суставов, системная красная волчанка. Средний возраст в основной группе составил $56,0 \pm 12,2$ лет, общее количество экспериментов – 41.

Исследования проводились преимущественно в первой половине дня, спустя 2–3 часа после приема пищи, в состоянии психического и физического покоя. Регистрация показателя микроциркуляции велась с помощью одного из каналов анализатора «ЛАКК–02», измерения температуры осуществлялись с помощью разработанного двухканального устройства термометрии. Областью исследования являлась кожа дистальной фаланги третьего пальца правой руки.

Перед исследованием проводилась подготовка к работе и настройка нуля анализатора «ЛАКК–02» согласно инструкции. Испытуемый адаптировался к условиям помещения в течение минимум 10 мин. В это время в одной теплоизолированной емкости объемом 10 л производилась подготовка горячей воды ($42\text{ }^{\circ}\text{C}$) для этапов разогрева кисти испытуемого. В другой теплоизолированной емкости объемом 10 л производилась подготовка воды для основной части эксперимента (в соответствии с протоколом исследования температура воды составляла $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Испытуемый садился таким образом, чтобы предплечье правой руки находилось на 20 см ниже уровня сердца. На предплечье одевалась манжета механического тонометра CS Medica CS–106. Манжета фиксировалась без пережатия кровообращения, не накачивалась. На дистальную фалангу третьего пальца правой руки устанавливался световодный зонд анализатора «ЛАКК–02» с насадкой с установленными на ней преобразователями температуры устройства термометрии. Преобразователь, предназначенный для регистрации кожной температуры, находился на нижней стороне насадки и непосредственно контактировал с областью исследования, преобразователь, предназначенный для контроля изменения температуры окружающей среды в процессе эксперимента, находился на верхней стороне насадки. На руку испытуемого надевалась медицинская латексная перчатка, размер которой выбирался таким образом, чтобы обеспечить надежную фиксацию насадки на пальце без пережатия кровообращения.

Исследование заключалось в одновременной непрерывной регистрации сигналов ЛДФ и температуры и проводилось по следующему протоколу:

- 1) в течение 2 мин рука испытуемого находилась на воздухе;
- 2) по истечении 2 мин кисть погружалась в емкость с горячей водой ($42\text{ }^{\circ}\text{C}$) и 4 мин находилась в ней;
- 3) затем кисть погружалась в емкость с водой при температуре $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и находилась в ней 23 мин;
- 4) по истечении 10 мин после погружения кисти в воду при температуре $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в манжете механического тонометра CS Medica CS–106 создавалось и поддерживалось в течение 3 мин давление, превышающее систолическое минимум на 30 мм рт. ст. По истечении трехминутного окклюзии давление в манжете резко снижалось до исходного;
- 5) на 30–й мин эксперимента рука снова погружалась в емкость с горячей водой ($42\text{ }^{\circ}\text{C}$) и находилась в ней до полного восстановления кровотока и температуры в течение 5–11 мин. Таким образом, общая продолжительность одного эксперимента составляла не более 40 мин.

Проведенные исследования в рамках описанных выше групп добровольцев позволили выявить как минимум три характерных типа отклика на группу последовательно проводимых нагрузочных тестов. Примеры типичных для выявленных типов отклика ЛДФ– и термограмм представлены на рисунке 3.

В таблице 1 представлены сводные данные по каждому предложенному типу отклика с характерными отличительными чертами и их интерпретацией.

Выявленные изменения температурного отклика на окклюзионную пробу свидетельствуют о формировании выраженных изменений в системе МЦК у пациентов с заболеваниями ревматологического профиля. Полученные данные указывают на нарушения системы ре-

гуляции кровоснабжения в виде ярко выраженной склонности к ангиоспазму микрососудистого русла пальцев рук.

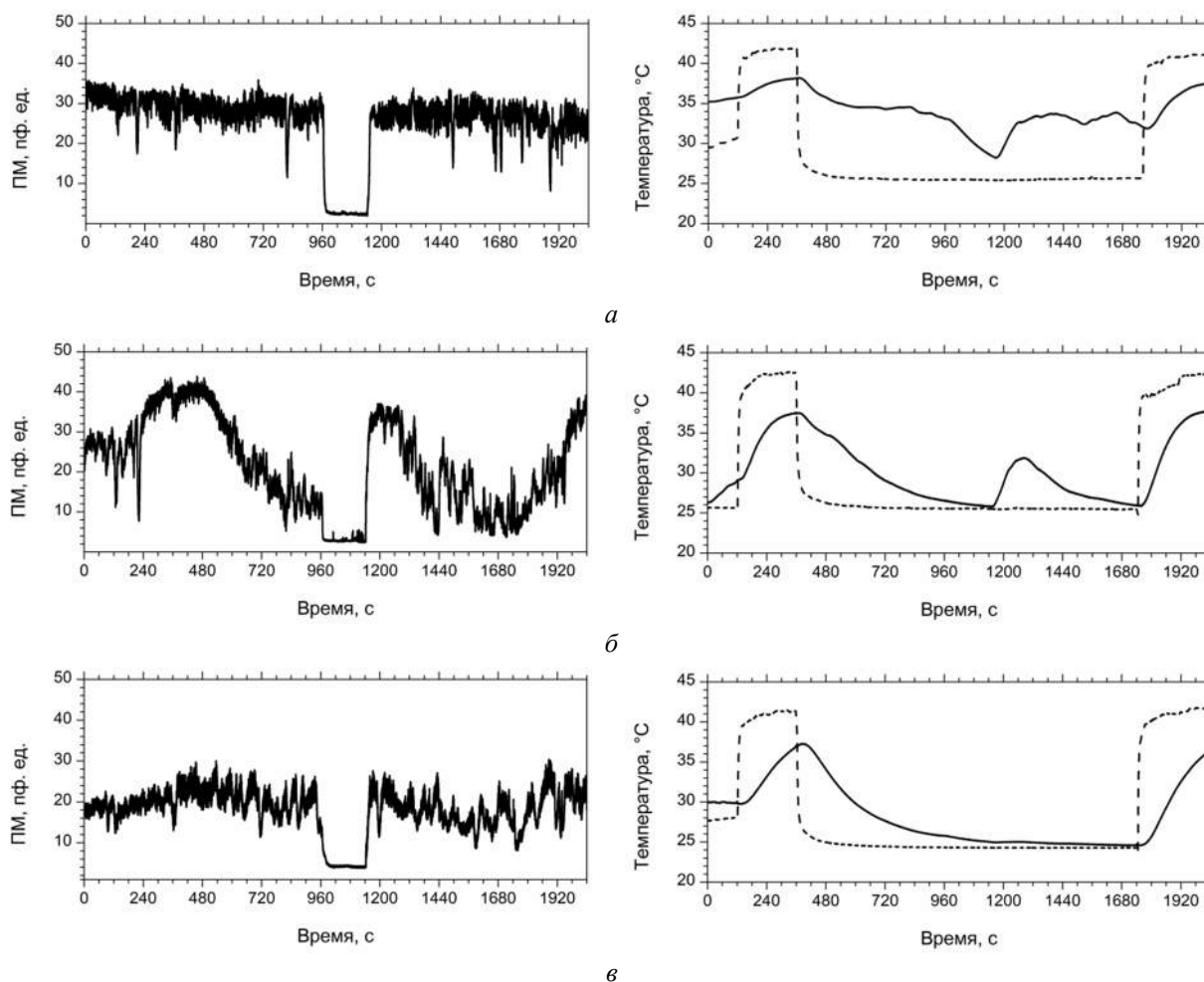


Рисунок 3 – Примеры типичных ЛДФ–грамм (слева) и термограмм (справа) для выявленных типов отклика: а – тип I; б – тип II; в – тип III. На термограммах сплошная линия – кривая изменения температуры исследуемой области, пунктирная линия – кривая изменения температуры окружающей среды в процессе эксперимента

Так, отклик по типу III среди группы пациентов из группы с заболеваниями ревматологического профиля наблюдался, главным образом, в наиболее тяжелых случаях заболевания (49 % от данной группы), в то время как в контрольной группе – только в 12 % случаев. Высокие частоты встречи отклика по типу I среди пациентов после консультаций с группой лечащих врачей были объяснены применением в условиях стационара сильнодействующих лекарственных средств, усиливающих микроциркуляцию (Трентал[®], Актовегин[®]). Невысокая тяжесть заболевания позволяла на время скомпенсировать патологическое состояние применением назначенных фармакологических препаратов.

Принимая во внимание тот факт, что резкие нарушения состояния периферического кровотока и системы его регуляции у больных ревматологического профиля коррелируют с тяжестью клинической картины [2], можно предположить, что предложенный метод не только найдет применение в части определения наличия или отсутствия поражения системы МЦК при ревматических заболеваниях, но и послужит инструментом их ранней диагностики. Моделирование переходных процессов изменения микроциркуляции крови и кожной температуры во время проведения нагрузочных проб, а также причинно–следственные связи между параметрами этих процессов позволят обосновать предлагаемые диагностические критерии выраженности патологического состояния в области исследования.

Таким образом, на примере сравнения групп условно здоровых добровольцев и пациентов ревматологического профиля было показано, что предложенный оригинальный метод

может быть использован для оценки нарушений кровоснабжения пальцев рук, в том числе в диагностике склонности сосудов к ангиоспазму.

Таблица 1 – Интерпретация полученных данных.

	Тип I	Тип II	Тип III
Предлагаемая оценка	Нормальная регуляция	Нормальная регуляция	Склонность к ангиоспазму
Доминирующий процесс, формирующий температуру при охлаждении в воде	Приток горячей крови из гомойотермного ядра. Приток тепла с кровью <i>сопоставим</i> с отдачей тепла в окружающую среду.	Охлаждение конечности в воде. Приток тепла с кровью <i>меньше</i> , чем отдача тепла в окружающую среду.	Охлаждение конечности в воде. Приток тепла с кровью <i>значительно меньше</i> , чем отдача тепла в окружающую среду.
Качественная характеристика графика изменения температуры	<i>Неэкспоненциальное</i> охлаждение. <i>Присутствие</i> волн изменения температуры. В течение 10 мин кожа рук <i>не охлаждается до температуры воды</i> (разница 3–8 °С). После снятия окклюзии присутствует умеренно выраженное повышение температуры и показателя микроциркуляции.	<i>Экспоненциальное</i> охлаждение. <i>Отсутствие</i> волн изменения температуры. В течение 10 минут кожа рук <i>приближается к температуре воды</i> (разница 1–3 °С). После снятия окклюзии <i>присутствует</i> ярко выраженное повышение температуры кожи (2–4 °С) и показателя микроциркуляции от уровня до начала окклюзии.	То же, что и типе II, однако после снятия окклюзии повышение температуры кожи от уровня до начала окклюзии <i>отсутствует</i> .
Качественная характеристика графика ЛДФ	Высокий или средний уровень перфузии.	Средний уровень перфузии.	Уровень перфузии заметно снижен.
Интерпретация	Отличное кровоснабжение пальцев рук.	Хорошее кровоснабжение пальцев рук. После снятия охлаждения восстановление исходной температуры кожи.	Нарушенное кровоснабжение пальцев рук. Склонность к ангиоспазму. После снятия охлаждения температура кожи восстанавливается с трудом.
Обычное состояние рук со слов добровольцев	Горячие руки	Теплые руки	Холодные руки
Частота встреч у условно здоровых добровольцев	41 %	47 %	12 %
Частота встреч у пациентов из группы с заболеваниями ревматологического профиля	34 %	17 %	49 %

На основе проведенных экспериментальных исследований был разработан метод диагностики функционального состояния периферического кровотока пальцев рук для пациентов ревматологического профиля, основанный на проведении окклюзионного теста в термостабилизированной среде с одновременной записью сигналов ЛДФ и кожной термометрии. Проведенные эксперименты по отработке данного метода на контрольной группе добровольцев без диагностированных заболеваний системы кровообращения, костно-мышечной системы и соединительной ткани, а также группе пациентов, страдающих заболеваниями ревматологического профиля, позволили выделить три характерных типа отклика на комплекс предлагаемых нагрузочных проб. В рамках предложенных типов отклика приведены и интерпретированы результаты экспериментальных исследований. Получены данные о том, что у пациентов ревматологического профиля чаще встречается отклик, который может быть интерпретирован как склонность к ангиоспазму. Оценены перспективы применения разработанного метода для диагностики микроциркуляторных нарушений при ревматических заболеваниях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабанова, Р.М. Динамика распространенности ревматических заболеваний, входящих в XIII класс МКБ–10, в популяции взрослого населения Российской Федерации за 2000–2010 г.г. / Р.М. Балабанова, Ш.Ф. Эрдес // Научно–практическая ревматология. – 2012. – № 52(3). – С. 10 – 12.
2. Никонова, Л.В. Современные аспекты комплексного лечения больных ревматоидным артритом / Л.В. Никонова // Казанский медицинский журнал. – 2002. – Т. 83. – № 2. – С. 81 – 88.
3. Мач, Э.С. Тканевая микроциркуляция при ревматических заболеваниях: клинико–функциональные особенности и лечение: автореф. дисс. ... док. мед. наук: 14.00.39: защищена 20.04.90 / Мач Эвелина Семеновна. – М., 1989. – 43 с.
4. Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно–тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 496 с.
5. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev [et al.] // Physiological Measurement. – 2014. – № 35 (4). – pp. 607 – 621.
6. Дунаев, А.В. Анализ физиологического разброса параметров микроциркуляторно–тканевых систем / А.В. Дунаев [и др.] // Биотехносфера. – 2013. – № 5. – С.44 – 53.
7. Молодкина, О.А. Функциональное состояние микроциркуляторного русла при системных васкулитах и системных заболеваниях соединительной ткани: автореф. дисс. ... канд. мед. наук: 14.00.39: защищена 13.09.05 / Молодкина Олеся Анатольевна. – Ярославль, 2005. – 25 с.
8. Андриенко, А.В. Вегетативно–микроциркуляторные нарушения у больных ревматоидным артритом / А.В. Андриенко, Д.С. Бубликов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 12. – С. 163 – 166.
9. Дунаев, А.В. Исследование возможностей тепловидения и методов неинвазивной медицинской спектродетекции в функциональной диагностике / А.В. Дунаев [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 6–2 (284). – С. 96 – 100.
10. Жеребцова, А.И. Оценка взаимосвязи параметров микроциркуляции крови и кожной температуры при окклюзионной пробе / А.И. Жеребцова // Биотехносфера. – 2015. – № 2. – С.15 – 21.
11. Сагайдачный, А.А. Восстановление спектра колебаний кровотока из спектра колебаний температуры пальцев рук, дисперсия температурного сигнала в биоткани / А.А. Сагайдачный [и др.] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2013. – № 1(45). – С. 76 – 82.
12. Подтаев, С.Ю. Исследование микроциркуляции крови с помощью вейвлет–анализа колебаний температуры кожи / С.Ю. Подтаев [и др.] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2009. – № 3 (31). – С. 14 – 20.
13. Platinum thin film sensor elements. Medium Temperature Range (–70°C to +500°C) [Electronic resource]. – URL: <http://www.kamet–trading.nl/uploads/file/Kamet%20datasheet/Medium%20thin%20film.pdf>.
14. Ley, O. Use of temperature alterations to characterize vascular reactivity / O. Ley [et al.] // Clinical Physiology and Functional Imaging. – 2011. – № 31(1). – pp. 66 – 72.

Жеребцова Ангелина Ивановна

ФГБОУ ВПО Государственный университет – УНПК, г. Орел

Стажер–исследователь научно–образовательного центра «Биомедицинская инженерия»,

соискатель кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

учебно–научно–исследовательского института информационных технологий

Тел.: +7 (4862) 41–98–76

E–mail: angelina.zherebtsova@yandex.ru

A.I. ZHEREBTSOVA

DIAGNOSTICS METHOD OF THE PERIPHERAL VESSELS FUNCTIONAL STATE OF FINGERS FOR RHEUMATOLOGICAL PATIENTS

It was developed a diagnostics method of the peripheral vessels functional state of fingers based on carrying out the occlusion test in the thermally stabilized environment, with simultaneous recording of signals of laser Doppler flowmetry and skin thermometry. Experiments on improvement of this method in the control group of healthy volunteers, as well as in a group of suffering from rheumatological diseases patients were carried out. The results of experimental studies were present-

ed and interpreted. The prospects of the developed diagnostics method of microcirculatory disorders in rheumatic diseases were evaluated.

Keywords: *non-invasive diagnostics, laser Doppler flowmetry, skin thermometry, occlusive test, blood microcirculation, peripheral blood flow, rheumatic diseases.*

BIBLIOGRAPHY

1. Balabanova, R.M. Dinamika rasprostranennosti revmaticheskikh zabolevaniy, vkhodyashchikh v XIII klass MKB–10, v populyatsii vzroslogo naseleniya Rossiyskoy Federatsii za 2000–2010 g.g. / R.M. Balabanova, SH.F. Erdes // Nauchno–prakticheskaya revmatologiya. – 2012. – № 52(3). – S. 10 – 12.
2. Nikonova, L.V. Sovremennyye aspekty kompleksnogo lecheniya bolnykh revmatoidnym artritom / L.V. Nikonova // Kazanskiy meditsinskiy zhurnal. – 2002. – T. 83. – № 2. – S. 81 – 88.
3. Mach, E.S. Tkanevaya mikrotsirkulyatsiya pri revmaticheskikh zabolevaniyakh: kliniko–funktsionalnyye osobennosti i lecheniye: avtoref. diss. ... dok. med. nauk: 14.00.39: zashchishchena 20.04.90 / Mach Evelina Semenovna. – M., 1989. – 43 s.
4. Krupatkin, A.I. Funktsionalnaya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno–tkanevykh sistem: kolebaniya, informatsiya, nelineynost: rukovodstvo dlya vrachey / A.I. Krupatkin, V.V. Sidorov – M.: LIBROKOM, 2013. – 496 s.
5. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev [et al.] // Physiological Measurement. – 2014. – № 35 (4). – pp. 607 – 621.
6. Dunayev, A.V. Analiz fiziologicheskogo razbrosa parametrov mikrotsirkulyatorno–tkanevykh sistem / A.V. Dunayev [i dr.] // Biotekhnosfera. – 2013. – № 5. – S.44 – 53.
7. Molodkina, O.A. Funktsionalnoye sostoyaniye mikrotsirkulyatornogo rusla pri sistemnykh vaskulitakh i sistemnykh zabolevaniyakh soyedinitelnoy tkani: avtoref. diss. ... kand. med. nauk: 14.00.39: zashchishchena 13.09.05 / Molodkina Olesya Anatolyevna. – Yaroslavl, 2005. – 25 s.
8. Andriyenko, A.V. Vegetativno–mikrotsirkulyatornyye narusheniya u bolnykh revmatoidnym artritom / A.V. Andriyenko, D.S. Bublikov // Fundamentalnyye issledovaniya. – 2013. – № 12. – S. 163 – 166.
9. Dunayev, A.V. Issledovaniye vozmozhnostey teplovideniya i metodov neinvazivnoy meditsinskoy spektrofotometrii v funktsionalnoy diagnostike / A.V. Dunayev [i dr.] // Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2010. – № 6–2 (284). – S. 96 – 100.
10. Zherebtsova, A.I. Otsenka vzaimosvyazi parametrov mikrotsirkulyatsii krovi i nakozhnoy temperatury pri okklyuzionnoy probe / A.I. Zherebtsova // Biotekhnosfera. – 2015. – № 2. – S.15 – 21.
11. Sagaydachnyy, A.A. Vosstanovleniye spektra kolebaniy krovotoka iz spektra kolebaniy temperatury paltsev ruk, dispersiya temperaturnogo signala v biotkani / A.A. Sagaydachnyy [i dr.] // Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya. – 2013. – № 1(45). – S. 76 – 82.
12. Podtayev, S.YU. Issledovaniye mikrotsirkulyatsii krovi s pomoshchyu veyvlet–analiza kolebaniy temperatury kozhi / S.YU. Podtayev [i dr.] // Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya. – 2009. – № 3 (31). – S. 14 – 20.
13. Platinum thin film sensor elements. Medium Temperature Range (–70°C to +500°C) [Electronic resource]. – URL: <http://www.kamet-trading.nl/uploads/file/Kamet%20datasheet/Medium%20thin%20film.pdf>.
14. Ley, O. Use of temperature alterations to characterize vascular reactivity / O. Ley [et al.] // Clinical Physiology and Functional Imaging. – 2011. – № 31(1). – pp. 66 – 72.

Zherebtsova Angelina Ivanovna

State University ESPC, Orel

Early stage researcher of scientific–educational center «Biomedical Engineering», applicant for doctoral degree of the Department «Instrumentation, metrology and certification» of Educational and Research Institute of Information Technology

Ph. +7 (4862) 41–98–76

E–mail: angelina.zherebtsova@yandex.ru