

УДК 616.13-004.6:612.135-008-053.8

DOI: 10.24884/1682-6655-2017-16-4-35-41

ВАСИЛЬЕВ А. П. СТРЕЛЬЦОВА Н. Н.,  
САЛАМОВА Л. А.

## Функциональное состояние микрогемодициркуляции кожи у больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей по данным лазерной доплеровской флоуметрии

Тюменский кардиологический научный центр, Томский национальный исследовательский медицинский центр  
Российской академии наук, Томск, Россия  
Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, д. 111  
e-mail: sss@cardio.tmn.ru

Статья поступила в редакцию 06.06.17; принята к печати 27.10.17

### Реферат

**Введение.** Высокая распространенность и плохой прогноз облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей делают актуальным всестороннее изучение данного заболевания.

**Цель исследования** – выявить особенности функционального состояния микроциркуляции (МЦ) кожи нижних конечностей у больных перемежающейся хромотой (ПХ).

**Материал и методы.** У 75 больных с ПХ и 15 здоровых лиц исследовали МЦ методом лазерной доплеровской флоуметрии.

**Результаты исследования.** У больных выявлено достоверное снижение нутритивного кровотока по сравнению со здоровыми лицами на 25,9 % и активизация артерио-веноулярного шунтирования крови (+45,6 %), что сопровождается венозным полнокровием и усугубляет реологические нарушения крови.

**Заключение.** Обнаруженные сдвиги МЦ создают условия для прогрессирования функциональной недостаточности периферического кровотока.

**Ключевые слова:** облитерирующий атеросклероз артерий нижних конечностей, микроциркуляция кожи

**Для цитирования:** Васильев А. П., Стрельцова Н. Н., Саламова Л. А. Функциональное состояние микрогемодициркуляции кожи у больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей по данным лазерной доплеровской флоуметрии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2017;16(4):35–41. doi: 10.24884/1682-6655-2017-16-4-35-41

UDC 616.13-004.6:612.135-008-053.8

DOI: 10.24884/1682-6655-2017-16-4-35-41

VASILIEV A. P., STRELTSOVA N. N.,  
SALAMOVA L. A.

## Functionality of skin microhemocirculation in patients with obliterating atherosclerosis of lower extremity arteries as per laser doppler flowmetry

Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Science, Tomsk, Russia  
Russian Federation, Tyumen, Melnikaitė street, 111  
e-mail: sss@cardio.tmn.ru.

Received 06.06.17; accepted 27.10.17

### Abstract

**Introduction.** High prevalence and a poor prognosis of obliterating atherosclerosis of lower extremity arteries make the comprehensive study of the disease as a pressing issue.

**Aim of the study.** To reveal features of functional state of lower extremities skin microcirculation (MC) in patients with intermittent claudication (IC).

**Material and methods.** Microcirculation in 75 patients with IC and 15 healthy subjects was assessed by laser Doppler flowmetry.

**Results.** In IC patients compared to healthy people significant decrease in nutritive blood flow by 25.9 % was detected as well as activation of arterio-venous blood shunting (+45.6 %) with venous congestion that causes worsening in blood rheology abnormalities.

**Conclusion.** The detected shifts in MC lead to the progression of functional insufficiency in peripheral blood flow.

**Key words:** *obliterating atherosclerosis of lower extremity arteries, skin microcirculation.*

**For citation:** Vasiliev A. P., Streletsova N. N., Salamova L. A. Functionality of skin microhemocirculation in patients with obliterating atherosclerosis of lower extremity arteries as per laser doppler flowmetry. *Regional hemodynamics and microcirculation.* 2017;16(4):35–41. doi: 10.24884/1682-6655-2017-16-4-35-41

## Введение

Облитерирующий атеросклероз артерий нижних конечностей (ОААНК) – довольно частое и прогностически серьезное проявление системного атеросклероза. Основным клиническим синдромом атеросклеротического поражения сосудов нижних конечностей является перемежающаяся хромота (ПХ) [4]. Согласно результатам эпидемиологических исследований [7], распространенность заболеваний периферических артерий колеблется до 22,9 %, составляя в среднем 12 %. По расчетным данным, число лиц, страдающих ПХ в России, не менее 18 млн, что ежегодно приводит к выполнению 20 000–40 000 ампутаций [3]. Известно, что у больных с ОААНК существует высокий риск развития инфаркта миокарда и острого нарушения мозгового кровообращения. Показано, что по сравнению с общей популяцией вероятность развития инфаркта миокарда у них повышена на 20–60 %, риск смерти от коронарной недостаточности – в 2–6 раз, риск развития инсульта повышается на 40 % [11].

Важно подчеркнуть, что у значительной части больных с ОААНК уже при первом обращении регистрируется ИБ (хирургическая) стадия заболевания по классификации А. В. Покровского, и в течение 6 месяцев после диагностирования этого состояния конечность удастся сохранить лишь у 40 % больных, так как 20 % больных умрут, а остальным будет выполнена ампутация [11, 13].

Таким образом, высокая распространенность ОААНК с ПХ и значительный риск развития сосудистых катастроф и преждевременной смерти у данного контингента лиц делает весьма актуальным раннее выявление этой патологии и эффективное ее лечение.

Тесный функциональный контакт микроциркуляторного (МЦ) русла с тканями определяет адекватность их трофического обеспечения, создающий для жизни необходимый гомеостаз. Функциональная биологическая роль терминального сосудистого русла делает его важнейшим компонентом, определяющим функциональное состояние организма. В силу этого именно МЦ является той областью, где прежде всего происходят сдвиги компенсаторно-приспособительного характера и формируются патологические изменения. Несмотря на обилие работ, посвященных ОААНК, ощущается необходимость в уточнении особенностей формирования микроциркуляторной несостоятельности у больных с ПХ, понимание которых позволит расширить возможности консервативной терапии. Принимая во внимание биологическую важность процессов, происходящих на уровне терминального сосудистого русла, остается весьма актуальным дальнейшее изучение характера

его изменения у данного контингента больных с использованием высокоинформативного метода лазерной доплеровской флоуметрии.

**Цель** работы – выявить особенности функционального состояния микроциркуляторного русла кожи нижних конечностей у больных перемежающейся хромотой.

## Материал и методы исследования

В исследовании приняли участие 75 больных мужского пола с ангиографически подтвержденным облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей (средний возраст – 60,2±6,3 года). В исследование включались пациенты с ПХ ИБ-стадии (по А. В. Покровскому), с лодыжечно-плечевым индексом  $\leq 0,85$ , без заболеваний крови, бронхо-легочной патологии, сложных нарушений ритма и сердечной недостаточностью не выше II функционального класса. У 25 пациентов (33 %) стаж заболевания ПХ составил более 5 лет. У 88,1 % выявлена артериальная гипертензия, 68,0 % страдали ИБС, из них 13 в прошлом перенесли инфаркт миокарда. Все больные получали базовую терапию, включающую статины, аспирин, а при необходимости – гипотензивные препараты. За 3-е суток до исследования препараты с вазолитическим действием отменялись. Для установления нормальных значений исследуемых показателей была сформирована контрольная группа, состоящая из 15 практически здоровых лиц (средний возраст – 45,0±14,2 года).

МЦ кожи исследовали методом лазерной доплеровской флоуметрии на аппарате «ЛАКК-М» (НПП «Лазма», Россия). Исследование проводили в соответствии с существующими рекомендациями [6–8] в утренние часы, натощак, в горизонтальном положении больного, при температуре воздуха 22–24 °C, после 15-минутного периода адаптации в помещении. Датчик фиксировался на тыльной поверхности стопы пораженной конечности на уровне 2-го пальца. Оценивали следующие параметры: показатель микроциркуляции (ПМ, перф. ед.), отражающий средний уровень гемоперфузии в единице объема ткани за единицу времени; среднее квадратичное отклонение (СКО,  $\delta$ , перф. ед.) – средние колебания перфузии относительно среднего значения потока крови ПМ. В ходе окклюзионной пробы оценивали резерв капиллярного кровотока (РКК, %). Расчет амплитудно-частотного спектра колебаний перфузии осуществлялся с помощью прилагаемого к анализатору программного обеспечения методом вейвлет-преобразования. В различных частотных диапазонах оценивали амплитудные показатели, отражающие активные, то-

нусформирующие механизмы контроля микроциркуляции – выраженность эндотелиальной (Аэ), нейрогенной (Ан) и миогенной (Ам) функции микрососудов. Пассивные факторы регуляции представлены показателями венозного оттока, вызываемого дыхательными экскурсиями (Ад) и пульсовым кровотоком (Ас). Амплитуды осцилляций кровотока оценивали по их максимальным значениям ( $A_{\max}$ ). Общую мощность спектра флуксуций определяли как сумму показателей амплитуд ритмических составляющих:  $M=A_э^2+A_н^2+A_м^2+A_д^2+A_с^2$ , а вклад каждого компонента спектра рассчитывали по формуле  $A_i/M \cdot 100\%$ . Расчетным методом определяли показатель артериоло-венулярного шунтирования крови (ПШ, ед.), нейрогенный и миогенный тонус (НТ, ед.; МТ, ед.). Микрососудистый (МС) тонус рассчитывали по формуле  $СКО/Ам$  [6]. О величине нутритивного кровотока ( $M_{\text{нутр}}$ ) судили по отношению ПМ/ПШ [7]. Исследовали показатель  $Ам/\delta$ , тесно коррелирующий с числом функционирующих капилляров [7]. По методике [7] определяли частоту встречаемости различных гемодинамических типов микроциркуляции (ГТМ): нормоциркуляторный, спастический, гиперемический и застойно-статический.

Полученные результаты исследований обработаны с использованием IBM «SPSSStatistic 21» for Windows. Для анализа распределения переменных применяли критерий Колмогорова–Смирнова. Данные представлены в виде среднего арифметического  $M$  и среднеквадратичного отклонения ( $SD$ ). Поскольку распределение всех изучаемых параметров было отличным от нормального, для оценки различий между двумя независимыми выборками использовали  $U$ -критерий Манна–Уитни. Полученные различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

Представленная работа одобрена Этическим комитетом Тюменского кардиологического научного центра и выполнена в соответствии со стандартами Good Clinical Practice и принципами Хельсинской декларации. У всех исследуемых пациентов получено письменное информированное согласие.

### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о равнозначных параметрах базального микроциркуляторного кровотока у больных ОААНК и здоровых лиц. Как показано в таблице, величина средней гемоперфузии (ПМ) и среднее колебание перфузии (СКО), отражающие кровенаполнение исследуемого объекта, в группах не имели различий. Более полное представление о функционировании МС-русла может дать изучение амплитудно-частотного спектра колебаний перфузии. Анализ функционального состояния активных,

### Показатели ЛДФ у здоровых и больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей ( $M \pm SD$ )

#### Laser Doppler flowmetry parameters in healthy patients and with obliterating atherosclerosis of the lower extremities ( $M \pm SD$ )

Показатель	Здоровые (n=15)	Больные (n=75)	p
ПМ, перф. ед.	6,76±3,63	7,5±3,32	0,46
СКО, перф. ед.	1,00±0,59	0,95±0,53	0,85
Аэ, перф. ед.	0,32±0,21	0,38±0,23	0,37
Ан, перф. ед.	0,43±0,26	0,57±0,43	0,41
Ам, перф. ед.	0,41±0,37	0,27±0,19	0,27
Ад, перф. ед.	0,10±0,09	0,20±0,15	<b>0,004</b>
Ас, перф. ед.	0,21±0,16	0,15±0,08	0,37
МТ, у. ед.	65,5±62,52	64,11±36,77	0,48
НТ, у. ед.	45,18±27,24	28,41±15,5	<b>0,049</b>
ПШ, у. ед.	1,87±1,86	2,72±2,04	<b>0,043</b>
Ам/δ, у. ед.	0,41±0,25	0,3±0,17	<b>0,039</b>
$M_{\text{нутр}}$ , у. ед.	9,56±9,02	4,06±3,04	<b>0,05</b>
РКК, %	222,3±72,8	168,0±50,3	<b>0,025</b>
СТ, ед.	3,92±2,92	4,44±2,28	<b>0,046</b>

Примечание: p – уровень статистической значимости; Ам/δ – плотность капилляров; Аэ, Ан, Ам, Ад, Ас – амплитудные показатели микроциркуляции;  $M_{\text{нутр}}$  – величина нутритивного кровотока; МТ, НТ – миогенный тонус и нейрогенный; ПМ – показатель микроциркуляции; ПШ – показатель шунтирования; РКК – резерв капиллярного кровотока; СКО – средние колебания перфузии относительно ПМ; СТ – микрососудистый тонус.

тонусформирующих факторов МЦ обнаружил выраженную тенденцию у больных ОААНК к снижению амплитуды колебаний кровотока в миогенном частотном диапазоне (Ам – 34,6 %). Несмотря на отсутствие статистически значимого различия этого показателя по сравнению с группой здоровых лиц, данный факт может указывать на увеличение мышечного тонуса прекапиллярных сфинктеров, что согласуется с ростом показателя МС-тонуса (СТ), составившего 4,44±2,28 ед. против 3,92±2,92 ед. в контрольной группе ( $p=0,046$ ). Констрикция метартериол и прекапиллярных сфинктеров сопровождается ограничением плотности капилляров, на что указывает достоверное ( $p=0,039$ ) снижение показателя Ам/δ, тесно коррелирующее с числом функционирующих капилляров [7, 10], с 0,41±0,25 ед. у здоровых до 0,3±0,17 ед. у больных ОААНК ( $p=0,039$ ). О депрессии нутритивного кровотока уже в состоянии покоя свидетельствуют также более низкие значения показателя  $M_{\text{нутр}}$ : с 4,06±3,04 ед. против 8,56±9,09 ед. у здоровых (–48,1 %;  $p=0,05$ ).

Выраженная тенденция к увеличению флуксуций в нейрогенном частотном диапазоне (Ан, +33,7 %) свидетельствует об ограничении вазоконстрикторного контроля артериолярного тонуса симпатическими нервами. Это подтверждается снижением по сравнению с группой здоровых нейрогенного тонуса (НТ) на 37,1 % ( $p=0,049$ ). Ишемия ткани является мощным стимулом к дилатации резистивных сосудов. В условиях выраженного атеросклероза пораженной конечности, сочетающегося с эндотелиальной дис-



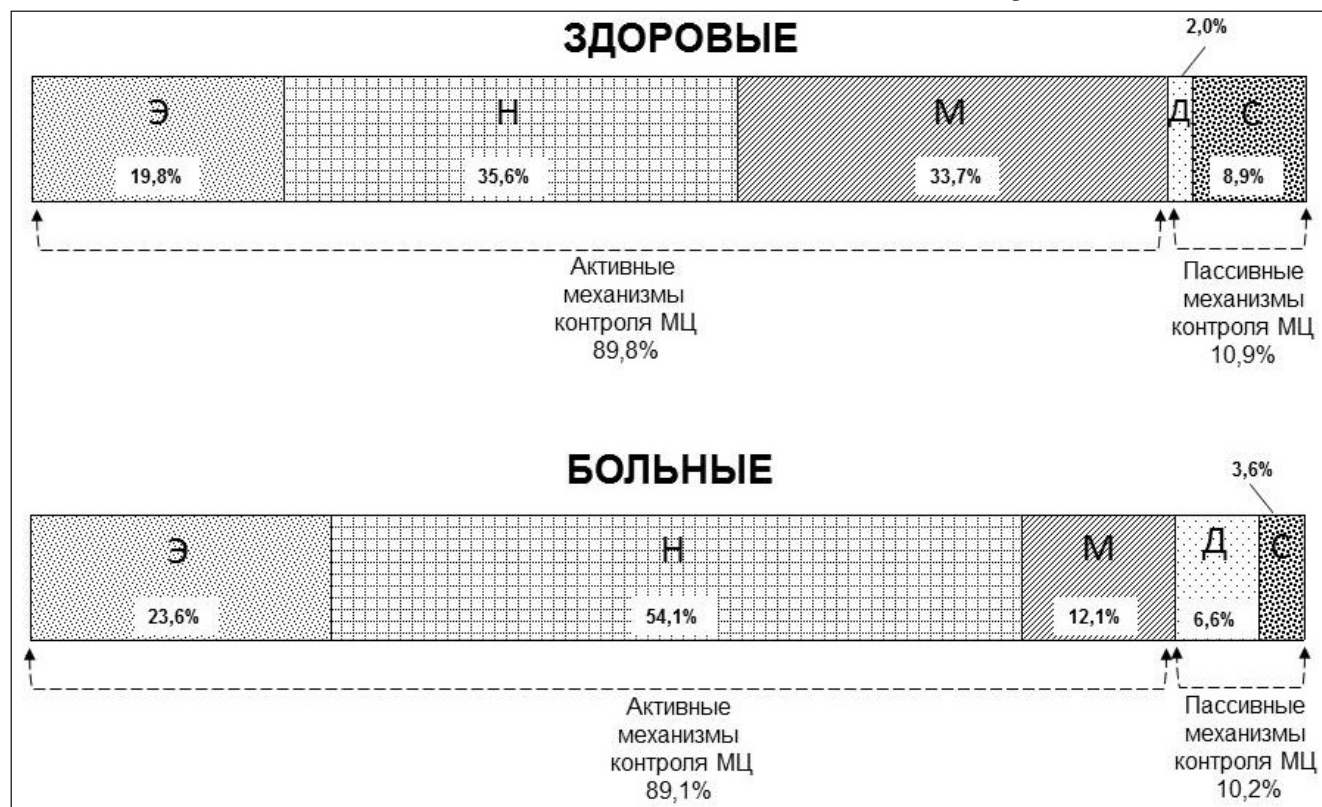


Рис. 1. Вклад отдельных ритмических составляющих в общую мощность спектра флуксоций: Э – эндотелиальный; Н – нейрогенный; М – миогенный; Д – дыхательный; С – пульсовой факторы микрокровотока; МЦ – микроциркуляция

Fig. 1. The contribution of individual rhythmic components to the total power spectrum of flux motions: E – endothelial; N – neurogenic; M – myogenic; R – respiratory; C – pulse factors of micro blood flow; MC – microcirculation

функцией, увеличение притока крови происходит преимущественно за счет расширения более мелких сосудов – артериол, которое обеспечивается снижением вазоконстрикторного симпатического влияния.

Довольно тесная и взаимообусловленная связь тонуса прекапилляров с плотностью капилляров дает основание трактовать констрикцию прекапиллярных сфинктеров как реакцию в ответ на снижение плотности капилляров у больных ОААНК вследствие rareфикации МС, нарушения реологии крови, обусловленной снижением деформируемости эритроцитов, их сладжированием, стагированием микрокровотока и т. д. То есть первоначальное лимитирование нутритивного кровотока может явиться стимулом для охранительного ограничения поступления крови в капиллярное русло, так как избыточный в данном случае поток крови и возрастание перфузионного давления способны вызвать деструктивные процессы в капиллярной системе. Представленная концепция согласуется с результатами исследования [14, 16], показавших определенную зависимость тонуса метартериол и прекапиллярных сфинктеров от объема общей перфузии МС-русла, что в ряде случаев служит защитным механизмом. Основываясь на данном положении, можно объяснить парадоксальный, на первый взгляд, факт увеличения тонуса прекапиллярных сфинктеров, препятствующих поступлению крови в нутритивное русло ишемизированной ткани у больных ОААНК.

Таким образом, в результате проведения исследований выявлены разнонаправленные сдвиги регу-

ляции кровотока в различных сегментах МС-русла: увеличение притока крови в систему МЦ в результате депрессии симпатического вазоконстрикторного влияния, с одной стороны, и увеличение мышечного тонуса прекапилляров – с другой. Подобные преобразования спастико-атонического характера сопровождаются раскрытием артериоло-венулярных анастомозов и шунтированием крови в обход нутритивного русла. Это подтверждается существенным (на 45,6 %) увеличением у больных ОААНК ПШ ( $p=0,043$ ). Регистрируемое при этом возрастание амплитуды дыхательной волны (Ад), составившей  $0,2 \pm 0,15$  перф. ед. против  $0,1 \pm 0,09$  перф. ед. в группе здоровых ( $p=0,004$ ), свидетельствует о нарушении венозного оттока [12, 15]. Венозное полнокровие негативно сказывается на реологических свойствах крови, еще более усугубляя МЦ-несостоятельность. Важно подчеркнуть существенное снижение у больных с ПХ резерва МЦ-кровотока. РКК у последних равнялся  $168,0 \pm 50,3$  %, в то время как у здоровых он составил  $222,3 \pm 72,8$  ( $p=0,025$ ). Снижение резервного потенциала микрогемодикуляции вызвано уменьшением плотности МС, недостаточным вазолитическим эффектом гипоксии во время окклюзии конечности, обусловленным низким выходом эндотелиального фактора дилатации и нарушением реологических свойств крови. Следовательно, у больных с ПХ, МЦ пораженной конечности у которых характеризуется снижением плотности функционирующих капилляров, ограничением нутритивного кровотока и снижением резервного потенциала МЦ, наблюда-

ется функциональное «обкрадывание» капиллярного русла, обусловленное активизацией кровотока по артериоло-венулярным шунтам.

Характер изменения структуры амплитудно-частотного спектра микрогемодициркуляции наглядно демонстрирует анализ вклада отдельных его ритмических составляющих. Суммарное соотношение активных тонусформирующих (эндотелиальных, нейрогенных, миогенных) и пассивных (дыхательных, пульсовых) механизмов контроля МЦ в группе здоровых и больных было аналогичным (89,1/10,9 % и 89,8/10,2 % соответственно). Однако вклад отдельных факторов, определяющих периферический кровоток в рассматриваемых группах, имел существенные различия (рис. 1). У здоровых лиц вклад в спектр активных факторов МЦ представлен в основном ритмическими составляющими в нейрогенном (35,6 %) и миогенном (33,7 %) частотных диапазонах; среди пассивных механизмов контроля преобладали пульсовые колебания (8,9 %). У больных ОААНК периферическая гемодициркуляция пораженной конечности осуществлялась при значительном участии нейрогенных факторов, вклад которых в общий спектр модуляций составил 54,1 %. В пассивном диапазоне осцилляций микрокровотока преобладали высокочастотные колебания дыхательных ритмов (6,6 %).

Таким образом, в структуре вклада различных ритмических составляющих в микрогемодициркуляцию у больных с перемежающейся хромотой наблюдается дисбаланс, характеризующийся возрастанием роли нейрогенных факторов контроля МЦ и существенным ограничением миогенных факторов.

Анализ гемодинамических типов МЦ (ГТМ) продемонстрировал низкую частоту встречаемости у пациентов с ПХ наиболее сбалансированного нормоциркуляторного ГТМ (8 % против 40 % у здоровых лиц) (рис. 2). Вместе с тем значительно чаще выявлялись гиперемический (50 %) и застойно-стазический (32 %) варианты гемодинамики, ассоциирующиеся с наименее благоприятным прогнозом [2].

### Заключение

Таким образом, МЦ кожи стопы пораженной конечности у больных ОААНК уже в состоянии физиологического покоя характеризуется выраженными функциональными сдвигами. Анализ полученных данных свидетельствует об особенностях регуляции МС-тонуса с четко выявляемой тенденцией, заключающейся в увеличении тонуса прекапиллярных сфинктеров, одновременном росте притока крови по артериолам и развитии венозного полнокровия. Результаты проведенных исследований согласуются с ранее полученными данными [1, 5], установившими снижение кровотока в капиллярах и формирование венозного застоя по мере прогрессирования артериальной недостаточности нижних конечностей. Нами предложена модель развития указанных патофизиологических сдвигов.

Независимо от причин формирования выявленных микрогемодинамических преобразований, которые представляют собой интегративный итог влияния многообразных факторов контроля МС-тонуса

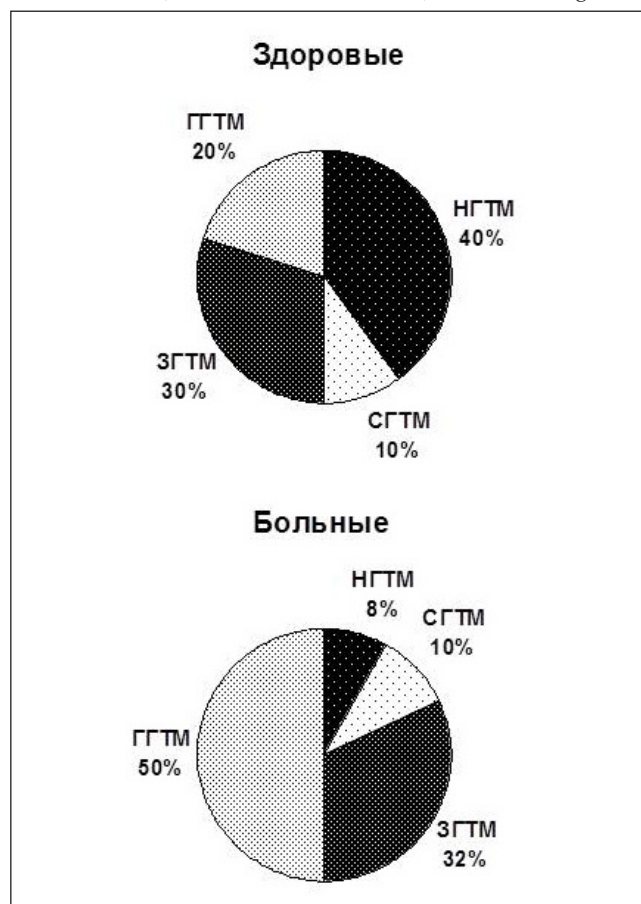


Рис. 2. Частота встречаемости различных гемодинамических типов микроциркуляции у здоровых и больных облитерирующим атеросклерозом нижних конечностей: НГТМ – нормоциркуляторный; СГТМ – спастический; ЗГТМ – застойно-стазический; ГГТМ – гиперемический гемодинамический тип микроциркуляции

Fig. 2. The frequency of various hemodynamic types of microcirculation in healthy patients and with obliterating atherosclerosis of the lower extremities: NCMC – normo-circulatory type of microcirculation; SMC – spastic type of microcirculation; SSMC – microcirculation with stagnant stasis; HHMC – hyperemic hemodynamic type of microcirculation

в различных сегментах МЦ-русла, складывается своеобразная картина: с одной стороны, наблюдается снижение нутритивного кровотока ишемизированной ткани; с другой стороны, значительная часть увеличенного притока крови в прекапиллярную область вследствие дилатации артериол в условиях констрикции прекапиллярных сфинктеров направляется по артериоло-венулярным шунтам в обход капиллярной сети. Непродуктивная в данном случае микрогемодициркуляция характеризуется «обкрадыванием» ишемизированной ткани, увеличением венозного полнокровия и, как следствие, еще большим нарушением реологических свойств крови. К сказанному следует добавить существенное ограничение резервного потенциала МЦ, о чем свидетельствуют достоверно более низкие показатели РКК.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные вейвлет-спектры осцилляций микрокровотока здорового (а) и больного ОААНК (б). В первом случае доминирующая роль в обеспечении тканевой



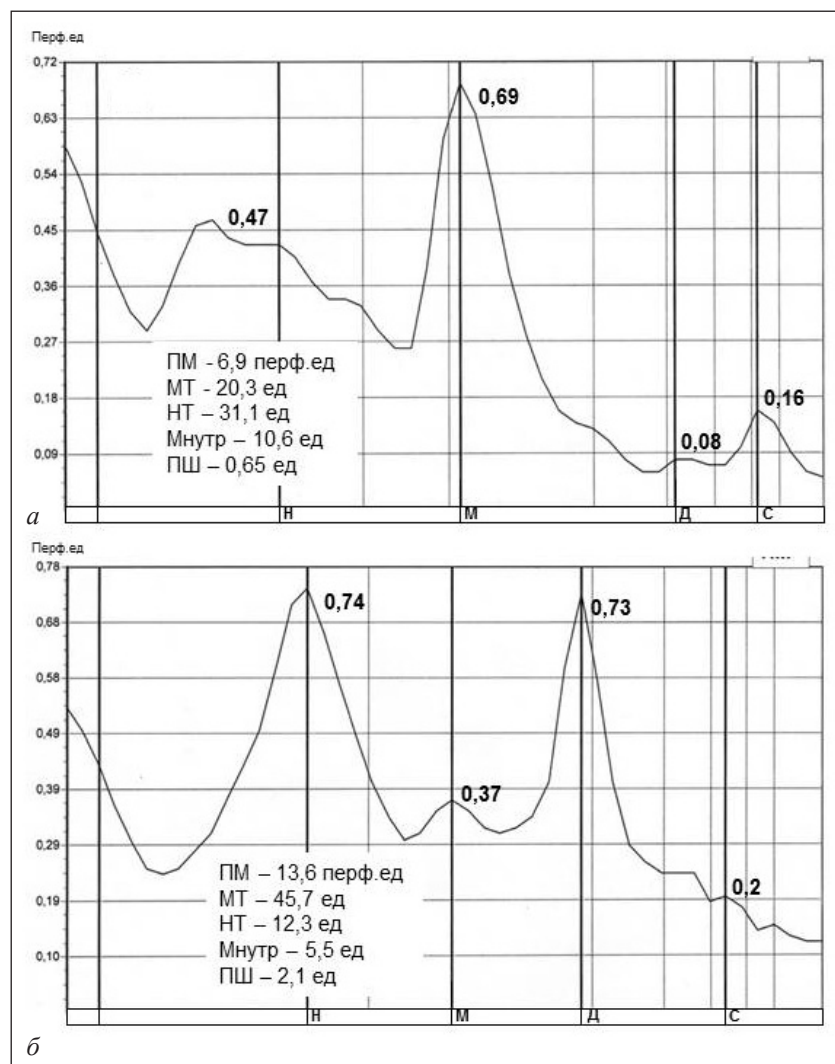


Рис. 3. Примеры ЛДФ-грамм здорового (а) и больного облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей (б) (вейвлет-преобразование): Н – нейрогенный; М – миогенный; Д – дыхательный; С – пульсовой факторы микрокровотока; М<sub>нутр</sub> – нутритивный кровотока; МТ – миогенный тонус; НТ – нейрогенный тонус; ПМ – показатель общей перфузии; ПШ – показатель шунтирования

Fig. 3. LDF in healthy (a) and in patient with obliterating atherosclerosis of the lower extremities (b) (wavelet transform): N – neurogenic; M – myogenic; R – respiratory; C – pulse factors of micro blood flow; MCNutr – nutritive blood flow; MT – myogenic tonus; NT – neurogenic tonus; TPI – total perfusion index; BR – bypass ratio

гемоперфузии принадлежит миогенному фактору (Ам – 0,69 перф. ед.), свидетельствуя о дилатации прекапиллярных сфинктеров и активном нутритивном кровотоке (М<sub>нутр</sub> – 10,6 ед.). При этом низкие показатели ПШ и Ад указывают на хороший венозный отток. У пациента с ПХ ЛДФ-грамма демонстрирует максимальное значение амплитуд колебаний кровотока в диапазоне респираторного спектра (Ад – 0,73 перф. ед.) на фоне низких показателей миогенных модуляций (Ам – 0,37 перф. ед.). Данное сочетание функциональных микрососудистых параметров следует рассматривать как констрикцию прекапилляров с ограничением нутритивного кровотока (М<sub>нутр</sub> – 5,5 ед.) и венозным полнокровием в результате интенсификации шунтирования крови (ПШ – 2,1 ед.) и уменьшением венозного оттока.

Полученные результаты свидетельствуют не только о грубом нарушении периферического кровотока у больных с ОААНК, но и дают основание говорить о патогенетической роли выявленных сдвигов, при которых взаимотягачивающие факторы создают условия для прогрессирования заболевания.

### Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interests.

### Литература / References

1. Азизов Г. А., Дуванский В. А., Гагарин Е. Н., Баженова Г. Е. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке микроциркуляции у больных облитерирующим атеросклерозом сосудов нижних конечностей // Лазерная медицина. – 2011. – Т. 15. – № 2. – С. 115. [Azizov GA, Duvanskiy VA, Gagarin EN, Bazhenova GE. Laser Doppler flowmetry for evaluation of microcirculation in patients with obliterating vascular atherosclerosis in lower extremities. LaserMedicine. 2011; 2(15): 115. (In Russ)].
2. Васильев А. П., Стрельцова Н. Н., Секисова М. А. и др. Функциональные особенности и клинко-прогностическое значение различных гемодинамических типов микроциркуляции у больных артериальной гипертензией // Уральский медицинский журнал. – 2008. – № 9. – С. 90–95 [Vasilev AP, Streltsova NN, Sekisova MA. Et al. Funktsional'nye osobennosti i kliniko-prognosticheskoe znachenie razlichnykh gemodinamicheskikh tipov mikrotsirkulyatsii u bol'nykh arterial'noi gipertoniei. Ural'skii meditsinskii zhurnal 2008; 9:90-95. (In Russ)].
3. Калинин Р. Е., Мжаванадзе Н. Д., Деев Р. В. Перемежающаяся хромота: лечебная тактика практикующего врача // Лечащий врач. – 2013. – № 7. – С. 65–70. [Kalinin RE, Mzhavanadze ND, Deev RV. Peremeshayushchayasya khromota: lechebnaya taktika praktikuushchego vracha. Lechashchii vrach. 2013; 7: 65-70. (In Russ)].
4. Клиническая ангиология: в 2 т. / под ред. А. В. Покровского. – М.: Медицина, 2004. – 1696 с. [Klinicheskaya angiologiya. V 2 tomakh / Ed. By AV. Pokrovsky. Moscow: Medicine, 2004. 1696 p. (In Russ)].
5. Козлов В. И. Капиллярскопия в клинической практике. – М.: Практическая медицина, 2015. – 232 с. [Kozlov VI. Kapillyaroskopiya v klinicheskoi praktike. Moscow: Practical medicine; 2015. 232 p. (In Russ)].
6. Козлов В. И., Азизов Г. А., Гурова О. А., Литвин Ф. Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. – М.: РУДН, 2012. – 31 с. [Kozlov VI, Azizov GA, Gurova OA, Litvin FB. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya v otsenke sostoyaniya i rasstroistv mikrotsirkulyatsii krovi. Moscow: RUDN, 2012. 31 p. (In Russ)].
7. Крупаткин А. И. Динамический колебательный контур регуляции капиллярной гемодинамики // Физиология человека. –

2007. – Т. 33. – № 5. – С. 93–101 [Krupatkin AI. *Dinamicheskie kolebatel'nyi kontur regulyatsii kapillyarnoi gemodinamiki. Fiziologiya cheloveka.* 2007; 5(33): 93–101. (In Russ)].

8. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: рук-во для врачей. – М.: Либроком, 2013. – 496 с. [Krupatkin AI, Sidorov VV. *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: kolebaniya, informatsiya, nelineinost' (rukovodstvo dlya vrachei).* Moscow: LIBROKOM; 2013. 496 p. (In Russ)].

9. Маколкин В. И. Микроциркуляция в кардиологии. – М.: Визарт, 2004. – 135 с. [Makolkin VI. *Mikrotsirkulyatsiya v kardiologii.* Moscow: VizArt; 2004. 135p. (In Russ)].

10. Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей / под ред. А. В. Покровского. – М., 2013. – 68 с. [Natsional'nye rekomendatsii po vedeniyu patsientov s zabolevaniyami arterii nizhnikh konechnostei. Moscow, 2013. 68p. (In Russ)].

11. Оболенский В. Н., Янин Д. В., Исаев Г. А., Плотников А. А. Хронические облитерирующие заболевания артерий нижних конечностей – диагностика и тактика лечения // Русский медицинский журнал. – 2010. – Т. 18. – № 17. – С. 1049–1054. [Obolenskiy VN, Yanshin DV, Isaev GA, Plotnikov AA. *Khronicheskie obliteriruyushchie zabolevaniya arterii nizhnikh konechnostei – diagnostika i taktika lecheniya.* Russkii meditsinskii zhurnal. 2010; 17(18): 1049–1054. (In Russ)].

12. Тюрина М. И., Красников Г. В., Пискунова Г. М. и др. Формирование респираторно-зависимых колебаний скорости кровотока в микроциркуляторном русле кожи человека в условиях контролируемого дыхания // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2011. – Т. 10. – № 3. – С. 31–37. [Tyurina MI, Krasnikov GV, Piskunova GM. et al. *Formation of the respiratory-associated blood flow oscillations in the microvascular bed of the human skin under controlled breath conditions. Regional hemodynamics and microcirculation.* 2011; 3(10): 31–37. (In Russ)].

13. Cacoub P, Cambou JP, Kawnator S. et al. Prevalence of peripheral arterial disease in high-risk patients using ankle-brachial index in general practice: a cross-sectional study. *Int. J. Clin. Pract.* 2009; 1(63): 63–70. doi: 10.1111/j.1742-1241.2008.01953.x.

14. Durand S, Zhang R, Cui J. et al. Evidence of a myogenic response in vasomotor control of forearm and palm cutaneous

microcirculations. *J Appl Physiol.* 2004; 97: 535–539. doi: 10.1152/japplphysiol.01299.2003.

15. Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. et al. Synergetic Interpretation of Patterned Vasomotor Activity in Microvascular Perfusion: Discrete Effects of Myogenic and Neurogenic Vasoconstriction as well as Arterial and Venous Pressure Fluctuation. *Int. J. Microcirc.* 1997; 17: 346–359.

16. Widmer RJ, Stewart RH, Young MF. et al. Application of local heat induces capillary recruitment in the pallid bat wing. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2007; 292: 2312–2317. doi: 10.1152/ajpregu.00873.2006.

## Информация об авторах

**Васильев Александр Петрович** – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отделения артериальной гипертензии и коронарной недостаточности научного отдела клинической кардиологии Тюменского кардиологического научного центра, Томского национального исследовательского медицинского центра, e-mail: sss@cardio.tmn.ru.

**Стрельцова Нина Николаевна** – научный сотрудник отделения артериальной гипертензии и коронарной недостаточности научного отдела клинической кардиологии Тюменского кардиологического научного центра, Томского национального исследовательского медицинского центра, e-mail: sss@cardio.tmn.ru.

**Саламова Ляйсан Анваровна** – врач-кардиолог кардиологического отделения № 3 Тюменского кардиологического научного центра, Томского национального исследовательского медицинского центра, e-mail: salamova@cardio.tmn.ru.

## Author information

**Vasiliev Alexander P.** – doctor of medical sciences, Chief Scientist Office of arterial hypertension and coronary insufficiency of the scientific Department of clinical cardiologists Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences Tomsk, Russia, e-mail: sss@cardio.tmn.ru.

**Streltsov Nina N.** – researcher at the Department of hypertension and coronary insufficiency of the scientific Department of clinical cardiology Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences Tomsk, Russia, e-mail: sss@cardio.tmn.ru.

**Salamova Liaisan A.** – doctor Cardiology branch Tyumen Cardiology Research Center, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences Tomsk, Russia, e-mail: salamova@cardio.tmn.ru.