

Кукс А.Н., Кудаева И.В., Сливницына Н.В.

## СОСТОЯНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С ВИБРАЦИОННОЙ БОЛЕЗНЬЮ, ИМЕЮЩИХ МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск

**Введение.** Известен факт корреляции стажа работы в условиях воздействия вибрации с заболеваемостью метаболическим синдромом (МС) и сахарным диабетом (СД) 2-го типа.

**Цель** – изучить состояние микроциркуляции при вибрационной болезни (ВБ), связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, осложнённой СД или МС.

**Материал и методы.** Проведено проспективное поперечное обследование 38 мужчин с ВБ I и II степени на фоне МС (I группа) или СД (II группа). Исследование показателей микроциркуляции осуществляли на лазерном анализаторе «ЛАКК-01» на коже подушечки второго пальца кисти. Сравнение количественных показателей проводили с помощью критерия Манна–Уитни, исследование связи признаков – при помощи корреляции Спирмена.

**Результаты.** Установлено статистически значимое увеличение  $An/CKO$  у пациентов I группы. Снижение  $Ae/CKO$  во II группе на 29,6% по сравнению с первой находилось на уровне  $p = 0,05$ . Медиана  $Am/CKL$  в обеих группах превышала верхний референтный уровень. Спастический тип микроциркуляции у лиц с ВБ + СД встречался в 3 раза чаще, гиперемический – в 1,68 раза реже, чем у ВБ + МС, в 8% случаев встречался застойный тип микроциркуляции. У 90% всех обследуемых установлен венозный застой. У пациентов с ВБ и МС тип микроциркуляции находился в ассоциации с  $An/CKO$ , увеличение  $Am/CKO$  – со снижением  $Ae/CKO$ . У лиц с ВБ + СД  $Ae/CKO$  сопряжена с уровнем насыщения кровотока кислородом и потреблением кислорода тканью, резерв капиллярного кровотока – с  $Am/CKO$ .

**Заключение.** Микроциркуляция у лиц с ВБ + МС характеризуется частичной сохранностью взаиморегулирующих влияний между эндотелиальными и миогенными модуляциями, снижением тонуса сосудов, обусловленным миогенным и нейрогенным механизмами, развитием гиперемического типа. У пациентов с ВБ + СД зарегистрировано полиморфное нарушение всех типов модуляций, отсутствие взаиморегулирующих ассоциаций между ними, развитие гиперемического, спастического и застойного типов.

**Ключевые слова:** вибрационная болезнь; метаболический синдром; сахарный диабет; лазерная доплеровская флоуметрия; микроциркуляция.

**Для цитирования:** Кукс А.Н., Кудаева И.В., Сливницына Н.В. Состояние микроциркуляции у пациентов с вибрационной болезнью, имеющих метаболические нарушения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1096-1101. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1096-1101>

**Для корреспонденции:** Кудаева Ирина Валерьевна, доктор мед. наук, доцент, зам. директора по научной работе, зав. КДЛ, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: [kudaeva\\_irina@mail.ru](mailto:kudaeva_irina@mail.ru)

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность врачу функциональной диагностики высшей категории Купцовой Н.Г. за обучение в проведении метода ЛДФ и консультационную помощь.

**Финансирование.** Финансирование работы осуществлялось за счёт средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Кудаева И.В., Сливницына Н.В.; сбор и обработка материала – Кукс А.Н., Сливницына Н.В.; статистическая обработка данных – Кудаева И.В.; написание текста – Кукс А.Н.; редактирование – Кудаева И.В., Сливницына Н.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – Кудаева И.В.

Поступила 10.09.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: октябрь 2019

Kuks A.N., Kudaeva I.V., Slivnitsyna N.B.

## THE STATE OF MICROCIRCULATION IN PATIENTS WITH VIBRATION DISEASE PROVIDING METABOLIC DISORDERS

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

**Introduction.** It is known that the work experience under the influence of vibration correlates with the incidence of metabolic syndrome (MS) and type 2 diabetes mellitus (DM).

**Purpose:** to study the state of microcirculation in vibration disease (VD) associated with the combined effects of local and general vibration complicated by DM or MS.

**Material and methods.** A prospective cross-examination of the 38 VD men with I and II degree in combination with MS (group I) or DM (group II) study was conducted. The research of microcirculation indices was carried out on the laser analyzer "LAKK-01" on the skin of the second finger. Normalized values of the amplitudes of microcirculation oscillations, respectively, associated with endothelial ( $Ae/SD$ ), neurogenic ( $An/SD$ ), and myogenic ( $Am/SD$ ) regulation of microvessels were determined. A comparison of quantitative indices was carried out using the Mann-Whitney test, the investigation of the relationship between signs – using Spearman correlation.

**Results.** A statistically significant increase in  $An/SD$  was found in patients of group I. The decrease in  $Ae/SD$  in group II by 29.6% compared to the first group was at the level of  $p=0.05$ . The median  $Am/SD$  in both groups exceeded the upper reference level. Spastic type of microcirculation in VD+DM persons with was by 3 times more often, hyperemic – 1.68 times less often than in BD+MS, in 8% of cases there was a stagnant type microcirculation. 90% of all surveyed cases had venous stagnation. In patients with BD and MS, the type of microcirculation was in association with  $An/SD$ , an increase in  $Am/SD$  with a decrease  $Ae/SD$ . In persons with BD + DM  $Ae/SD$  is associated with the level of blood oxygen saturation and oxygen tissue consumption, the blood flow capillary reserve is associated with  $Am/SD$ .

**Conclusion.** Microcirculation in BD+MS patients is characterized by partial safety of mutual regulatory influences between endothelial and myogenic modulations, decreased vascular tone due to myogenic and neurogenic mecha-

nisms, the development of the hyperemic type. In patients with VD+DM polymorphic disorder of all types of modulations, an absence of mutually regulating associations between them, development of hyperemic, spastic and stagnant types was registered.

**Key words:** vibration disease; metabolic syndrome; diabetes mellitus; laser Doppler flowmetry; microcirculation.

**For citation:** Kuks A.N., Kudaeva I.V., Slivnitsyna N.B. The state of microcirculation in patients with vibration disease providing metabolic disorders. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98 (10): 1096-1101. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1096-1101>

**For correspondence:** Irina V. Kudaeva, MD, PH.D., DSci., associate professor, Deputy Director of scientific work, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: [kudaeva\\_irina@mail.ru](mailto:kudaeva_irina@mail.ru)

**Information about authors:** Kuks A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4685-3669>; Kudaeva I.V., <http://orcid.org/0000-0002-5608-0818>; Slivnitsyna N.V., <http://orcid.org/0000-0002-8984-2452>

**Gratitude.** The authors are grateful to the highest category physician of functional diagnostics Kuptsova N.G. for training in the Laser Doppler Flowmetry method and consulting assistance.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** Financing of the work was carried out at the expense of funds allocated for the state assignment of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

**Contribution:** Concept and design of the study – Kudaeva I.V., Slivnitsyna N.B.; Collection and processing of the material – Kuks A.N., Slivnitsyna N.B.; Statistical data processing – Kudaeva I.V.; Writing text – Kuks A.N.; Editing – Kudaeva I.V., Slivnitsyna N.B.; Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – Kudaeva I.V.

Received: September 9, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: October 2019

## Введение

Вредные и опасные условия труда играют большую роль в развитии как профессиональной, так и общей заболеваемости лиц трудоспособного возраста. Среди профессиональной патологии наибольший удельный вес приходится на заболевания, связанные с воздействием физических факторов [1]. Среди них вибрационная болезнь (ВБ) занимает второе место [1–6]. В зависимости от этиологического фактора различают ВБ от воздействия локальной вибрации и от сочетанного воздействия локальной и общей вибрации. Чаще всего сочетанному воздействию локальной и общей вибрации подвержены водители большегрузных машин (водители лесовоза, «БелАЗа», ЗИЛа, КАМАЗа), трактористы, помощники и машинисты экскаватора, бульдозеристы.

ВБ возникает при длительном контакте с вибрацией, превышающей предельно допустимый уровень, и характеризуется преимущественным поражением сосудистой и нервной систем [7–9]. Причём отмечено, что для сосудистых реакций на вибрационные раздражения характерно наличие последствия [10]. К настоящему времени определены основные типы нарушения микроциркуляции и их специфические особенности, показана роль эндотелиальной дисфункции в патогенезе микроциркуляторных расстройств у пациентов с вибрационной болезнью от воздействия локальной вибрации [11]. Также установлен факт корреляции стажа работы (более 10 лет) в условиях влияния комплекса неблагоприятных факторов с приоритетным воздействием локальной и общей вибрации с заболеваемостью метаболическим синдромом (МС) [12], а также более высокой (в 5 раз) выявляемости сахарного диабета (СД) 2-го типа у пациентов с ВБ по сравнению с общей популяцией населения России [13]. Выявлено, что при длительном воздействии повышенных уровней вибрации происходит нарушение инсулинорезистентности [14], лежащей в основе развития МС и СД. В свою очередь лица с МС предрасположены к развитию периферических сосудистых расстройств [15–18].

Необходимо отметить, что имеющиеся в литературных источниках данные о состоянии микроциркуляции при ВБ представлены в первую очередь нарушениями, вызванными воздействием локальной вибрации.

Цель – изучить состояние микроциркуляции при вибрационной болезни, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, осложнённой сахарным диабетом или метаболическим синдромом.

## Материал и методы

Проведено проспективное поперечное обследование 38 пациентов мужского пола с вибрационной болезнью, вызванной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации I и II

степени. Критериями включения являлись: возраст – до 60 лет, постконтактный период не более 5 лет, наличие СД 2-го типа или МС. Критерии исключения из исследования: наличие патологии в виде хронических заболеваний дыхательной системы; наличие в анамнезе онкологии, почечной, печёночной недостаточности, туберкулёза любой локализации, острого нарушения мозгового кровообращения, аутоиммунных, психических заболеваний. Верификация ВБ и её степени осуществлялась с учётом анализа санитарно-гигиенической характеристики условий труда, стажа работы и результатов полного клинико-функционального обследования. Все обследуемые были разделены на 2 группы: I группу составили пациенты с ВБ с наличием МС (20 человек, средний возраст  $52,3 \pm 3,7$  года). Во II группу вошли пациенты с ВБ, осложнённой СД (18 человек, средний возраст  $55,1 \pm 3,5$  года). Метаболический синдром диагностировался согласно критериям IDF (2005 г.): наличие абдоминально-висцерального ожирения (индекс массы тела  $> 30 \text{ кг/м}^2$  и/или объём талии  $> 94 \text{ см}$ ) и любых 2 из следующих состояний: гипергликемия натощак ( $\geq 6,1 \text{ мм/л}$  венозной крови); артериальное давление  $\geq 130/85 \text{ мм рт. ст.}$ ; дислипидемия, характеризующаяся повышением уровня триглицеридов плазмы крови  $> 1,7 \text{ ммоль/л}$  и/или низким уровнем холестерина липопротеидов высокой плотности  $< 1 \text{ ммоль/л}$ . Диагноз СД установлен в соответствии с Международной классификацией болезней 10-го пересмотра и диагностическими критериями, принятыми Всемирной организацией здравоохранения.

Исследование показателей микроциркуляции осуществляли на лазерном анализаторе скорости поверхностного капиллярного кровотока «ЛАКК-01» (НПП «ЛАЗМА», Россия), оснащённом гелий-неоновым лазером («ЛГН-207Б») с мощностью лазерного излучения на выходе световодного кабеля не менее 0,3 мВт. Тестируемой областью служила кожа подушечки 2-го пальца кисти, наиболее богатая вегетативными и сенсорными нервными волокнами. Диагностика проходила в два этапа: сначала исследовали базальный кровоток, затем проводили нагрузочные функциональные пробы (дыхательную и окклюзионную). Определялись следующие показатели микроциркуляции: М – среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции, регистрируемого в одинаковый временной интервал ( $\sigma$ );  $K_v$  – коэффициент вариации микрокровотока;  $A_z/CKO$ ,  $A_n/CKO$ ,  $A_m/CKO$  – нормированные значения амплитуд колебаний микрокровотока, соответственно связанные с эндотелиальной, нейрогенной и миогенной регуляциями микрососудов; Sm – индекс относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке; I – индекс удельного потребления кислорода в ткани; РКК – резерв микрокровотока при окклюзионной пробе; ИДП – индекс дыхательной пробы при глубоком вдохе и задержке дыхания на 15 с; R/S – показатель Хёрста; Но – относительная энтропия; D2 – корреляционная размерность [19].

**Параметры кровотока кожи подушечки второго пальца кисти в исследуемых группах, Me (Q<sub>25</sub>–Q<sub>75</sub>)**

Показатель	1-я группа ВБ + МС, n = 20	2-я группа ВБ+ СД, n = 18	p
Среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции, регистрируемого в одинаковый временной интервал (σ) (М), пф. ед.	22,0 (17,6–28,2)	21,3 (11,6–26,8)	0,5
Коэффициент вариации микрокровотока (Kv), %	5,50 (4,31–6,85)	6,40 (4,7–8,7)	0,9
Нормированное значение амплитуды колебаний микрокровотока, связанное с:			
эндотелиальной регуляцией микрососудов (Аэ/СКО)	0,35 (0,27–0,42)	0,27 (0,19–0,38)	0,05
нейрогенной регуляцией микрососудов (Ан/СКО)	0,51 (0,49–0,53)	0,47 (0,44–0,51)	0,04
миогенной регуляцией микрососудов (Ам/СКО)	0,55 (0,49–0,66)	0,55 (0,45–0,68)	0,6
Индекс дыхательной пробы при глубоком вдохе и задержке дыхания на 15 с (ИДП), %	48,4 (40,9–70,8)	65,3 (36,4–84,8)	0,7
Резерв микрокровотока при окклюзионной пробе (РКК), %	117,8 (113,5–139,0)	117,9 (112,6–206,0)	0,8
Индекс удельного потребления кислорода в ткани (I)	6,3 (4,6–8,2)	5,6 (3,6–6,64)	0,2
Индекс относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке (Sm)	3,1 (2,4–3,5)	3,0 (2,7–4,17)	0,9
Показатель Хёрста (R/S)	0,48 (0,23–0,66)	0,41 (0,20–0,64)	0,7
Относительная энтропия (Ho)	0,34 (0,33–0,35)	0,34 (0,33–0,35)	0,5
Корреляционная размерность (D2)	1,66 (1,53–1,68)	1,61 (1,47–1,70)	0,5

Статистическая обработка результатов проведена при помощи программного пакета «Statistica 10.0». Сравнение количественных показателей проводили с помощью критерия Манна–Уитни. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Результаты исследований представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного диапазона (Q<sub>25</sub>–Q<sub>75</sub>), качественные признаки – в виде процента и 95% доверительного интервала (ДИ). Исследование связи двух признаков осуществляли при помощи ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ ). Отклонение нулевой гипотезы об отсутствии связи между признаками отвергали при  $p < 0,05$ .

**Результаты**

Анализ параметров микрокровотока (см. таблицу) в различных частотных диапазонах, нормированных по их среднеквадратичному отклонению, позволил установить статистически значимое увеличение амплитуды колебаний кровотока в спектре нейрогенных модуляций Ан у пациентов с ВБ, протекающей на фоне МС. Следует отметить, что медиана Ан/СКО в этой группе находилась на верхней границе референтного интервала

(0,35–0,52), в то время как во второй группе повышенные значения данного показателя имели только 25% обследуемых. Различия между показателем эндотелиальной регуляции Аэ в группе лиц ВБ + СД по сравнению с первой группой (на 29,6%) находились на уровне, близком к статистически значимому (0,05). При этом медиана показателя во второй группе была ниже нормативных значений (0,28–0,42), что свидетельствует о нарушении механизмов эндотелиальной регуляции. Обращает на себя внимание тот факт, что медиана амплитуды колебаний кровотока, связанного с миогенной регуляцией, в обеих группах превышала верхний референтный уровень (0,36–0,53).

По всем остальным показателям исследования микроциркуляции не выявлено статистически значимых межгрупповых различий. Необходимо обратить внимание, что результаты окклюзионной пробы (РКК) показали у пациентов обеих групп сравнимый объем микрососудистого резерва (117,8 (113,5–139)% и 117,9 (112,6–206)%), а значения данного показателя свидетельствуют о сохранной способности микрососудов к дилатации, то есть преимущественно функциональном характере увеличения сосудистого сопротивления.

При сравнении показателей, характеризующих тип микроциркуляции, установлено, что патологические типы микроциркуляции у пациентов с ВБ и МС отмечались в 50% (95% ДИ 23,8–76,2) случаев, при коморбидном течении ВБ на фоне СД – у 58,3% (95% ДИ 30,4–86,2) обследуемых (рис. 1). Спастический тип микроциркуляции во 2-й группе встречался в 3 раза чаще, а гиперемический – в 1,68 раза реже, чем в 1-й группе. Необходимо отметить, что у лиц с ВБ на фоне СД в 8% (95% ДИ 0–24) случаев встречался застойный тип микроциркуляции, в то время как у пациентов с ВБ в сочетании с МС подобных нарушений зарегистрировано не было. У 90% обследуемых обеих групп установлено наличие венозного застоя.

Анализ нарушений эндотелиальных, нейрогенных и миогенных механизмов регуляции микроциркуляции в исследуемых группах позволил установить, что максимальное количество изменений в обеих группах отмечалось в отношении миогенных вазомоций – у 57,1% (95% ДИ 31,2–83,1) и 58,3% (95% ДИ 30,4–86,2) обследуемых в 1-й и 2-й группах соответственно (рис. 2). Нарушение регуляции выражалось в повышении активности миогенных механизмов, при этом выраженное повышение у пациентов с сопутствующим СД отмечалось более чем в 3 раза чаще, чем при сопутствующем МС. Минимальное количество изменений отмечено в отношении амплитуды нейрогенных модуляций – в 21,4% (95% ДИ 0–42,9) и 33,3% (95% ДИ 6,7–60) случаев в 1-й и 2-й группах соответственно. У лиц с ВБ и МС нарушения характеризовались умеренным повышением, в то время как при коморбидном течении ВБ на фоне СД патология нейрогенной регуляции носила гетерогенный характер:

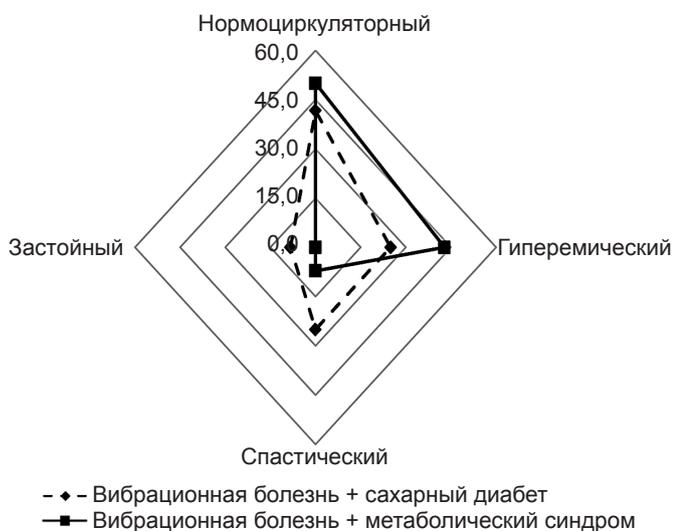


Рис. 1. Профиль типов микроциркуляции у пациентов с вибрационной болезнью, вызванной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, на фоне сахарного диабета или метаболического синдрома (%).

от умеренного снижения до выраженного повышения активности. Что касается эндотелиального компонента вазомоций, было отмечено, что нормальная регуляция отмечалась у 57,1% (95% ДИ 31,2–83,1) пациентов в 1-й и у 33,3% (95% ДИ 6,7–60) – во 2-й группе. Следует отметить, что в случае протекания ВБ на фоне СД преобладало снижение эндотелиального компонента регуляции от умеренной – в 33,3% (95% ДИ 6,7–60) до выраженной степени – в 16,7% (95% ДИ 0–37,8), в то время как при ВБ в сочетании с МС снижение механизмов характеризовалось как умеренное и встречалось в 28,5% (95% ДИ 4,9–52,2) случаев.

На следующем этапе работы были рассчитаны корреляционные отношения между изучаемыми показателями. Установлено, что у пациентов с ВБ и МС тип микроциркуляции и результат дыхательной пробы находились в ассоциации с амплитудой нейрогенной модуляции микрокровотока Ан/СКО ( $r_s = 0,54$ ;  $p = 0,02$  и  $r_s = 0,70$ ;  $p = 0,005$  соответственно), уровень перфузии М и коэффициент вариации Кв коррелировали с состоянием нейрогенной регуляции ( $r_s = -0,52$ ;  $p = 0,037$  и  $r_s = 0,57$ ;  $p = 0,02$  соответственно), а увеличение амплитуды миогенного компонента было сопряжено со снижением амплитуды эндотелиальной вазомоции ( $r_s = -0,53$ ;  $p = 0,034$ ).

В группе лиц с ВБ в сочетании с СД корреляционные связи характеризовались большей силой и касались прежде всего эндотелиального компонента регуляции микрокровотока. В ассоциации с амплитудой Аэ/СКО находились уровень насыщения кровотока кислородом и потребление кислорода тканью ( $r_s = 0,83$ ;  $p = 0,018$  и  $r_s = 0,7$ ;  $p = 0,01$  соответственно), индекс относительной перфузионной сатурации кислорода в микрокровотоке Sm был сопряжен с состоянием эндотелиального компонента регуляции ( $r_s = 0,67$ ;  $p = 0,017$ ). В то же время индекс удельного потребления кислорода в ткани I был ассоциирован с уровнем как эндотелиального, так и нейрогенного компонентов ( $r_s = -0,77$ ;  $p = 0,009$  и  $r_s = -0,7$ ;  $p = 0,02$  соответственно). Резерв капиллярного кровотока (РКК) был сопряжен с состоянием миогенной регуляции ( $r_s = 0,59$ ;  $p = 0,04$ ).

## Обсуждение

Лазерная доплеровская флоуметрия является одним из современных методов изучения функционального состояния микроциркуляторного русла [20–23]. Он позволяет прижизненно оценивать перфузию в микроциркуляторном русле, его резервные и адаптационные возможности. Считается, что частоты колебаний сосудов лежат в определённых границах в зависимости от источника их происхождения. Наименьшей частотой обладают эндотелиальные колебания (0,0095–0,02 Гц) [24], затем следуют нейрогенные (0,021–0,046 Гц) и миогенные (0,047–0,145 Гц) [25, 26]. Увеличение амплитуды любого из «активных» звеньев свидетельствует об усилении модуляции кровотока со стороны данного механизма регуляции и говорит о снижении тонуса [23].

При развитии патологического процесса, связанного с нарушением процессов микроциркуляции, страдают механизмы, регулирующие транскапиллярный перенос и обменные процессы в тканях [27]. Наиболее распространённой формой нарушения гемодинамических типов микроциркуляции у пациентов с ВБ, протекающей на фоне метаболических нарушений в виде МС или СД, является гиперемический тип. Данная форма расстройств микроциркуляции характеризуется усилением притока крови, расширением микрососудов, повышением проницаемости сосудистой стенки и числа функционирующих капилляров, увеличением их извитости [28]. Полученные нами результаты согласуются с данными Любченко П.М. и соавт., установивших, что у лиц с ВБ от воздействия локальной вибрации наиболее часто встречающимся типом нарушения микроциркуляции является гиперемический [29].

В то же время более высокие значения по сравнению с референтными значениями амплитуды миогенных осцилляций у пациентов с ВБ на фоне коморбидной патологии и МС подтверждают результаты экспериментальных исследований, показавших, что инсулин обладает способностью напрямую взаимодействовать с рецепторами гладкомышечных клеток (в т. ч. сфинктеров) терминальных артериол, регулирующих кровоток через капиллярное русло [30]. Также известно, что миогенный

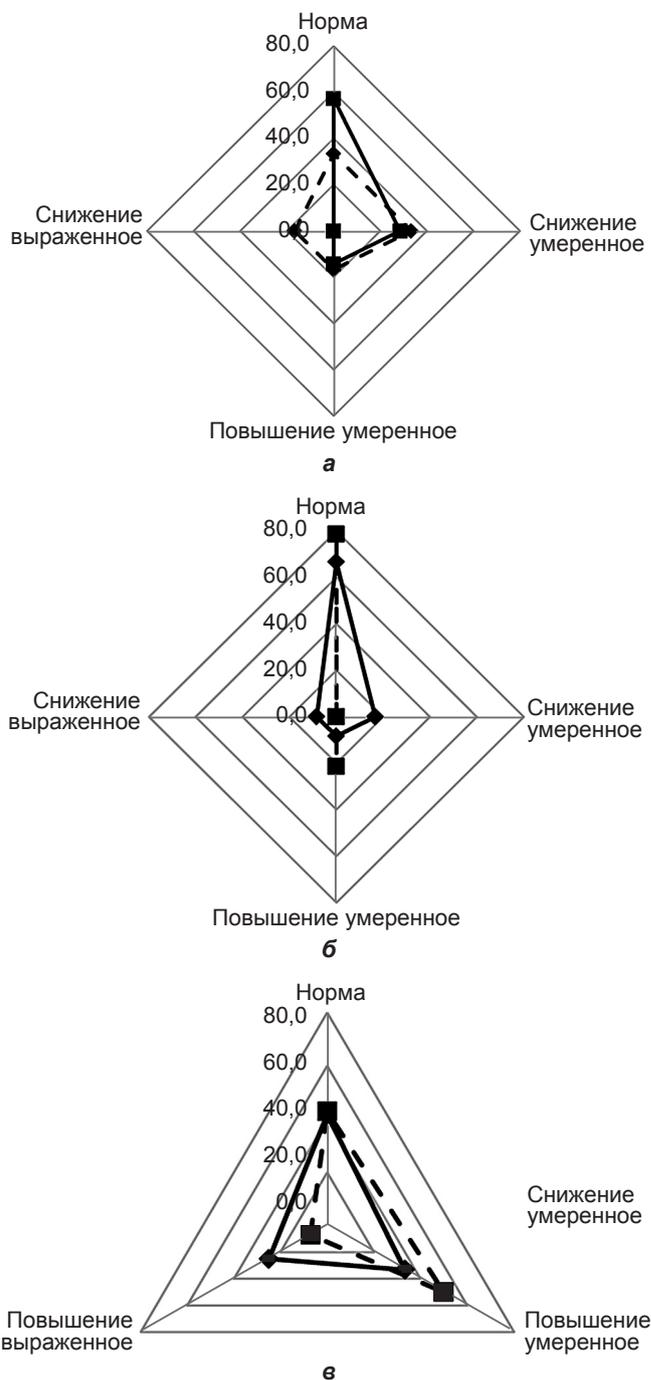


Рис. 2. Профили оценки состояния эндотелиальной (а), нейрогенной (б) и миогенной (в) регуляции микроциркуляции у пациентов с вибрационной болезнью, вызванной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, на фоне сахарного диабета или метаболического синдрома (%).

тонус может быть обусловлен изменением в гладкомышечных волокнах уровня трансмембранного потока ионов кальция и обуславливать уменьшение внутрисосудистого просвета сосудов [31]. В условиях повышенного тонуса метартериол и прекапилляров, оказывающего сопротивление микрокровотоку, часть крови дренируется по артериоло-венулярным шунтам, приводя к посткапиллярному венозному полнокровию. Можно предположить, что по данному механизму развиваются венозный стаз и гиперемический тип микроциркуляции в обследуемых группах. В то же время в группе лиц с ВБ и МС немаловажное значение в развитии нарушений играет нейрогенный механизм. В норме

эндотелиальные ритмы отрицательно коррелируют с миогенными и нейрогенными ритмами. Нейрогенные имеют положительную связь с миогенной активностью и отрицательную – с эндотелиальной [32]. Анализ корреляционных связей между показателями в обследуемых группах позволяет утверждать, что у пациентов с ВБ на фоне МС на 50% сохраняются эндотелиально-миогенные механизмы регуляции, в то время как у лиц с ВБ и СД отсутствуют все из вышеперечисленных взаимодействий.

Считается, что применение лазерной доплеровской флоуметрии является перспективным для выявления ранних нарушений микроциркуляции, сопровождающих развитие инсулинорезистентности и предшествующих развитию СД 2-го типа [33]. В частности, установлено, что изменения вазомоций в коже могут наблюдаться у лиц с инсулинорезистентностью ещё до установления диагноза СД 2-го типа [34]. Их связывают с развитием нарушений нейрогенного вазодилаторного механизма, которые регулируются посредством ноцицептивных немиелинизированных С-волокон (поражение их отражается в снижении вазодилаторной реакции на нагрев) [35]. В наших исследованиях амплитуда колебаний перфузий в нейрогенном диапазоне была повышена у лиц с ВБ в сочетании с МС. В то же время у пациентов с ВБ при коморбидном течении СД именно в ассоциации с нейрогенными модуляциями находятся показатели, характеризующие насыщение кислородом ткани.

Необходимо отметить, что 7–25% обследуемых с ВБ на фоне МС и СД имели спастическую форму нарушения микроциркуляции. Полученные нами данные также согласуются с результатами обследования пациентов с ВБ от локальной вибрации, у которых в 30% случаев отмечается наличие спастического типа микрогемодинамики [29]. Спастическая форма характеризуется комплексом изменений, связанных с уменьшением притока крови в микроциркуляторное русло, в основе чего лежит спазм артериол, замедление кровотока, снижение числа функционирующих капилляров, а также усиление агрегации эритроцитов. При застойной форме происходит усиление данных нарушений вплоть до полной блокады кровотока и резкого нарушения барьерной функции микрососудов [28].

## Заключение

Таким образом, изменение микроциркуляции у лиц с вибрационной болезнью, протекающей на фоне метаболического синдрома, характеризуется частичной сохранностью взаиморегулирующих влияний между эндотелиальными и миогенными модуляциями, снижением тонуса сосудов, обусловленным миогенным и нейрогенным механизмами регуляции, приводящими к развитию в первую очередь гиперемического типа нарушения микроциркуляции.

У пациентов с вибрационной болезнью при коморбидном течении сахарного диабета зарегистрировано полиморфное нарушение со стороны всех типов активных модуляций (эндотелиальной, миогенной и нейрогенной), отсутствие взаиморегулирующих ассоциаций между ними, приводящее к развитию нарушений микроциркуляции гиперемического, спастического и застойного типов.

## Литература

(пп. 8, 21, 24, 30, 33–35 см. References)

- Бабанов С.А., Вакурова Н.В., Азовскова Т.А. *Вибрационная болезнь. Оптимизация диагностических и лечебных мероприятий*. Самара: Офорт; 2012; 158 с.
- Рукавишников В.С., Шяхметов С.Ф., Лахман О.Л., Панков В.А. Профессиональная патология: итоги и перспективы исследований. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2008; 28 (1): 57–63.
- Азовскова Т.А., Вакурова Н.В., Лаврентьев Н.Е. О современных аспектах диагностики и классификации вибрационной болезни. *Русский медицинский журнал*. 2014; 16: 1206–9.
- Горский А.А., Почтарева Е.С., Пилишенко В.А., Куркин Д.П., Глушкова Н.Ю. О состоянии условий труда и профессиональной заболеваемости работников в Российской Федерации. *Здоровье населения и среда обитания*. 2014; 251 (2): 8–11.
- Попова А.Ю. Состояние условий труда и профессиональная заболеваемость в Российской Федерации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 3: 7–13.
- Сюрин С.А., Горбанев С.А. Особенности профессиональной патологии в арктической зоне России: факторы риска, структура, пространственность. *Вестник уральской медицинской академической науки*. 2019; 16 (2): 237–44. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-237-244.
- Измеров Н.Ф., ред. *Профессиональная патология: национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2011; 784 с.
- Русанова Д.В., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Панков В.А., Лахман О.Л. и др. Вибрационная болезнь: гигиенические и лечебные аспекты. *Гигиена и санитария*. 2016; 95 (12): 1180–3.
- Мельникова М.М. Вибрационная болезнь. *Медицина труда и промышленная экология*. 1995; 5: 36–42.
- Карпов В.Н., Любченко П.Н., Горенков Р.В., Рогаткин Д.А., Гинзбург М.Л. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке микроциркуляторных нарушений верхних конечностей у больных вибрационной болезнью. В кн.: *Крупаткин А.И., Сидоров В.В., ред. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови*. М.: Медицина; 2005: 156–75.
- Крылова И.В., Иванова Д.С., Кирьяков В.А., Алиев А.Ф. Факторы риска развития метаболического синдрома у работников при воздействии вибрации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2009; 12: 19–22.
- Лапко И.В., Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Антошина Л.И., Ошкочеров О.А. Влияние производственной вибрации на развитие инсулинорезистентности и сахарного диабета второго типа. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; 2: 30–3.
- Лапко И.В., Кирьяков В.А., Антошина Л.И., Павловская Н.А., Кондратович С.В. Влияние вибрации, шума, физических нагрузок и неблагоприятного микроклимата на показатели углеводного обмена у рабочих горнодобывающих предприятий и машиностроения. *Медицина труда и промышленная экология*. 2014; 7: 32–6.
- Глуткина Н.В., Пырошкин В.М. Метаболический синдром и сердечно-сосудистые заболевания: патофизиологические аспекты. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2012; 2: 15–8.
- Сяян Чу, Киргизова О.Ю. Метаболический синдром: некоторые итоги и перспективы решения проблемы. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2016; 1 (5): 187–94.
- Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Шумейко Н.И., Гидаева М.О. Оценка микроциркуляторных и метаболических нарушений у больных вибрационной болезнью. *Сибирский медицинский журнал*. 2017; 2: 27–30.
- Подзолков В.И., Королева Т.В., Писарев М.В., Кудрявцева М.Г., Зайтшикова Д.А. Нарушения микроциркуляции и функционального состояния эритроцитов как фактор сердечно-сосудистого риска при метаболическом синдроме. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2018; 14 (4): 591–7. doi.org/10.20996/1819-6446-2018-14-4-591-597.
- Лапитан Д.Г., Рогаткин Д.А. Функциональные исследования системы микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии в клинической медицине: проблемы и перспективы. *Альманах клинической медицины*. 2016; 44 (2): 249–59. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2016-44-2-249-259>.
- Бархатов И.В. Применение лазерной доплеровской флоуметрии для оценки нарушений системы микроциркуляции крови человека. *Казанский медицинский журнал*. 2014; 95 (1): 63–9.
- Куликов Д.А., Глазков А.А., Ковалева Ю.А., Балашова Н.В., Куликов А.В. Перспективы использования лазерной доплеровской флоуметрии в оценке кожной микроциркуляции крови при сахарном диабете. *Сахарный диабет*. 2017; 20 (4): 279–85. DOI: 10.14341/DM8014.
- Лесных А., Шимко Е. Измерение показателя микроциркуляции крови в капиллярах методом лазерной доплеровской флоуметрии. *Известия Алтайского государственного университета*. 2017; 1(93): 15–8. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2017\)1-02](https://doi.org/10.14258/izvasu(2017)1-02).
- Крупаткин А.И. Влияние симпатической иннервации на тонус микрососудов и колебания кровотока кожи. *Физиология человека*. 2006; 32 (5): 93–105.
- Крупаткин А.И. Колебания кровотока частотой около 0.1 Гц в микрососудах кожи не отражают симпатическую регуляцию их тонуса. *Физиология человека*. 2009; 32 (5): 60–9.
- Козлов В.И. Расстройства тканевого кровотока: патогенез, классификация и коррекция. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2006; 12 (прилож.): 3–4.
- Сабанцева Е.Г. Патофизиологическая характеристика расстройств микроциркуляции при воспалительно-деструктивных заболеваниях слизистой оболочки рта. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2006; 1: 30–6.
- Любченко П.Н., Шумский В.И., Горенков Р.В., Карпов В.Н., Рогаткин Д.А., Гинзбург М.Л. Значение лазерной доплерометрии в диагностике профессиональных ангиопатий верхних конечностей. *Вестник РАМН*. 2005; 6: 7–12.

31. Маколкин В.И. *Микроциркуляция в кардиологии*. М.: 2004. 131 с.
32. Сидоров В.В., Сахно Ю.Ф. Возможности метода лазерной доплеровской флоуметрии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2003; 2: 122–7.

## References

1. Babanov S.A., Vakurova N.V., Azovskova T.A. *Vibration disease. Optimization of diagnostic and therapeutic measures [Vibratsionnaya bolezni. Optimizatsiya diagnosticheskikh i lechebnykh meropriyatiy]*. Samara: Ofort; 2012. 158 p. (in Russian)
2. Rukavishnikov V.S., Shayakhmetov S.F., Lakhman O.L., Pankov V.A. Occupational pathology: study results and perspectives. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk [Siberian Scientific Medical Journal]*. 2008; 28 (1): 57–63. (in Russian)
3. Azovskova T.A., Vakurova N.V., Lavrent'ev N.E. About modern aspects of diagnosis and classification of vibration disease. *Russkiy meditsinskiy zhurnal [Russian Medical Journal]*. 2014; 16: 1206–9. (in Russian)
4. Gorskiy A.A., Pochtareva E.S., Pilishenko V.A., Kurkin D.P., Glushkova N.Yu. On the labor conditions and occupational diseases workers in the Russian Federation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya [Public Health and Life Environment]*. 2014; 251 (2): 8–11. (in Russian)
5. Popova A.Yu. State of working conditions and occupational morbidity in the Russian Federation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2015; 3: 7–13. (in Russian)
6. Syurin S.A., Gorbanev S.A. Features of occupational pathology in the russian arctic zone: risk factors, structure, prevalence. *Vestnik ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki [Journal of Ural Medical Academic Science]*. 2019; 16 (2): 237–44. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-237-244. (in Russian)
7. Izmerov N.F., ed. *Professional'naya patologiya: natsional'noye rukovodstvo [Professional pathology: national leadership]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2011. 784 p. (in Russian)
8. Sauni R., Toivo P., Paakkonen R. Work disability after diagnosis of hand–arm vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015; 88: 1061–8. DOI: 10.1007/s00420-015-1034-1.
9. Rusanova D.V., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Pankov V.A., Lakhman O.L. et al. Vibration disease: hygienic and medical aspects. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2016; 95 (12): 1180–3. (in Russian)
10. Melnikova M.M. Vibration-induced disease. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 1995; 5: 36–42. (in Russian)
11. Karpov V.N., Lyubchenko P.N., Gorenkov R.V., Rogatkin D.A., Ginzburg M.L. Laser Doppler flowmetry in the evaluation of microcirculatory disorders of the upper extremities in patients with vibration disease. In: *Krupatkin A.I., Sidorov V.V., ed. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation [Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsiya krovi]*. Moscow: Meditsina; 2005: 156–75. (in Russian)
12. Krylova I.V., Ivanova D.S., Kir'yakov V.A., Aliev A.F. Risk factors for metabolic syndrome in workers exposed to vibration. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2009; 12: 19–22. (in Russian)
13. Lapko I.V., Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Antoshina L.I., Oshkaderov O.A. Influence of occupational vibration on the development of insulin resistance and diabetes of the second type. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2017; (2): 30–3. (in Russian)
14. Lapko I.V., Kiryakov V.A., Antoshina L.I., Pavlovskaya N.A., Kondratovich S.V. Influence of vibration, noise, physical activity and unfavorable microclimate on carbohydrate metabolism in workers of mining enterprises and mechanical engineering. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2014; 7: 32–6. (in Russian)
15. Gutkina N.In., Pyrochkin V.M. Metabolic syndrome and cardiovascular disease: pathophysiological aspects. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta [Journal of the Grodno State Medical University]*. 2012; 2: 15–8. (in Russian)
16. Xiaoyan Chu, Kirgizova O.Yu. Metabolic syndrome: some results and prospects of solving the problem. *Byulleten' VSN Ts SO RAMN [Acta Biomedica Scientifica]*. 2016; 1 (5): 187–94. <https://doi.org/10.12737/23422>. (in Russian)
17. Yamschikova V.A., Fleishman A.N., Shumeyko N.I., Hidayatova M.O. Evaluation of microcirculatory and metabolic disorders in patients with vibration disease. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal [Siberian Medical Journal]*. 2017; 2: 27–30. (in Russian)
18. Podzolkov V.I., Korolyova T.V., Pisarev V.M., Kudryavtseva M.G., Staiikov D.A. Abnormal microcirculation and red blood cell function as a cardiovascular risk factor in metabolic syndrome. *Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii [Rational Pharmacotherapy in Cardiology]*. 2018; 14 (4): 591–7. DOI: [doi.org/10.20996/1819-6446-2018-14-4-591-597](https://doi.org/10.20996/1819-6446-2018-14-4-591-597). (in Russian)
19. Lapitan D.G., Rogatkin D.A. Functional studies on blood microcirculation system with laser Doppler flowmetry in clinical medicine: problems and prospects. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny [Almanac of Clinical Medicine]*. 2016; 44 (2): 249–59. DOI: <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2016-44-2-249-259>. (in Russian)
20. Barkhatov I.V. Laser doppler flowmetry for human blood microcirculation assessment. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal [Kazan Medical Journal]*. 2014; 95 (1): 63–9. (in Russian)
21. Lal C., Unni S.N. Correlation analysis of laser Doppler flowmetry signals: a potential non-invasive tool to assess microcirculatory changes in diabetes mellitus. *Med Biol Eng Comput*. 2015; 53 (6): 557–66. DOI: 10.1007/s11517-015-1266-y.
22. Kulikov D.A., Glazkov A.A., Kovaleva Yu.A., Balashova N.V., Kulikov A.V. Prospects of Laser Doppler flowmetry application in assessment of skin microcirculation in diabetes. *Sakharnyy diabet [Diabetes Mellitus]*. 2017; 20 (4): 279–85. DOI: 10.14341/DM8014. (in Russian)
23. Lesnykh A., Shimko E. Measuring of Microcirculation Blood Flow in Capillaries with a Laser-Doppler Flowmetry. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta [Izvestiya of Altai State University Journal]*. 2017; 1 (93): 15–8. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2017\)1-02](https://doi.org/10.14258/izvasu(2017)1-02). (in Russian)
24. Kvandal P., Sheppard L., Landsverk S.A., Stefanovska A., Kirkeboen K.A. Impaired cerebrovascular reactivity after acute traumatic brain injury can be detected by wavelet phase coherence analysis of the intracranial and arterial blood pressure signals. *J Clin Monit Comp*. 2013; 27 (4): 375–83. DOI: 10.1007/s10877-013-9484-z.
25. Krupatkin A.I. The influence of the sympathetic innervation on the skin microvascular tone and blood flow oscillations. *Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]*. 2006; 32 (5): 584–92. (in Russian)
26. Krupatkin A.I. Blood flow oscillations at a frequency of about 0.1 Hz in skin microvessels do not reflect the sympathetic regulation of their tone. *Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]*. 2009; 35 (2): 183–91. (in Russian)
27. Kozlov V.I. Disorders of tissue blood flow: pathogenesis, classification and correction. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya [Angiology and Vascular Surgery]*. 2006; 12 (Iss.): 3–4. (in Russian)
28. Sabantseva E.G. Pathophysiological characteristics of microcirculation disorders in inflammatory and destructive diseases of the oral mucosa. *Regionalnaya krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya [Regional Blood Circulation and Microcirculation]*. 2006; 1: 30–6. (in Russian)
29. Lyubchenko P.N., Shumskiy V.I., Gorenkov R.V., Karpov V.N., Rogatkin D.A., Ginzburg M.L. Significance of laser dopplerometry in diagnostics of upper extremity occupational angiopathy. *Vestnik RAMN [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]*. 2005; 6: 7–12. (in Russian)
30. Newman J., Dwyer R.M., St-Pierre P. Decreased microvascular vasomotion and myogenic response in rat skeletal muscle in association with acute insulin resistance. *J Physiol*. 2009; 587 (11): 2579–88. DOI: 10.1113/jphysiol.2009.169011.
31. Makolkin V.I. *Microcirculation in cardiology*. Moscow: 2004; 131 p. (in Russian)
32. Sidorov V.V., Sakhno Yu.F. Possibilities of laser Doppler flowmetry method. *Ultrazvukovaya i funktsional'naya diagnostika [Ultrasound and Functional Diagnostics]*. 2003; 2: 122–7. (in Russian)
33. Wiernsperger N., Rapin R.J. Microvascular diseases: is a new era coming? *Cardiovasc Hematol Agents Med Chem*. 2012; 10 (2): 167–83. DOI: 10.2174/187152512800388885.
34. Vinik A.I., Erbas T., Park T.S., Stansberry K.B., Scanelli J.A., Pittenger G.L. Dermal neurovascular dysfunction in type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2001; 24 (8): 1468–75. DOI: 10.2337/diacare.24.8.1468.
35. Stansberry K.B., Peppard H.R., Babyak L.M. Primary nociceptive afferents mediate the blood flow dysfunction in non-glabrous (hairy) skin of type 2 diabetes: a new model for the pathogenesis of microvascular dysfunction. *Diabetes Care*. 1999; 22 (9): 1549–54. DOI: 10.2337/diacare.22.9.1549.