

Ямщикова А.В., Шумейко Н.И., Флейшман А.Н., Мартынов И.Д., Бычкова Т.А.

## Влияние типа нарушений микроциркуляции на развитие трофических изменений в коже кистей у больных вибрационной болезнью

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Гипоксия, вызванная нарушениями микроциркуляции, у больных вибрационной болезнью приводит к изменениям концентрации и соответственно флуоресценции различных биологически активных веществ-флуорофоров в коже кистей, что является маркером трофических нарушений. Показан разнонаправленный характер нарушений микроциркуляции у данной категории пациентов. Изучение влияния типа микроциркуляторных изменений на развитие трофических нарушений в коже кистей актуально для пациентов с вибрационной болезнью.

**Цель исследования** — оценить накопление биологически активных веществ на основе их флуоресценции в коже кистей у пациентов с вибрационной болезнью в зависимости от типа и степени нарушения микроциркуляции.

**Материалы и методы.** Обследованы 33 шахтёра с установленным диагнозом вибрационной болезни и 15 условно здоровых мужчин той же возрастной группы, не имевших жалоб и никогда не работавших в условиях воздействия производственной вибрации. Выполнено исследование микроциркуляции с помощью лазерной доплеровской флоуметрии, определяли коэффициент флуоресцентной контрастности биоткани с помощью неинвазивной оптической тканевой флуоресцентной спектроскопии.

**Результаты.** Выявлены разнонаправленные типы нарушений микроциркуляции в конечностях при вибрационной болезни. Независимо от направленности микроциркуляторных расстройств возникает гипоксия, ведущая к накоплению биологически активных веществ — маркеров трофических изменений кожи, участвующих также в антиоксидантной защите. Достоверное усиление флуоресценции этих веществ отмечено как при гиперемическом, так и при спастическом расстройстве, более значимое — при гиперемическом типе.

**Ограничения исследования.** Исследование ограничено оценкой типов микроциркуляции и флуоресцентной контрастности биотканей у 33 пациентов с вибрационной болезнью и у 15 условно здоровых обследуемых, никогда не работавших в условиях воздействия производственной вибрации.

**Заключение.** Изменения трофики кожи кистей у больных вибрационной болезнью развиваются в результате хронической гипоксии, которая является основным патофизиологическим звеном ангиодистонического синдрома независимо от направленности микроциркуляторных нарушений, однако гиперемический тип условно можно считать более неблагоприятным в отношении развития трофических нарушений кожи.

**Ключевые слова:** микроциркуляторные нарушения; флуоресценция; вибрационная болезнь; липофусцин; порфирины

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование выполнено неинвазивными методами и одобрено биоэтическим комитетом ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний» (§ 1 протокола № 5 от 26.12.2018 г.), проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» с поправками 2013 г. и «Правилами надлежащей клинической практики», утверждёнными приказом Минздрава России № 200н от 1 апреля 2016 г. Все обследуемые пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Ямщикова А.В., Шумейко Н.И., Флейшман А.Н., Мартынов И.Д., Бычкова Т.А. Влияние типа нарушений микроциркуляции на развитие трофических изменений в коже кистей у больных вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(4): 328–332. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-4-328-332> <https://elibrary.ru/zgumsz>

**Для корреспонденции:** Ямщикова Анастасия Валерьевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк. E-mail: [anastyam@bk.ru](mailto:anastyam@bk.ru)

**Участие авторов:** Ямщикова А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, сбор данных литературы, статистическая обработка, написание текста; Шумейко Н.И. — сбор данных, редактирование; Флейшман А.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Мартынов И.Д. — редактирование; Бычкова Т.А. — сбор данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 30.01.2024 / Принята к печати: 09.04.2024 / Опубликовано: 08.05.2024

Anastasia V. Yamshchikova, Nadezhda I. Shumeiko, Arnold N. Fleishman, Ilya D. Martynov, Tatiana A. Bychkovskaya

## The influence of the type of microcirculatory disorders on the development of trophic changes in the skin of the hands in patients with vibration disease

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Hypoxia caused by microcirculation disorders in patients with vibration disease leads to changes in the concentration and, accordingly, fluorescence of various biologically active substances-fluorophores in the skin of the hands, which are the markers of trophic disorders. Microcirculation disorders in this category of patients are shown to have a multidirectional character. The study of the effect of the type of microcirculatory changes on the development of trophic disorders in the skin of the hands is relevant for the patients with vibration disease.

**The aim of the study** was to evaluate the accumulation of biologically active substances based on their fluorescence in the skin of the hands in patients with vibration disease depending on the type and degree of microcirculation disorder.

**Materials and methods.** Thirty three miners with a proven diagnosis of vibration disease and 15 conventionally healthy men of close age without complaints and never exposed to industrial vibration were examined. Microcirculation was studied using laser Doppler flowmetry, the coefficient of fluorescent contrast of biological tissue was determined applying noninvasive optical tissue fluorescence spectroscopy.

**Results.** The multidirectional types of microcirculation disorders in the extremities in vibration disease were revealed. Regardless of the direction of microcirculatory disorders, occurred hypoxia leads to the accumulation of biologically active substances – markers of trophic skin changes, as well those involved in antioxidant protection. A reliable gain in the fluorescence of these substances was noted in both hyperemic and spastic disorders, more significant in the hyperemic type.

**Limitations.** The study was limited to assessing the microcirculation types and fluorescent contrast of biological tissues in 33 patients with vibration disease and in 15 conventionally healthy subjects who had never worked under the conditions of exposure to industrial vibration.

**Conclusion.** Changes in the trophism of the skin of the hands in patients with vibration disease develop as a result of chronic hypoxia, which is the main pathophysiological link of angiodystonic syndrome, regardless of the direction of microcirculatory disorders, however, the hyperemic type can be conditionally considered more unfavourable with respect to the development of trophic skin disorders

**Keywords:** microcirculatory disorders; fluorescence; vibration disease; lipofuscin; porphyrins

**Compliance with ethical standards.** The study was performed using non-invasive methods and approved by the Bioethical Committee of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Protocol No. 5, § 1 dated 12.26.2018, in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association “Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects” as amended 2013 and the “Rules of Proper Clinical Practice” approved by Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated April 1, 2016 N 200n. All the examined patients signed a voluntary informed consent to participate in the study.

**For citation:** Yamshchikova A.V., Shumeiko N.I., Martynov I.D., Fleishman A.N., Bychkovskaya T.A. The influence of the type of microcirculatory disorders on the development of trophic changes in the skin of the hands in patients with vibration disease. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2024; 103(4): 328–332. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-4-328-332> <https://elibrary.ru/zgumsz> (In Russ.)

**For correspondence:** Anastasia V. Yamshchikova, MD, PhD, senior researcher of the Laboratory of Applied neurophysiology, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation. E-mail: [anastyam@bk.ru](mailto:anastyam@bk.ru)

**Contribution:** Yamshchikova A.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, collection of literature data, statistical processing, writing a text; Shumeiko N.I. – collection of material, editing; Fleishman A.N. – the concept and design of the study, editing; Martynov I.D. – editing; Bychkovskaya T.A. – collection of material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: January 30, 2024 / Accepted: April 9, 2024 / Published: May 8, 2024

## Введение

В ряде исследований показано, что производственная вибрация вызывает гипоксические изменения во многих тканях и органах [1–3]. Гипоксия кожи рук обусловлена в большей степени воздействием локальной вибрации в результате работы с вибрирующим инструментом, что объясняется спазмом сосудов микроциркуляторного русла. Показано, что гипоксические изменения могут развиваться и в результате статических явлений, которые появляются на фоне атонии мелких сосудов [4]. При различных типах микроциркуляторных расстройств патофизиологические механизмы, вовлекающие изменения проницаемости стенки и тонус микрососудов, гемореологические сдвиги, приводят к нарастающей гипоксии тканей. Гипоксия, развивающаяся на фоне микроциркуляторных изменений в кистях, вызывает нарушения метаболических процессов в коже, антиоксидантной защиты. Концентрации биологически активных веществ (БАВ) и соответственно трофика кожи в целом также изменяются. В более ранних работах нами было показано, что микроциркуляторные нарушения у больных вибрационной болезнью (ВБ) могут быть разной степени выраженности и делятся на спастические (связанные со спазмом приносящих артериол) и гиперемические (обусловленные повышением притока крови, снижением интенсивности микроциркуляторного кровотока, повышением проницаемости сосудистой стенки, снижением тонуса венул, явлениями стаза в микроциркуляторном русле) [5].

Параметры метаболических процессов в коже определяют с помощью флуоресцентной диагностики, которая основана на оценке флуоресценции ткани, получаемой при освещении кожи и возбуждении различных эндогенных фотоактивных веществ через определённые фильтры (ультрафиолетовый, зелёный, красный – длины волн от 400 до 800 нм). Флуоресценция обусловлена наличием эндогенных флуорофоров (коллагена, конечных продуктов гликирования коллагена и эластина, пиридиннуклеотидов, флавопротеинов и порфиринов) [6]. В исследованиях показано, что концентрация БАВ в коже и степень их флуоресценции изменяются в зависимости от возраста человека и степени инволютивных изменений кожи, выраженности гипоксии

и уровня метаболических процессов в тканях [6–9]. Изменения концентрации некоторых БАВ могут обуславливать повышенную предрасположенность ткани к внешнему повреждению. Так, при снижении каротиноидов, имеющих антиоксидантную функцию, ткани могут повреждаться в большей степени [10, 11]. Накопление липофусцина, напротив, происходит в атрофичных тканях и при хронической гипоксии и считается маркёром старения [7, 8]. Состояние хронической гипоксии может являться одним из факторов появления повышенной вынужденной флуоресценции биологических тканей в диапазоне длин волн 600–800 нм (красный диапазон), которая ассоциирована с повышенным накоплением эндогенных порфиринов [12].

Наличие разнонаправленных изменений микроциркуляции, сопутствующих вибрационной болезни, делает актуальным исследование метаболических нарушений при различных типах микроциркуляции для определения возможного неблагоприятного течения ангиодистонического синдрома.

**Цель исследования** – оценить накопление биологически активных веществ на основе их флуоресценции в коже кистей у пациентов с вибрационной болезнью в зависимости от типа и степени нарушения микроциркуляции.

## Материалы и методы

В исследование были включены 33 пациента с вибрационной болезнью в результате воздействия локальной вибрации (основная группа). Все обследованные относились к возрастной группе 40–60 лет, медиана (*Me*) возраста 53 года (51–55), имели контакт с производственной локальной вибрацией в течение многих лет (17–41), медиана (*Me*) времени контакта 25 лет (21–31). В контрольную группу были включены 15 мужчин той же возрастной группы (40–60 лет), медиана возраста (*Me*) 49 лет (45–55), никогда не имевших контакта с производственной локальной вибрацией. Статистического различия по возрасту в контрольной и основной группах нет:  $p = 0,06$  по критерию Манна – Уитни, тогда как значимым различие считалось при  $p < 0,05$ .

Больные сахарным диабетом были исключены из исследования.

Таблица 1 / Table 1

Показатели микроциркуляции и спектрофотометрии в обследованных группах, *Me* ( $Q_1$ ;  $Q_3$ )  
 Microcirculation and spectrophotometry indices in the examined groups, *Me* ( $Q_1$ ;  $Q_3$ )

Показатель Index	Контрольная группа Control group <i>n</i> = 15	Основная группа / Main group ( <i>n</i> = 33)		
		подгруппа / subgroup 1 ( $\pm 0-20\%$ ), <i>n</i> = 11	подгруппа / subgroup 2 ( $-21\%$ и более), <i>n</i> = 13	подгруппа / subgroup 3 ( $+21\%$ и более), <i>n</i> = 9
Показатель микроциркуляции, пф. ед. Microcirculation index, pf. un.	19.5 (17.7; 20.3)	19.3 (18.4; 20.4)	9 (3.8; 13.6)*	24 (23.3; 25.9)*
Индекс флаксомотий / Flaxomotion index	0.94 (0.83; 1.7)	0.6 (0.18; 0.8)*	0.40 (0.19; 0.7)*	0.53 (0.27; 0.54)*
Резерв капиллярного кровотока Capillary blood flow reserve	124.6 (116; 158.5)	123 (119.9; 129.7)	202.6 (143.2; 258.5)*	108 (105; 113.1)*
Коэффициент вариации / Coefficient of variation	6.1 (4.7; 8.8)	5.2 (3.7; 6.2)	12.3 (6.3; 25.6)	4.3 (3.7; 5.6)*
Kf в зелёном фильтре: / Kf in the green filter:				
Липофусцин / Lypofuscin	0.7 (0.6; 0.9)	0.7(0.5; 0.8)	0.95 (0.5; 1.4)*	0.96 (0.74; 1.45)*
Каротин / Carotin	0.9 (0.8; 1.1)	1.0 (0.8; 1.1)	1.15 (0.43; 1.6)*	1.19 (0.9; 1.65)*
Порфирины / Porphyrins	0.7 (0.5; 0.8)	0.7 (0.6; 0.78)	0.9(0.34; 1.4)*	1.0 (0.7; 1.5)*

Примечание. *n* – число обследуемых лиц; \* – статистически достоверное различие показателей с контрольной группой по критерию Манна – Уитни (при  $p < 0,05$ ).

Note: *n* – number of the examined cases; \* – statistically reliable difference in the indices with the control group according to the Mann – Whitney criterion (at  $p < 0.05$ ).

Все обследуемые дали информированное согласие на участие в исследовании, которое соответствовало стандартам биоэтического комитета.

В исследовании применялись следующие методы.

**Лазерная доплеровская флоуметрия**, с помощью которой оценивали уровень микроциркуляции на подушечке второго пальца руки. Определяли количественный показатель микроциркуляции (ПМ), пф. ед. Данное исследование позволяет выявить активные и пассивные механизмы регуляции микрокровотока. К пассивным механизмам относят внешние факторы, находящиеся вне микроциркуляторного русла, – пульсовую волну и присасывающее действие «дыхательного насоса» со стороны вен. Активные факторы напрямую воздействуют на сосуды микроциркуляторного русла путём периодического изменения сопротивления сосудов потоку крови посредством вазомотий и создают поперечные колебания кровотока [13–15]. Индекс флаксомотий (ИФМ), или индекс эффективности микроциркуляции, – соотношение механизмов активной и пассивной регуляций тканевого кровотока. Увеличение его свидетельствует о преобладании активных механизмов регуляции, уменьшение – о преобладании пассивных. Кв (коэффициент вариации) отражает модуляцию кровотока, следовательно, зависит от соотношения активных и пассивных механизмов регуляции. Увеличение показателя Кв наблюдается при активации эндотелиального, нейрогенного и миогенного механизмов контроля. Уменьшение его свидетельствует о недостаточности активных механизмов регуляции, уменьшении вазомотий. В настоящем исследовании выполнялась окклюзионная проба, оценивали показатель резерва капиллярного кровотока (РКК, %), который увеличивается при спазме приносящих артериол и уменьшается при исходно увеличенном числе функционирующих капилляров, а также при явлениях стаза и застоя крови в венах [13].

**Неинвазивная оптическая тканевая флуоресцентная спектроскопия** с определением Kf (коэффициента флуоресцентной контрастности) биоткани на подушечке второго пальца кисти в зелёном диапазоне оптического спектра: липофусцин – на длине волны 570 нм, каротин – 608 нм, порфирины – 640 нм. Липофусцин и порфирины были взяты в исследование как маркёры атрофических изменений в коже,

каротин – как фактор антиоксидантной защиты. Оба исследования проводили на многофункциональном лазерном диагностическом комплексе ЛАКК-М (НПП «ЛАЗМА», Москва).

Статистическую обработку данных осуществляли на базе программы Biostat pro v. 7.6.5. С учётом малых размеров выборки вычисляли медианы (*Me*) с межквартильными интервалами ( $Q_1$ ;  $Q_3$ ). Оценку значимости статистических различий при парном сравнении групп обследуемых проводили с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни. Статистически значимыми считали значения при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Среднее значение ПМ в контрольной группе составило 19,5 (17,7–20,3) пф. ед. В соответствии с найденным средним значением в основной группе были выделены подгруппы в зависимости от изменения ПМ: подгруппа 1 – нормоциркуляторный тип (ПМ  $\pm 20\%$  от контроля), подгруппа 2 – гиподциркуляторный (спастический) тип (ПМ  $-21\%$  и более), подгруппа 3 – гиперемический тип (ПМ  $+21\%$  и более). Пациенты с показателем ПМ  $\pm$  до 20% были объединены в отдельную подгруппу с нормоциркуляторным типом микроциркуляции, так как в более ранних работах было показано, что статистически значимого отличия от контроля данная группа пациентов не демонстрирует [5]. Показатели микроциркуляции в выделенных подгруппах и значимость различия с контрольной группой отражены в табл. 1.

В результате исследования микроциркуляции были выделены следующие типы нарушения микроциркуляции: 1 – нормоциркуляторный тип, характеризующийся изменением ПМ не более чем на 20% в сочетании со снижением показателя ИФМ; 2 – гиподциркуляторный (спастический) тип, характеризующийся снижением ПМ более чем на 20% и сопровождающийся снижением ИФМ, тем более выраженным, чем больше снижается ПМ, и увеличением РКК; 3 – гиперемический тип, характеризующийся повышением ПМ более чем на 20% в сочетании со снижением ИФМ и уменьшением РКК.

Показатель Кв увеличивается при спастических нарушениях, уменьшается при гиперемическом типе микро-

Таблица 2 / Table 2

Сравнение показателей спектрофотометрии при изменении показателя микроциркуляции до 50% (умеренная степень), *Me* ( $Q_1$ ;  $Q_3$ )  
Comparison of spectrophotometry indices when the microcirculation parameter changes up to 50% (moderate degree), *Me* ( $Q_1$ ;  $Q_3$ )

Показатель Index	Контрольная группа Control group <i>n</i> = 15	Гипоциркуляторный тип Hypocirculatory type (–21–50%) <i>n</i> = 8	Гиперемический тип Hyperemic type (+21–50%) <i>n</i> = 9
Показатель микроциркуляции, пф. ед. / Microcirculation index, pf. un.	19.5 (17.7; 20.3)	13 (10.6; 14.3)*	24 (23.3; 25.9)*, **
Kf в зелёном фильтре: / Kf in the green filter:			
Липофусцин / Lypofuscin	0.7 (0.6; 0.9)	0.7 (0.55; 0.8)	0.96 (0.74; 1.45)*, **
Каротин / Carotin	0.9 (0.8; 1.1)	0.9 (0.4; 0.98)	1.19 (0.9; 1.65)*, **
Порфирины / Porphyrins	0.7 (0.5; 0.8)	0.65 (0.3; 0.8)	1.0 (0.7; 1.5)*, **

Примечание. *n* – число обследуемых лиц. Статистически достоверное различие показателей (по критерию Манна – Уитни, при  $p < 0,05$ ): \* – с контрольной группой; \*\* – между гипоциркуляторным и гиперемическим типами.

Note: *n* – number of the examined cases; \* – statistically reliable difference in the indices with the control group according to the Mann – Whitney criterion (at  $p < 0.05$ ); \*\* – statistically reliable difference in the indices between hypocirculatory and hyperemic types according to the Mann – Whitney criterion (at  $p < 0.05$ ).

циркуляции, что свидетельствует о меньших компенсаторных возможностях регуляции при гиперемическом типе. Интенсивность флуоресценции липофусцина, каротина и порфиринов (как маркеров атрофии, так и антиоксидантов) в зелёном спектре значимо увеличивается при нарастании спастических или атонических нарушений микроциркуляторного русла. При нормоциркуляторном типе степень флуоресценции БАВ не отличается от группы контроля.

Сравнение флуоресценции БАВ в коже кистей при умеренной выраженности микроциркуляторных нарушений (изменение ПМ до 50%) показывает, что при гиперемическом типе нарушений накопление БАВ более значимо, чем при спастическом (табл. 2).

## Обсуждение

Нами установлено три основных типа нарушений микроциркуляции: нормоциркуляторный, гипоциркуляторный и гиперемический. Это согласуется с данными других исследований [16]. Разделение микроциркуляторных нарушений по типам основано на количественном показателе микроциркуляции, а также на сочетании изменений ПМ, ИФМ, РКК [13].

Наиболее ранние нарушения микроциркуляции у пациентов с ВБ, когда объёмное кровенаполнение микроциркуляторного русла значимо не изменено, выявляются с помощью показателя ИФМ, который уменьшается при минимальных признаках спастических или атонических явлений, свидетельствуя об уменьшении доли активных механизмов в регуляции тонуса микроциркуляторного русла.

При гипоциркуляторном типе нарушений выявляется уменьшение ПМ (спазм приносящих артериол), ИФМ (снижение эффективности микроциркуляции), увеличение количества нефункционирующих капилляров (РКК), повышение  $K_v$ , что свидетельствует о включении компенсаторных механизмов регуляции.

Гиперемический тип микроциркуляции отличается увеличением кровенаполнения капилляров (повышение ПМ), уменьшением резерва капиллярного кровотока (РКК). Как и при спастическом типе, в данном случае снижен ИФМ (эффективность микроциркуляции), но  $K_v$  при этом уменьшается, что свидетельствует о недостаточности резервных механизмов компенсации.

Увеличение в коже больных активности флуоресценции липофусцина и порфиринов ВБ наблюдается при

любом типе нарушений микроциркуляции независимо от их направленности. По данным литературы, липофусцин и порфирины накапливаются в атрофичных тканях при хронической гипоксии [7, 8, 12] и могут служить маркерами трофических нарушений кожи. Хроническая гипоксия и неэффективность микроциркуляции развиваются при любом типе микроциркуляторных расстройств, что показано в нашем исследовании. Каротин как маркер антиоксидантной защиты увеличивается и при спазме, и при атонии капиллярного русла, что, несомненно, связано с повышенной потребностью в факторах антиоксидантной защиты в условиях хронической гипоксии. Сравнение умеренных степеней микроциркуляторных нарушений разной направленности показало, что накопление обозначенных веществ при гиперемическом типе начинается на более ранних этапах, следовательно, гиперемический тип нарушений микроциркуляции можно условно считать менее благоприятным для развития трофических изменений.

**Ограничения исследования** обусловлены оценкой типов микроциркуляции и флуоресцентной контрастности биотканей у 33 пациентов с вибрационной болезнью и у 15 условно здоровых обследуемых, никогда не работавших в условиях воздействия производственной вибрации.

## Заключение

Нашим исследованием подтверждено изменение концентраций биологически активных веществ в коже рук больных вибрационной болезнью по причине нарастания гипоксических процессов. Независимо от направленности патогенетических процессов, происходящих в микроциркуляторном русле кожи кистей при воздействии производственной вибрации (спазм или атония), происходит накопление порфиринов и липофусцина, которые являются маркерами трофических нарушений и старения тканей. Вместе с тем происходит и накопление участвующих в антиоксидантных реакциях веществ, таких как каротины, что свидетельствует о повышенных потребностях тканей в антиоксидантной защите.

Сравнение разных типов нарушений микроциркуляции показывает, что атония микрососудов и развитие гиперемического типа расстройств приводят к накоплению порфиринов, липофусцина и каротина на более ранних этапах нарушений. Это можно считать прогностически более неблагоприятным в отношении развития трофических нарушений кожи рук.

## Литература

1. Воробьева В.В., Шабанов П.Д. Клеточные механизмы формирования гипоксии в тканях экспериментальных животных на фоне варьирования характеристик вибрационного воздействия. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2019; 17(3): 59–70. <https://doi.org/10.17816/RCF17359-70> <https://elibrary.ru/qgqzkh>
2. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкoderов О.А. Воздействие производственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; 58(9): 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43> <https://elibrary.ru/yjgvad>
3. Воробьева В.В., Шабанов П.Д. Фармакология вибрационно-опосредованных нарушений энергетического обмена в миокарде. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2011; 9(1): 3–43. <https://elibrary.ru/nudxob>
4. Нарушения кровообращения и лимфообращения. В кн.: *Струков А.И., Серов В.В. Патологическая анатомия*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2015: 145–80.
5. Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Шумейко Н.И., Гидаятова М.О. Оценка микроциркуляторных и метаболических нарушений у больных вибрационной болезнью. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2017; 149(2): 27–30. <https://elibrary.ru/ztjfn>
6. Крылова Е.В., Крылов А.В., Петрищев Н.Н., Папаян Г.В. Изменение объективных параметров аутофлуоресцентной картины кожи под влиянием инсоляции и возраста. *Biomedical Photonics*. 2015; 4(4): 3–10. <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2015-4-4-3-10> <https://elibrary.ru/vlicjx>
7. Ефимов А.А., Маслякова Г.Н. О роли липофусцина в инволютивных и патологических процессах. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2009; 5(1): 111–5. <https://elibrary.ru/kohxpx>
8. Лугин И.А., Игнатенко В.В., Прокофьева К.С. Современные представления о липофусцине как о биомаркере старения. *Синергия наук*. 2017; (18): 1147–56. <https://elibrary.ru/zxqsex>
9. Синичкин Ю.П., Утц С.Р. *In vivo отражательная и флуоресцентная спектроскопия кожи человека*. Саратов; 2018.
10. Дарвин М.Е. *Неинвазивное определение концентрации каротиноидов β-каротина и ликопина в коже человека и других био-системах методом резонансной спектроскопии комбинационного рассеяния света*: Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Берлин; 2010. <https://elibrary.ru/zodezd>
11. Сергеев Ю.В., Переверзев М.О. Принципы применения бета-каротина в дерматологии. *Имунопатология, аллергология, инфектология*. 2006; (3): 21–5. <https://elibrary.ru/rutknp>
12. Горенков Р.В., Карпов В.Н., Рогаткин Д.А., Шумский В.И. Хроническая гипоксия как один из факторов повышенной флуоресценции эндогенных порфиринов в живых биологических тканях. *Биофизика*. 2007; 52(4): 711–7. <https://elibrary.ru/iasrvf>
13. Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. *Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови*. М.; 2012.
14. Федорович А.А. Функциональное состояние регуляторных механизмов микроциркуляторного кровотока в норме и при артериальной гипертензии по данным лазерной доплеровской флоуметрии. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2010; 9(1): 49–60. <https://elibrary.ru/muhmtt>
15. Бархатов И.В. Применение лазерной доплеровской флоуметрии для оценки нарушений системы микроциркуляции крови человека. *Казанский медицинский журнал*. 2014; 95(1): 63–9. <https://elibrary.ru/rvblut>
16. Кукс А.Н., Кудяева И.В., Сливнищана Н.В. Состояние микроциркуляции у пациентов с вибрационной болезнью, имеющих метаболические нарушения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1096–101. <https://elibrary.ru/ysdnaq>

## References

1. Vorob'eva V.V., Shabanov P.D. Cellular mechanisms of hypoxia development in the tissues of experimental animals under varying characteristics of vibration exposure. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*. 2019; 17(3): 59–70. <https://doi.org/10.17816/RCF17359-70> <https://elibrary.ru/qgqzkh> (in Russian)
2. Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Impact of occupational vibration on molecular and cell level of human body. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; 58(9): 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43> <https://elibrary.ru/yjgvad> (in Russian)
3. Vorob'eva V.V., Shabanov P.D. Pharmacology of vibration-mediated disorders of energy metabolism in myocardium. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*. 2011; 9(1): 3–43. <https://elibrary.ru/nudxob> (in Russian)
4. Circulatory and lymph circulation disorders. In: *Strukov A.I., Serov V.V. Pathological Anatomy [Patologicheskaya anatomiya]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2015: 145–80. (in Russian)
5. Yamshchikova A.V., Fleishman A.N., Shumeiko N.I., Gidayatova M.O. The valuation of microcirculatory and metabolic disorders in the patients with vibration disease. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)*. 2017; 149(2): 27–30. <https://elibrary.ru/ztjfn> (in Russian)
6. Krylova E.V., Krylov A.V., Petrishev N.N., Papayan G.V. Autofluorescent parameters of the skin changes in accordance of age and insolation. *Biomedical Photonics*. 2015; 4(4): 3–10. <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2015-4-4-3-10> <https://elibrary.ru/vlicjx> (in Russian)
7. Efimov A.A., Maslyakova G.N. Lipofuscin role in involutive and pathological processes. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*. 2009; 5(1): 111–5. <https://elibrary.ru/kohxpx> (in Russian)
8. Lugin I.A., Ignatenko V.V., Prokof'eva K.S. Modern understanding about lipofuscin as a biomarker of aging. *Sineriya nauk*. 2017; (18): 1147–56. <https://elibrary.ru/zxqsex> (in Russian)
9. Sinichkin Yu.P., Utts S.R. *In Vivo Reflectance and Fluorescence Spectroscopy of Human Skin*. [In vivo otrazhatel'naya i fluoretsentnaya spektroskopiya kozhii cheloveka]. Saratov; 2018. (in Russian)
10. Darvin M.E. *Non-invasive determination of the concentration of carotenoids β-carotene and lycopene in human skin and other bio-systems using resonance Raman spectroscopy*: Diss. Berlin; 2010. <https://elibrary.ru/zodezd> (in Russian)
11. Sergeev Yu.V., Pereverzev M.O. The principles of β-carotene use in dermatology. *Immunopatologiya, allergologiya, infektolegiya*. 2006; (3): 21–5. <https://elibrary.ru/rutknp> (in Russian)
12. Gorenkov R.V., Karpov V.N., Rogatkin D.A., Shumskii V.I. Chronic hypoxia state as one of the factors of increased fluorescence of endogenous porphyrins in alive biological tissues. *Biofizika*. 2007; 52(4): 711–7. <https://elibrary.ru/iasrvf> (in Russian)
13. Kozlov V.I., Azizov G.A., Gurova O.A., Litvin F.B. *Laser Doppler Flowmetry in Assessing the Condition and Disorders of Blood Microcirculation [Lazernaya dopplerovskaya floumetriya v otsenke sostoyaniya i rasstroivst mikrotsirkulyatsii krovi]*. Moscow; 2012. (in Russian)
14. Fedorovich A.A. The functional state of regulatory mechanisms of the microcirculatory blood flow in normal conditions and in arterial hypertension according to laser Doppler flowmetry. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*. 2010; 9(1): 49–60. <https://elibrary.ru/muhmtt> (in Russian)
15. Barkhatov I.V. Laser doppler flowmetry for human blood microcirculation assessment. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*. 2014; 95(1): 63–9. <https://elibrary.ru/rvblut> (in Russian)
16. Kuks A.N., Kudyaeva I.V., Slivnitsyna N.V. The state of microcirculation in patients with vibration disease providing metabolic disorders. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1096–101. <https://elibrary.ru/ysdnaq> (in Russian)

## Информация об авторах:

**Ямщикова Анастасия Валерьевна**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия, eLibrary SPIN: 3616-8976 E-mail: anastyam@bk.ru

**Шумейко Надежда Ивановна**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: s5hni@yandex.ru

**Флейшман Арнольд Наумович**, доктор мед. наук, профессор, зав. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: anf937@mail.ru

**Мартынов Илья Дмитриевич**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: mart-nov@yandex.ru

**Бычковская Татьяна Александровна**, науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: t.bychkovskaya@inbox.ru

## Information about the authors:

**Anastasia V. Yamshchikova**, MD, Ph.D., senior researcher of the Laboratory of Applied neurophysiology, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6609-8923> E-mail: anastyam@bk.ru

**Nadezhda I. Shumeiko**, MD, Ph.D., senior researcher of the Laboratory of Applied neurophysiology, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8353-1592> E-mail: s5hni@yandex.ru

**Arnold N. Fleishman**, MD, Ph.D., DSci., Professor, head of the Laboratory of Applied neurophysiology, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2823-4074> E-mail: anf937@mail.ru

**Ilya D. Martynov**, MD, Ph.D., senior researcher of the Laboratory of Applied neurophysiology, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5098-9185> E-mail: mart-nov@yandex.ru

**Tatiana A. Bychkovskaya**, researcher of the Laboratory of Applied neurophysiology, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8602-0405> E-mail: t.bychkovskaya@inbox.ru