

**Информация для цитирования:**

Шумейко Н.И., Ямщикова А.В., Филимонов С.Н., Маклакова Т.П., Каширина Е.П. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ НА ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА И ПОЛИНЕЙРОПАТИЕЙ // Медицина в Кузбассе. 2025. №3. С. 28-34.

**Шумейко Н.И., Ямщикова А.В., Филимонов С.Н., Маклакова Т.П., Каширина Е.П.**

НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний,  
Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО  
Минздрава России,  
г. Новокузнецк, Россия



## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ НА ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА И ПОЛИНЕЙРОПАТИЕЙ

Проанализированы методы влияния транскраниальной магнитной стимуляции у больных сахарным диабетом 2 типа с прогрессирующим поражением микроциркуляторного русла и дистальной нейропатией, проведен поиск новых диагностических и терапевтических методов для улучшения периферического кровообращения и окислительно-восстановительных процессов у данных пациентов. Определена целесообразность применения метода ЛДФ у пациентов с сахарным диабетом (СД) 2 типа с дистальной нейропатией при терапии транскраниальной магнитной стимуляцией (ТКМС).

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) – относительно новый неинвазивный метод исследования микроциркуляции, позволяющий оценить общий уровень периферической перфузии и особенности регуляции кровотока в микроциркуляторном русле у 20 пациентов с СД обоего пола от 44 до 75 лет с длительностью заболевания от 5 до 14 лет, с уровнями HbA1c 7,6–11,8 %. У данных пациентов выполнялась ЛДФ и флуоресценция прибором «ЛАКК-М» до и после кратковременной ТКМС (3 дня). ЛДФ выполняли на ладонной поверхности левого безымянного пальца руки по общепринятым методикам. Получены статистически значимые изменения показателей микроциркуляции (ПМ), сосудистого тонуса (СТ), внутрисосудистого сопротивления (Rc) и сердечных спектров. По флуоресцентной диагностике наиболее отчетливо реагировали на ТКМС показатели окислительного метаболизма: порфирины и NADH. Оказалось, что у 13 пациентов преимущественно снижался СТ и уровень порфиринов, тогда как у 7 – преобладали снижение Rc и изменения NADH, и установлено наиболее выраженное снижение сердечных спектров. Не выявлено корреляционных связей исследуемых параметров с показателями углеводного, липидного обменов, длительностью СД, полом и возрастом.

Клинически выявлялась положительная динамика в виде уменьшения боли в ногах, улучшения сна и работоспособности. Обращает внимание внезапное появление сонливости сразу после ТМС и снижение сахара. Кратковременная ТКМС сопровождается увеличением объемных характеристик микрогемодинамики и, возможно, потенциальным улучшением транспортной функции крови и транскпиллярного обмена и трофики тканей.

Данные действия ТКМС у больных сахарным диабетом 2 типа и полинейропатией позволяет определять метод ЛДФ и флуоресценции, который выявляет нарушения микроциркуляторного русла и тканевого метаболизма и требует дальнейшего изучения и внедрения в клиническую практику.

**Ключевые слова:** сахарный диабет; диабетическая полинейропатия; лазерная доплеровская флоуметрия; лазерная флуоресценция; транскраниальная магнитная стимуляция

**Shumeyko N.I., Yamshchikova A.V., Filimonov S.N., Maklakova T.P., Kashirina E.P.**

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases,  
Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Novokuznetsk, Russia

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION ON PERIPHERAL BLOOD CIRCULATION AND REDOX PROCESSES IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS AND POLYNEUROPATHY

The methods of the effect of transcranial magnetic stimulation in type 2 diabetes mellitus patients with progressive damage to the microcirculatory bed and distal neuropathy were analyzed, new diagnostic and therapeutic methods were searched for to improve peripheral blood circulation and redox processes in these patients. The expediency of using the Laser Doppler fluometry (LDF) method in patients with type 2 diabetes mellitus (DM) with distal neuropathy during transcranial magnetic stimulation (TMS) therapy has been determined.

LDF is a relatively new non-invasive method for studying microcirculation, which allows to assess the overall level of peripheral perfusion and features of blood flow regulation in the microcirculatory bed in 20 patients with DM of both genders aged 44 to 75 years old suffering from DM for 5 to 14 years, with HbA1c levels of 7.6-11.8%. These patients underwent LDF and fluorescence diagnostics using LAKK-M device before and after short-term TMS sessions for 3 days. LDF was performed on the palm surface of the left ring finger according to generally accepted methods. Statistically significant changes in microcirculation (PM), vascular tone (CT), intravascular resistance (Rc) and cardiac spectra were obtained. According to the fluorescence diagnosis, the indicators of oxidative metabolism of porphyrins and NADH reacted most clearly to TCMS. It turned out that in 13 patients, CT and porphyrin levels were predominantly reduced, whereas in 7 subjects, a decrease in Rc and changes in NADH prevailed, and the most pronounced decrease in cardiac spectra was found. There were no correlations between the studied parameters and indicators of carbohydrate and lipid metabolism, duration of diabetes, gender and age.

Clinically, positive dynamics were revealed in the form of a decreased leg pain, improved sleep and performance, draws attention to the sudden appearance of drowsiness immediately after TMS and a decrease in blood sugar. Short-term TMS is accompanied by an increase in the volumetric characteristics of microhemodynamics and possibly a potential improvement in the transport function of blood and transcapillary metabolism and tissue trophism.

These TMS effects in patients with type 2 diabetes mellitus and polyneuropathy make it possible to determine the method of LDF and fluorescence, which reveals disorders of the microcirculatory bed and tissue metabolism and requires further study and implementation into clinical practice.

**Key words:** diabetes mellitus; diabetic polyneuropathy; laser Doppler fluorometry; laser fluorescence; transcranial magnetic stimulation

С каждым годом количество больных сахарным диабетом (СД) увеличивается. За последние несколько лет увеличение произошло более чем в два раза. В России, по данным федерального регистра, на диспансерном учете с СД состояло около 3,0% населения, а к 2040 году прогнозируется рост более чем на 1,5%.

Сахарный диабет — это постоянно прогрессирующее, хроническое заболевание, которое часто приводит к осложнениям, в первую очередь — сосудистым заболеваниям. Они ухудшают качество жизни больных, вызывая болевые ощущения, увеличивают риск инвалидизации [1-8]. В первую очередь, эти осложнения касаются полинейропатий с болевыми ощущениями, которые диагностируются более чем у 15-25% больных СД. К ним относятся полинейропатии с болевыми ощущениями у больных сахарным диабетом 2 типа с патологическими изменениями периферической нервной системы, а также патологией артериального и микроциркуляторного русла.

Для оценки состояния микроциркуляции у пациентов все чаще стали использовать метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и окислительно-метаболизма способом лазерной флуоресценции [7, 9-13].

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТКМС) является перспективным методом в лечении многих неврологических заболеваний. В последнее время интерес вызывает применение ТКМС для коррекции состояний, связанных с нарушениями периферического кровообращения и окислительно-восстановительных процессов, в частности, у пациентов с сахарным диабетом 2 типа и диабетической полинейропатией (ПНП). Настоящее исследование направлено на оценку влияния короткого курса ТКМС на показатели микроциркуляции и окислительно-восстановительные процессы у данной категории пациентов.

Сочетание указанных методов диагностики позволяет более точно оценить риск развития осложнений. Использованию лазерной доплеровской

флоуметрии посвящено много работ, как относительно новому перспективному методу по диагностике и оценке состояния микроциркуляторного русла в лечебной и диагностической практике.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Мы использовали метод в нашей работе для оценки эффективности ТКМС у пациентов с сахарным диабетом 2 типа, осложненным полинейропатиями, определяли микроциркуляцию и действие ТКМС на окислительно-восстановительные реакции в организме у этих больных.

Для проведения данной работы были приглашены пациенты, страдающие СД 2 типа в возрасте от 44 до 75 лет с длительностью заболевания СД 2 типа от 5 до 14 лет. Всем пациентам был проведен короткий курс ТКМС (3 сеанса) по методике ТКМС [13] и опубликованным рекомендациям. Использовался коил (индуктор прибора) в виде бабочки. Нахождение вызванного мышечного ответа (ВМО) проводили путем определения проекции моторной зоны коры левой m. Abductor digiti minimi.

Всего обследованы 20 человек. По клинической реакции и параметрам ВРС на процедуру определены 2 группы:

- 1 группа — хорошая реакция на ТКМС (13 человек);
- 2 группа — отсутствие реакции и очень слабая реакция на ТКМС (7 человек).

Для определения микроциркуляции и проведения флоуметрии и флуоресценции проводились исследования при помощи многофункционального лазерного диагностического комплекса «ЛАКК-М». Данным комплексом проводили следующие исследования: микрогемодинамика (методом доплеровской флоуметрии — ЛДФ), содержание показателей окислительного метаболизма (методом лазерной флуоресцентной диагностики). ЛДФ выполняли на ладонной поверхности левого безымянного пальца руки, в положении пациента лежа на спине, после 5-минутного периода адаптации в поме-

щении при температуре +23-24°C. Исследование выполняли по общепринятым методикам [9, 12, 14].

Рассчитывали параметры микроциркуляции: уровень перфузии (М), среднее квадратичное отклонение ( $\sigma$  или СКО), индекс флуксуций (ИФМ), определяли величину микрососудистого тонуса (СТ) и внутрисосудистого сопротивления (Rc), рассчитывали спектры для определения активных и пассивных механизмов регуляции микроциркуляции (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные и сердечные).

Величина показатель микроциркуляции (ПМ) представляет собой уровень перфузии объема ткани за единицу времени и измеряется в относительных единицах (перфузионных единицах – пф. ед.).

М – среднее арифметическое значение ПМ.

Внутрисосудистое сопротивление (Rc) и микрососудистый тонус (СТ) определяли по общепринятым формулам [14]. Rc и СТ измеряются также в относительных единицах.

По флуоресцентной диагностике определяли следующие параметры окислительного метаболизма: кератин, липофусцин, каротин, пиридоксин, флавины, NADH, порфирины [11, 12, 15].

Было проведено обследование микрогемодинамики (методом доплеровской флуометрии), измерение параметров окислительного метаболизма (методом лазерной флуоресцентной диагностики) до и после короткого курса ТКМС.

Цифровой материал обработан с использованием пакета прикладных программ Statistica. При нормальном распределении признака различия между группами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. При распределении, отличном от нормального, использовали U-тест Манна-Уитни. Критерий  $\chi^2$  Пирсона с поправкой Йейтса на непрерывность использовали при необходимости проверки статистических гипотез.

Исследование соответствует этическим стандартам, разработанным Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта». Информированное согласие пациентов на участие в исследовании получено.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе исследования было выявлено, что наибольшие колебания после ТКМС выявились по показателю микроциркуляции (ПМ), сосудистого тонуса (СТ) и внутрисосудистого сопротивления (Rc), а также сердечных спектров.

По флуоресцентной диагностике на ТКМС наиболее сильно реагировали липофусцины, порфирины и NADH. Остальные параметры решено было не обсуждать, т.к. изменения по ним были недостоверны.

Первоначально было запланировано оценить данные показатели до и после проведения серии ТКМС у пациентов с СД 2 типа и ПНП. Выявлены достоверные изменения следующих показателей (табл. 1).

Как видно из таблицы, после проведения минимального курса ТКМС увеличивается показатель микроциркуляции, что может косвенно свидетельствовать об увеличении скорости кровотока и подтверждается также снижением сосудистого тонуса и сосудистого сопротивления в наших исследованиях, которое ведет к увеличению локального кровотока и, возможно, уменьшению вязкости крови. Считается, что улучшение микроциркуляции идет за счет увеличения числа активно функционирующих капилляров на единицу объема ткани, что подтверждено в наших исследованиях.

Данные подтверждаются еще и снижением пассивных механизмов микроциркуляции в виде снижения сердечных спектров ЛДФ-граммы, которые уменьшились на 36,63%.

Анализ показателей микроциркуляции и флуоресценции до и после курса ТКМС показал следующее: в общей группе пациентов наблюдалось увеличение уровня перфузии (ПМ), снижение сосудистого тонуса (СТ) и внутрисосудистого сопротивления (R), а также уменьшение сердечных спектров после ТКМС.

Таким образом, показатели ЛДФ-граммы позволяют судить об улучшении состояния регуляторных механизмов микроциркуляции и гемодинамики после минимального курса ТКМС.

Так как по клинической картине и реакции по ВРС на ТКМС выявились различия, пациенты раз-

**Таблица 1**  
**Достоверные показатели микроциркуляции и флуоресценции у пациентов с СД 2 типа и ПНП**  
**Table 1**  
**Reliable indicators of microcirculation and fluorescence in patients with type 2 diabetes and PNP**

Показатель	До	После	% изменения
ПМ	19,21 ± 2,62	19,975 ± 2,61	+ 3,98
СТ	3,3458 ± 0,75	2,73885 ± 0,47	- 22,16
Сосудистое R	0,70475 ± 0,40	0,578875 ± 0,10	- 21,762
Сердечные спектры	0,787 ± 0,262	0,5755 ± 0,121	- 36,632
Порфирины	0,30925 ± 0,10	0,28865 ± 0,04	- 6,920
NADH	1,624105 ± 0,04	1,6023 ± 0,04	- 1,373
Липофусцины	1,6836 ± 0,03	1,67645 ± 0,04	- 0,477

Примечание (Note): P = 0,05.

делились на 2 группы, и мы провели исследования этих двух групп. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

По результатам показателей ЛДФ-граммы выявляется улучшение механизмов микроциркуляции и гемодинамики после минимального курса ТКМС, наибольшее значение имеют сосудистый тонус, сосудистое сопротивление и снижение пассивных механизмов регуляции в виде снижения сердечных спектров. Сосудистый тонус снизился больше в первой группе пациентов с хорошей реакцией на ТКМС, а сосудистое сопротивление значительно снизилось у пациентов второй группы, со слабой реакцией на ТКМС.

Сердечные спектры снизились в обеих группах, но наибольшее снижение выявлено во 2 группе. Параметры окислительного метаболизма регулировались в основном порфиринами и NADH, причем в 1 группе изменения были больше за счет порфиринов, в отличие от 2 группы, где изменения были больше за счет NADH.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Повышенный уровень глюкозы в крови при сахарном диабете приводит к повреждению периферических нервов и невропатической боли. Поэтому

оценка кровоснабжения нервов через лазерную доплеровскую флоуметрию и анализ уровней флюоресценции может помочь в ранней диагностике невропатии и мониторинге ее прогрессирования, поэтому лазерная доплеровская флоуметрия и флюоресценция являются полезными методами для изучения изменений микроциркуляции и степени повреждения тканей при микроангиопатиях у пациентов с сахарным диабетом 2 типа. Они могут быть использованы для ранней диагностики невропатии и мониторинга эффективности лечения.

Дальнейшие исследования и клинические испытания необходимы для подтверждения эффективности этих методов и включения их в рутинные практики оценки невропатии при сахарном диабете. Измерение уровней флюоресценции может предоставить информацию о степени повреждения тканей из-за повышенного уровня глюкозы в крови.

Использование лазерной доплеровской флоуметрии и флюоресценции для диагностики и оценки состояния микроциркуляторного русла у больных СД 2 типа с ПНП необходимо применять для определения механизмов регуляции и дальнейшего изучения повреждающих механизмов при прогрессировании СД 2 типа, флюоресценция может быть использована для анализа влияния гликозилированного гемоглобина на кровеносные сосуды и нервную

Таблица 2

Показатели микроциркуляции и флуоресценции у пациентов с СД 2 типа и ПНП, группа 1: хорошая реакция на ТКМС (13 человек)

Table 2

Microcirculation and fluorescence indices in patients with type 2 diabetes and PNP, group 1: good response to TCMS (13 people)

Показатель	До	После	% изменения
ПМ	19,35 ± 1,71	19,62 ± 2,7	+ 1,40
СТ	3,54 ± 0,71	2,47 ± 0,45	- 43,32
Сосудистое R	0,46 ± 0,10	0,61 ± 0,10	+ 32,61
Сердечные спектры	0,74 ± 0,08	0,64 ± 0,133	- 15,625
Порфирины	0,34 ± 0,105	0,28 ± 0,05	- 21,43
NADH	1,485 ± 0,33	1,62 ± 0,29	+ 9,09
Липофусцины	1,69 ± 0,34	1,67 ± 0,302	- 1,2

Примечание (Note): P = 0,05.

Таблица 3

Показатели микроциркуляции и флуоресценции у пациентов с СД 2 типа и ПНП, группа 2: отсутствие реакции и очень слабая реакция на ТКМС (7 человек)

Table 3

Microcirculation and fluorescence indices in patients with type 2 diabetes and PNP, group 2: no reaction and very weak reaction to TCMS (7 people)

Показатель	До	После	% изменения
ПМ	19,04 ± 3,81	20,04 ± 4,88	+ 5,25
СТ	3,10 ± 0,88	3,06 ± 0,86	- 1,31
Сосудистое R	1,004 ± 0,44	0,542 ± 0,14	- 85,24
Сердечные спектры	0,844 ± 0,32	0,486 ± 0,13	- 73,66
Порфирины	0,268 ± 0,08	0,295 ± 0,08	+ 10,07
NADH	1,99 ± 0,35	1,576 ± 0,34	- 26,27
Липофусцины	1,677 ± 0,38	1,678 ± 0,38	+ 0,06

Примечание (Note): P = 0,05.

систему, что требует дальнейшего изучения этих процессов.

Комплексный системный характер изменений функционального состояния организма на ТКМС у лиц с СД 2 типа проявлялся в повышении работоспособности, улучшении сна, снижения сахара [16, 17].

В процессе исследования было выявлено, что наибольшие колебания после ТКМС выявились по показателю сосудистого тонуса (СТ) и внутрисосудистого сопротивления ( $R_c$ ). По флуоресцентной диагностике на ТКМС наиболее сильно реагировали порфирины и NADH, причем по разному в двух группах.

Результаты спектрального анализа колебаний ПМ в ЛДФ-грамме позволяют судить о состоянии регуляторных механизмов тканевой гемодинамики, в основном посредством снижения сердечных спектров, как показатель снижения пассивных механизмов регуляции, и относительном увеличении активных механизмов регуляции просвета сосудов, как факторов модуляции потока крови в сосудистой системе, которые реализуются через ее мышечно-тонический компонент.

Повышение ПМ косвенно указывает на увеличение скорости кровотока, что подтверждается снижением СТ и  $R_c$ , приводящих к увеличению локального кровотока, выявлено улучшение активных механизмов микроциркуляции в виде снижения сердечных спектров ЛДФ-граммы. В 1-й группе улучшение микроциркуляции происходило за счет снижения СТ; во 2-й — за счет снижения  $R_c$ . Снижение сердечных спектров (признак оптимизации микроциркуляции за счет снижения пассивных механизмов регуляции микроциркуляции) наблюдалось в обеих группах, но с наибольшим изменением во 2-й группе. Параметры окислительного метаболизма регулировались в 1-й группе в основном за счет порфиринов; во 2-й группе — за счет NADH.

Таким образом, курсовое применение ТКМС у больных СД 2 типа оказывало выраженное корри-

гирующее действие на систему микрогемодинамики. Изменения микроциркуляции были обусловлены снижением осцилляций в основном сердечного диапазона. Результатом активации местных механизмов тканевого кровотока явилась адекватная модуляция микроциркуляторного русла, направленная на увеличение объемных характеристик микрогемодинамики, усиление транспортной функции крови, улучшение транскапиллярного обмена и трофики тканей.

Настоящее исследование также выявило ряд пациентов, которые слабо откликнулись на ТКМС. Причина резистентности и ее преодоление требуют дальнейшего изучения данного феномена.

## ВЫВОДЫ

1. Транскраниальная магнитная стимуляция может быть эффективным методом для улучшения микроциркуляции и модуляции окислительно-восстановительных процессов у пациентов с сахарным диабетом 2 типа и диабетической полинейропатией.

2. Наиболее выраженное положительное влияние ТКМС наблюдается у пациентов с хорошей индивидуальной реакцией на стимуляцию, что подчеркивает необходимость предварительной оценки реактивности нервной системы при назначении данного вида лечения.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение механизмов действия ТКМС и определение оптимальных параметров стимуляции для улучшения терапевтических результатов у данной категории пациентов.

## Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Dedov II. Diabetes mellitus: development of technologies in diagnosis, treatment, and prevention. *Diabetes Mellitus*. 2010; 3: 6-13. Russian (Дедов И.И. Сахарный диабет: развитие технологий в диагностике, лечении и профилактике // Сахарный диабет. 2010; 3: 6-13.) doi: 10.14341/2072-0351-5480
2. Dedov II, Shestakova MV. Diabetes mellitus: acute and chronic complications. М., 2011. 48 p. Russian (Дедов И.И., Шестакова М.В. Сахарный диабет: острые и хронические осложнения. М., 2011. 48 с.)
3. Vasiliev PV, Shishkin AN, Erofeev NP, Bubnova NA, Pchelin IY. Non-invasive assessment of microcirculation in patients with late-stage complications of diabetes mellitus type 2. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2015; 14(4): 28-33. Russian (Васильев П.В., Шишкин А.Н., Ерофеев Н.П., Бубнова Н.А., Пчелин И.Ю. Неинвазивная оценка микроциркуляции у пациентов с поздними осложнениями сахарного диабета 2-го типа // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015; 14(4): 28-33.) doi: 10.24884/1682-6655-2015-14-4-28-33
4. Bregovsky VB, Kapova IA, Alekseeva ES. Skin microcirculation disorders in the lower limbs in diabetes: a pathophysiological phenomenon or a treatment target? *Diabetes Mellitus*. 2011; 3: 49-53. Russian (Бреговский В.Б., Капова И.А., Алексеева Е.С. Нарушение кожной микроциркуляции в нижних конечностях при сахарном диабете: патофизиологический феномен или объект для лечения? // Сахарный диабет. 2011; 3: 49-53.) doi: 10.14341/2072-0351-6224
5. Nesterova MV, Galkina VV. Diabetic polyneuropathy: pathogenesis, classification, clinical presentation, and treatment. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2013; 2: 97-105. Russian (Нестерова М.В., Галкина В.В. Патогенез, классификация, клиника и лечение диабетической полинейропатии // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2013; 2: 97-105.) doi: 10.14412/2074-2711-2013-2422

6. Schramm JC, Dinh T, Veves A. Microvascular changes in the diabetic foot. *Int J Low Extrem Wounds*. 2006; 5(3): 149-159. doi: 10.1177/1534734606292281
7. Shishkin MV, Zvenigorodskaya LA, Mkrtyumyan AM. Laser doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy as methods for preclinical manifestations of diabetic foot syndrome assessment. *Effective Pharmacotherapy*. 2018; 18: 6-12. Russian (Шишкин М.В., Звенигородская Л.А., Мкртумян А.М. Лазерная доплеровская флоуметрия и флуоресцентная спектроскопия как методы оценки доклинических проявлений синдрома диабетической стопы //Эффективная фармакотерапия. 2018. № 18. С. 6-12.)
8. Emanuel AL, Nieuwenhoff MD, Klaassen ES, Verma A, Kramer MHN, Strijers R, et al. Relationships Between Type 2 Diabetes, Neuropathy, and Microvascular Dysfunction: Evidence From Patients With Cryptogenic Axonal Polyneuropathy. *Diabetes Care*. 2017; 40(4): 583-590. doi: 10.2337/dc16-1690
9. Krupatkin AI, Sidorov VV, Merkulov MV, i dr. Funkcional`naya ocenka perivaskulyarnoj innervacii konechnostej s pomoshh`yu lazernoj dopplerovskoj floumetrii: posobie dlya vrachej. M., 2004. 26 s. Russian (Крупаткин А.И., Сидоров В.В., Меркулов М.В. и др. Функциональная оценка периваскулярной иннервации конечностей с помощью лазерной доплеровской флоуметрии: пособие для врачей. М., 2004. 26 с.)
10. Belcheva A, Shindova M, Hanna R. Efficacy of Laser Doppler Flowmetry, as a Diagnostic Tool in Assessing Pulp Vitality of Traumatized Teeth: A Split Mouth Clinical Study. *J Pers Med*. 2021; 11(8): 801. doi: 10.3390/jpm11080801
11. Ginzburg ML. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya i spektrofotometriya v diagnostike i ocenke e`ffektivnosti lecheniya mikrocirkulyatorny`x narushenij u bol`ny`x vibracionnoj bolezny`u: abstr. dis. ... cand. med. sci. M., 2005. 24 p. Russian (Гинзбург М.Л. Лазерная доплеровская флоуметрия и спектрофотометрия в диагностике и оценке эффективности лечения микроциркуляторных нарушений у больных вибрационной болезнью: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2005. 24 с.)
12. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrocirkulyacii krovi: rukovodstvo dlya vrachej /pod red. AI Krupatkina, VV Sidorova. M., 2005. 256 s. Russian (Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови: руководство для врачей / под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова. М., 2005. 256 с.)
13. Dunaev AV, Sidorov VV, Stewart NA, Sokolovski SG, Rafailov EU. Laser reflectance oximetry and Doppler flowmetry in assessment of complex physiological parameters of cutaneous blood microcirculation. March 2013. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 8572*. doi: 10.1117/12.200179
14. Kozlov VI, Azizov GA, Gurova OA, Litvin FB. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya v ocenke sostoyaniya i rasstrojstv mikro-cirkulyacii krovi: metod. posobie dlya vrachej. M., 2012. 32 s. Russian (Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови: метод. пособие для врачей. М., 2012. 32 с.)
15. Rogatkin DA, Vychenkov OA, Polyakov PYu. Noninvasive spectrophotometry in the modern radiology: problems of accuracy and informativeness of diagnostic results. *Almanac of Clinical Medicine*. 2008; XVII(Part 1): 83-87. Russian (Рогаткин Д.А., Быченков О.А., Поляков П.Ю. Неинвазивная спектрофотометрия в современной радиологии: вопросы точности и информативности результатов измерений //Альманах клинической медицины. 2008. Т. XVII, Часть 1. С. 83-87.)
16. Kamenskaya OV, Klinkova AS, Loginova IYu, Levicheva EN, Cherniavsky AM. The functional state of the microcirculatory blood flow of peripheral tissues in patients with systemic atherosclerosis in combination with diabetes mellitus. *Regional Circulation and Microcirculation*. 2012; 11(2): 16-21. Russian (Каменская О.В., Клиноква А.С., Логинова И.Ю., Левичева Е.Н., Чернявский А.М. Функциональное состояние микроциркуляторного кровотока периферических тканей у пациентов с системным атеросклерозом в сочетании с сахарным диабетом 2 типа //Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2012. Т. 11, № 2. С. 16-21.) doi: 10.24884/1682-6655-2012-11-2-16-21
17. Gubareva NA, Podtaev SY, Parshakov AA. Diagnostics of vasodilation disorders of skin microvessels in patients with diabetic foot syndrome during local thermal testing. *Regional Circulation and Microcirculation*. 2015; 14(3): 27-33. Russian (Губарева Н.А., Подтаев С.Ю., Паршаков А.А. Диагностика нарушений вазодилатации микрососудов кожи у больных с синдромом диабетической стопы при проведении локальной тепловой пробы //Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015. Т. 14, № 3. С. 27-33.) doi: 10.24884/1682-6655-2015-14-3-27-33

**Сведения об авторах:**

ШУМЕЙКО Надежда Ивановна, канд. мед. наук, доцент, зав. кафедрой функциональной диагностики, НГИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: s5hni@yandex.ru

ЯМЩИКОВА Анастасия Валерьевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории прикладной нейрофизиологии, ФГБНУ НИИ КПППЗ, г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: anastyam@bk.ru

ФИЛИМОНОВ Сергей Николаевич, доктор мед. наук, профессор, начальник отдела экологии человека, общественного здоровья и здравоохранения, ФГБНУ НИИ КПППЗ, г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: fsn42@mail.ru

**Information about authors:**

SHUMEJKO Nadezhda Ivanovna, candidate of medical sciences, docent, head of the department of functional diagnostics, Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Novokuznetsk, Russia.

E-mail: shni2@yandex.ru

YAMSHCHIKOVA Anastasia Valeryevna, candidate of medical sciences, senior researcher of the laboratory of physiology of slow wave processes, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, Russia. E-mail: anastyam@bk.ru

FILIMONOV Sergey Nikolaevich, doctor of medical sciences, professor, head of the department of human ecology, public health and healthcare, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, Russia. E-mail: fsn42@mail.ru

МАКЛАКОВА Татьяна Петровна, доктор мед. наук, зав. кафедрой эндокринологии и диабетологии, НГИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: maklakovatat@yandex.ru

КАШИРИНА Евгения Петровна, канд. мед. наук, доцент кафедры эндокринологии и диабетологии, НГИУВ – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Новокузнецк, Россия.

E-mail: kashirina\_grande@mail.ru

MAKLAKOVA Tat'jana Petrovna, doctor of medical sciences, head of the department of endocrinology and diabetology, Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Novokuznetsk, Russia

E-mail: maklakovatat@yandex.ru

KASHIRINA Evgenija Petrovna, candidate of medical sciences, docent of the department of endocrinology and diabetology, Novokuznetsk State Institute of Advanced Medical Training, Novokuznetsk, Russia.

E-mail: kashirina\_grande@mail.ru

**Корреспонденцию адресовать:** ФИЛИМОНОВ Сергей Николаевич, 654041, г. Новокузнецк, ул. Кутузова, д. 23, ФГБНУ НИИ КППГЗ.

E-mail: fsn42@mail.ru