

Платонов А.В., Кан С.Л., Данцигер Д.Г., Халепа В.И., Чурляев Ю.А.  
 Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей,  
 Городская клиническая больница № 1,  
 г. Новокузнецк

## ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ШАХТЕРОВ-ПОДЗЕМНИКОВ

Проведено исследование состояния капиллярного кровотока методом кожной лазерной доплеровской флоуметрии у шахтеров одного возраста со стажем подземных работ от 1 года до 19 лет. Целью работы явилось выявление индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции для оценки адаптационных механизмов к вредным условиям работы. Выявлено, что происходит перераспределение процентного соотношения типов микроциркуляции в стажевых группах в сторону гиперемического типа, и установлено доминирующее влияние на формирование вариантов микроциркуляции вредных факторов производства.

**Ключевые слова:** шахтеры; кластерный анализ; показатель микроциркуляции; типы микроциркуляции.

Platonov A.V., Kan S.L., Dantsiger D.G., Halepa V.I., Churlyayev Y.A.  
 Novokuznetsk SIAM Ministry of Health of the Russian Federation», Novokuznetsk  
 2MBHCE «City Clinical Hospital № 1», Novokuznetsk

### INDIVIDUALLY-TYOLOGICAL FEATURES OF MICROCIRCULATION IN MINERS

Summary. A study of cutaneous capillary blood flow condition by laser Doppler flowmetry in the miners of the same age with the experience of underground works from 1 to 19 years was carried out. The aim of the work was to identify the individual-typological features of the microcirculation to evaluate adaptation mechanisms to harmful working conditions. It was revealed that there is a redistribution of percentage of microcirculation types in groups towards hyperemic, dominant influence on formation of microcirculation variants caused by harmful working conditions factors was established.

**Key words:** coal miners; cluster analysis; microcirculation index; microcirculation types.

При работах в шахте организм горняка подвергается воздействию многочисленных неблагоприятных факторов производства. К ним относятся: контакт с угольно-породной пылью; изменение газового состава воздуха (снижение содержания кислорода, увеличение концентрации углекислого газа, поступление в атмосферу шахты метана, оксида углерода, сероводорода, сернистого газа, оксидов азота, взрывных газов и т.д.); шум и вибрация; нерациональное освещение и вентиляция; вынужденное положение тела; нервно-психическое, зрительное, слуховое перенапряжение, и все это на фоне тяжелого физического труда [1]. Таким образом, организм шахтера подвергается хроническому профессиональному стрессу. Действие стрессорного раздражителя индуцирует развитие общего адаптационного синдрома. Как известно, важным звеном в развитии адаптационного синдрома при стрессе являются изменения, возникающие на уровне микроциркуляции [2, 3].

Одной из актуальных проблем в медицинской практике является исследование системы микроциркуляции крови, так как микроциркуляторное звено является подсистемой сосудистого русла, в которой, в конечном итоге, реализуется основная функция: обеспечение транскапиллярного обмена и его реакции на воздействие факторов внешней и внутренней среды [4]. Изменения микроциркуляторного кровотока отражают общее состояние сердечно-сосудис-

той системы, что позволяет использовать параметры микроциркуляции в качестве прогностических и диагностических критериев в оценке общего состояния здоровья. Принцип типологизации в исследовании функционального состояния у различных групп испытуемых дает возможность выявить не только специфику индивидуальных особенностей организма и протекания патофизиологических процессов в нем, но и позволяет разработать нормативные показатели и критерии для проведения диагностики микроциркуляции, а также изучить отклик тканевого кровотока на внешние воздействия [4].

В литературе имеются данные, где при помощи метода лазерной доплеровской флоуметрии оценивается функциональное состояние микроциркуляции у шахтеров в зависимости от стажа подземных работ [2]. Так же этот метод позволяет оценить индивидуальную изменчивость кровотока и механизмы его регуляции.

**Цель работы** – выявление индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции у шахтеров-подземников одного возраста с различным стажем подземных работ для оценки адаптационных механизмов к вредным условиям работы.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование состояния микроциркуляции шахтеров проходило во время ежегодного профосмотра, где так же исследовались общий анализ крови, общий анализ мочи, уровни холестерина, сахара крови, электрокардиографическое исследование, рентгенография органов грудной клетки, проводился осмотр общеклинических специалистов.

#### Корреспонденцию адресовать:

ПЛАТОНОВ Александр Викторович,  
 654057, г. Новокузнецк, пр. Бардина, д. 28.  
 Тел.: 8 (3843) 79-62-20; +7-923-622-17-05.  
 E-mail: sasha.platonov.8@mail.ru

В нашем исследовании приняли участие 87 практически здоровых мужчин в возрасте от 30 до 39 лет. Относительно молодые люди нами выбраны потому, что возрастные изменения распространяются и на физиологические механизмы регуляции гомеостаза, ограничивая адаптационно-компенсаторные реакции организма.

Критерии включения в исследование: шахтеры с непрерывным стажем подземных работ от 1 до 19 лет. Профессии: горнорабочий очистного забоя, машинист горных выемочных машин, машинист подземных установок, электрослесарь, проходчик, горнорабочий подземный. Критерии исключения: лица, находящиеся на момент осмотра на больничном листе по какому-либо заболеванию.

Все шахтеры были разделены на две группы в зависимости от стажа подземных работ. В первую группу вошли 32 шахтера со стажем подземных работ от 1 до 9 лет, средний возраст  $32,4 \pm 2,1$  года. Во вторую группу вошли 55 шахтеров со стажем от 10 до 19 лет, средний возраст  $35,5 \pm 2,85$  лет.

Исследование микроциркуляции проводилось методом неинвазивной лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью лазерного анализатора капиллярного кровотока (ЛАКК-01). Оптический зонд фиксировался на коже наружной нижней трети плеча. Во время исследования испытуемые находились в положении лежа на спине, при температуре помещения не менее 20°C.

С помощью компьютерной программы обработки ЛДФ-граммы определяли следующие основные показатели:

1. Показатель микроциркуляции (ПМ; перф. ед.) отражает степень перфузии преимущественно эритроцитарной фракцией в единице объема ткани за единицу времени и позволяет проследить ее динамику при реакции кровотока на различные воздействия [4];
2. Среднее квадратическое отклонение (флакс, СКО; перф. ед.) – средние колебания перфузии относительно среднего значения потока крови, характеризующие временную изменчивость перфузии, а также отражающие среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах [4];
3. Коэффициент вариации ( $K_v$ , %) характеризует соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией в зондируемом участке тканей [5];

При помощи кластерного анализа на основании значений показателей перфузии, уровня флакса и

коэффициента вариации нами выделены три типа ЛДФ-грамм.

Расчетные параметры показателя микроциркуляции, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации дают лишь общую оценку состояния микроциркуляции крови. Более детальный анализ функционирования микроциркуляторного русла может быть проведен на втором этапе обработки ЛДФ-грамм базального кровотока при исследовании структуры ритмов колебаний перфузии крови [5]. Наиболее точным и корректным является вейвлет-преобразование ЛДФ-грамм. Это связано с тем, что данный метод анализа имеет сравнительно лучшее разрешение по частоте и по времени; более приспособлен к анализу нестационарных сигналов, которыми являются медицинские физиологические сигналы; позволяет анализировать получаемый сигнал в виде амплитудно-частотных характеристик; в несколько раз снижает вариабельность исследуемых параметров и упрощает трактовку получаемых сигналов; позволяет лучше определить вклад отдельных механизмов регуляции, модулирующих микроциркуляцию и представленных в одной реализации. Вейвлет-преобразование позволяет проводить анализ нормированных характеристик ритмов колебаний кровотока: нейrogenного, миогенного и т.д. [4].

Статистическая обработка данных проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин ( $M$ ), средней ошибки ( $m$ ) для каждого показателя. Оценка значимости межгрупповых различий полученных данных проводилась с помощью критерия парных сравнений U-теста Манна-Уитни (Mann-Whitney U Test) [6, 7]. Межгрупповые различия считались значимыми при  $p < 0,05$ . Для выявления связей между показателями микроциркуляции использовался метод кластерного анализа с построением дендрограмм, являющийся многомерным статистическим методом, позволяющим находить скрытые связи как внутри функциональных систем, так и между ними [6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В каждой исследуемой группе мы выделили три микрогемодинамических типа. После чего в каждом из типов определялись среднее значение показателей и средняя ошибка. Между выделенными типами микроциркуляции в обоих стажевых группах наблюдались статистически значимые различия по таким показателям, как параметр микроциркуляции, среднее квадратическое отклонение и коэффициент ва-

### Сведения об авторах:

ПЛАТОНОВ Александр Викторович, врач функциональной диагностики, МБЛПУ «ГКБ № 1», г. Новокузнецк, Россия. E-mail: sasha.platonov.8@mail.ru

КАН Сергей Людовикович, канд. мед. наук, доцент, кафедра анестезиологии и реаниматологии, ГБОУ ДПО НГИУВ Минздрава России, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: kansergey1980@mail.ru

ДАНЦИГЕР Дмитрий Григорьевич, гл. врач, МБЛПУ «ГКБ № 1»; доктор мед. наук, профессор, зав. кафедрой организации здравоохранения и общественного здоровья, ГБОУ ДПО НГИУВ Минздрава России, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: nmt@hosp1.nkz.ru

ХАЛЕПА Владимир Иванович, зам. гл. врача по хирургии, МБЛПУ «ГКБ № 1», г. Новокузнецк, Россия.

ЧУРЛЯЕВ Юрий Алексеевич, доктор мед. наук, профессор, зав. кафедрой анестезиологии и реаниматологии, ГБОУ ДПО НГИУВ Минздрава России, г. Новокузнецк, Россия. E-mail: chur@online.kuzbass.ru

рации. Данные варианты микроциркуляции были определены нами (согласно литературным данным) следующим образом: аperiodический тип (нормоемический), монотонный со сниженной перфузией (гипоемический) и монотонный с высокой перфузией (гиперемический) (табл.).

Нормоемический тип характеризуется сравнительно высокой степенью интенсивности кровотока, средним значением коэффициента вариации и высоким уровнем флакса ( $M = 2,9-3,21$  перф. ед.;  $СКО = 0,228-0,31$  перф. ед.;  $Kv = 7,27-10,2$ ).

Гипоемическому типу присуще низкое значение параметра микроциркуляции и колебания перфузии,

и высокое значение коэффициента вариации ( $M = 0,79-2,09$  перф. ед.;  $СКО = 0,125-0,255$  перф. ед.;  $Kv = 11,73-15,1$ ).

У гиперемического типа микроциркуляции регистрируется статистически достоверное высокое значение тканевой перфузии и относительно монотонный уровень колебаний тканевого кровотока, о чем свидетельствует низкое значение флакса и низкий коэффициент вариации по сравнению с другими типами ЛДФ-грамм ( $M = 3,344-3,465$  перф. ед.;  $СКО = 0,163-0,218$  перф. ед.;  $Kv = 4,87-6,55$ ) [8].

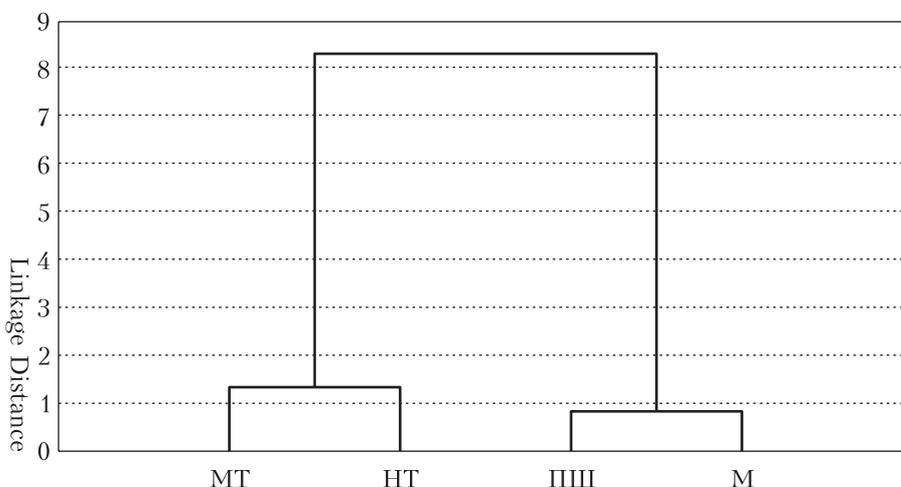
На втором этапе работы мы провели более детальный анализ (оценили нейрогенный, миогенный

**Таблица**  
**Показатели микроциркуляции у испытуемых в различных стажевых группах**

Показатели микроциркуляции	Стаж 1-9 лет (n = 32)			Стаж 10-19 лет (n = 55)	
	Гипоемический тип (n = 2)	Нормоемический тип (n = 19)	Гиперемический тип (n = 11)	Нормоемический тип (n = 15)	Гиперемический тип (n = 40)
M, перф. ед.	1,44 ± 0,65	3,1 ± 0,099*	3,43 ± 0,035**	3,09 ± 0,12	3,38 ± 0,036°
СКО, перф. ед.	0,19 ± 0,065	0,24 ± 0,012*	0,17 ± 0,0068**	0,29 ± 0,02	0,21 ± 0,008°
Kv, %	13,53 ± 1,8	7,67 ± 0,35*	5,08 ± 0,21**	9,53 ± 0,67	6,33 ± 0,23°
НТ, мм рт. ст./перф. ед.	3,36 ± 0,63	3,25 ± 0,26	3,08 ± 0,34	3,02 ± 0,37	2,99 ± 0,23
МТ, мм рт. ст./перф. ед.	4,04 ± 0,06	3,4 ± 0,27	3,28 ± 0,31	3,32 ± 0,32	3,17 ± 0,19
ПШ	1,25 ± 0,25	1,12 ± 0,06	1,14 ± 0,11	1,21 ± 0,08	1,19 ± 0,05
% в группе	6,24 %	59,38 %	34,38 %	27,3 %	72,7 %

Примечание: n - количество человек; \* статистическая значимость в различии показателей относительно гипоемического типа ( $p < 0,05$ ); ° статистическая значимость в различии показателей относительно нормоемического типа ( $p < 0,05$ ).

**Рисунок 1**  
**Дендрограмма кластерного анализа гипоемического типа микроциркуляции у испытуемых первой стажевой группы (стаж 1-9 лет)**



#### Information about authors:

PLATONOV Alexandr Viktorovich, physician, functional diagnostics department, City Clinical Hospital N 1, Novokuznetsk, Russia.

KAN Sergey Ludovikovich, candidate of medical sciences, docent, anesthesiology and critical care medicine department, Novokuznetsk State Institute of Advanced Training of Doctors, Novokuznetsk, Russia. E-mail: kansergey1980@mail.ru

DANTSIGER Dmitriy Grigorjevich, chief medical officer, City Clinical Hospital N 1; doctor of medical sciences, professor, head of the department of health organization and public health care, Novokuznetsk State Institute of Advanced Training of Doctors, Novokuznetsk, Russia. E-mail: nmt@hosp1.nkz.ru

HALEPA Vladimir Ivanovich, deputy chief physician on surgery, City Clinical Hospital N 1. Novokuznetsk, Russia.

CHURLYAEV Yurij Alexeevich, doctor of medical sciences, professor, head of the department of anesthesiology and intensive care, Novokuznetsk State Institute of Advanced Training of Doctors, Novokuznetsk, Russia. E-mail: chur@online.kuzbass.ru

тонусы и показатель шунтирования у каждого из выделенных нами типов микроциркуляции) и установили причины перераспределения процентного соотношения микрогемодинамических типов в схожих по возрасту группах (30-39 лет) с различным стажем подземных работ.

На дендрограмме гипоемического типа микроциркуляции в первой стажевой группе (стаж от 1 до 9 лет) (рис. 1) показатель микроциркуляции находился в одном кластере с показателем шунтирования, то есть на формирование показателя микроциркуляции свое непосредственное влияние оказывает показатель шунтирования. Этот факт свидетельствует о том, что часть крови сбрасывается по шунтирующим сосудам, минуя капиллярное русло, что и обуславливает низкий уровень перфузии.

У нормоемического типа во всех стажевых группах (рис. 2) сбалансированы пре- и посткапиллярные влияния нейрогенного и миогенного тонусов на мо-

дуляцию тканевого кровотока, поэтому при кластерном анализе с построением дендрограмм тонусы находятся рядом друг с другом.

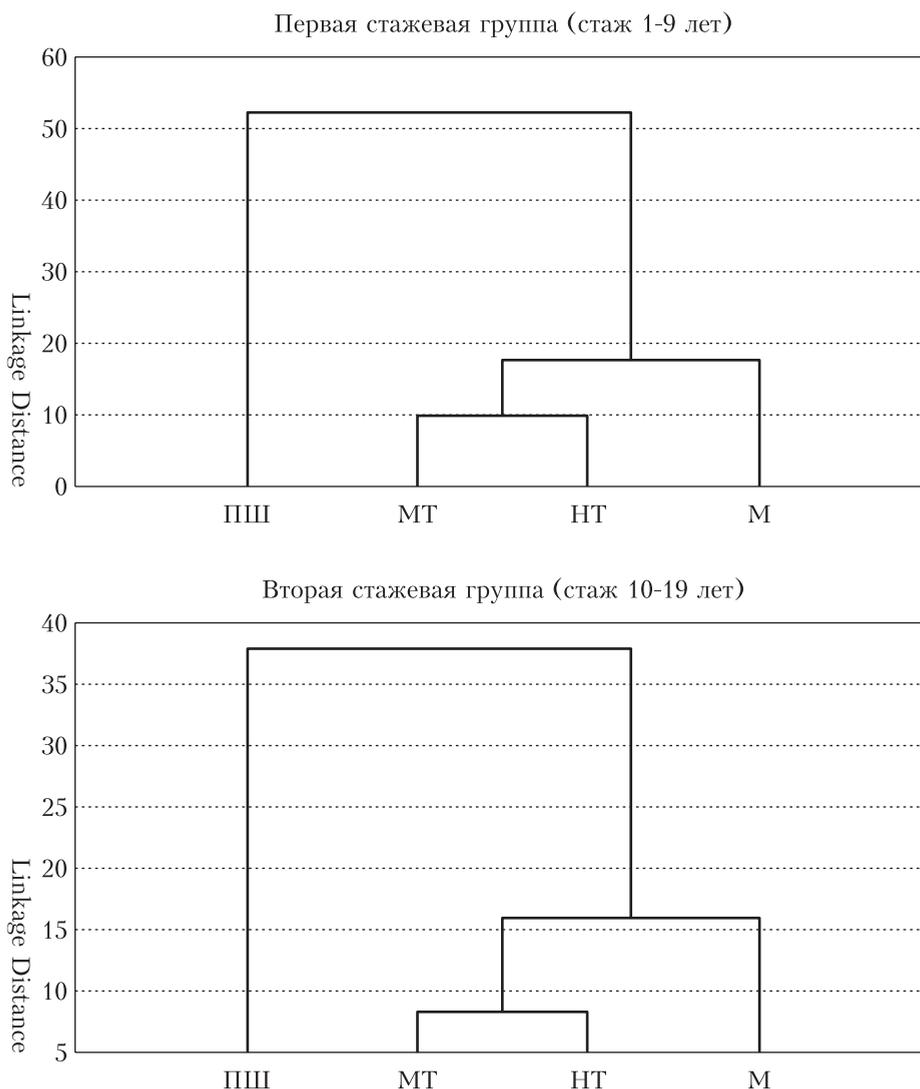
Изменения, которые коснулись системы микроциркуляции при формировании гиперемического типа, направлены на поддержание гомеостаза организма при продолжительном воздействии на него неблагоприятных факторов производства.

Этот процесс описал Г. Селье, он впервые ввел термин «стресс» в 1936 году в статье «Синдром, вызываемый разными повреждающими агентами», опубликованной в журнале «Nature». Позднее он охарактеризовал его как «общий адаптационный синдром» [9].

В случае хронического длительного действия стрессора наступает устойчивая или «долговременная адаптация», характеризующаяся высокой резистентностью.

При адаптации организма к работе во вредных условиях труда происходит перестройка всех орга-

**Рисунок 2**  
**Дендрограммы кластерного анализа нормоемического типа микроциркуляции у испытуемых различных стажевых групп**

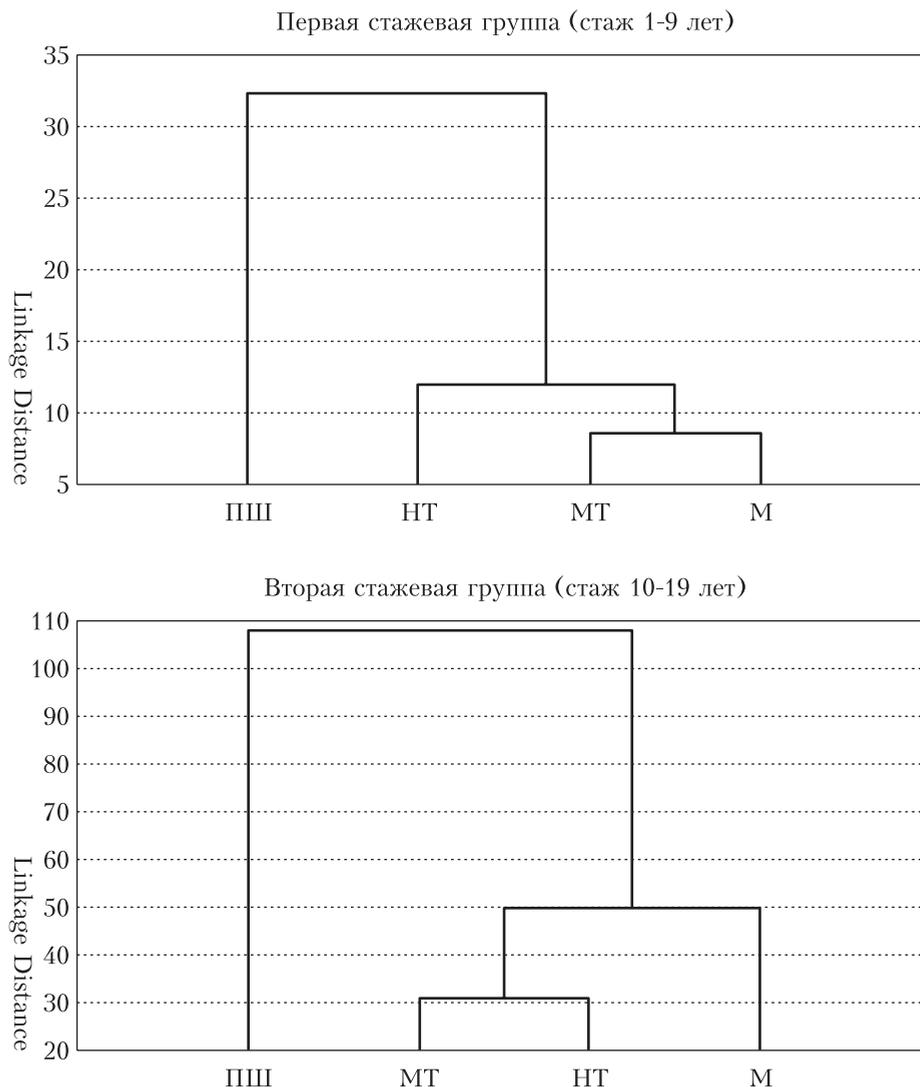


нов и систем организма, в том числе и микроциркуляторного русла. Кислородозависимый механизм регуляции тонуса сосудов основан на способности гладкомышечных клеток расслабляться при гипоксии даже без метаболических вазодилаторов, в том числе при усиленной физической работе и возникающей при этом относительной гипоксии на фоне активации потребления кислорода [5]. Поэтому на дендрограмме (рис. 3.), где изображен гиперемический тип микроциркуляции первой стажевой группы, параметр микроциркуляции и миогенный тонус находятся в непосредственной близости друг от друга. Данный факт свидетельствует о том, что более высокий уровень перфузии у шахтеров одного возраста со стажем от 1 до 9 лет обусловлен снижением миогенного тонуса, который оказывает свое влияние преимущественно на прекапиллярные сфинктеры, следствием чего является повышенный приток крови в нутритивное русло.

Общеизвестно, что показатель микроциркуляции напрямую зависит не только от диаметра сосудов, но и от количества эритроцитов. Так, в литературе имеются данные, что у шахтеров-подземников при стаже подземных работ менее 10 лет в условиях интермиттирующей гипоксии происходит компенсаторное увеличение количества эритроцитов и гемоглобина [10], которое так же вносит свой вклад в формирование показателя микроциркуляции.

У шахтеров того же возраста (30-39 лет) второй стажевой группы (стаж от 10 до 19 лет) гиперемический тип (рис. 3) представлен дендрограммой, где миогенный и нейрогенный тонусы связаны между собой, и так же оказывают взаимное влияние на степень перфузии ткани. Однако длина этой связи максимальна, что определяет опосредованную связь параметра микроциркуляции с активными компонентами регуляции. Рост показателя микроциркуляции при одновременном понижении вклада активных механизмов сви-

**Рисунок 3**  
Дендрограммы кластерного анализа гиперемического типа микроциркуляции у испытуемых различных стажевых групп



детельствует о развитии застойных явлений в системе микроциркуляции и приводит к снижению функциональных резервов системы микроциркуляции [11] — наступает фаза «напряжения» адаптации. Данные изменения микроциркуляции, имеющие фазный характер, согласуются с фазными изменениями центральной гемодинамики у шахтеров [12].

Анализ полученных данных показал, что с увеличением стажа подземных работ преобладание типов микроциркуляции в группах смещается в сторону гиперемического. Так, в первой стажевой группе (стаж 1-9 лет) большинство шахтеров имели нормоемический вариант микроциркуляции (59,38 %), гиперемический тип зарегистрирован у трети подземников (34,38 %), оставшиеся 6,24 % имели гипоемический тип. Во второй же стажевой группе было выявлено абсолютное преобладание ЛДФ-грамм с высоким показателем перфузии (72,7 %), в свою очередь гипоемический

тип микроциркуляции нами не зарегистрирован совсем.

Таким образом, происходит перераспределение процентного соотношения типов микроциркуляции в стажевых группах в сторону гиперемического типа. Число шахтеров, имеющих монотонный (гиперемический) вариант микроциркуляции с высоким показателем перфузии прямо пропорционально отработанному стажу во вредных условиях и составляет абсолютное большинство (72,7 %) в группе со стажем от 10 до 19 лет.

Доминирующее влияние на формирование типов микроциркуляции оказывают вредные факторы производства. Указанные изменения индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции у шахтеров-подземников сопоставимы со стадиями адаптационного синдрома: фаза адаптации (подземный стаж до 10 лет) и фаза «напряжения» адаптации (подземный стаж от 10 до 19 лет).

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Медико-биологическое исследование влияния угольной пыли как фактора интоксикации /Д.В. Фоменко, Е.В. Уланова, К.Г. Громов и др. //Бюл. ВСНЦ СО РАМН. – 2006. – № 1. – С. 278-283.
2. Функциональные изменения микроциркуляции у шахтеров в зависимости от стажа подземных работ /О.С. Золоева, Е.В. Быкова, А.Р. Вартанян и др. //Общая реаниматол. – 2011. – Т. VII, № 5. – С. 10-14.
3. Изменение параметров системы микроциркуляции в ответ на физическую нагрузку разной интенсивности /П.В. Михайлов, А.М. Тельнова, И.А. Осетров и др. //Ярослав. педагог. вестн. – 2012. – Т. III, № 1.
4. Чуян, Е.Н. Индивидуально-типологический подход к исследованию процессов микроциркуляции крови /Е.Н. Чуян, М.Н. Ананченко //Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. – 2009. – Серия Биология, химия. – Т. 22(61), № 3. – С. 159.
5. Крупаткин, А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови /А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М., 2005. – 254 с.
6. Боровиков, В.П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов /В.П. Боровиков. – СПб., 2001. – 656 с.
7. Лакин, Г.Ф. Биометрия /Г.Ф. Лакин. – М., 1990. – 352 с.
8. Маколкин, В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии: пособие для врачей /В.И. Маколкин, В.В. Бранько, С.А. Богданова. – М., 1999. – 48 с.
9. Селье Г. Стресс без дистресса /Г. Селье. – М., 1979. – 123 с.
10. Изменение эритронов у шахтеров-подземников при различном стаже подземных работ /Ю.А. Чурляев, А.Н. Романов, Д.Г. Данцигер и др. //Общ. реаниматол. – 2012. – Т. VIII, № 6. – С. 33-37.
11. Литвин, Ф.Б. Особенности становления микроциркуляции в онтогенезе у детей и подростков из радиоэкологически неблагоприятных регионов /Ф.Б. Литвин //Новые исслед. – 2009. – Т. 1, № 20.
12. Вартанян, А.Р. Функциональные изменения гемодинамики у шахтеров /А.Р. Вартанян, Г.В. Кондранин, А.В. Будаев и др. //Общ. реаниматол. – 2006. – Т. II, № 1. – С. 29-31.

