

Особенности микроциркуляторных реакций юношей Брянской области на радиоактивную и токсико-химическую загрязненность окружающей среды

А.М. Цыгановский, А.В. Корсаков*

ГОУ ВПО «Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского»,
г. Брянск

*Брянский государственный технический университет
241036, Брянск, ул.Бежицкая, 14; Тел.: +7(4832) 666538

Введение. Впервые в Брянской области непосредственное влияние аварийного радиационного фактора на здоровье населения было доказано доктором биологических наук Адамовичем Вячеславом Леонидовичем [1]. Основное противоречие, не позволявшее, тем не менее, доказать первостепенность действия аварийного радиационного фактора, маскируемое присутствием в среде техногенных (загрязнение атмосферного воздуха, почвы, воды) и социогенных (безработица, преступность, уровень жизни) воздействий, было расшифровано доктором медицинских наук профессором Михалёвым Владимиром Петровичем [11]. Выявленные им чрезвычайные различия мощности и вклада в биологические эффекты радиационного фактора присутствием перечисленных воздействий, заставили продолжить исследования влияния комплекса перечисленных факторов и их комбинаций на здоровье населения Брянской области на базе современных методов исследования, чего не было исследовано ранее.

Наиболее характерным показателем здоровья является способность организма адекватно изменять свои функциональные возможности и сохранять оптимальность их параметров в различных условиях существования [2].

Для вскрытия одного из звеньев механизмов адаптационных процессов, решения важнейшего вопроса о физиологическом либо патологическом типе адаптационного процесса, нами проделана серия исследований микроциркуляторного звена сердечно-сосудистой системы юношеского населения Брянской области, испытывающего различные варианты и интенсивность радиоактивного (последствие аварии на ЧАЭС) и токсико-химического воздействия, при этом плотность радиоактивного загрязнения территорий по ^{137}Cs от 18,5 кБк/м² до 2149,7 кБк/м². Плотность суммарного техногенного загрязнения (кг/чел/год) по ведущим токсикантам – от 0,1 до 28,0 по диоксиду серы, от 0,1 до 60,5 по оксиду азота и от 0,1 до 1,3 по летучим органическим соединениям [7].

Системный анализ конечного звена кровообращения, его микроциркуляторного русла является на наш взгляд как наиболее интимным так и наиболее достоверным регистратором характера интересующего нас процесса адаптации.

Одним из современных методов характеристики состояния микроциркуляции в поверхностных слоях тканей является метод ЛДФ-метрии.

Методика. В исследовании приняли участие 203 юноши в возрасте 17-20 лет, проживающих в разных экологических условиях. Состояние микроциркуляции изучали на волярной поверхности дистальной фаланги правой кисти методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с применением одноканального анализатора кровотока ЛАКК-01. Метод ЛДФ основывается на оптическом зондировании тканей монохроматическим сигналом и анализе частотного спектра монохроматического сигнала, отраженного от движущихся в тканях эритроцитов.

Анализ ЛДФ-сигнала позволяет определить следующие показатели: параметр микроциркуляции (ПМ) – интегральный показатель подвижности эритроцитов в зондируемом объеме ткани в единицу времени через единицу объема ткани. Средняя амплитуда колебаний потока эритроцитов оценивается величиной среднего квадратического отклонения (СКО). Применение математического аппарата Фурье-анализ позволило определить частоту и амплитуду физиологически значимых колебаний, так называемый ЧАС: очень низкочастотных VLF – с частотой не менее 0,03Гц (1 колебание в 1 – 2 мин); низкочастотных LF- от 4 до 10 кол/мин (0,05 - 0,15Гц); высокочастотных HF – от 15 до 20 кол/мин (0,2 – 0,4Гц) и пульсовых CF-колебаний кожного покрова (0,8 – 1,5Гц). Перечисленные показатели оценивались в перфузионных единицах (перф. ед.). В ходе исследования был выявлен процентный вклад каждой из гармоник в суммарную мощность спектра. Ритмические колебания кровотока и их изменения позволяют получить информацию о соотношениях «активных» и «пассивных» механизмов регуляции микроциркуляции крови. Соотношение активных модуляций кожного кровотока, обусловленных миогенным и нейрогенным механизмами, и дополнительных парасимпатических влияний на него рассчитывали как индекс флаксмоций (ИФМ): $ALF / (AHF + ACF)$ [4].

Статистический анализ результатов исследования проводили с использованием средств пакета программ Microsoft Excel-2003 [3] по выборочным средним значениям

$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$, выборочным среднеквадратичным отклонениям

$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$ и среднеквадратичной ошибке измерения $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, где n

– объем выборки (общее количество обследованных в группе). Для проверки статистической гипотезы о значимости отклонения того или иного показателя применяли

традиционный в медико-биологических исследованиях t-критерий Стьюдента, используемый для нормального распределения непрерывных переменных. С помощью программы автоматически для каждого признака проводили попарное сравнение заданных групп показателей, выявляя достоверность различий между ними. Для оценки достоверности данных использовали различные уровни значимости различий: $p < 0.05$, $p < 0.01$ и менее.

По характеру экологической нагрузки на организм сформировано 4 группы обследуемых: I-я – из экологически благополучных территорий (47 человек); II-я – из радиационных (47 человек); III-я – из токсических (66 человек); IV-я – из сочетанных радиационно-токсических (43 человека).

Результаты. В процессе визуального анализа индивидуальных ЛДФ-грамм, нами выявлены три основных типа ЛДФ-грамм, обоснованные в литературе [6, 9, 12] как аperiодический, монотонно низкоамплитудный и синусоидальный (табл. 1).

Таблица 1.

Оценка параметров микроциркуляции и амплитудно-частотного спектра у испытуемых с разным исходным типом ЛДФ-грамм

Тип ЛДФ-метрии Исследуемый показатель		Аperiодический	Монотонно низкоамплитудный	Синусоидальный	Достоверность межгрупповых различий + – различия достоверны при $p < 0,05$; ++ – различия достоверны при $p < 0,01$; +++ – различия достоверны при $p < 0,001$; ++++ – различия достоверны при $p < 0,0001$ и менее.		
		I (N=136)	II (N=36)	III (N=31)	I–II	I–III	II–III
ПМ, перф.ед.		5,6±0,2	3,4±0,2	6,2±0,4	++++		++++
СКО, перф.ед.		0,53±0,02	0,29±0,03	0,54±0,03	++++		++++
Kv, %		10,4±0,4	9,2±0,9	10,0±1,2			
ИФМ, усл. ед.		1,71±0,04	1,38±0,07	1,21±0,04	++++	++++	+
VLF	A+	0,94±0,04	0,50±0,06	0,86±0,06	++++		+++
	Вклад++	44,4±0,4	43,8±0,8	41,5±0,8		+++	+
LF	A+	0,73±0,03	0,36±0,04	0,66±0,05	++++		++++
	Вклад++	34,6±0,2	31,6±0,5	31,6±0,4	++++	++++	
HF	A+	0,29±0,01	0,16±0,01	0,29±0,03	++++		++++
	Вклад++	13,8±0,3	14,6±0,5	13,9±0,6			
CF	A+	0,14±0,01	0,10±0,01	0,26±0,02	++++	++++	++++
	Вклад++	7,3±0,2	10,0±0,7	13,0±0,6	+++	++++	++

+ – амплитуда колебаний, перф. ед.; ++ – вклад в спектральную мощность, %.

В ходе исследования установлено, что для аperiодического типа микроциркуляции, при средней величине параметра микроциркуляции (ПМ) и сравнительно высоком показателе среднего квадратического отклонения (СКО), характерна устойчивая сбалансированность активных и пассивных механизмов модуляции тканевого кровотока с доминированием в частотно-амплитудном спектре (ЧАС) амплитуды и мощности спектра очень низкочастотных (VLF) и низкочастотных (LF) колебаний. Вклад высокочастотных (HF) и пульсовых (CF) колебаний остается достоверно низким. У представителей синусоидального типа микроциркуляции, по сравнению с аperiодическим, наблюдается высокий ПМ, в пределах нормы величина СКО. В ЧАС регистрируется не случайное снижение амплитуды и мощности спектра VLF- и LF-колебаний при достоверном повышении амплитуды и мощности спектра CF-колебаний. Для монотонно низкоамплитудного типа с достоверно низкими значениями ПМ и СКО, типична тенденция роста амплитуды и мощности спектра высокочастотных колебаний на фоне снижения низкочастотных ритмов.

Существенные различия типов микроциркуляции поставило перед нами закономерный вопрос о том, существуют ли закономерности по частоте встречаемости данных типов в различных экологических условиях (табл. 2). В ходе выполненного исследования установлено, что среди испытуемых, проживающих на относительно благополучных территориях, чаще выявляется аperiодический тип ЛДФ-грамм (72,3%). Значительно реже встречается «монотонный» (12,8%) и «синусоидальный» (14,9%) тип. Такое распределение исследуемых типов в определенной степени отражает высокий уровень адаптационных резервов системы микроциркуляции.

Таблица 2.

Частота встречаемости исследуемых типов ЛДФ-грамм у испытуемых, проживающих в разных экологических условиях.

Исследуемый район Тип ЛДФ-грамм	Относительно благополучный (контроль)	Преимущественно радиационный	Токсикологически неблагополучный	Сочетанный радиационно-токсический	Общее соотношение
	I (N=47)	II (N=47)	III (N=66)	IV (N=43)	N=203
Аperiодический, %	72,3	68,1	68,2	58,1	67,0
Монотонно низкоамплитудный, %	12,8	19,1	19,7	18,6	17,7
Синусоидальный, %	14,9	12,8	12,1	23,3	15,3

На территориях преимущественно радиоактивного и техногенного токсикологического воздействия по сравнению с контрольной группой доля лиц с аperiодическим типом незначительно снижается (68,1 и 68,2% соответственно), однако, резко возрастает количество испытуемых с монотонным типом ЛДФ-грамм (19,1 и 19,7%), который наряду с синусоидальным типом ЛДФ рядом исследователей [6, 9] относится к крайним вариантам норм. Данный факт в некоторой степени свидетельствует о структурно-функциональной перестройке в системе микроциркуляции, однако, характер и уровень изменений необходимо выявить в ходе дальнейших исследований.

На территориях комбинированного радиационно-токсического воздействия факторов окружающей среды доля лиц с аperiодическим типом резко снижается до 58,1% и на фоне сохраняющейся высокой встречаемости монотонно низкоамплитудного типа (18,6%) наблюдается значительное (в 2 раза!) увеличение количества испытуемых с синусоидальным типом ЛДФ-грамм (23,3%), что связано с ростом функциональной напряженности микроциркуляции.

Таким образом, сочетанное воздействие экологически неблагоприятных факторов приводит к росту числа лиц с крайними типами микроциркуляции, для которых характерно напряжение компенсаторно-приспособительных механизмов.

Выявленные типологические особенности кожного микрокровотока (табл. 1) и анализ частоты встречаемости аperiодического, монотонного и синусоидального типов ЛДФ-грамм (табл. 2) у испытуемых, проживающих в исследуемых районах области, в определенной степени позволили оценить территориальные особенности микроциркуляции. Однако, высокая вариабельность (в пределах 2 и более сигм) исследуемых показателей даже внутри отдельного типа ЛДФ-грамм, представляет значительный интерес. Последующую оценку микрокровотока проводили у лиц с аperiодическим типом ЛДФ-грамм. Такой подход позволил выявить достоверно значимые изменения статистических и спектральных показателей оценивающих реактивность кожного кровотока на исследуемый состав среды (табл. 3).

При исследовании микроциркуляции крови в группе испытуемых с аperiодическим типом ЛДФ-грамм, проживающих в относительно благополучном районе, были получены статистические показатели ПМ ($6,2 \pm 0,3$ перф. ед.), СКО ($0,61 \pm 0,05$ перф. ед.) и ИФМ ($1,86 \pm 0,06$ перф. ед.).

Как отмечают ряд исследователей [4, 7, 11] более уравновешенной характеристикой является показатель спектральной мощности каждой из частот. Анализ ЧАС выявил высокоамплитудные низкочастотные VLF и LF- колебания ($1,12 \pm 0,09$ и $0,86 \pm 0,06$ перф. ед.) и высокочастотные HF и CF-колебания ($0,32 \pm 0,02$ и $0,15 \pm 0,01$ перф. ед.). Вместе с тем, высокий уровень мощности низкочастотных VLF и LF-колебаний ($45,4 \pm 0,9$ и $35,1 \pm 0,5$ перф. ед.) и относительно низкий вклад HF и CF-колебаний ($13,4 \pm 0,6$ и $6,2 \pm 0,3$ перф. ед.) указывает на преобладание активных механизмов модуляции кожного кровотока, отражающих эффективную регуляцию микроциркуляторного звена сердечно-сосудистой системы.

Таблица 3.

Показатели микроциркуляции у испытуемых с аperiodическим типом ЛДФ-грамм, проживающих в разных экологических условиях

Исследуемый район Иссле дуемый показатель		Относительно благополучный (контроль) I (N=34)	Преимущественно радиационный II (N=32)	Токсикологически неблагополучный III (N=45)	Сочетанный радиационно- токсический IV (N=25)	Достоверность межгрупповых различий p_1 (I-II), p_2 (I-III), p_3 (I-IV), p_4 (II-III), p_5 (II-IV), p_6 (III-IV). *– различия достоверны при $p<0,05$; **– различия достоверны при $p<0,01$. ***– различия достоверны при $p<0,001$ и менее.
Параметры микроциркуляции						
ПМ, перф.ед.		6,2±0,3	5,5±0,3	5,5±0,3	5,0±0,5	p_3^*.
СКО,перф.ед.		0,61±0,05	0,57±0,05	0,45±0,02	0,51±0,06	p_2^{**}; p_4^*.
Kv, %		10,7±0,9	11,1±1,0	9,23±0,7	11,2±1,0	Различия недостоверны
ИФМ, усл. ед.		1,86±0,06	1,91±0,09	1,58±0,06	1,51±0,06	p_2^{**}; p_3^{***}; p_4^{**}; p_5^{***}.
Частотно-амплитудный спектр						
VLF	A+	1,12±0,09	1,05±0,1	0,80±0,05	0,84±0,10	p_2^{**}; p_3^*; p_4^*.
	Вклад++	45,4±0,9	45,2±0,6	43,1±0,6	44,2±1,0	p_2^*; p_4^*.
LF	A+	0,86±0,06	0,81±0,07	0,64±0,05	0,62±0,07	p_2^{**}; p_3^{**}; p_4^*; p_5^*.
	Вклад++	35,1±0,5	35,4±0,6	34,3±0,4	33,1±0,5	p_3^{**}; p_5^{**}.
HF	A+	0,32±0,02	0,28±0,03	0,27±0,02	0,27±0,03	Различия недостоверны
	Вклад++	13,4±0,6	12,6±0,5	14,5±0,4	14,5±0,6	p_4^{**}; p_5^*.
CF	A+	0,15±0,01	0,14±0,01	0,14±0,01	0,15±0,01	Различия недостоверны
	Вклад++	6,2±0,3	6,8±0,4	8,1±0,5	8,2±0,5	p_2^{***}; p_3^{**}; p_4^*; p_5^*.

+ – амплитуда колебаний, перф. ед.; ++ – вклад в спектральную мощность, %.

В группе исследуемых испытывающих «изолированное» радиационное воздействие, по сравнению с контрольной группой, отмечается тенденция к снижению ПМ ($5,5 \pm 0,3$ перф. ед.) и СКО ($0,57 \pm 0,05$ перф. ед.). Аналогичная динамика характерна и для исследуемых диапазонов амплитуд. Так, амплитуда низкочастотных VLF и LF-

колебаний снизилась до $1,05 \pm 0,1$ и $0,81 \pm 0,07$ перф. ед., а высокочастотных HF и CF-колебаний до $0,28 \pm 0,03$ и $0,14 \pm 0,01$ перф. ед. соответственно. Вместе с тем, на фоне снижения амплитуды колебаний кровотока снижается мощность дыхательного (HF) ритма и возрастает вазомоторный (LF) вклад ($12,6 \pm 0,5$ и $35,4 \pm 0,6$ перф. ед.). Такое соотношение исследуемых показателей вызывает рост ИФМ до $1,91 \pm 0,09$ перф. ед. и, в известной степени, указывает на сохранение регуляторных механизмов периферического звена сердечно-сосудистой системы на радиационной территории, где отсутствует дополнительная техногенная нагрузка.

В районе с высокой концентрацией химических загрязнителей в атмосферном воздухе отмечается статистически значимое снижение уровня колеблемости эритроцитов ($0,45 \pm 0,02$ перф. ед.) и ИФМ ($1,58 \pm 0,06$ перф. ед.) по сравнению с вышеописанными исследуемыми группами. Кроме того, техногенное воздействие вызывает значительные изменения в ЧАС, характерной особенностью которых является достоверное снижение амплитуды низкочастотных VLF и LF-колебаний до $0,80 \pm 0,05$ и $0,64 \pm 0,05$ перф. ед. соответственно. Наряду с этим, снижается доля активного, и возрастает доля пассивного контуров модуляции кровотока. Так, мощность очень низкочастотных (VLF) и вазомоторных (LF) колебаний понижается до $43,1 \pm 0,6\%$ и $34,3 \pm 0,4\%$, одновременно растет мощность спектра дыхательного ($14,5 \pm 0,4$ перф. ед.) и особенно кардиоритма ($8,1 \pm 0,5\%$). Таким образом, для исследуемых, проживающих в районе мощного техногенного воздействия, характерно напряжение регуляторных механизмов, что просматривается снижением амплитуды и спектра мощности низкочастотных ритмов, при одновременном повышении мощности спектра высокочастотных ритмов, прежде всего CF-колебаний.

В районе с максимальным по области радиационно-токсическим загрязнением выявлен достоверно минимальный параметр микроциркуляции ($5,0 \pm 0,05$ перф. ед.) и ИФМ ($1,51 \pm 0,6$ перф. ед.). Сочетанное воздействие усиливает функционирование пассивных механизмов модуляции кровотока с повышением вклада в общую спектральную мощность спектральной мощности HF и CF-колебаний ($14,5 \pm 0,6\%$ и $8,2 \pm 0,5\%$) при снижении спектральной мощности вазомоторных ритмов ($33,1 \pm 0,5\%$).

Отличительной чертой комбинированного радиационно-токсического воздействия является минимальная интенсивность и относительно низкая колеблемость кровотока, обеспеченная преимущественно пассивными влияниями. Такая перестройка микроциркуляции, вызванная токсическими воздействиями в условиях радиационного

загрязнения, подтверждает крайне неблагоприятный характер сочетанного действия исследуемых факторов.

В целом представленные исследования позволили комплексно оценить состояние системы микроциркуляции юношеского населения на исследуемых территориях Брянской области и заключить следующее:

- на экологически благополучных территориях с минимальным по области радиоактивным и токсико-химическим загрязнением чаще других встречается аperiодический тип ЛДФ-грамм, для которого характерен мезоемический тип микроциркуляции с устойчивой сбалансированностью активных и пассивных механизмов модуляции тканевого кровотока, что отражает эффективную регуляцию микроциркуляторного звена сердечно-сосудистой системы;

- с увеличением радиоактивного загрязнения, но при сохранении экологической чистоты среды достоверных отличий по сравнению с контрольной группой практически не наблюдается, что указывает на наличие компенсаторных возможностей в системе микроциркуляции. Прежде всего, это усиление активных механизмов модуляции кровотока при сохранении пассивных. Исходя из этого, воздействие малых доз радиации благоприятно сказывается на работе активных механизмов, обеспечивающих регионарный кровоток, поскольку эффективность функционирования системы микроциркуляции оценивается по уровню вклада активных механизмов в модуляцию микрокровотока [4, 8, 10];

- на территориях с высокой концентрацией химических загрязнителей в атмосферном воздухе отмечается характерное напряжение регуляторных механизмов, что определяется снижением амплитуды и спектра мощности низкочастотных ритмов, при одновременном повышении мощности спектра высокочастотных ритмов, прежде всего CF-колебаний. Преобладание пассивного контуров модуляции кровотока, указывает на снижение функциональных возможностей системы микроциркуляции;

- на территориях сочетанного воздействия исследуемых экологических факторов наблюдается рост числа лиц с крайними типами микроциркуляции, для которых характерно напряжение компенсаторно-приспособительных механизмов. Отличительной чертой комбинированного радиационно-токсического воздействия является минимальная интенсивность и относительно низкая колеблемость микрокровотока, обеспеченная преимущественно пассивной модуляцией. Как показали величины ЧАС у обследованных лиц из этих регионов, угнетается работа активных механизмов, связанных с функционированием эндотелиоцитов и гладкомышечных клеток в стенке сосуда. Кроме того, снижение величины флакса на фоне ослабления работы активных механизмов

модуляции могут выступать одними из причин застойных процессов, развивающихся в веноулярном звене системы микроциркуляции.

Список литературы

1. **Адамович В.Л.** Последствия цезий-стронциевого загрязнения территорий Чернобыльскими нуклидами / В.Л. Адамович, В.П. Михалев // Всероссийская конференция «Антропогенные воздействия и здоровье человека», 3-я: Тезисы докладов. – Калуга, 1996. – С. 7-9.
2. **Агаджанян Н.А.** Среда обитания и реактивность организма / Н.А. Агаджанян, И.И. Макарова – Тверь: Издательство «Фамилия», 2001. –176 с.
3. **Долженков В.А.** Microsoft Exel 2003 / В.А. Долженков, Ю.В. Колесников. – СПб, БХВ-Петербург, 2004. – 318 с.
4. **Козлов В.И.** Исследование колебаний кровотока в системе микроциркуляции / В.И. Козлов, В.Г. Соколов // В кн.: Применение ЛДФ в медицинской практике. – М., 1998.- С.8-14.
5. **Козлов В. И.** Гистофизиология системы микроциркуляции / В.И. Козлов // Региональное кровообращение и микроциркуляция. -2003.-№3(7).-С. 79-85.
6. **Козлов В.И.** Система микроциркуляции крови: клинико-морфологические аспекты изучения / В.И. Козлов //Региональное кровообращение и микроциркуляция.-2006.-Т.5-С. 84-101.
7. **Корсаков А.В.** Особенности физического развития и функционального состояния детского и подросткового населения Брянской области на территориях с резкими экосистемными изменениями состава среды: дис. канд. биол. наук / А.В. Корсаков. – Брянск, 2006. – 183 с
8. **Крупаткин А.И.** Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови /А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров.-М.: Изд-во «Медицина», 2005.-254 с.

9. **Литвин Ф.Б.** Морфофункциональная перестройка системы микроциркуляции у детей, подростков и юношей, проживающих в местах с разными радиоэкологическими условиями: Автореф. ... дис. д-ра биол. наук / Ф.Б. Литвин.-М., 2006. - 42 с.

10. **Мач Э.С.** Нарушения микроциркуляции при системной склеродермии / Э.С. Мач, Р.Т. Алекперов //Ангиология и сосудистая хирургия.-2004.-Т.10.-№3.-С. 4.

11. **Михалёв В.П.** Роль фоновых техногенных компонентов среды в формировании реакций населения на воздействие аварийного радиационного фактора: Диссертация доктора медицинских наук / В.П. Михалев. – М.: 2001. – 239 с.

12. **Станишевская Т.И.** Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции крови у девушек-студенток с разным соматотипом: Дис. ... канд. биол. Наук / Т.И. Станишевская. -М., 2005. - 187 с.