

**Ю.В. Семенова<sup>1,2</sup>, А.Б. Карпов<sup>1,3</sup>, Р.М. Тахауов<sup>1,3</sup>, Е.Г. Борисова<sup>1</sup>,  
Д.Е. Максимов<sup>1,3</sup>, А.Б. Тривоженко<sup>1</sup>, Е.В. Ковальчук<sup>1</sup>**

## **ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

**Yu.V. Semenova<sup>1,2</sup>, A.B. Karpov<sup>1,3</sup>, R.M. Takhauov<sup>1,3</sup>, E.G. Borisova<sup>1</sup>,  
D.E. Maximov<sup>1,3</sup>, A.B. Trivozhenko<sup>1</sup>, E.V. Kovalchuk<sup>1</sup>**

### **Structural and Functional Changes of Vascular System in Individuals Exposed to Occupational Irradiation of Low Intensity**

#### РЕФЕРАТ

**Цель:** Изучить состояние сосудистой стенки при длительном воздействии малых доз профессионального облучения у работников предприятия атомной индустрии.

**Материал и методы:** Объектом исследования являлись работники Сибирского химического комбината, подвергавшиеся долговременному профессиональному облучению ( $n = 93$ ). Из числа работников 45–55 лет путем рандомизации была сформирована группа лиц для участия в исследовании со стажем работы на производстве не менее трех лет. Каждый человек был описан 65 переменными, включавшими характеристики социального статуса, информации о факторах риска, биохимические показатели, основные клинические данные, а также дозовую нагрузку. С помощью артериографа VaSera VS-1500N (Япония) были изучены параметры компьютерной сфигмометрии: пульсовое и среднее артериальное давление, скорость распространения пульсовой волны в аорте, определение сердечно-лодыжечного и лодыжечно-плечевого индексов.

**Результаты:** Из общего количества обследованных 48 человек страдали артериальной гипертонией 1–2 степени, 47 человек – абдоминальным ожирением, 81 человек – дислипидемией. У работников, подвергающихся длительному воздействию низких уровней облучения, не найдено грубых асимметричных окклюдующих и стенозирующих поражений артериального русла обследованных бассейнов (верхние и нижние конечности). Скорость распространения пульсовой волны (PWV) и сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI), характеризующие истинную сосудистую жесткость, статистически значимо не отличались в сравниваемых группах (у здоровых лиц и страдающих артериальной гипертонией; у лиц с нормальным весом и ожирением). Лишь при артериальной гипертонии 2 степени прослеживалась тенденция к возрастанию сосудистой жесткости. Возможно, это связано с протективным действием малых доз ионизирующего излучения на сосудистую стенку. Методика компьютерной сфигмометрии дополняет протокол периодического медицинского осмотра персонала радиационно-опасных производств. При наличии конвенциональных факторов риска развития артериальной гипертонии профессиональное облучение не является существенным фактором патогенеза заболевания.

**Выводы:** Анализ параметров компьютерной сфигмографии у лиц, контактирующих с источниками техногенного облучения, не выявил отрицательного влияния ионизирующего излучения (внешнее  $\gamma$ -излучение) в изученном диапазоне доз на состояние сосудистой стенки. Патогенез артериальной гипертонии у трудоспособных мужчин 45–55 лет – работников атомной индустрии – был связан, главным образом, с увеличением массы тела, формированием абдоминального ожирения, дислипидемии и элевацией сосудистой жесткости.

**Ключевые слова:** профессиональное облучение, малые дозы, артериальная гипертония, факторы риска, сосудистая жесткость, компьютерная сфигмометрия

#### ABSTRACT

**Purpose:** To study the condition of vascular system in employees of nuclear industry exposed to long-term occupational irradiation in a range of low doses.

**Material and methods:** The object of study is the group of employees of the Siberian Chemical Enterprises, exposed to long-term occupational irradiation ( $n = 93$ ). Among the employees (44–45 years old) a group of individuals, whose duration of occupational activity was not less than 3 years, was formed by means of randomization. For each person the 65 parameters including the social status characteristics, information on main risk factors, biochemical indices, main clinical data and cumulative dose of the external exposure were evaluated. Using the sphygmograph VaSera VS-1500N (Japan) the following parameters of computer sphygmomanometry in the employees were analyzed: pulse and medium arterial pressure, aortic pulse wave velocity (PWV), cardio ankle vascular index (CAVI), ankle-brachial pressure index (ABI).

**Results:** 48 people had hypertension of 1–2 degrees, 47 people had abdominal obesity, 81 people had dyslipidemia of the total number surveyed. Employees exposed to low levels of radiation did not have asymmetric occlusive and stenosing lesions of arterial system of the upper and lower limbs were not detected. The value of PWV and CAVI characterizing real vascular rigidity did not differ statistically and significantly in the compared groups (health individuals: patients with arterial hypertension; individuals with normal weight and individuals with obesity). Only patients with the second degree of arterial hypertension had the tendency of increasing of vascular rigidity. Perhaps this is due to the protective effect of low doses of ionizing radiation on the vascular wall.

Methods of computer Sphygmomanometry complements the protocol of the periodic medical staff examination of radiation-hazardous facilities. If there are conventional risk factors for the progression of hypertension, occupational exposure is not a significant factor in the pathogenesis of the disease.

**Conclusion:** The analysis of computer sphygmomanometry parameters did not detect the negative influence of the external exposure in the studied dose range on the vascular wall in the individuals exposed to the occupational irradiation (external  $\gamma$ -radiation). Arterial hypertension pathogenesis of the able-bodied men of 44–55 years old was mainly connected with the increase in body size, abdominal obesity, dyslipidemia, elevation of vascular rigidity.

**Key words:** occupational irradiation, low doses, arterial hypertension, risk factors, vascular rigidity, computer sphygmomanometry

<sup>1</sup> Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск. E-mail: mail@sbrc.ru; kab@sbrc.ru

<sup>2</sup> Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск

<sup>3</sup> Сибирский государственный медицинский университет, Томск

<sup>1</sup> Seversk Biophysical Research Center of the FMBA of Russia, Seversk, Russia. E-mail: mail@sbrc.ru; kab@sbrc.ru

<sup>2</sup> Siberian Federal Research and Clinical Center of the FMBA of Russia, Seversk, Russia

<sup>3</sup> Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

## Введение

Известно, что сердечно-сосудистые заболевания являются ведущей причиной смерти населения промышленно развитых стран. При этом отмечено, что не менее половины трудоспособного мужского населения страдают артериальной гипертонией (АГ), осложнения которой и представляют главную опасность в контексте развития фатальных событий (острый инфаркт миокарда, мозговой инсульт). Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что снижение интенсивности воздействия основных факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний могут в значительной степени влиять на показатели не только смертности, но и заболеваемости [1–3]. Помимо конвенциональных факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (связь которых с заболеваемостью безусловно доказана и не обсуждается) все большее внимание сегодня уделяется роли техногенных факторов в развитии наиболее значимых заболеваний человека (прежде всего сердечно-сосудистых и онкологических). Принимая во внимание расширение использования источников ионизирующего излучения в самых разных сферах деятельности человека, учеными разных стран активно обсуждается вопрос о влиянии техногенного облучения на риск заболеваемости и смертности вследствие сердечно-сосудистых заболеваний, в частности, ишемической болезни сердца и АГ [4–6].

В последние годы для малообновляющихся тканей активно обсуждается наличие особых клеточных эпигенетических эффектов действия ионизирующего излучения. Эти эффекты состоят в массовом скачкообразном переходе клеток популяции в новое устойчивое состояние, для которого характерно длительное повышение вероятности гибели клеток. В наиболее детально исследованных тканях – эндотелии кровеносных сосудов, гладкой мускулатуре сосудистой стенки – клеточные изменения данного типа зарегистрированы уже при однократном облучении в дозе 0,25–0,5 Гр [7]. Однако НКДАР ООН еще в 2000 г. указал на принципиальную невозможность использования экспериментальных данных при исследовании зависимостей «доза – эффект» для диапазона малых доз у человека. В этой связи, вопрос о влиянии ионизирующего излучения на патогенез сердечно-сосудистых заболеваний (и АГ, в первую очередь) требует дальнейшего изучения, поскольку патогенез сердечно-сосудистых заболеваний определяют эндотелиальная дисфункция и нарушение растяжимости артериальной стенки, являющиеся частично обратимыми согласно современным представлениям [8]. Таким образом, для формирования стратегии про-

филактики сердечно-сосудистых заболеваний и их осложнений у лиц, подвергавшихся техногенному облучению, особую актуальность приобретают исследования, касающиеся как оценки функциональных способностей сосудистой стенки при уже имеющихся заболеваниях системы кровообращения (в частности АГ), так и оценки воздействия хронического облучения на состояние сосудистой системы.

Целью настоящего исследования являлось изучение структурно-функциональных характеристик сосудистой стенки у лиц, подвергавшихся долговременному радиационному воздействию низкой интенсивности при профессиональном облучении.

## Материал и методы

Объектом исследования являлись работники Сибирского химического комбината – комплекса предприятий атомной индустрии – подвергавшиеся долговременному профессиональному облучению. Путем рандомизации была сформирована группа лиц, вошедших в исследование ( $n = 93$ ). Стаж работы на Сибирском химическом комбинате варьировал от 7 до 25 лет (в среднем  $18,7 \pm 2,6$  года). Критерии исключения: высокая и злокачественная АГ, продолжительность АГ более трех лет, выраженный клинически значимый коронарный или периферический атеросклероз, острые сосудистые осложнения в анамнезе, сердечная недостаточность выше I степени, нарушения ритма и проводимости, тяжелые расстройства функции печени, щитовидной железы, острые заболевания желудочно-кишечного тракта, органов дыхания, высокая степень ожирения, отказ от обследования. Из числа обследованных 48 человек страдали АГ 1–2 степени, 47 человек – абдоминальным ожирением, 81 человек – дислипидемией. Большинство (63 %) обследованных трудоспособных мужчин имели промежуточный уровень сердечно-сосудистого риска (3–4 % по системе Score).

В табл. 1 представлена краткая клиническая характеристика обследованных – больных АГ основной группы ( $n = 48$ ) и здоровых мужчин, формирующих группу контроля ( $n = 45$ ). Диагноз АГ устанавливался на основании действующих рекомендаций Российского кардиологического общества (2010 г.). Продолжительность АГ выяснялась по данным анамнеза и уточнялась по данным медицинской документации. Гиперхолестеринемия диагностировали при уровне общего холестерина выше 5,0 ммоль/л. Маркером дислипидемии считали уровень триглицеридов более 1,7 ммоль/л; уровень холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП)

Таблица 1

**Клиническая характеристика сравниваемых групп персонала Сибирского химического комбината**

Признак	Контрольная группа	Основная группа (лица с АГ)
Возраст, годы	49,8 ± 3,8	49,8 ± 2,9
Возраст начала облучения	31,0 ± 9,1	30,8 ± 9,9
Суммарная доза внешнего облучения, мЗв	22,3 (15,1–49,2)	19,6 (12,2–36,4)
Рост, см	175,7 ± 6,7	176,6 ± 5,4
Вес, кг	84,9 ± 12,5	98,0 ± 19,4*
Объем талии, см	98,0 ± 9,2	108,8 ± 14,5*
Общий холестерин, ммоль/л	5,8 ± 0,8	6,1 ± 1,0
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,2*
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	3,9 ± 0,8	4,0 ± 0,8
Триглицериды, ммоль/л	1,2 (1,1–1,7)	2,1 (1,4–2,9)
Частота сердечных сокращений, уд./мин	65,8 ± 8,0	68,4 ± 11,7
Пульсовое давление, мм рт. ст.	51,1 ± 10,9	57,8 ± 12,2*
Диастолическое АД, мм рт. ст.	81,2 ± 10,1	90,1 ± 8,2*
Систолическое АД, мм рт. ст.	136,8 ± 15,5	144,2 ± 16,0*

**Примечание:**

В этой и последующих таблицах \* отмечены статистически значимые отличия с контрольной группой ( $p < 0,05$ )

менее 1,0 ммоль/л, уровень холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) – более 3 мг/л.

Для характеристики массы тела использовали индекс массы тела (ИМТ), рассчитываемый как отношение массы тела (в килограммах) к росту (в метрах), возведенному в квадрат. За избыточную массу тела принимали значение ИМТ для мужчин от 29 кг/м<sup>2</sup> и выше. Об абдоминальном ожирении судили по объему талии в см. Статус курения, наличие отягощенной наследственности и сахарного диабета выясняли по данным анамнеза и по медицинской документации. Уровень психологического напряжения (субъективные переживания по поводу главных жизненных событий, межличностных отношений и т. д.) уточнялся анамнестически. Расчет суммарного сердечно-сосудистого риска осуществлялся по системе Score. Численность подгрупп с различными уровнями суммарного сердечно-сосудистого риска среди здоровых и больных АГ были сопоставимы.

Для каждого человека, вошедшего в исследование, были определены следующие факторы риска развития АГ: возраст, интенсивность курения, уровень психоэмоционального напряжения, отягощенная наследственность, частота употребления алкоголя, гиподинамия, показатели липидного спектра, уровень глюкозы, креатинина, антропометрические данные, а также характеристики производственного облучения: суммарная доза внешнего облучения, стаж облучения, стаж сменного труда. Факт контакта с источниками ионизирующего излучения уточнялся ретроспективно (после включения в исследование) по данным регионального медико-дозиметрического регистра. Все больные АГ имели данные индивидуального дозиметрического контроля; медиана

суммарной эффективной дозы внешнего облучения составляла 19,6 мЗв (интерквартильный размах от 12,2 до 36,4 мЗв). У 43 мужчин контрольной группы, имевших данные индивидуального дозиметрического контроля, медиана суммарной эффективной дозы внешнего облучения составляла 22,3 мЗв (интерквартильный размах от 15,1 до 49,2 мЗв). Средние значения доз внешнего облучения в исследуемой и контрольной группах статистически значимо не отличались ( $p > 0,05$ ).

Инструментальное обследование пациентов проводили на аппарате VaSera VS-1500N (Fukuda Denshi, Япония) в ходе проведения периодического медицинского осмотра. Этот компьютерный сфигмоманометр неинвазивно измеряет артериальное давление (АД) на четырех конечностях с одновременной записью электрокардиограммы, фонокардиограммы и пульсовых волн на сонной и бедренной артериях, а также на артериях четырех конечностей. С помощью программного обеспечения артериографа определяли следующие характеристики АД и пульсовой волны: систолическое и диастолическое АД, частоту сердечных сокращений, среднее АД, пульсовое АД, скорость распространения пульсовой волны (PWV) в аорте, определение сердечно-лодыжечного (CAVI) и лодыжечно-плечевого индексов (ABI), что позволило получить дополнительные данные о наличии, распространенности и выраженности артериосклероза у обследуемых.

При обработке полученных результатов использовали общепринятые методы статистического анализа с помощью пакетов программ Statistica 8.0, SPSS 11.5.0. Исследование взаимосвязи между дискретными, качественными признаками проводилось с ис-

пользованием анализа двумерных таблиц сопряженности с вычислением значения критерия Пирсона  $\chi^2$ , а также значения показателя силы связи двух качественных признаков коэффициента  $\phi$ . При отклонении распределения от нормального (критерии Колмогорова, Лиллиефорса и Шапиро – Уилки) сравнение параметров этих групп производилось также с помощью непараметрических критериев: однофакторный дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса, основанный на ранговых метках Вилкоксона, медианный тест, ранговая корреляция Спирмэна. Для проведения многофакторного анализа использовали метод логистической регрессии. При проверке статистических гипотез критический уровень значимости ( $p$ ) принимался равным 5 %.

### Результаты и обсуждение

С учетом высокой распространенности АГ среди обследованных на первом этапе исследования был проведен анализ состояния сосудистой стенки в зависимости от соматической патологии и метаболических нарушений, в том числе наличия или отсутствия АГ, наличия или отсутствия ожирения. Второй этап работы был посвящен анализу зависимости изучаемых параметров от степени радиационного.

По данным обследования больные АГ характеризовались более высоким уровнем офисного АД (систолического, диастолического и пульсового) (табл. 1). Если уровень диастолического АД был статистически значимо повышен только у работников с АГ ( $p < 0,05$ ), то частая регистрация пограничного систолического АД в контрольной группе в условиях офисного измерения, достигающего уровня повышенного нормального, безусловно, требует дополнительных методов обследования состояния сосудистой стенки. По результатам физикального осмотра для больных АГ в сравнении со здоровыми был характерен больший вес тела ( $p < 0,05$ ) при сопоставимом росте и больший объем талии ( $p < 0,05$ ). ИМТ в основной группе статистически значимо превышал таковой в контроле:  $29,9 \text{ кг/м}^2$  ( $27,15\text{--}36,1$ ) и  $27,2 \text{ кг/м}^2$  ( $24,7\text{--}31,1$ ) соответственно;  $p < 0,05$ .

В табл. 2 представлены изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудов у больных АГ и здоровых лиц, вошедших в исследование. Значения лодыжечно-плечевого индекса (АВІ) были сопоставимы в исследуемой и контрольной группах. Важно отметить отсутствие асимметрии данного показателя, что свидетельствует об отсутствии выраженного атеросклеротического поражения артериального русла нижних конечностей у всех обследованных. Величина сердечно-лодыжечного сосудистого индекса (САVI) не отличалась в сравниваемых

Таблица 2

### Параметры компьютерной сфигмометрии в сравниваемых группах персонала Сибирского химического комбината

Параметр	Контрольная группа	Основная группа (лица с АГ)
R-ABІ	$1,1 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
L-ABІ	$1,1 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
Среднее АД, мм рт. ст. (правая рука)	$106,1 \pm 12,8$	$115,3 \pm 18,2^*$
Пульсовое давление, мм рт. ст. (правая рука)	$51,1 \pm 10,9$	$57,8 \pm 12,2^*$
PWV, м/с	$7,9 \pm 0,6$	$8,3 \pm 1,2$
R-CAVI	$8,4 (7,8\text{--}8,6)$	$8,1 (7,6\text{--}8,6)$
L-CAVI	$8,2 (7,5\text{--}8,6)$	$8,1 (7,5\text{--}8,7)$

группах. Как показатель раннего атеросклероза/атеросклероза, сердечно-лодыжечный сосудистый индекс обеспечивает надежную неинвазивную диагностику стенозирующего атеросклероза. Считается, что этот показатель определяет истинную жесткость артериальной стенки независимо от уровня АД [9]. Для скорости распространения пульсовой волны (PWV) была характерна тенденция к увеличению ее значения в группе лиц с АГ. Невысокий уровень (менее 10 м/с) этого показателя был связан с малой продолжительностью АГ у обследованного персонала предприятия, возрастом работников. При сравнении уровня PWV в подгруппах, сформированных в зависимости от степени АГ, выяснилось, что при АГ второй степени прослеживалась отчетливая тенденция к возрастанию сосудистой жесткости в сравнении со здоровыми работниками:  $8,34 \pm 0,83 \text{ м/с}$  при АГ второй степени;  $8,27 \pm 1,16 \text{ м/с}$  при АГ первой степени;  $7,94 \pm 0,60 \text{ м/с}$  у здоровых.

Уровень диастолического АД был связан с величиной коэффициента атерогенности ( $r_s = 0,16$ ;  $p = 0,034$ ) и с антропометрическими параметрами – с ИМТ ( $r_s = 0,18$ ;  $p = 0,03$ ), объемом талии ( $r_s = 0,24$ ;  $p = 0,032$ ) и со скоростью накопления дозовой нагрузки ( $r_s = 0,22$ ;  $p = 0,008$ ). Известна неблагоприятная роль абдоминального ожирения в генезе АГ. Полученные нами результаты свидетельствуют, что величина объема талии статистически значимо была связана с основными компонентами липидного спектра, наиболее значимо – с уровнем триглицеридов ( $r_s = 0,53$ ;  $p = 0,002$ ) с величиной коэффициента атерогенности ( $r_s = 0,48$ ;  $p = 0,002$ ). У здоровых мужчин величина АД не имела статистически значимых связей с дозовой нагрузкой и стажем контакта с источниками ионизирующего излучения.

При изучении взаимосвязей между развитием АГ у персонала Сибирского химического комбината и отдельными конвенциональными факторами риска

Таблица 3

**Клинические данные и параметры компьютерной сфигмометрии работников в зависимости от величины ИМТ**

Параметр	Группа без ожирения	Группа с ожирением
Возраст, годы	50,1 ± 3,5	49,3 ± 3,1
Стаж облучения, годы	13,8 ± 8,1	15,6 ± 8,7
Суммарная доза внешнего облучения, мЗв	19,6 (13,2–43,2)	21,4 (14,1–49,8)
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	26,3 ± 4,4	32,5 ± 5,4*
Общий холестерин, ммоль/л	5,9 ± 0,8	6,0 ± 1,2
Триглицериды, ммоль/л	1,2 (1,1–2,0)	2,0*(1,6–2,9)
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,2
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	4,0 ± 0,7	3,9 ± 0,9
R-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,08
L-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1*
Среднее АД (правая рука), мм рт. ст.	107,0 ± 13,5	116,5 ± 19,6*
Пульсовое АД (правая рука), мм рт. ст.	52,4 ± 11,0	57,7 ± 12,9*
PWV, м/с	8,1 ± 0,7	8,1 ± 0,3*
R-CAVI	8,3 (7,9–8,6)	8,1 (7,3–8,5)
L-CAVI	8,2 (7,6–8,7)	8,1 (7,3–8,5)

были обнаружены хорошо известные связи: с гипертриглицеридемией ( $\chi^2 = 16,94$ ;  $p = 0,0003$ ); с ожирением, являющимся компонентом метаболического синдрома ( $\chi^2 = 5,95$ ;  $p = 0,015$ ). Частота курения, наследственных отягощений по **сердечно-сосудистым заболеваниям**, повышения уровня психоэмоционального напряжения, гиперхолестеринемии у больных АГ и здоровых мужчин была сопоставима, поэтому был проведен сравнительный анализ изучаемых параметров компьютерной сфигмометрии в зависимости от наличия или отсутствия ожирения у обследован-

ных. В табл. 3 представлены изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудов у больных с ожирением (ИМТ > 30) и здоровых лиц, вошедших в исследование. Среднее и пульсовое АД были выше у лиц, страдающих ожирением, в сравнении с работниками, имеющими нормальный вес. Значение индекса CAVI было сопоставимо в сравниваемых группах.

Хотя суммарная дозовая нагрузка и возраст начала контакта с источниками ионизирующего излучения в сравниваемых группах персонала Сибирского химического комбината не отличались, полностью исключить влияние техногенных факторов на патогенез сердечно-сосудистых заболеваний по результатам первого этапа исследования сложно. Следует отметить, что скорость накопления дозовой нагрузки для лиц, страдающих АГ, была статистически значимо меньше, чем у здоровых ( $p = 0,008$ ): 1,52 (0,70–2,52) мЗв/год при АГ и 2,28 (1,22–3,92) мЗв/год без АГ.

Для определения возможной связи изменения структурно-функционального состояния сосудистой стенки с влиянием профессионального облучения из всего массива обследованных лиц были сформированы три подгруппы в зависимости от уровня дозовой нагрузки: > 10 мЗв (в эту группу, служившую контрольной, учитывая минимальный уровень радиационного воздействия, наряду с лицами, имеющими АГ, были включены двое мужчин из группы здоровых лиц, не имеющих дозовых нагрузок по внешнему облучению ( $n = 31$ )), более 10–30 мЗв ( $n = 30$ ) и свыше 30 мЗв ( $n = 32$ ). Следует отметить, что для большей информативности, разумеется, желательно было бы проводить оценку в группах с более высо-

Таблица 4

**Клинические данные и параметры компьютерной сфигмометрии работников при различных уровнях дозовой нагрузки**

Параметр	Суммарная эффективная доза внешнего облучения, мЗв		
	< 10	10–30	> 30
Возраст, годы	49,7 ± 2,6	49,7 ± 3,8	50,0 ± 3,1
Стаж облучения, годы	4,5 ± 3,6	15,12 ± 7,2*	18,4 ± 7,42*
Суммарная доза внешнего облучения, мЗв	1,2 (0,5–4,1)	17,9*(14,9–23,3)	54,7* (45,1–70,8)
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	30,7 ± 5,0	29,2 ± 5,1	29,7 ± 6,2
Общий холестерин, ммоль/л	5,5 (5,3–5,8)	5,9 (5,3–6,4)	6,0 (5,4–6,8)
Триглицериды, ммоль/л	1,9 (1,2–3,1)	1,4 (1,1–2,1)	1,6 (1,2–2,2)
Холестерин ЛПВП, ммоль/л	0,9 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,2*
Холестерин ЛПНП, ммоль/л	3,8 ± 0,7	4,0 ± 0,8	4,0 ± 0,8
R-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1
L-ABI	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1
Среднее АД (правая рука), мм рт. ст.	112,8 ± 12,6	109,1 ± 16,7	110,8 ± 18,4
Пульсовое АД (правая рука), мм рт. ст.	59,9 ± 13,6	52,77 ± 12,1	53,9 ± 10,5
PWV, м/с	8,2 (7,9–8,8)	7,8 (7,6–8,2)	8,2 (7,7–8,9)
R-CAVI	8,3 (7,8–8,5)	8,05 (7,2–8,6)	8,25 (7,9–8,6)
L-CAVI	8 (7,45–8,25)	8,1 (7,3–8,5)	8,3 (7,9–8,7)

кими дозовыми нагрузками (например, 50–100 мЗв, 100–200 мЗв и т.д.), однако сделать это практически невозможно, поскольку накопление таких доз в современных технологических условиях предполагает чрезвычайно длительную экспозицию радиационного воздействия и соответственно достижение более «серьезных» возрастных интервалов, когда имеется значительный груз соматических болезней и обменных нарушений, оказывающих выраженное негативное влияние на компоненты сердечно-сосудистой системы.

Показатели распространенности АГ, ожирения, курения, дислипидемии, повышенного уровня психоэмоционального напряжения и отягощенной наследственности в сформированных по уровню дозовой нагрузки подгруппах не отличалась. В табл. 4 представлены биохимические параметры и изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудов в сравниваемых подгруппах. Значения индексов АВІ и САVІ не отличались, что свидетельствует об отсутствии существенной связи между уровнем дозовой нагрузки и выраженностью артериосклероза/атеросклероза периферического русла у обследованных. Жесткость артериальной стенки, которую характеризует скорость распространения пульсовой волны, демонстрировала незначительные колебания при изменении дозовой нагрузки (тенденцию к уменьшению ее значения при увеличении суммарной дозы облучения более 10 мЗв), не отличаясь статистически значимо в сравниваемых подгруппах.

Корреляционный анализ, проведенный во всем массиве данных, обнаружил наличие слабой корреляции между индексом атерогенности и величиной дозы облучения ( $r_s = -0,216$ ;  $p = 0,035$ ); АВІ и стажем облучения ( $r_s = -0,241$ ;  $p = 0,026$ ). Можно предположить, что длительное профессиональное облучение низких уровней обладало протективным действием: замедляло рост жесткости сосудистой стенки на фоне повышенного АД и дислипидемии у мужчин трудоспособного возраста. Кроме того, уровень систолического АД увеличивался с ростом стажа облучения ( $r_s = 0,15$ ,  $p = 0,035$ ).

Логистический регрессионный анализ был применен для определения того, какие независимые пере-

менные оказывали наибольшее влияние на формирование АГ в возрасте 40–50 лет у мужчин – работников Сибирского химического комбината. В статистическую модель включали антропометрические характеристики, возраст, уровень психоэмоционального напряжения, показатели сфигмометрии, показатели липидного спектра крови, уровень С-реактивного белка, а также экспозиционные характеристики техногенного воздействия (стаж облучения, суммарная эффективная доза внешнего облучения, возраст начала облучения). В табл. 5 представлены результаты многомерного анализа связи факторов риска с наличием АГ. Показано, что формирование АГ объясняется вариабельностью набора признаков, вошедших в уравнение регрессии с точностью 74,1 %. Основными признаками, прогнозирующими возникновение АГ в зрелом возрасте, у мужчин являются антропометрические характеристики (ИМТ ( $p = 0,095$ )), PWV ( $p = 0,011$ ) и атерогенность плазмы крови ( $p = 0,025$ ). Параметры техногенного воздействия не показали статистически значимого влияния на развитие АГ у персонала предприятия атомной индустрии.

Необходимо отметить, что все работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда подлежат обязательным предварительным и периодическим медицинским осмотрам (обследованиям) согласно приказу Минздравсоцразвития РФ от 12 апреля 2011 г. № 302н. Согласно этому приказу, одним из медицинских противопоказаний для работы с ионизирующего излучения являются облитерирующие заболевания сосудов вне зависимости от степени компенсации, хотя исследований, достоверно доказывающих влияние ионизирующего излучения на состояние эндотелия сосудистой стенки, проведено не было, и в регламентированный приказом перечень ежегодных обследований диагностика заболеваний периферических артерий не входит. Исследование скорости распространения пульсовой волны может быть использовано для объективного контроля ригидности сосудистой стенки при проведении как диагностических, так и лечебно-профилактических мероприятий. Важно отметить, что рост пульсового давления на конечностях, регистрируемый при офисном измерении, является ранним, простым и надежным признаком формирующихся сосудистых сдвигов. Однако только параметры сфигмометрии позволяют уточнить количественные характеристики эластических свойств сосудов при становлении соматической патологии [6]. Так, нами обнаружено, что скорость распространения пульсовой волны и лодыжечно-плечевой индекс у работников с ожирением превышали аналогичные параметры у мужчин с нормальной массой тела.

Таблица 5

**Предикторы АГ у персонала Сибирского химического комбината**

Факторы риска	$\beta$ -коэффициент	Стандартное отклонение коэффициента	Уровень значимости
ИМТ	-0,108	0,065	0,095
PWV	-1,435	0,563	0,011
К атерогенности	-0,508	0,226	0,025

В настоящем исследовании впервые изучено состояние периферических артерий — растяжимость артерий, степень нарушения кровотока, лодыжечно-плечевой индекс — у лиц, страдающих АГ, на фоне профессионального облучения. Среди мужчин — работников Сибирского химического комбината, подвергающихся длительному воздействию низких уровней облучения, — не отмечено грубых асимметричных окклюзирующих и стенозирующих поражений артериального русла обследованных бассейнов (верхние и нижние конечности). Изучаемые показатели структурно-функционального состояния сосудистой стенки были сопоставимы в сравниваемых подгруппах, сформированных в зависимости от суммарной дозовой нагрузки.

Скорость распространения пульсовой волны и сердечно-лодыжечный сосудистый индекс, характеризующие истинную сосудистую жесткость, статистически значимо не отличались в сравниваемых группах (у здоровых лиц и при АГ). Возможно, это связано с протективным действием малых доз ионизирующего излучения на сосудистую стенку.

### Выводы

1. Оценка состояния сосудистой стенки, на основе анализа величин ее жесткости, скорости пульсовой волны, лодыжечно-плечевого индекса у лиц, контактирующих с источниками техногенного облучения, не выявила отрицательного влияния ионизирующего излучения (внешнее  $\gamma$ -излучение) в изученном диапазоне доз на изучаемые характеристики сердечно-сосудистой системы.

2. Становление АГ у трудоспособных мужчин 45–55 лет — работников атомной индустрии — связано, главным образом, с увеличением массы тела, формированием ожирения, дислипидемии и элевацией сосудистой жесткости.

3. Сфигмометр дает возможность исследовать растяжимость артерий всех конечностей и степень нарушения кровотока в артериальном русле каждого обследованного региона у пациента. С целью совершенствования системы профилактических мероприятий, направленных на снижение уровня заболеваемости и смертности от АГ, рекомендуется

проводить формирование групп риска персонала с учетом структурно-функционального состояния сосудистой стенки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенова Ю.В., Карпов А.Б., Литвиненко Т.М. и соавт. Контроль факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний в реальной клинической практике // *Врач*. 2014. № 3. С. 85–87.
2. Conroy R.M., Pyörälä K., Fitzgerald A.P. et al. Estimation of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: the SCORE project // *Eur. Heart J.* 2003. Vol. 24. P. 987–1003.
3. 2012 European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice // *Eur. Heart J.*, 2012. Vol. 33. P. 1635–1701.
4. Drubay D., Caër-Lorho S., Laroche P. et al. Mortality from circulatory system diseases among french uranium miners: a nested case-control study // *Radiat. Res.* 2015. Vol. 183. № 5. P. 550–562.
5. Karpov A.B., Semenova Yu.V., Takhauov R.M. et al. The risk of acute myocardial infarction and arterial hypertension in a cohort of male employees of Siberian Group of Chemical Enterprises exposed to long-term irradiation // *Health Phys.* 2012. 103. № 1. P. 15–23.
6. Zablotska L.B., Little M.P., Cornett R.J. Potential increased risk of ischemic heart disease mortality with significant dose fractionation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study // *Am. J. Epidemiol.*, 2014. № 1. P. 120–131.
7. Бычкова И.Б., Степанов Р.П., Кирик О.В. Некоторые новые аспекты проблемы радиочувствительности малообновляющихся тканей // *Мед. радиол. и радиац. безопасность*. 2003. Т. 48. № 6. С. 5–15.
8. Celermayer D.S. Endothelial dysfunction: Does it matter? Is it reversible? // *Am. Coll. Cardiol.*, 1998. Vol. 30. P. 325–332.
9. Милягин В.А., Милягина И.В., Абраменкова Н.Ю. и соавт. Неинвазивные методы исследования магистральных сосудов. Смоленск: Смоленская гор. типография. 2012. 223 с.

Поступила: 02.10.2015

Принята к опубликованию: 14.12.2015