DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-3-52-59

УДК 616-073.7-06:577.34:616.15:612.015.11]-051

Заболеваемость, прооксидантная и антиоксидантная способность плазмы крови медицинского персонала отделений лучевой диагностики

Поровский Я.В.¹, Марусин А.В.², Нестерович С.В.¹, Заева О.Б.³

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Томск;

² НИИ медицинской генетики ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН», Томск;

³ НИИ биологии и биофизики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск

Обследовано 54 практически здоровых добровольца – 26 работающих в контакте с источниками ионизирующего излучения (ИИ) и 28 работников отделений терапевтического профиля (контрольная группа). Работники обеих групп были разделены на лиц, имеющих стаж работы менее 15 лет и свыше 16 лет. Суммарная накопленная доза внешнего рентгеновского и γ -излучений у работающих менее 15 лет составила в среднем $3,19 \pm 0,56$ мЗв, со стажем более 16 лет – в среднем $19,30 \pm 1,86$ мЗв и относилась к диапазону малых доз. В обеих группах изучена заболеваемость, хемолюминесцентным методом определена общая прооксидантная и антиоксидантная способность плазмы крови. Среди облучённых лиц со стажем работы свыше 16 лет при сравнении с контрольной группой аналогичного стажа работы артериальная гипертензия диагностировалась соответственно в 46,1% и 15,4% случаев, хронический холецистит – в 61,5% и 53,8% случаев, остеохондроз позвоночника – в 46,1% и 15,4% случаев, нарушение зрения – в 53,8% и 23,1% случаев, при отсутствии различий в заболеваемости хроническим пиелонефритом. У лиц, подвергавшихся облучению менее 15 лет, выявлено повышение антиоксидантной способности плазмы крови по сравнению с контрольной группой соответствующего стажа работы. Экспозиция ИИ свыше 16 лет приводила к повышению прооксидантной и снижению антиоксидантной способности плазмы крови относительно облучённых лиц меньшего стажа работы. Также, в среднем, в этой подгруппе наблюдалась сниженная антиоксидантная способность относительно подгруппы неэкспонированных к ИИ лиц аналогичного стажа работы. Последствия снижения антиоксидантной способности плазмы крови при длительном профессиональном облучении малыми дозами ИИ у персонала отделений лучевой диагностики может быть причиной развития отдалённых соматических последствий.

Ключевые слова: малые дозы ионизирующего излучения, медицинские работники, стаж работы, накопленная доза излучений, заболеваемость, артериальная гипертензия, хронический холецистит, остеохондроз позвоночника, нарушение зрения, хемолюминесцентный метод, прооксидантная и антиоксидантная способность плазмы крови.

Введение

В настоящее время установленным фактом является то, что все основные физиологические процессы в организме человека в норме и при патологии происходят с участием активных форм кислорода, которые возникают в результате свободного радикального окисления (СРО) и являются необходимыми биологическими продуктами нормального клеточного метаболизма. В организме процессы СРО регулируются антиоксидантной системой (АОС). В нормальных условиях существуют определённые соотношения активностей отдельных ферментов АОС, обеспечивающие необходимую защиту от повреждающего действия активных форм кислорода. С функциональным состоянием АОС связывают адаптационные возможности организма, развитие многих заболеваний и, в конечном итоге, продолжительность жизни [1, 2].

Поровский Я.В.* – д.м.н., профессор, СибГМУ. Марусин А.В. – научн. сотр., к.б.н., НИИ медицинской генетики Томского НИМЦ РАН. Нестерович С.В. – зам. гл. врача, к.м.н., СибГМУ. Заева О.Б. – ст. научн. сотр., к.б.н., НИИ биологии и биофизики ТГУ.

*Контакты: 634050, Томск, Московский тракт, 2. Тел.: +7(3822)9011011917; e-mail: porovs@sibmail.com.

Плазма крови является лимитирующим звеном антиоксидантной защиты, так как по сравнению с внутриклеточным содержанием она бедна высокомолекулярными антиоксидантами и потенциально опасна для усиления реакций СРО в силу наличия процессов транспорта кислорода, бактерицидного действия фагоцитов, присутствия ионов металлов переменной валентности – катализаторов СРО. Плазма крови также играет центральную роль в транспорте и распределении антиоксидантов по всему организму. Общая сумма антиокислительных процессов создаёт интегрированную и регулируемую АОО, обладающую определённой «буферной ёмкостью», а соотношение анти- и прооксидантных систем определяет «антиоксидантный статус» организма и служит одним из основных показателей гомеостаза [3-5].

Агентом, способным изменить стационарную концентрацию активных форм кислорода, является ионизирующее излучение (ИИ). Выступая в качестве стресс-сигнала ИИ, вмешиваясь в чекпойнт клеточного цикла (сверточные точки), может приводить к повреждению ДНК через активацию транскрипционного белка p53, вызывать или временную остановку клеточного цикла, или клеточную смерть, опосредованную апоптозом и автофагией, или клеточное старение. При этом эффект ИИ на старение организма и канцерогенез гораздо более выражен для редкоизионизирующих излучений (рентгеновское и γ -излучение) [6].

Заболевания, вызванные воздействием ИИ и связанные с ними отдалённые последствия для здоровья медицинского персонала, требуют особого внимания. Известным фактом является то, что в прошлом от воздействия ИИ большой мощности (рентгеновские лучи, γ -лучи, нейтроны), у персонала в некоторых случаях развивались лучевая болезнь, лучевая катаракта, рак кожи [7, 8]. Областью повышенного внимания и предметом междисциплинарных дискуссий являются биологические эффекты внешнего рентгеновского и γ -излучения в диапазоне малых доз (10-100 мЗв) [9-11].

Цель настоящего исследования – изучить влияние ионизирующего излучения в малых дозах на показатели заболеваемости, состояние прооксидантной и антиоксидантной способности плазмы крови медицинского персонала.

Материалы и методы

Обследовано 54 практически здоровых добровольца: 26 облучённых лиц (работники отделений лучевой диагностики, профессионально контактирующие с рентгеновским и γ -излучением) и 28 лиц, работа которых не связана с воздействием ИИ (контрольная группа).

Группа облучённых лиц состояла из 22 женщин и 4 мужчин, из них врачей было – 10 человек, лаборантов – 16. Группа облучённых лиц была разделена со стажем работы с ИИ менее 15 лет и более 16 лет. Суммарная накопленная доза ИИ у лиц со стажем менее 15 лет составила от 0,93 до 7,35 мЗв, в среднем $3,19 \pm 0,56$ мЗв; со стажем более 16 лет – от 11,27 до 32,04 мЗв, в среднем $19,30 \pm 1,86$ мЗв. У трёх работников со стажем более 16 лет сведения об индивидуальных дозах ИИ за начальный период трудовой деятельности отсутствовали. Информация о степени воздействия ИИ на организм медиков была получена с помощью термолюминесцентных индивидуальных дозиметров «ТЛД-100».

Лица контрольной группы были сопоставимы с группой облучённых лиц по полу, возрасту, медицинскому стажу. В неё включены 25 женщин и 3 мужчин отделений терапевтического профиля, из них врачей было 9 человек, медицинских сестёр и лаборантов – 17, санитарок – 2. Эта группа аналогично группе облучённых была разделена на две подгруппы: имеющих стаж работы менее 15 лет и более 16 лет.

Среди облучённых лиц курильщиками табака были 2 человека, экс-курильщик – 1; в контрольной группе – 1 и 2 соответственно. Остальные обследованные лица никогда не курили.

Определение содержания свободных радикалов и общей антиоксидантной способности в плазме крови проводили хемилюминесцентным методом с помощью люминометра Lumat LB 9507 (Bertold technologies GmbH&Co, Германия) в лаборатории экспериментальной физиологии НИИ биологии и биофизики (Томск). В работе использовали 0,01 н раствор люминола (Sigma, США) на фосфатном буфере (pH 7,4). Результаты представлены в относительных единицах света – RLU (1 RLU=10 фотонов), которые испускает 1 мл пробы за 1 с (RLU мл/с). Чем больше RLU (relative light unites), тем больше светосумма (Sm) общего пула активных радикалов (ROS) в плазме крови. Об общей антиоксидантной способности плазмы крови судили по разнице между интенсивностью хемилюминесценции в пробе (плазма+люминол) через 1 мин (RLU1) и исходным значением (RLU0) хемилюминесценции пробы. Разница между исходной интенсивностью хемилюминесценции пробы и интенсивностью хемилюминесценции через 1 мин прямо пропорциональна содержанию антиоксидантов в плазме крови и характеризует её общую антиоксидантную способность (D). $D = (RLU0 - RLU1)$ мл/с. Общей антиоксидантной способностью (Sm AS) называли суммарную способность плазмы крови, противостоящую свободнорадикальным процессам и обеспечиваемую всеми имеющимися в ней органическими и неорганическими соединениями [12].

Количественные данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки $M \pm m$. Для математической обработки полученных данных применялась статистическая компьютерная программа «Statistica 6.0» for Windows (StatSoft, США). При статистическом анализе использовали непараметрический метод Манна-Уитни. Связь между явлениями (показателями) оценивалась по коэффициенту корреляции Спирмена. Различия между группами считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Характеристики выборки в отношении возраста и стажа работы представлены в табл. 1. Диагностированные при прохождении ежегодных медицинских обследований заболевания в обеих группах представлены в табл. 2. Из данных этой таблицы следует, что среди облучённых лиц со стажем работы свыше 16 лет (относительно контрольной подгруппы с аналогичным стажем) артериальная гипертензия диагностирована соответственно в 46,1% и 15,4% случаев, хронический холецистит – в 61,5% и 53,8% случаев, остеохондроз позвоночника – в 46,1% и 15,4% случаев, нарушение зрения – в 53,8% и 23,1% случаев, при отсутствии различий в заболеваемости хроническим пиелонефритом.

Таблица 1

Данные о возрасте, стаже работы (в годах) у контрольной группы и облучённых лиц

Группы		Средний возраст	Средний стаж работы
Контрольная группа	Все лица (n=28)	42,2±2,6	18,1±2,2
	Стаж менее 15 лет (n=15)	32,3±1,9	8,7±0,9
	Стаж свыше 16 лет (n=13)	53,6±2,6	24,9±2,1
Группа облучённых лиц	Все лица (n=26)	45,9±2,6	13,2±1,8
	Стаж менее 15 лет (n=13)	37,1±3,6	6,2±1,0
	Стаж свыше 16 лет (n=13)	54,6±2,6	20,2±2,22

Примечание. В таблице приведены средние значения и стандартные ошибки.

Таблица 2

**Показатели заболеваемости в контрольной группе и группе облучённых лиц,
абсолютные значения (%)**

Группы		Заболевания				
		артериальная гипертензия	хронический холецистит	хронический пиелонефрит	остеохондроз позвоночника	нарушение зрения (миопия, пресбиопия)
Контрольная группа	Все лица (n=28)	3 (10,3)	12 (42,9)	3 (10,7)	4 (14,3)	4 (14,3)
	Стаж менее 15 лет (n=15)	1 (6,7)	5 (33,3)	1 (6,7)	2 (13,3)	1 (6,7)
	Стаж свыше 16 лет (n=13)	2 (15,4)	7 (53,8)	2 (15,4)	2 (15,4)	3 (23,1)
Группа облучённых лиц	Все лица (n=26)	6 (23,1)	12 (46,1)	3 (11,5)	7 (26,9)	9 (34,6)
	Стаж менее 15 лет (n=13)	0 (0)	4 (30,8)	1 (7,7)	1 (7,7)	2 (15,4)
	Стаж свыше 16 лет (n=13)	6 (46,1)	8 (61,5)	2 (15,4)	6 (46,1)	7 (53,8)

Показатели Sm ROS и Sm AS представлены в табл. 3. В контрольной группе выявлено большее значение средней интенсивности Sm AS у лиц со стажем свыше 16 лет относительно этого показателя у лиц, работающих менее 15 лет. Причём, судя по результатам корреляционного анализа, интенсивность данного показателя положительно связана со стажем работы как менее 15 лет ($r=0,64$; $p<0,05$), так и свыше 16 лет ($r=0,56$; $p<0,05$). Эти результаты соответствуют данным литературы. Так, согласно Rizvi S.I., Maurya R.K. (2007) с возрастом у человека на фоне явлений аккумуляции продуктов СРО в качестве компенсаторной реакции возрастает активность антиоксидантных систем организма, в частности, ферментов супероксиддисмутазы и каталазы [13]. Такие же закономерности были выявлены при исследовании фермента глутатион-пероксидазы GSH-Px, активность которого также выше у пожилых лиц, особенно имеющих повышенный риск развития сердечно-сосудистой патологии [14].

Таблица 3

Интенсивность Sm ROS и Sm AS ($RLU \cdot 10^9/мл$) в группе контроля и группе облучённых лиц ($M \pm m$)

Группы		Sm ROS ($RLU \cdot 10^9/мл$)	Sm AS ($RLU \cdot 10^9/мл$)
Контрольная группа	Все лица (n=28)	4,01±0,28	4310,00±190,43
	Стаж менее 15 лет	3,99±0,47	3928,41±201,99
	Стаж свыше 16 лет	4,04±0,30	4750,31±301,10*
Группа облучённых лиц	Все лица (n=26)	4,09±0,18	4291,15±240,74
	Стаж менее 15 лет	3,72±0,22	5022,44±249,03*
	Стаж свыше 16 лет	4,46±0,26*	3559,86±300,58*·

Примечание. * – $p<0,05$ между подгруппами лиц с различным стажем работы в контрольной группе и у облучённых лиц; · – $p<0,05$ между подгруппами лиц контрольной группы и облучённых лиц с различным стажем работы.

По сравнению с контролем у лиц, подвергшихся облучению, со стажем менее 15 лет выявлена активация системы антиоксидантной защиты – статистически значимые более высокие величины Sm AS. При проведении корреляционного анализа между показателями Sm ROS и величиной суммарной накопленной дозы ИИ у облучённых лиц с разным стажем работы была выявлена высокой степени силы обратная зависимость ($r=-0,58$; $p<0,05$) у лиц со стажем менее 15 лет, свидетельствуя, что экспозиционные дозы ИИ от 0,93 до 7,35 мЗв (в среднем $3,19 \pm 0,56$ мЗв) при относительно непродолжительном воздействии, вероятно, приводят к развитию адаптивного ответа.

В настоящее время исследователи всё более склоняются к мнению, что действие малых доз ИИ приводит к стимуляции системы антиоксидантной защиты. Этот эффект в радиобиологии называется «радиационный гормезис» [15]. Так, ИИ низкой интенсивности (6 мГр/ч) по сравнению с таким же облучением высокой интенсивности (1 Гр/мин) способствует индукции противовоспалительных и антиоксидантных генов и стимулирует ангиогенез [16]. Повышение супероксиддисмутазы и каталазы выявлено при исследовании 60 медицинских работников, профессионально подвергавшихся воздействию ИИ (компьютерный томограф, интервенционная радиография) [17]. По данным обзора Tharmalingam S. et al. (2017) ионизирующее облучение в низких дозах (<100 мГр), хотя и вызывает окислительный стресс, но низкой интенсивности, не повреждающий ДНК, но оказывающий влияние на эпигеномные механизмы [18].

Напротив, у исследованных нами работников отделений лучевой диагностики, подвергшихся облучению в суммарных дозах от 11,27 до 32,04 мЗв (в среднем $19,30 \pm 1,86$ мЗв) продолжительностью свыше 16 лет, дополнительно к естественному радиационному фону, выявлено повышение Sm ROS при одновременном снижении Sm AS. Негативное влияние радиации на общую функциональную способность антиоксидантной системы при установленном более высоком проценте заболеваний (артериальной гипертензии, хронического холецистита, остеохондроза позвоночника, нарушения зрения) относительно контроля может быть не случайным.

Имеющееся на сегодня понимание отдалённых эффектов продолжительного воздействия малых доз ИИ является ограниченным, поскольку оценки связи доза-реакция в основном опираются на исследования, связанные с высокими дозами облучения и экспериментах на животных. Одной из задач будущих исследований является получение оценок индивидуальных доз на большем материале, включая оценки погрешностей и определение воздействия доз, накопленных за большой промежуток времени.

Заключение

1. Кумулятивные дозы ИИ (в среднем $3,19 \pm 0,56$ мЗв) при профессиональном облучении менее 15 лет приводят к развитию адаптивного ответа – устойчивости к повторному действию радиации в виде отсутствия повышения свободных радикалов.

2. У работников отделений лучевой диагностики со стажем работы менее 15 лет выявлено повышение антиоксидантной способности плазмы крови относительно неэкспонированных к ИИ лиц аналогичного стажа работы, что может быть свидетельством стимуляции адаптирующих доз ИИ на систему антиоксидантной защиты.

3. При увеличении стажа работы свыше 16 лет и достижении суммарной дозы в среднем $19,30 \pm 1,86$ мЗв происходит повышение прооксидантной способности плазмы крови относительно её способности у облучённых лиц меньшего стажа и снижение антиоксидантной способности плазмы крови относительно работников меньшего стажа и лиц контрольной подгруппы аналогичного стажа работы.

4. Длительная профессиональная работа в контакте с источниками внешнего рентгеновского и γ -излучения в диапазоне малых доз оказывает негативное влияние на антиоксидантную способность плазмы крови и может обуславливать развитие соматических заболеваний.

Литература

1. **Birben E., Sahiner U.M., Sackesen C., Erzurum S., Kalayci O.** Oxidative stress and antioxidant defense //World Allergy Organ J. 2012. V. 5, N 1. P. 9-19.
2. **Poljsak B., Milisav I.** Aging, oxidative stress and antioxidants. In: Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases – A Role for Antioxidants /Ed. J.A. Morales-Gonzalez. In Tech, 2013. P. 331-353. DOI: 10.5772/51609.
3. **Марусин А.В., Пузырев В.П., Брагина Е.Ю.** Популяционно-генетический анализ вариабельности антиоксидантной плазмы крови человека //Сибирский медицинский журнал. 2001. Т. 16, № 1. С. 41-46.
4. **Bindal U.D., Saxena R., Sharma D., Lal A.M.** Assessment of plasma total antioxidant activity in hypertensive smokers //Sch. J. App. Med. Sci. 2015. V. 3, N 3G. P. 1543-1546.
5. **Costa J.O., Vázquez C.M.P., Santana G.J., Silva N.J., Braz J.M., Jesus A.M.R., Silva D.G.D., Cunha L.C.S., Barbosa K.B.F.** Plasma total antioxidant capacity and cardiometabolic risk in non-obese and clinically healthy young adults //Arq. Bras. Cardiol. 2017. V. 109, N 2. DOI: 10.5935/abc.20170095.
6. **Azzam E.I., Jay-Gerin J.P., Pain D.** Ionizing radiation-induced metabolic oxidative stress and prolonged cell injury //Cancer Lett. 2012. V. 327, N 1-2. P. 48-60.
7. **Комлева Ю.В., Махонько М.Н., Шкробова Н.В.** Заболевания медицинских работников от воздействия ионизирующего излучения и их профилактика //Бюллетень медицинских Интернет конференций. 2013. Т. 3, № 1. С. 1171-1173.
8. **Çelik H., Koyuncu I., Karakilçik A.Z., Gönel A., Musa D.** Effects of ionizing and non-ionizing radiation on oxidative stress and the total antioxidant status in humans working in radiation environments //Bezmialem Science. 2016. V. 4, N 3. P. 106-109. DOI: 10.14235/bs.2016.872.
9. **Поровский Я.В., Тетенев Ф.Ф., Рыжов АИ., Калянов Е.В., Шкатов Д.А.;** СибГМУ. Способ диагностики латентной лучевой болезни. Патент № 2414707/20.03.11. РФ, МПК G01N 33/48. № 2009146498/15; Заявл. 14.12.2009; Оpubл. 20.03.2011, Бюл. № 8.
10. **Журавская А.Н.** Биологические эффекты малых доз ионизирующих излучений (обзор) //Наука и образование (нов. назв.: Природные ресурсы Арктики и Субарктики). 2016. Т. 82, № 2. С. 94-102.
11. **Поровский Я.В.** Медицинские радиологические последствия у лиц, подвергшихся облучению малыми дозами ионизирующего излучения //Фарматека. 2016. Т. 13, № 326. С. 44-48.
12. **Krivova N.A., Zaeva O.B., Sukhodolo I.V., Milto I.V., Grigorieva V.A.** Age-dependent changes of redox ratio in rat brain parts, internal organs and blood plasma //Indian J. Sci. echnol. 2015. V. 8, N 27. P. 1-10. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i27/82606.
13. **Rizvi S.I., Maurya P.K.** Alterations in antioxidant enzymes during aging in humans //Mol. Biotechnol. 2007. V. 37, N 1. P. 58-61.
14. **Flores-Mateo G., Elosua R., Rodriguez-Blanco T., Basora-Galliss J., Bulló M., Salas-Salvadó J., Martínez-González M.Á., Estruch R., Corella D., Fitó M., Fiol M., Arós F., Gómez-Gracia E., Subirana I., Lapetra J., Ruiz-Gutiérrez V., Sáez G.T., Covas M.I., PREDIMED Study Investigators.** Oxidative stress is associated with an increased antioxidant defense in elderly subjects: a multilevel approach //PLoS One. 2014. V. 9, N 9. P. e105881. DOI: 10.1371/journal.pone.0105881.
15. **Shibamoto Y., Nakamura H.** Overview of biological, epidemiological and clinical evidence of radiation hormesis //Int. J. Mol. Sci. 2018. V. 19, N 8. P. 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.
16. **Vieira Dias J., Gloaguen C., Kereselidze D., Manens L., Tack K., Ebrahimian T.G.** Gamma low-dose-rate ionizing radiation stimulates adaptive functional and molecular response in human aortic endothelial cells in a threshold-, dose-, and dose rate-dependent manner //Dose Response. 2018. V. 16, N 1. P. 1-3. DOI: 10.1177/1559325818755238.

17. **Ahmad I.M., Temme J.B., Abdalla M.Y., Zimmerman M.C.** Redox status in workers occupationally exposed to long-term low levels of ionizing radiation: a pilot study //Redox Rep. 2016. V. 21, N 3. P. 139-145. DOI: 10.1080/13510002.2015.1101891.
18. **Tharmalingam S., Sreetharan S., Kulesza A.V., Boreham D.R., Tai T.C.** Low-dose ionizing radiation exposure, oxidative stress and epigenetic programming of health and disease //Radiat. Res. 2017. V. 188, N 4.2. P. 525-538. DOI: 10.1667/RR14587.1.

Prevalence of physical health issues, blood plasma antioxidant and pro-oxidant capacity in radiological units employees

Porovskiy Ya.V.¹, Marusin V.A.², Nesterovich S.V.¹, Zueva O.B.³

¹ Siberian State Medical University, Tomsk;

² Research Institute of Medical Genetics, Tomsk National Research Medical Center of the RAS, Tomsk;

³ Research Institute of Biology and Biophysics, National Research Tomsk State University, Tomsk

This article presents results of the study aimed to research effects of low dose radiation on physical health issues prevalence, and the blood plasma antioxidant and pro-oxidant activity in radiological units employees. Almost healthy volunteers (54 persons), were involved in the study, 26 of them were radiological units employees, worked with sources of ionizing radiation, and 28 persons were workers of therapeutic units, they were not occupationally exposed to radiation (the control group). The study and control groups were subdivided on the basis of professional practice years: >15 and 16+ years. Individual cumulative doses of external gamma-radiation and x-rays to the study sub-group members exposed to radiation for a shorter and a longer periods of time were 3.19 ± 0.56 mSv and 19.30 ± 1.86 mSv respectively, it means that the members of the both sub-groups were exposed to low radiation doses. Both exposed and unexposed employees underwent regular physical examination. The total blood plasma antioxidant and pro-oxidant activity were measured by chemiluminescent assay. Physical examination findings were as follows: the higher prevalence of physical health issues was in the exposed employees, especially in those, occupationally exposed to radiation for a longer time period: arterial hypertension occurred in 46.1% and 15.1% of cases in the exposed and in unexposed groups respectively; chronic cholecystitis – 61.5% and 53.8% of cases; vertebral osteochondrosis – 46.1% and 15.4% of cases respectively, vision impairment – 53.8% and 23.1% of cases. In the exposed persons with the professional practice period less than 15 years the blood plasma antioxidant activity was higher than in the unexposed people with the same period of professional practice. In the exposed employees with 16+ years professional practice pro-oxidant activity was higher and antioxidant activity was lower than in the corresponding sub-group of unexposed employees. In the sub-group of the longer exposure period average antioxidant activity was lower than in the unexposed employees of the same practice period. Lowering of the blood plasma antioxidant activity as a result of the long-term exposure to low-level radiation may cause physical health issues.

Key words: low doses of ionizing radiation, medical staff, professional practice, cumulative radiation dose, prevalence, hypertension, chronic cholecystitis, osteochondrosis, vision impairment, chemiluminescent assay, blood plasma pro-oxidant and antioxidant capacity.

References

1. **Birben E., Sahiner U.M., Sackesen C., Erzurum S., Kalayci O.** Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organ J.*, 2012, vol. 5, no. 1, pp. 9-19.
2. **Poljsak B., Milisav I.** Aging, oxidative stress and antioxidants. In: *Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases – A Role for Antioxidants*. Ed.: J.A. Morales-Gonzalez, In Tech, 2013, pp. 331-353. DOI: 10.5772/51609.

Porovskiy Ya.V.* – Professor, MD, Siberian State Medical University. **Marusin V.A.** – Researcher, C. Sc., Biol., Research Institute for Medical Genetics, Tomsk National Research Medical Center of RAS. **Nesterovich S.V.** – Deputy Head Physician, C. Sc., Med., Siberian State Medical University. **Zueva O.B.** – Senior Researcher, C. Sc., Biol., Research Institute of Biology and Biophysics of National Research Tomsk State University.

*Contacts: 2 Moscow tract, Tomsk, Russia, 634050. Tel.: +7(3822)9011011917, e-mail: porovs@sibmail.com.

3. **Marusin A.V., Puzyrev V.P., Bragina E.Yu.** Population-genetic analysis of human antioxidant plasma variability. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal – The Siberian Medical Journal*, 2001, vol. 16, no. 1, pp. 41-46. (In Russian).
4. **Bindal U.D., Saxena R., Sharma D., Lal A.M.** Assessment of plasma total antioxidant activity in hypertensive smokers. *Sch. J. App. Med. Sci.*, 2015, vol. 3, no. 3G, pp. 1543-1546.
5. **Costa J.O., Vásquez C.M.P., Santana G.J., Silva N.J., Braz J.M., Jesus A.M.R., Silva D.G.D., Cunha L.C.S., Barbosa K.B.F.** Plasma total antioxidant capacity and cardiometabolic risk in non-obese and clinically healthy young adults. *Arq. Bras. Cardiol.*, 2017, vol. 109, no. 2. DOI: 10.5935/abc.20170095.
6. **Azzam E.I., Jay-Gerin J.P., Pain D.** Ionizing radiation-induced metabolic oxidative stress and prolonged cell injury. *Cancer Lett.*, 2012, vol. 327, no. 1-2, pp. 48-60.
7. **Komleva Yu.V., Makhon'ko M.N., Shkrobova N.V.** Diseases of medical workers from the effects of ionizing radiation and their prevention. *Byulleten' meditsinskikh Internet konferentsii – Medical Internet Conference Bulletin*, 2013, vol. 3, no. 11, pp. 1171-1173. (In Russian).
8. **Çelik H., Koyuncu I., Karakilçık A.Z., Gönel A., Musa D.** Effects of ionizing and non-ionizing radiation on oxidative stress and the total antioxidant status in humans working in radiation environments. *Bezmialem Science*, 2016, vol. 4, no. 3, pp. 106-109. DOI: 10.14235/bs.2016.872.
9. **Porovskiy Ya.V., Tetenev F.F., Ryzhov A.I., Kalyanov E.V., Shkatov D.A.** SibGMU. Diagnostic technique for latent radiation sickness. Patent N 2414707. 20.03.11. RU, G01N 33/48. N 2009146498/15; Date of filing: 14.12.2009, Date of publication: 20.03.2011, Bull. 8. (In Russian).
10. **Zhuravskaya A.N.** Biological effects of low doses of ionizing radiation (review). *Nauka i obrazovanie – Science and Education*, 2016, vol. 82, no. 2, pp. 94-102. (In Russian).
11. **Porovskii Ya.V.** Medical radiological consequences in individuals exposed to low doses of ionizing radiation. *Farmateka – Pharmateka*, 2016, vol. 13, no. 326, pp. 44-48. (In Russian).
12. **Krivova N.A., Zaeva O.B., Sukhodolo I.V., Milto I.V., Grigorieva V.A.** Age-dependent changes of redox ratio in rat brain parts, internal organs and blood plasma. *Indian J. Sci. Technol.*, 2015, vol. 8, no. 27, pp. 1-10. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i27/82606.
13. **Rizvi S.I., Maurya P.K.** Alterations in antioxidant enzymes during aging in humans. *Mol. Biotechnol.*, 2007, vol. 37, no. 1, pp. 58-61.
14. **Flores-Mateo G., Elosua R., Rodriguez-Blanco T., Basora-Gallisa J., Bulló M., Salas-Salvadó J., Martínez-González M.Á., Estruch R., Corella D., Fitó M., Fiol M., Arós F., Gómez-Gracia E., Subirana I., Lapetra J., Ruiz-Gutiérrez V., Sáez G.T., Covas M.I., PREDIMED Study Investigators.** Oxidative stress is associated with an increased antioxidant defense in elderly subjects: a multilevel approach. *PLoS One*, 2014, vol. 9, no. 9, pp. e105881. DOI: 10.1371/journal.pone.0105881.
15. **Shibamoto Y., Nakamura H.** Overview of biological, epidemiological and clinical evidence of radiation hormesis. *Int. J. Mol. Sci.*, 2018, vol. 19, no. 8, pp. 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.
16. **Vieira Dias J., Gloaguen C., Kereselidze D., Manens L., Tack K., Ebrahimian T.G.** Gamma low-dose-rate ionizing radiation stimulates adaptive functional and molecular response in human aortic endothelial cells in a threshold-, dose- and dose rate-dependent manner. *Dose Response*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 1-13. DOI: 10.1177/1559325818755238.
17. **Ahmad I.M., Temme J.B., Abdalla M.Y., Zimmerman M.C.** Redox status in workers occupationally exposed to long-term low levels of ionizing radiation: a pilot study. *Redox Rep.*, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 139-145. DOI: 10.1080/13510002.2015.1101891.
18. **Tharmalingam S., Sreetharan S., Kulesza A.V., Boreham D.R., Tai T.C.** Low-dose ionizing radiation exposure, oxidative stress and epigenetic programming of health and disease. *Radiat. Res.*, 2017, vol. 188, no. 4.2, pp. 525-538. DOI: 10.1667/RR14587.1.