

ОЦЕНКА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ЛИЦ, КОНТАКТИРОВАВШИХ С ИОНИЗИРУЮЩИМИ ИЗЛУЧЕНИЯМИ

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2)

Проведен анализ цитогенетических показателей в лимфоцитах периферической крови у различных категорий лиц, имевших контакты с ионизирующими излучениями в процессе профессиональной деятельности (61 человек), а также у лиц, проживавших в регионе Семипалатинских ядерных испытаний (26 человек). Интервал времени между цитогенетическим обследованием и облучением составлял от 1 года до 49 лет. Анализ нестабильных хромосомных aberrаций выявил в группе экспонированных лиц достоверно повышенную частоту всех типов нарушений хромосомного комплекса клеток – $(3,25 \pm 0,24) \%$, в том числе парных фрагментов – $(0,74 \pm 0,11) \%$ и цитогенетических радиационных маркеров – $(0,36 \pm 0,06) \%$ по отношению к показателям группы сравнения – $(1,91 \pm 0,20)$, $(0,29 \pm 0,05)$ и $(0,04 \pm 0,02) \%$ соответственно. Пациенты с радиационными маркерами были выявлены во всех группах экспонированных лиц в количестве от 33,3 до 63,6 %, что достоверно превысило количество лиц с маркерами, выявленных в группе сравнения (6,3 %). Таким образом, цитогенетические исследования, выполненные в отдаленном периоде после облучения (до 49 лет), позволяют проводить биоиндикацию ионизирующих излучений, в том числе и воздействие радиации в результате нештатных ситуаций.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, ионизирующая радиация, нестабильные хромосомные aberrации, профессиональные контакты с радиацией, Семипалатинский ядерный полигон.

Введение

Исследования различных типов мутационных изменений генетического аппарата в соматических клетках широко используются для оценки действия мутагенных факторов в популяциях как человека, так и животных [4]. Анализ нестабильных aberrаций хромосом, стабильных хромосомных нарушений, микроядер, генных мутаций позволяет выявить действие широкого спектра повреждающих агентов – химической, биологической, физической природы, в том числе и ионизирующих излучений. Выявление мутационного процесса в клетках лиц, контактировавших с агрессивными агентами, свидетельствует о генотоксической опасности изучаемых факторов и является основанием как для принятия соответствующих мер безопасности, так и для проведения профилактических мероприятий по минимизации медицинских последствий.

В практике учреждений, работающих с контингентами, имеющих профессиональные контакты с генотоксическими факторами, встает задача по решению вопросов о связи выявленных заболеваний с предшествующим воздействием агрессивных условий производственной среды. Особенно значимой является эта проблема для лиц, имевших контакты с ионизирующими излучениями, так как зачастую заболева-

ния развиваются в отдаленном периоде времени после облучения, а доказательства о воздействии радиации отсутствуют. В этом случае данные о радиационном поражении могут быть получены в результате проведения цитогенетического исследования с анализом таких показателей мутагенеза, как хромосомные aberrации стабильного и нестабильного типа [6, 14, 15].

Анализ результатов цитогенетических исследований, выполняемых в течение многолетних наблюдений за состоянием генетического аппарата соматических клеток ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, продемонстрировал способность радиационно-индуцированных нарушений сохраняться длительное время после облучения, даже после воздействия малых доз ионизирующих излучений, в результате чего была установлена возможность ретроспективного использования показателей радиационного мутагенеза для экспертизы лучевых поражений [1, 17]. Данный подход был использован на практике у других категорий лиц, контактировавших с ионизирующими излучениями, – моряков атомного подводного флота (АПФ), участников испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, Новой Земле, Тоцком полигоне, работников атомной промышленности, врачей-рентгенологов, жителей селе-

Неронова Елизавета Геннадьевна – зав. лаб., вед. науч. сотр. Всерос. центра экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова (190044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), канд. биол. наук доц., e-mail: neliner@yandex.ru;
Алексанин Сергей Сергеевич – директор Всерос. центра экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова (190044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), д-р мед. наук проф., засл. врач РФ, тел. (812) 541-85-65.

ний, расположенных в зоне влияния Семипалатинского полигона. Многие из обследованных лиц, контактировавших с ионизирующими излучениями в процессе профессиональной деятельности, указали на наличие аварийного облучения в процессе работы, в связи с чем они обратились во Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (далее – ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова) за специализированной медицинской помощью и помощью в решении экспертных вопросов по связи заболеваний с предшествующим воздействием радиации.

Материал и методы

Проведено цитогенетическое обследование 87 лиц, имевших контакты с ионизирующими излучениями: врачи-рентгенологи, моряки АПФ, участники испытаний ядерного оружия, жители населенных пунктов, расположенных в зоне влияния Семипалатинского полигона. Интервал между предполагаемым облучением и цитогенетическим исследованием составлял период от 1 года до 49 лет. Группу сравнения составили лица сходного возраста и состояния здоровья, но не имевшие контактов с агрессивными факторами труда, в том числе и с ионизирующими излучениями, за исключением плановых рентгенологических обследований.

Были изучены нестабильные хромосомные aberrации в лимфоцитах периферической крови. Постановку культур клеток крови и приготовление препаратов проводили по стандартной методике [5]. Для каждого пациента анализировали от 100 до 500 метафазных пластинок. Учитывали aberrации хромосомного типа (парные фрагменты, атипичные хромосомы и радиационные маркеры: дицентрические и кольцевые хромосомы) и хроматидного типа (одиночные фрагменты и хроматидные обмены).

Статистический анализ полученных данных проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica. Для сравнения групп были использованы χ^2 -тест Манна-Уитни.

Проведение исследований было одобрено этическим комитетом ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова.

Результаты и их обсуждение

Показатели мутагенеза – нестабильные хромосомные aberrации – были изучены у 87 человек, имевших контакты с ионизирующими излучениями в результате профессиональной деятельности или проживания в зоне влияния Семипалатинского полигона. В ходе выполнения цитогенетического исследования неста-

бильных хромосомных aberrаций у обследованных были выявлены различные типы хромосомных нарушений – одиночные и парные фрагменты, хроматидные обмены, дицентрические и кольцевые хромосомы. При анализе полученных показателей лиц экспонированной группы ($n = 87$) и результатов обследования пациентов группы сравнения ($n = 68$) выявлены отличия по нескольким параметрам – частоте хромосомных aberrаций, парных фрагментов и радиационных маркеров (табл. 1). Анализ спектра выявленных хромосомных нарушений также отличается от группы сравнения и смещен в сторону увеличения количества перестроек хромосомного типа, что является характерным для радиационного мутагенеза [3].

Таблица 1
Цитогенетические показатели лимфоцитов периферической крови у лиц, имевших контакты с ионизирующими излучениями, и лиц группы сравнения, ($M \pm m$) %

Частота	Группа	
	контроль	экспонированная
Хромосомных aberrаций	$1,91 \pm 0,20$	$3,25 \pm 0,24^A$
Одиночных фрагментов	$1,59 \pm 0,18$	$1,95 \pm 0,19$
Хроматидных обменов	$0,01 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,03$
Парных фрагментов	$0,29 \pm 0,05$	$0,74 \pm 0,11^B$
Атипичных хромосом	$0,05 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,03$
Дицентрических и кольцевых хромосом	$0,04 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,06^A$

Здесь и в табл. 2–3: различия по сравнению с группой контроля * при $p < 0,05$; # при $p < 0,01$; A при $p < 0,001$.

Так, соотношение количества aberrаций хроматидного типа и хромосомного типа в группе сравнения и у экспонированных лиц составляет 2,3 и 4,2 соответственно, при этом количество aberrаций как хромосомного (30,6 %), так и хроматидного типа (69,4 %) у облученных лиц достоверно отличается от группы сравнения (19,2 и 80,8 %, $\chi^2 = 16,2$; $p < 0,001$). У экспонированных лиц также выявлен статистически достоверный ($\chi^2 = 16,1$; $p < 0,001$) повышенный вклад (8,2 %) радиационных маркеров в установленную структуру нарушений (1,8 % у лиц группы сравнения), свидетельствующий о влиянии радиационного фактора на состояние генетического аппарата клеток облученных.

Опрос пациентов и последующий анализ анкетных данных позволили установить, что воздействие ионизирующих излучений происходило при различных сценариях облучения; среди пациентов были лица разных специальностей, имевшие профессиональные контакты с радиацией, а также жители населенных пунктов, расположенных в зоне влияния Семипалатинского полигона; отличался и интервал времени, прошедший после облучения до момента цитоген-

Таблица 2

Характеристика обследованных групп

Группа	Количество экспонированных лиц (n)	Интервал времени после воздействия, лет	Частота лиц с радиационными маркерами, %
1-я	Профессиональные контакты (11)	Менее 1 года – до 32	63,6 ^А
2-я	Врачи-рентгенологи (8)	Менее 1 года – до 12	62,5 ^А
3-я	Моряки атомного подводного флота (21)	1–22	33,3 ^А
4-я	Участники испытаний ядерного оружия (21)	Менее 1 года – до 47	42,9 ^В
5-я	Жители селений, расположенных в зоне влияния Семипалатинского полигона (26)	7–49	46,1 ^В
6-я	Контроль (68)	-	6,3

Таблица 3

Частота и типы хромосомных нарушений у лиц, контактировавших с ионизирующими излучениями, (M ± m) %

Частота	Группа					
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
Хромосомных aberrаций	4,25 ± 0,77 ^В	3,16 ± 0,61	2,57 ± 0,39	3,24 ± 0,41 ^В	4,06 ± 0,98 [*]	1,96 ± 0,22
Одиночных фрагментов	2,01 ± 0,35	1,76 ± 0,53	1,59 ± 0,35	2,33 ± 0,41	2,65 ± 0,71	1,59 ± 0,19
Хроматидных обменов	0,02 ± 0,02	0,15 ± 0,03 ^А	0,07 ± 0,02 ^В	0,04 ± 0,02 [*]	0,22 ± 0,18 [*]	0,01 ± 0,02
Парных фрагментов	1,47 ± 0,52 ^В	0,54 ± 0,15	0,50 ± 0,11	0,45 ± 0,11	0,59 ± 0,32	0,28 ± 0,09
Атипичных хромосом	0,14 ± 0,10	0,13 ± 0,07	0,14 ± 0,05	0,16 ± 0,07	0,41 ± 0,25 [*]	0,05 ± 0,03
Дицентрических и кольцевых хромосом	0,62 ± 0,20 ^А	0,59 ± 0,09 ^А	0,28 ± 0,16 ^А	0,26 ± 0,08 ^А	0,13 ± 0,11 [*]	0,04 ± 0,04

нетического обследования, который составлял от 1 года до 49 лет. С учетом обстоятельств облучения все обследованные были разделены на несколько групп, характеристика которых представлена в табл. 2, результаты анализа мутационных изменений в различных группах в зависимости от условий облучения – в табл. 3.

Данные, представленные в табл. 3, полученные по результатам цитогенетического анализа, проведенного у подвергшихся действию радиации вследствие профессиональной деятельности или региона проживания, демонстрируют отличие радиационного мутагенеза от показателей группы сравнения. Несмотря на различия в обстоятельствах облучения, во всех группах прослеживается сходная структура нарушений – достоверное увеличение уровня цитогенетических радиационных маркеров. При сравнительном анализе показателей по сценариям облучения самые высокие значения частоты дицентрических и кольцевых хромосом, а также количество лиц, у которых они были выявлены, отмечены в группах врачей и лиц, имевших профессиональные контакты с излучениями (см. табл. 2, 3). С одной стороны, это явление может быть связано с полученной дозой облучения, в ряде случаев, возможно, превышающей предельно допустимые значения. С другой стороны, учитывая тот факт, что более 50 % лиц этих групп проходили цитогенетическое обследование в течение первого года после предполагаемых аварийных ситуаций, относительно высокие показатели радиационных маркеров могут быть обусловлены и небольшим интервалом времени, прошедшим после облучения до момента обследования, в течение ко-

торого лимфоциты с нарушениями хромосомного аппарата клеток не успели элиминироваться из периферической крови. Однако результаты обследования участников испытаний ядерного оружия и жителей Семипалатинского района свидетельствуют о длительном сохранении радиационных маркеров даже в течение нескольких десятилетий (см. табл. 2, 3).

Исследование по изучению биологического действия малых доз в популяциях человека, выполненные после аварии на Чернобыльской АЭС среди ликвидаторов последствий аварии [17], продемонстрировали способность радиационно-индуцированных нарушений сохраняться в течение длительного периода времени после облучения. Применение на практике выявленных закономерностей для обследования других категорий облученных подтвердило справедливость прежних находок. Длительно сохраняющийся процесс мутагенеза был обнаружен среди различных групп у различных категорий облученных – врачей, моряков АПФ, лиц, принимавших участие в ядерных испытаниях, жителей Семипалатинского ядерного полигона, загрязненных вследствие аварий на предприятиях атомной промышленности и испытаний ядерного оружия.

В процессе этой работы были получены и новые факты о радиационном мутагенезе у человека в связи с его профессиональной деятельностью. Так, в результате проведения цитогенетического обследования врачей-рентгенологов, обратившихся в центр за решением экспертных вопросов в связи с профессиональным облучением, были выявлены изменения состояния генетического аппарата клеток, отличные от

спонтанного мутагенеза по нескольким цитогенетическим показателям, в том числе и радиационным маркерам (см. табл. 2, 3). Эти результаты являются первыми сведениями о радиационном мутагенезе у врачей-рентгенологов, полученные для специалистов, работающих в нашей стране. Информация о зарубежных исследованиях в этой области появилась в печати в абсолютном большинстве случаев после 2000 г. По данным исследователей разных стран [9, 16, 19, 23, 24], у сотрудников больниц, работающих с различными источниками ионизирующих излучений (врачей, специализирующихся в области интервенционной радиологии, врачей-рентгенологов), в лимфоцитах периферической крови выявлена повышенная частота хромосомных aberrаций. Н. Lalić и В. Radošević-Stasić [16] установили, что высокий уровень нарушений был связан со стажем работы в этой области. У части специалистов были обнаружены и радиационные маркеры, однако не всегда частота дицентрических и кольцевых хромосом превышала контрольные показатели [19, 23], что связано с особенностями накопления дозой нагрузки и работой при допустимых уровнях облучения. В нашей работе, в отличие от большинства зарубежных исследований, выявлен высокий уровень радиационных маркеров (в 15 раз больше контрольных значений), который может свидетельствовать о превышении норм допустимых дозовых нагрузок. Стоит отметить, что многие пациенты обратились в центр за экспертной оценкой их состояния здоровья, а в анкетах было указано на наличие, по их мнению, нештатных ситуаций во время работы оборудования, что, вероятно, могло привести и к переоблучению персонала. О возможности таких ситуаций в медицинской практике свидетельствует многолетний биодозиметрический мониторинг, проводимый в Боснии и Герцеговине, результаты которого показали, что до 20 % медицинского персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений, имеют превышение допустимых дозовых нагрузок [12].

Таким образом, результаты цитогенетического обследования врачей-рентгенологов свидетельствуют о том, что эта группа специалистов является группой риска развития генетических эффектов, а показатели мутагенеза могут успешно использоваться для мониторинга наблюдения за состоянием генома клеток и контроля дозовых нагрузок у врачей, работающих с рентгеновскими установками.

Целесообразность исследований показателей мутагенеза и у других категорий специалистов, имеющих профессиональные контакты с

ионизирующими излучениями, подтверждается и нашими результатами цитогенетического обследования моряков-подводников и лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений (см. табл. 3). К сожалению, до настоящего времени указания о цитогенетическом контроле доз облучения среди лиц радиологических специальностей в соответствующих методических рекомендациях отсутствуют. После Чернобыльской аварии стали актуальными и биомедицинские последствия ядерных испытаний, проведенных на территории бывшего СССР, информация о последствиях которых и дозиметрические данные в течение многих лет были засекречены и недоступны для исследователей. Однако состояние здоровья населения спустя 30–40 лет после испытаний потребовало принятия специальных государственных программ по изучению последствий испытаний и помощи жителям пострадавших регионов. Особое внимание было уделено населению Семипалатинского региона. Для решения остро вставших социальных вопросов потребовались сведения о дозах, полученных местными жителями.

Анализ хромосомных нарушений был одним из тестов, использованных для оценки дозовых нагрузок и анализа генетических последствий Семипалатинских испытаний. Абсолютное большинство работ были выполнены в рамках международных проектов зарубежными и отечественными исследователями [2, 8, 11, 13, 18, 20–22]. Основные результаты по обследованию Алтайского края были представлены и на 3-м рабочем совещании по дозиметрии Семипалатинского региона, проходившем в г. Хиросима в 2005 г., и суммированы в аналитическом обзоре V.F. Stepanenko и соавт. [10]. В документах представлена информация о повышенном уровне нестабильных хромосомных aberrаций, микроядер, мутаций Т-клеточного рецептора в лимфоцитах периферической крови у жителей наиболее загрязненных деревень – Долон и Сарьял по сравнению с показателями населения регионов, более удаленных от мест проведения испытаний. Благодаря анализу стабильных хромосомных aberrаций с помощью FISH-диагностики был выявлен и повышенный уровень транслокаций у жителей деревни Долон, что позволило оценить дозу облучения, которая составила 180 мЗв.

Во ВЦЭРМ им. А.М. Никитина с начала 1990-х годов также проходили обследования лица, контактировавшие с ионизирующими излучениями в результате испытаний ядерного оружия в г. Семипалатинске, на Новой Земле, Тоцком полигоне. В отличие от ранее упомяну-

тых исследований по Семипалатинскому полигону, а также и ядерного полигона Северный (остров Новая Земля) [7], внимание которых было уделено лицам, постоянно проживающим в районах испытаний, большинство обследованных нами пациентов находились на загрязненных территориях относительно небольшое время, так же как и участники испытаний, которые покинули эти регионы вскоре после их окончания. Однако радиационно-индуцированные нарушения выявлены были и у наших пациентов. В отдаленном периоде времени более 40 % обследованных были носителями радиационных маркеров (см. табл. 2), частота которых превышала контрольные значения.

Заключение

Таким образом, результаты нашей работы подтверждают длительное сохранение радиационных маркеров и свидетельствуют о возможности биоиндикации ионизирующих излучений и проведения экспертных оценок облучения с использованием цитогенетических показателей мутагенеза у различных категорий облученных.

Литература

- Алексанин С.С., Слозина Н.М., Неронова Е.Г. Чрезвычайные ситуации и геном человека. – СПб.: Политехника-сервис, 2010. – 84 с.
- Анализ и ретроспективная оценка результатов цитогенетических обследований населения Казахстана, подвергавшегося радиационному воздействию в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, и их потомков / К.Н. Апсаликов, Т.Ж. Мулдагалиев, Т.И. Белихина [и др.] // Мед.-биол. пробл. жизнедеятельности. – 2013. – №. 1. – С. 42–49.
- Бочков Н.П., Чеботарев Н.Н. Наследственность человека и мутагены внешней среды. – М.: Медицина, 1989. – 270 с.
- Гигиенические критерии состояния окружающей среды № 46 / Руководство по изучению генетических эффектов в популяциях человека // Совместное издание Программы ООН по окружающей среде, Международной организации труда и ВОЗ. – М.: Медицина, 1989. – 122 с.
- Дубинина Л.Г. Лейкоциты крови человека – тест-система для оценки мутагенов среды. – М.: Наука, 1977. – 152 с.
- Совершенствование методов биологической дозиметрии путем анализа хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови человека при облучении in vitro и in vivo / И.К. Хвостунов, Н.Н. Шепель, А.В. Севаньяев [и др.] // Мед.-биол. пробл. жизнедеятельности. – 2013. – №. 1. – С. 135–147.
- Хромосомные нарушения у жителей самбургской тундры в условиях экологического неблагополучия / А.В. Пономарева, В.Г. Матвеева, Л.П. Осипова, О.Л. Посух // Сиб. экол. журн. – 2000. – № 1. – С. 67–71.
- Analysis of FISH-painted chromosomes in individuals living near the Semipalatinsk nuclear test site / G. Stephan, S. Pressl, G. Koshpessova, B. I. Gusev // Radiat. Res. – 2001. – Vol. 155. – P. 796–800.
- Anjaria K.B., Rao B.S. Chromosomal aberration analysis in chronically exposed radiation workers // J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol. – 2004. – Vol. 23. – P. 207–213.
- Around Semipalatinsk nuclear test site: progress of dose estimations relevant to the consequences of nuclear tests / V.F. Stepanenko, M. Hoshi, I.K. Bailiff [et al.] / A summary of 3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk nuclear test site area, RIRBM, Hiroshima University, Hiroshima, 9–11 of March, 2005 // J. Radiat. Res. (Tokyo). – 2006. – Vol. 47, Suppl. A. – P. 1–13.
- Biodosimetry study in Dolon and Chekoman villages in the vicinity of Semipalatinsk nuclear test site / N. Chaizhunusova, T.C. Yang, C. Land [et al.] // J. Radiat. Res. (Tokyo). – 2006. – Vol. 47, Suppl. A. – P. A165–169.
- Catović A., Tanacković F. Biological dosimetry – cytogenetics findings at persons occupationally exposed to ionizing radiation // Bosn. J. Basic. Med. Sci. – 2006. – Vol. 6, N 2. – P. 63–66.
- Cytogenetic biomonitoring carried out in a village (Dolon) adjacent to the Semipalatinsk nuclear weapon test site / A. Testa, L. Stronati [et al.] // Radiat. Environ. Biophys. – 2001. – Vol. 40. – P. 125–129.
- Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies. – Vienna, 2011. – 247 p.
- Edwards A.A. The use of chromosomal aberrations in human lymphocytes for biological dosimetry // Radiat. Res. – 1997. – Vol. 148, N 5, Suppl. – P. 39–44.
- Lalić H., Radosević-Stasić B. Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes in subjects occupationally exposed to ionizing radiation or chemical clastogens // Folia Biol. (Praha). – 2002. – Vol. 48. – P. 102–107.
- Neronova E., Slozina N., Nikiforov A. Chromosome alterations in cleanup workers sampled years after the Chernobyl accident // Radiat. Res. – 2003. – Vol. 160, N 1. – P. 46–51.
- Simon S.L., Baverstock K.F., Lindholm C. A summary of evidence on radiation exposures received near to the Semipalatinsk nuclear weapons test site in Kazakhstan // Health. Phys. – 2003. – Vol. 84. – P. 718–725.
- Spectrum of chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of hospital workers occupationally exposed to low doses of ionizing radiation / F. Maffei, S. Angelini, G.C. Forti e [et al.] // Mutat. Res. – 2004. – Vol. 22. – P. 91–99.
- Stable chromosome aberrations in the lymphocytes of a population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site / S. Salomaa, C. Lindholm, M. Tankimanova [et al.] // Radiat. Res. – 2002. – Vol. 158. – P. 591–596.

21. The results of the cytogenetic examination of the inhabitants of population centers adjacent to the Semipalatinsk nuclear testing grounds (at the period of the work of the interdepartmental commission in 1989) / A.V. Sevan'kaev, M.A. Ankina, E.V. Golub [et al.] // Radiats. Biol. Radioecol. – 1995. – Vol. 35. – P. 596–607.

22. Unstable-type chromosome aberrations in lymphocytes from individuals living near Semipalatinsk nuclear test site / K. Tanaka, S. Iida, N. Takeichi [et al.] // J. Radiat. Res. (Tokyo). – 2006. – Vol. 47, Suppl A. – P. 159–164.

23. Zakeri F., Assaei R.G. Cytogenetic monitoring of personnel working in angiocardiology laboratories in Iran hospitals. Cytogenetic monitoring of personnel working in angiocardiology laboratories in Iran hospitals // Mutat. Res. – 2004. – Vol. 562. – P. 1–9.

24. Zakeri F., Hirobe T.A. Cytogenetic approach to the effects of low levels of ionizing radiations on occupationally exposed individuals // Eur. J. Radiol. – 2010. – Vol. 73. – P. 191–195.

Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh [Medical-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations]. – 2014. – N 1. – P. 70–76.

Neronova E.G., Alexanin S.S. Otsenka tsitogeneticheskikh pokazateley u lits, kontaktirovavshikh s ioniziruyushchimi izlucheniymi [Assessment of cytogenetic indices in persons exposed to ionizing radiation].

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia
(194044, Russia, Saint-Petersburg, Academica Lebedeva Str., 4/2)

Neronova Elizaveta Gennad'evna – PhD on Biol. Sci., Head of Laboratory, The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (194044, Russia, St. Petersburg, Academica Lebedeva Str., 4/2); neliner@yandex.ru;

Aleksanin Sergej Sergeevich – Dr. Med. Sci., Prof., Director of Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (194044, Russia, St. Petersburg, Academica Lebedeva Str., 4/2); tel. (812) 541-85-65.

Abstract. Cytogenetic analysis was performed in peripheral blood lymphocytes in different groups of persons who were exposed to ionizing radiation during their professional activities (61 persons), as well as in inhabitants of Semipalatinsk nuclear testing region (26 persons). Period of time from irradiation till cytogenetic analysis was from 1 to 49 years. Analysis of unstable chromosome aberrations revealed statistically increased frequency of all types of chromosome disturbances (3.25 ± 0.24) % in the group of exposed persons, including paired fragments (0.74 ± 0.11) % and cytogenetic radiation markers (0.36 ± 0.06) %, compared with control group (1.91 ± 0.20), (0.29 ± 0.05), (0.04 ± 0.02) %, respectively. Therefore, cytogenetic analysis performed many years after irradiation (up to 49 years) makes it possible to confirm the radiation exposure including emergencies.

Keywords: emergency, ionizing radiation, unstable chromosome aberrations, professional contacts with radiation, Semipalatinsk nuclear testing region.

References

1. Aleksanin S.S., Slozina N.M., Neronova E.G. Chrezvychaynye situatsii i genom cheloveka [Emergency and the human genome]. Sankt-Peterburg. 2010. 84 p. (In Russ.)

2. Apsalikov K.N., Muldagaliyev T.Zh., Belikhina T.I. [et al.]. Analiz i retrospektivnaya otsenka rezul'tatov tsitogeneticheskikh obsledovaniy naseleniya Kazakhstana, podvergavshegosya radiatsionnomu vozdeistviyu v rezul'tate ispytaniy yadernogo oruzhiya na Semipalatinskom poligone, i ikh potomkov [Analysis and retrospective evaluation of the results of cytogenetic examinations of Kazakhstan's population exposed to radiation as a result of nuclear weapons testing at the Semipalatinsk test site, and their descendants]. *Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti* [Medical and biological problems of life activity]. 2013. N. 1. P. 42–49. (In Russ.)

3. Bochkov N.P., Chebotarev N.N. Nasledstvennost' cheloveka i mutageny vneshney sredy [Human heredity and mutagens in the external environment]. Moskva. 1989. 270 p. (In Russ.)

4. Gigienicheskie kriterii sostoyaniya okruzhayushchei sredy. Rukovodstvo po izucheniyu geneticheskikh effektiv v populyatsiyakh cheloveka [Hygienic criteria of environmental. Guide for the study of genetic effects in human populations]. Sovmestnoe izdanie Programmy OON po okruzhayushchei srede, Mezhdunarodnoi organizatsii truda i VOZ [A joint publication of the United Nations environment Programme, the International labour organization and the WHO]. Moskva. 1989. 122 p. (In Russ.)

5. Dubinina L.G. Leikotsity krovi cheloveka – test-sistema dlya otsenki mutagenov sredy [Human blood leukocytes – test-system for evaluation of environmental mutagens]. Moskva. 1977. 152 p. (In Russ.)

6. Khvostunov I.K., Shepel' N.N., Sevan'kaev A.V. [et al.]. Sovershenstvovanie metodov biologicheskoi dozimetrii putem analiza khromosomnykh aberratsii v limfotsitakh krovi cheloveka pri obluchenii in vitro i in vivo [Perfection of methods of biological dosimetry by analysis of chromosomal aberrations in human blood lymphocytes under irradiation in vitro and in vivo]. *Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti* [Medical and biological problems of life activity]. 2013. N. 1. P. 135–147. (In Russ.)

7. Ponomareva A.V., Matveeva V.G., Osipova L.P., Posukh O.L. Khromosomnye narusheniya u zhitelei samburgskoi tundry v usloviyakh ekologicheskogo neblagopoluchiya [Chromosomal disorders among residents Samburg tundra in conditions of ecological trouble]. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology]. 2000. N 1. P. 67–71. (In Russ.)

8. Stephan G., Pressl S., Koshpessova G., Gusev B. I. Analysis of FISH-painted chromosomes in individuals living near the Semipalatinsk nuclear test site. *Radiat Res.* 2001. Vol. 155. P. 796–800.
9. Anjaria K.B., Rao B.S. Chromosomal aberration analysis in chronically exposed radiation workers. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 2004. Vol. 23. P. 207–213.
10. Stepanenko V.F., Hoshi M., Bailiff I.K. [et al.]. Around Semipalatinsk nuclear test site: progress of dose estimations relevant to the consequences of nuclear tests. A summary of 3rd Dosimetry Workshop on the Semipalatinsk nuclear test site area, RIRBM, Hiroshima University, Hiroshima, 9–11 of March, 2005). *J. Radiat. Res.* (Tokyo). 2006. Vol. 47, Suppl. A. P. 1–13.
11. Chaizhunusova N., Yang T.C., Land C. [et al.]. Biodosimetry study in Dolon and Chekoman villages in the vicinity of Semipalatinsk nuclear test site. *J. Radiat. Res.* (Tokyo). 2006. Vol. 47, Suppl. A. P. 165–169.
12. Catović A., Tanacković F. Biological dosimetry – cytogenetics findings at persons occupationally exposed to ionizing radiation. *Bosn. J. Basic. Med. Sci.* 2006. Vol. 6, N 2. P. 63–66.
13. Testa A., Stronati L. [et al.]. Cytogenetic biomonitoring carried out in a village (Dolon) adjacent to the Semipalatinsk nuclear weapon test site. *Radiat. Environ. Biophys.* 2001. Vol. 40. P. 125–129.
14. Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies. Vienna, 2011. 247 p.
15. Edwards A.A. The use of chromosomal aberrations in human lymphocytes for biological dosimetry. *Radiat. Res.* 1997. Vol. 148, N 5. P. 39–44.
16. Lalić H., Radosević-Stasić B. Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes in subjects occupationally exposed to ionizing radiation or chemical clastogens. *Folia Biol.* (Praha). 2002. Vol. 48. P. 102–107.
17. Neronova E., Slozina N., Nikiforov A. Chromosome alterations in cleanup workers sampled years after the Chernobyl accident. *Radiat. Res.* 2003. Vol. 160, N 1. P. 46–51.
18. Simon S.L., Baverstock K.F., Lindholm C. A summary of evidence on radiation exposures received near to the Semipalatinsk nuclear weapons test site in Kazakhstan. *Health Phys.* 2003. Vol. 84. P. 718–725.
19. Maffei F., Angelini S., Forti G.C. [et al.]. Spectrum of chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of hospital workers occupationally exposed to low doses of ionizing radiation. *Mutat. Res.* 2004. Vol. 22. P. 91–99.
20. Salomaa S., Lindholm C., Tankimanova M. [et al.]. Stable chromosome aberrations in the lymphocytes of a population living in the vicinity of the Semipalatinsk nuclear test site. *Radiat. Res.* 2002. Vol. 158. P. 591–596.
21. Sevankaev A.V., Ankina M.A., Golub E.V. [et al.]. The results of the cytogenetic examination of the inhabitants of population centers adjacent to the Semipalatinsk nuclear testing grounds (at the period of the work of the interdepartmental commission in 1989). *Radiats. Biol. Radioecol.* 1995. Vol. 35. P. 596–607.
22. Tanaka K., Iida S., Takeichi N. [et al.]. Unstable-type chromosome aberrations in lymphocytes from individuals living near Semipalatinsk nuclear test site. *J. Radiat. Res.* (Tokyo). 2006. Vol. 47, Suppl. A. P. 159–164.
23. Zakeri F., Assaei R.G. Cytogenetic monitoring of personnel working in angiocardiology laboratories in Iran hospitals. Cytogenetic monitoring of personnel working in angiocardiology laboratories in Iran hospitals. *Mutat. Res.* 2004. Vol. 562. P. 1–9.
24. Zakeri F., Hirobe T.A. Cytogenetic approach to the effects of low levels of ionizing radiations on occupationally exposed individuals. *Eur. J. Radiol.* 2010. Vol. 73. P. 191–195.