

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

УДК 611.018.5:611.013:614.876:539.1.047

КЛЕТОЧНЫЙ СОСТАВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У ВНУТРИУТРОБНО ОБЛУЧЕННЫХ ЖИТЕЛЕЙ р. ТЕЧА

© 2020 г. А. В. Возилова^{1,*}, Ю. Р. Ахмадуллина^{1,2}, В. П. Пушкарев¹,
Я. В. Кривошапова¹, А. В. Аклев^{1,2}

¹ Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России, Челябинск, Россия

² Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

*E-mail: vozilova@urcrm.ru

Поступила в редакцию 13.08.2019 г.

После доработки 16.09.2019 г.

Принята к публикации 18.09.2019 г.

Представлены результаты исследования клеточного состава периферической крови у жителей прибрежных сел р. Теча Челябинской области, хроническое облучение которых началось внутриутробно и продолжилось в постнатальный период. Исследование проводилось в отдаленный период после начала радиационного воздействия с 1963 по 2017 г. Диапазон доз от суммарного внутриутробного и постнатального облучения красного костного мозга у обследованных составил 1–1905 мГр. Группа сравнения (условный контроль) сформирована из лиц, проживавших в тех же районах, но подвергшихся радиационному воздействию только в постнатальный период онтогенеза. Показатели эритроцитарного, тромбоцитарного и лейкоцитарного ростка изучали в соответствии с возрастной периодизацией. Среднегрупповые значения показателей периферической крови как в группах внутриутробно облученных, так и в группах постнатально облученных людей соответствовали нормальным физиологическим значениям. Различия тромбоцитарного и эритроцитарного звеньев между облученными лицами преимущественно были отмечены в средней и старшей возрастной группе. Наиболее изменчивыми оказались количество эритроцитов, уровень гемоглобина и цветной показатель крови. У внутриутробно облученных мужчин всех возрастов уровень гемоглобина был выше, чем в группе сравнения. При оценке лейкоцитарного компартмента периферической крови выявлены разносторонние изменения для различных клеточных ростков между группами лиц, подвергшихся воздействию радиации во внутриутробный период или только в постнатальный этап онтогенеза. У лиц старшего возраста отличия от контроля отмечены во всех клеточных ростках. Показатели нейтрофилов были ниже, чем в контроле, а лимфоцитов, моноцитов, эозинофилов и базофилов выше.

Ключевые слова: внутриутробно облученные лица, гемопоэз, костный мозг, лейкоциты, лимфоциты, периферическая кровь, река Теча, нейтрофилы, эритроциты, тромбоциты

DOI: 10.31857/S0869803120030169

Гемопоэз играет важную роль в функционировании организма. Наряду с иммунной кроветворная система является одной из наиболее радиочувствительных. Считается, что радиационно-индуцированные нарушения системы гемопоэза значимы в формировании ранних и отдаленных последствий облучения [1].

Для оценки последствий воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека, помимо дозовых характеристик, немаловажно учитывать период онтогенеза, в котором началось воздействие. Экспериментальные исследования указывают на то, что наиболее радиочувствительным периодом онтогенеза является внутриутробный период [2].

Данные о влиянии ионизирующего излучения на эмбрион и плод человека в основном были получены при обследовании детей, рожденных женщинами, прошедшими лучевую терапию во время беременности, а также при наблюдении за здоровьем внутриутробно облученных лиц во время атомной бомбардировки г. Хиросимы и г. Нагасаки (Япония) [3, 4]. Наиболее тщательно прослежены эффекты острого облучения на организм человека при больших мощностях доз. Вопрос о том, как влияет хроническое облучение, начавшееся внутриутробно, на состояние организма в отдаленные сроки — дискутируется. Отчасти это происходит из-за противоречивых оценок индивидуальных доз для облученного населения, а также из-за разнообразия факторов нерадиаци-

онной природы, которые достаточно сильно модифицируют эффект хронического низкоинтенсивного облучения.

Популяция людей, подвергшихся аварийному хроническому низкоинтенсивному облучению на Южном Урале, обследуется специалистами ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России более 60 лет. Хроническое облучение жителей прибрежных сел р. Теча началось с 1948 г., а максимальные мощности доз облучения наблюдались с 1949 г. по 1952 г. Облучение было сочетанным – внешнее γ -облучение преимущественно за счет ^{137}Cs , содержащегося в речной воде, донных отложениях и пойменных почвах, и внутреннее β -облучение за счет поступления долгоживущих радионуклидов $^{89,90}\text{Sr}$ с пищевыми продуктами и питьевой водой в организм [5].

Ранее анализ данных по состоянию гемопоэза у местных жителей больше концентрировался на группе лиц, у которых облучение началось в постнатальный период, т.е. тех, кто родился по декабрь 1949 г. включительно. Для этих людей были индивидуализированы дозы от внешнего γ -излучения на красный костный мозг (ККМ) и рассчитаны дозы на ККМ от внутреннего излучения на основании прижизненных измерений содержания радионуклидов ^{90}Sr в организме. Клеточный состав периферической крови у облученных жителей прибрежных сел р. Теча изучался в течение длительного времени и затронул период максимального радиационного воздействия, период восстановления гемопоэза и отдаленные сроки [6–8].

В 2011 г. в УНПЦ РМ была сформирована когорта внутриутробно облученных людей, куда было включено 11574 человека. Это были лица, которые родились в период с 02.01.1950 по 30.09.1961 г. Ионизирующее излучение воздействовало на них внутриутробно и влияние продолжилось постнатально. Более того эти люди – потомки облученных родителей (одного или обоих), что подразумевает облучение половых клеток матери и отца до зачатия. В тех условиях на эмбрион и плод воздействовало равномерное внешнее γ -излучение. Внутреннее облучение определялось ^{137}Cs , поступавшим в организм беременной женщины с продуктами питания местного производства и водой. Неравномерное облучение ККМ формировалось за счет поступления радионуклидов $^{89,90}\text{Sr}$ в костную ткань плода. Средняя доза внутриутробного облучения ККМ развивающегося организма составила 30 мГр, причем около 90% вносило β -излучение от радионуклидов $^{89,90}\text{Sr}$. Максимальные значения дозы на ККМ за внутриутробный период в когорте достигали 1050 мГр [9].

Индивидуализированные дозы для внутриутробно облученных лиц были рассчитаны в биологической лаборатории УНПЦ РМ, что позво-

лило провести анализ состояния гемопоэза у этих людей. В настоящее время старшие из них достигли 60-летнего возраста, что также делает возможным сравнивать полученные показатели с группой ранее обследованных лиц, облучение которых началось в постнатальный период.

Цель настоящей статьи – проанализировать особенности клеточного состава периферической крови в отдаленные сроки после начала радиационного воздействия у людей, хроническое облучение которых началось внутриутробно и продолжилось после рождения.

Впервые в работе при анализе данных была использована возрастная периодизация для обследуемых групп (юноши, взрослые, старшие лица). Развитие дозиметрической системы УНПЦ РМ (TRDS-2016) позволило использовать уточненные индивидуализированные дозы облучения для оценки зависимости доза–эффект для показателей гемопоэза у обследуемых лиц. В данном исследовании выбор группы сравнения для внутриутробно облученных был максимально приближен к требованиям “случай–контроль”.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Характеристика обследованных групп

Исследование клеточного состава периферической крови у облученных людей проводили в отдаленные сроки от начала хронического радиационного воздействия в период с 1963 по 2017 г. в клиническом отделении УНПЦ РМ (ранее ФИБ-4). Из анализа данных исключали те показатели, которые были получены в период заболеваний, влияющих на гемопоэз (паразитарные инвазии, онкологическая патология, острые и хронические кровопотери вследствие геморроя, миомы матки, период острых или обострения хронических воспалительных заболеваний).

Для исследования были сформированы две группы обследуемых людей:

1) группу внутриутробно облученных составили 446 человек, облучение которых началось в период внутриутробного развития и продолжилось после рождения. Эти лица родились в период с 1950 г. по 1960 г. Период внутриутробного и раннего постнатального развития этих людей пришелся на время формирования основной части кумулятивной дозы облучения ККМ. Дозы облучения ККМ плода у обследованных располагались в ряду от 0.0001 до 357.91 мГр. Дозы от постнатального облучения ККМ располагались в диапазоне 0.0007–1905.29 мГр. Мощности дозы постнатального облучения в период максимальных воздействий достигали 0.05–500 мГр/год. Дозы на гонады родителей были сопоставимы (для отцов от 0.0002 до 29 мГр, для матерей от 0.00007 до 30 мГр). При анализе данных для внутриутробно облучен-

Таблица 1. Характеристика обследованных групп
Table 1. Characteristics of the studied groups

Возрастные группы	Группы	Всего человек	Пол		Доза на ККМ, мГр/средняя		
			жен.	муж.	внутри- утробная	пост- натальная	суммарная
Младший возраст	внутриутробно облученные	49	38	11	0–358 46	1–1582 255	2–1583 302
	постнатально облученные	47	37	10	0	2–1592 331	2–1592 331
Средний Возраст	внутриутробно облученные	192	123	69	0–358 32	0–1905 151	1–1905 184
	постнатально облученные	185	116	69	0	1–1688 183	1–1688 183
Старший Возраст	внутриутробно облученные	205	160	45	0–358 33	0–1695 158	1–1695 191
	постнатально облученные	161	122	39	0	1–1590 180	1–1590 180

ных лиц были использованы суммарные значения доз на ККМ от внутриутробного и постнатального (внутреннего и внешнего) облучения;

2) группу постнатально облученных лиц составили 393 человека, родившихся до 1949 г. и проживавших в тех же административных районах, что и лица из первой группы. Доза облучения ККМ у обследованных в этой группе людей располагалась в ряду от 0.59 до 2831 мГр. Мощности дозы в период максимальных воздействий достигали от 30 до 1100 мГр/год. При анализе данных дозы облучения ККМ были рассчитаны как суммарные от внутреннего и внешнего облучения. В эту группу были включены пациенты, которые соответствовали группе внутриутробно облученных лиц по следующим показателям: возраст на момент обследования (по трем возрастным подгруппам), пол, национальность, кумулятивная доза облучения ККМ (разница с основной группой была не более 15 мГр). Таким образом, соответствие двух выборок было максимально приближено к требованиям “случай–контроль”.

Для того чтобы исключить влияние возраста на показатели гемопоэза, мы распределили всех обследованных лиц в соответствии с возрастной периодизацией, представленной в работе [10], на три возрастные группы:

– младшая возрастная группа – подростковый и юношеский возраст – от 13 до 21 года (юноши) и от 12 до 20 лет (девушки);

– средний возраст – от 22 до 60 лет включительно (мужчины) и от 21 до 55 лет включительно (женщины);

– старший возраст – 61 год и старше (мужчины) и 56 лет и старше (женщины).

После формирования групп для исследования с учетом возраста на момент анализа периферической крови по уникальному системному номеру человека были получены усредненные данные по исследуемому показателю гемопоэза, если его оценивали более 1 раза за указанный возрастной период.

Характеристики обследованных групп облученных лиц в трех возрастных периодах представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, в юношеском возрастном диапазоне обе подгруппы включают примерно равное количество обследованных: внутриутробно облученных – 49 человек, постнатально облученных – 47 человек. Две другие группы были также сопоставимы по количеству обследованных лиц и превышали юношескую группу по численности в 3–4 раза. В старшей группе постнатально облученных лиц было обследовано на 44 человека меньше, чем в группе внутриутробно облученных. Это объясняется тем, что лиц, подвергшихся в постнатальный период развития радиационному воздействию в малых дозах, было меньше, чем индивидов, облученных в высоких дозах. Диапазон доз на ККМ у обследованных от суммарного внутриутробного и постнатального облучения составил от 1 до 1905 мГр. Примерно 60–80% обследованных во всех группах были женщины, большинство обследованных лиц были представлены следующими национальностями: русские, татары и башкиры.

Методы исследования

Клеточный состав периферической крови за весь период наблюдений с 1963 г. по 2017 г. изучали с использованием стандартных методов лабо-

Таблица 2. Показатели тромбоцитарно-эритроцитарного звена периферической крови у женщин, ($M \pm SE$)
Table 2. Parameters of thrombocytic-erythrocytic lineage of the peripheral blood in females, ($M \pm SE$)

Показатели	Младшая группа 12–20 лет		Средняя группа 21–55 лет		Старшая группа >56 лет	
	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные
Эр, $\times 10^{12}/л$	3.94 \pm 0.17	4.23 \pm 0.06	4.35 \pm 0.03 $p = 0.02$	4.23 \pm 0.03	4.66 \pm 0.03 $p = 0.0001$	4.40 \pm 0.03
Нб, г/л	124 \pm 2	122 \pm 2	127 \pm 1	127 \pm 1	139 \pm 1 $p = 0.003$	135 \pm 1
ЦП	0.90 \pm 0.01	0.87 \pm 0.02	0.88 \pm 0.01	0.90 \pm 0.01 $p = 0.007$	0.90 \pm 0.01	0.92 \pm 0.01 $p = 0.002$
Ртц, %	4.51 \pm 0.60	5.06 \pm 0.53	5.58 \pm 0.70	5.48 \pm 0.35	–	5.38 \pm 0.48
Трц, $\times 10^9/л$	263 \pm 9	280 \pm 16	265 \pm 5	257 \pm 5	250 \pm 4	253 \pm 5

Примечание. Эр. – эритроциты, Нб – гемоглобин, ЦП – цветной показатель, Ртц – ретикулоциты, Трц – тромбоциты.

ракторной диагностики, которые были приняты в лабораторной практике в конкретный период. До 1968 г. уровень гемоглобина определяли, используя гемометр Сали, а с 1969 г. в клинико-диагностических лабораториях используется унифицированный гемиглобинцианидный метод. Количество эритроцитов и лейкоцитов определяли с помощью камеры Горяева, число тромбоцитов оценивали в мазках, окрашенных по Фонию. С 1969 г. клеточный состав периферической крови оценивали на автоматических анализаторах “Celloscope”, “Пикоскел”. С 1995 г. количество лейкоцитов, тромбоцитов и содержание гемоглобина оценивают на анализаторе “Digicell-1400”. Подсчет лейкоцитарной формулы крови во все сроки проводили при микроскопическом исследовании мазков, окрашенных по методу Романовского–Гимза. Подсчет количества ретикулоцитов проводили на препаратах после суправитальной окраски бриллианткрезилблау [7, 8]. В ходе исследования [8] для унификации результатов проведен анализ данных по гемопоэзу, полученных в разное время в лаборатории с использованием различного оборудования. Для этих целей взяты данные из справочной литературы и техническая документация анализаторов. Сделано заключение о сопоставимости и преемственности методик, применяемых в клинической лаборатории УНПЦ РМ и в стране. Отметим, что в нашем исследовании при анализе данных сравнивали показатели, полученные в одной и той же лаборатории и примерно в одно и то же время для всех обследуемых одной и той же возрастной группы, что уменьшает ошибку измерения.

Методы статистической обработки данных

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программных пакетов SPSS Statistic 17.0, Excel 2010. Статистическую

значимость различий в выборках оценивали непараметрическим критерием Манна–Уитни. Для проведения корреляционного анализа зависимости исследуемых показателей от дозы облучения на ККМ использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты изучения показателей тромбоцитарного и эритроцитарного звена периферической крови обследованных групп представлены в табл. 2 и 3, а лейкоцитарного звена – в табл. 4 и 5.

Необходимо особо отметить, что выявленные среднегрупповые значения показателей периферической крови как у внутриутробно облученных, так и у постнатально облученных людей соответствуют нормальным физиологическим значениям [12].

Показатели эритроцитарного и тромбоцитарного звена периферической крови в зависимости от возраста и пола обследуемых лиц имели свои особенности (табл. 2, 3).

Как видно из табл. 2, внутриутробно облученные девушки по показателям эритроцитарного и тромбоцитарного звена не отличались от девушек, облучение которых пришлось только на постнатальный период.

У внутриутробно облученных женщин среднего и старшего возраста отмечали значимо повышенное количество эритроцитов и существенно пониженное значение цветного показателя крови относительно соответствующих показателей у постнатально облученных женщин. При этом уровень гемоглобина был значимо выше только у внутриутробно облученных женщин старшей возрастной группы.

Таблица 3. Показатели тромбоцитарно-эритроцитарного звена периферической крови у мужчин, ($M \pm SE$)
Table 3. Parameters of thrombocytic-erythrocytic lineage of the peripheral blood in males, ($M \pm SE$)

Показатели	Младшая группа 13–21 год		Средняя группа 22–60 лет		Старшая группа > 61 года	
	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные
Эр., $\times 10^{12}/л$	4.68 \pm 0.17	4.42 \pm 0.06	4.94 \pm 0.04 $p = 0.0001$	4.58 \pm 0.05	5.09 \pm 0.06 $p = 0.001$	4.62 \pm 0.06
Нб, г/л	137.27 \pm 5.90 $p = 0.038$	120.15 \pm 5.49	149.54 \pm 1.39 $p = 0.009$	143.11 \pm 1.65	155.00 \pm 1.53 $p = 0.001$	141.49 \pm 1.98
ЦП	0.88 \pm 0.02	0.82 \pm 0.04	0.91 \pm 0.01	0.95 \pm 0.01 $p = 0.01$	0.91 \pm 0.01	0.92 \pm 0.01
Ртц, %	3.93 \pm 0.49	6.20 \pm 2.08	5.08 \pm 0.60	4.55 \pm 2.30	–	5.00 \pm 0.90
Трц, $\times 10^9/л$	267.71 \pm 24.17	260.78 \pm 17.28	240.16 \pm 5.69	266.12 \pm 6.56 $p = 0.004$	231.00 \pm 6.80	234.00 \pm 9.30

Примечание. Эр. – эритроциты, Нб – гемоглобин, ЦП – цветной показатель, Ртц – ретикулоциты, Трц – тромбоциты.

Таблица 4. Показатели лейкоцитарного звена периферической крови у женщин, ($M \pm SE$)
Table 4. Parameters of the leukocytic lineage of the peripheral blood in females, ($M \pm SE$)

Показатели	Младшая группа 12–20 лет		Средняя группа 21–55 лет		Старшая группа >56 лет	
	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные
Лейкоциты, $10^9/л$	6.80 \pm 0.26	7.23 \pm 0.31	6.37 \pm 0.13	6.37 \pm 0.13	6.09 \pm 0.10	6.19 \pm 0.14
Нейтрофилы, сегмен., %	51.14 \pm 1.52 $p = 0.03$	44.94 \pm 1.17	56.00 \pm 0.63 $p = 0.0001$	52.00 \pm 0.81	52.00 \pm 0.60	57.00 \pm 0.66 $p = 0.0001$
Нейтрофилы, сегмен., $\times 10^9/л$	3.48 \pm 0.21 $p = 0.003$	3.28 \pm 0.18	3.56 \pm 0.09 $p = 0.026$	3.30 \pm 0.09	3.17 \pm 0.07	3.55 \pm 0.10 $p = 0.003$
Нейтрофилы, палоч., %	4.14 \pm 0.59	5.72 \pm 0.41 $p = 0.001$	3.90 \pm 0.27	4.10 \pm 0.23	0.69 \pm 0.11	3.43 \pm 0.20 $p = 0.0001$
Нейтрофилы, палоч., $10^9/л$	0.27 \pm 0.04	0.41 \pm 0.03 $p = 0.001$	0.26 \pm 0.03	0.27 \pm 0.02	0.04 \pm 0.007	0.22 \pm 0.01 $p = 0.0001$
Лимфоциты, %	33.17 \pm 1.17	37.03 \pm 1.28 $p = 0.045$	33.00 \pm 0.59	35.17 \pm 0.72 $p = 0.02$	35.11 \pm 0.58 $p = 0.04$	33.20 \pm 0.64
Лимфоциты, $\times 10^9/л$	2.20 \pm 0.10	2.66 \pm 0.16 $p = 0.024$	2.06 \pm 0.05	2.22 \pm 0.06	2.13 \pm 0.05	2.05 \pm 0.06
Моноциты, %	7.31 \pm 0.55	8.01 \pm 0.40	4.88 \pm 0.17	6.05 \pm 0.23 $p = 0.0001$	7.66 \pm 0.17 $p = 0.0001$	4.49 \pm 0.24
Моноциты, $\times 10^9/л$	0.48 \pm 0.04	0.57 \pm 0.03 $p = 0.048$	0.31 \pm 0.01	0.38 \pm 0.02 $p = 0.0001$	0.46 \pm 0.01 $p = 0.0001$	0.28 \pm 0.02
Эозинофилы, %	3.80 \pm 0.45	3.68 \pm 0.40	2.50 \pm 0.18	2.62 \pm 0.17	3.23 \pm 0.14 $p = 0.0001$	1.91 \pm 0.13
Эозинофилы, $\times 10^9/л$	0.24 \pm 0.03	0.26 \pm 0.03	0.15 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	0.19 \pm 0.009 $p = 0.0001$	0.12 \pm 0.008
Базофилы, %	0.51 \pm 0.13	0.49 \pm 0.11	0.34 \pm 0.04	0.30 \pm 0.04	1.51 \pm 0.06 $p = 0.0001$	0.21 \pm 0.04
Базофилы, $\times 10^9/л$	0.04 \pm 0.01	0.03 \pm 0.007	0.021 \pm 0.0003 $p = 0.05$	0.018 \pm 0.002	0.09 \pm 0.004 $p = 0.0001$	0.014 \pm 0.003

Таблица 5. Показатели лейкоцитарного звена периферической крови у мужчин, ($M \pm SE$)
Table 5. Parameters of the leukocytic lineage of the peripheral blood in males, ($M \pm SE$)

Показатели	Младшая группа 13–21 год		Средняя группа 22–60 лет		Старшая группа >61 года	
	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные	внутриутробно облученные	постнатально облученные
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	6.42 ± 0.44	7.1 ± 0.24	6.94 ± 0.20	7.00 ± 0.18	7.36 ± 0.24 <i>p</i> = 0.015	6.5 ± 0.32
Нейтрофилы, сегмен., %	54.27 ± 1.90	46.08 ± 2.62	57.00 ± 0.94	54.26 ± 0.94	54.33 ± 1.01	57.46 ± 1.05 <i>p</i> = 0.042
Нейтрофилы, сегмен., $\times 10^9/\text{л}$	3.47 ± 0.25	3.27 ± 0.21	3.94 ± 0.15	3.80 ± 0.13	4.00 ± 0.15	3.78 ± 0.21
Нейтрофилы, палоч., %	2.00 ± 0.43	5.50 ± 0.70 <i>p</i> = 0.002	2.31 ± 0.22	4.06 ± 0.29 <i>p</i> = 0.0001	0.13 ± 0.06	3.62 ± 0.36 <i>p</i> = 0.0001
Нейтрофилы, палоч., $10^9/\text{л}$	0.13 ± 0.03	0.39 ± 0.06 <i>p</i> = 0.001	0.16 ± 0.02	0.28 ± 0.02 <i>p</i> = 0.0001	0.01 ± 0.005	0.24 ± 0.03 <i>p</i> = 0.0001
Лимфоциты, %	32.09 ± 1.76	34.48 ± 2.31	31.51 ± 0.73	32.54 ± 0.80	32.40 ± 0.86	31.69 ± 0.96
Лимфоциты, $\times 10^9/\text{л}$	2.07 ± 0.19	2.44 ± 0.16	2.15 ± 0.07	2.25 ± 0.61	2.39 ± 0.11 <i>p</i> = 0.031	2.05 ± 0.11
Моноциты, %	8.18 ± 1.10	8.73 ± 0.83	6.28 ± 0.31	6.04 ± 0.26	8.27 ± 10.29 <i>p</i> = 0.0001	4.54 ± 0.42
Моноциты, $\times 10^9/\text{л}$	0.52 ± 0.07	0.63 ± 0.07	0.44 ± 0.02	0.42 ± 0.02	0.61 ± 0.03 <i>p</i> = 0.0001	0.30 ± 0.03
Эозинофилы, %	3.00 ± 0.60	4.58 ± 0.82	2.64 ± 0.25	2.89 ± 0.24	3.49 ± 0.27 <i>p</i> = 0.0001	2.51 ± 0.33
Эозинофилы, $\times 10^9/\text{л}$	0.20 ± 0.04	0.33 ± 0.07	0.18 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.25 ± 0.02 <i>p</i> = 0.0001	0.17 ± 0.02
Базофилы, %	0.41 ± 0.13	0.40 ± 0.15	0.70 ± 0.07 <i>p</i> = 0.0001	0.17 ± 0.05	1.37 ± 0.07 <i>p</i> = 0.0001	0.21 ± 0.06
Базофилы, $\times 10^9/\text{л}$	0.02 ± 0.007	0.03 ± 0.01	0.05 ± 0.005 <i>p</i> = 0.0001	0.012 ± 0.003	0.10 ± 0.005 <i>p</i> = 0.0001	0.018 ± 0.006

У внутриутробно облученных юношей среди всех показателей эритроцитарного и тромбоцитарного звена было отмечено только значимое повышение уровня гемоглобина относительно контрольной группы (табл. 3). У внутриутробно облученных мужчин среднего и старшего возраста были повышены уровни эритроцитов и гемоглобина. Кроме этого, для внутриутробно облученных мужчин средней возрастной группы было показано более низкое значение цветного показателя крови, а также у них было снижено количество тромбоцитов по сравнению с таковым показателем у постнатально облученных мужчин.

Таким образом, различия в показателях тромбоцитов и эритроцитов между сравниваемыми группами преимущественно были отмечены в средней и старшей возрастной группах. Наиболее изменчивым оказались количество эритроцитов, уровень гемоглобина и цветной показатель крови. Обращает на себя внимание, что у внутриутробно облученных мужчин всех возрастов уровень гемоглобина был выше, чем в группе сравнения.

Анализ лейкоцитарного звена периферической крови у обследуемых (табл. 4 и 5) обнаружил разнонаправленные изменения показателей клеточного состава белой крови в зависимости от по-

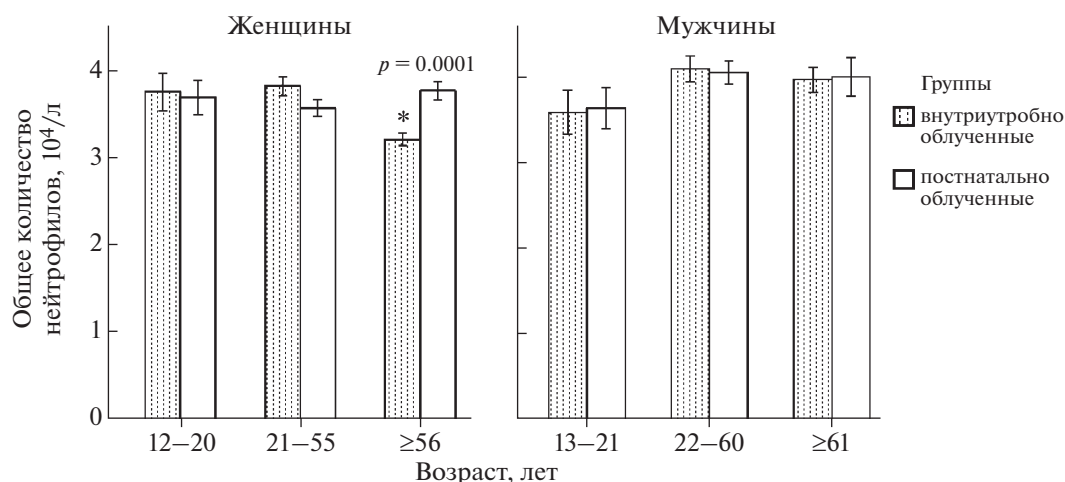


Рис. 1. Общее количество нейтрофилов у облученных людей (среднее и ошибка среднего).

Fig. 1. Total number of neutrophils in exposed persons (mean and SE).

ла и возраста. Например, общее количество лейкоцитов не отличалось между внутриутробно и постнатально облученными женщинами во всех возрастных диапазонах, но при оценке клеточности отдельных ростков наблюдались различия (табл. 4).

Так, у девушек в младшей возрастной группе статистически значимые изменения были отмечены в ростках нейтрофилов, лимфоцитов и моноцитов. У внутриутробно облученных девушек относительное и абсолютное значение сегментоядерных нейтрофилов было выше, а палочкоядерных нейтрофилов ниже по сравнению с такими показателями у постнатально облученных девушек. Абсолютное и относительное количество лимфоцитов, а также абсолютное значение количества моноцитов у внутриутробно облученных девушек было статистически значимо ниже, чем аналогичные показатели в группе сравнения.

У женщин в средней возрастной группе статистически значимые отличия были получены для таких клеточных ростков, как нейтрофилы, лимфоциты, моноциты и базофилы. У внутриутробно облученных женщин относительное и абсолютное количество сегментоядерных нейтрофилов, а также абсолютное значение количества базофилов значимо превышали рассматриваемые показатели у постнатально облученных женщин. Относительное количество лимфоцитов, относительное и абсолютное количество моноцитов было значимо ниже у внутриутробно облученных женщин по отношению к группе сравнения.

Между двумя группами обследованных женщин старшего возраста выявлены статистически значимые различия в отношении всех изученных клеточных ростков. У внутриутробно облученных женщин были снижены относительное и абсо-

лютное количество сегментоядерных и палочкоядерных нейтрофилов, но при этом повышены относительные и абсолютные показатели моноцитов, эозинофилов, базофилов и относительное количество лимфоцитов по сравнению с постнатально облученными женщинами.

На рис. 1 показано общее количество нейтрофилов у внутриутробно и постнатально облученных лиц. Обращает на себя внимание, что у внутриутробно облученных женщин старшей возрастной группы количество нейтрофилов значительно снижено по сравнению с постнатально облученными женщинами того же возраста ($3.21 \pm 0.07 \times 10^9/\text{л}$ против $3.77 \pm 0.1 \times 10^9/\text{л}$, при $p = 0.0001$).

Результаты анализа показателей лейкоцитарного звена у мужчин отражены в табл. 5. В младшей возрастной группе у внутриутробно облученных юношей было значимо снижено количество палочкоядерных нейтрофилов по сравнению с постнатально облученными юношами.

Для средней возрастной категории различия между обследованными группами лиц отмечены по абсолютному и относительному количеству палочкоядерных нейтрофилов и базофилов. У внутриутробно облученных мужчин количество палочкоядерных нейтрофилов было ниже, а базофилов выше, чем в группе сравнения.

Стоит отметить, что у мужчин старшего возраста, как и у женщин данного возрастного диапазона, наблюдалось наибольшее количество отличий по показателям белой крови среди всех клеточных ростков. У внутриутробно облученных мужчин этой возрастной категории общее количество лейкоцитов было значимо выше, чем такое в группе сравнения. При рассмотрении отдельных клеточных ростков в группе внутриутробно облученных мужчин по сравнению с

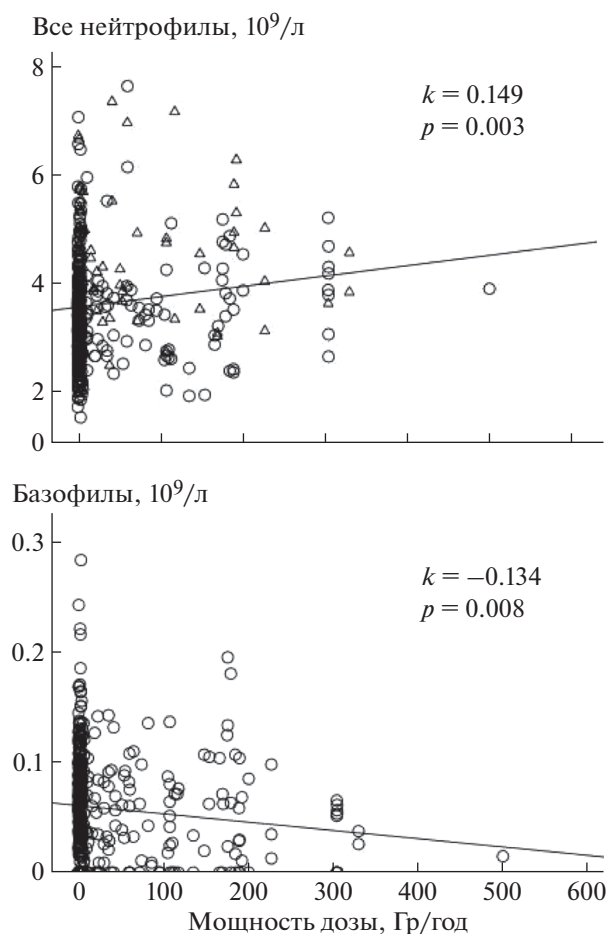


Рис. 2. Графики зависимости абсолютных значений всех нейтрофилов и базофилов от мощности дозы ККМ у всех обследованных.

Fig. 2. Graphs of the absolute number of all neutrophils and basophils dependency on dose rate to RBM in all the studied individuals.

группой сравнения отмечено понижение относительного количества сегментоядерных нейтрофилов, относительного и абсолютного количества палочкоядерных нейтрофилов, но при этом повышены уровни моноцитов, эозинофилов, базофилов, а также абсолютное количество лимфоцитов.

В группе внутриутробно облученных лиц при исследовании зависимости клеточных параметров гемопоэза от мощности дозы на максимальный период воздействия были выявлены слабые корреляционные связи для общего количества лейкоцитов ($k = 0.143$; $p = 0.004$), абсолютного и относительного количества палочкоядерных нейтрофилов ($k = 0.201$; $p = 0.0001$ и $k = 0.190$; $p = 0.0001$ соответственно), абсолютного количества сегментоядерных нейтрофилов ($k = 0.126$; $p = 0.013$), абсолютного и относительного количества базофилов ($k = -0.134$; $p = 0.008$ и $k = -0.193$; $p = 0.0001$ соответственно). На рис. 2 представле-

ны графики зависимости абсолютных значений уровня всех нейтрофилов и базофилов от мощности дозы ККМ. Видно, что с ростом дозы возрастает число нейтрофилов и снижается количество базофилов.

Таким образом, при оценке лейкоцитарного звена периферической крови у внутриутробно и постнатально облученных лиц были выявлены разносторонние изменения для показателей клеточных ростков. Обращает на себя внимание, что у мужчин и женщин старшего возраста, начавшихся облучаться внутриутробно, отличия от группы сравнения отмечены в отношении всех клеточных ростков. Причем показатели сегментоядерных и палочкоядерных нейтрофилов были ниже, а лимфоцитов, моноцитов, эозинофилов и базофилов – выше.

ОБСУЖДЕНИЕ

Внутриутробный период развития организма человека состоит из нескольких стадий, которые сами по себе отличаются по радиочувствительности. Помимо размножения, роста и развития в этот период клетки эмбриона претерпевают дифференцировку, формируя ткани, и устанавливают сложнейшие связи между собой. Влияние ионизирующего излучения в этот период онтогенеза человека может рассматриваться как существенный модифицирующий фактор, приводящий к накоплению мутаций, нестабильности генома и изменению динамики гемопоэза и т.д. даже в отдаленные сроки в постнатальном периоде.

Целью настоящего исследования было проанализировать клеточные показатели гемопоэза у жителей Южного Урала, хроническое облучение которых началось во внутриутробном периоде и продолжилось постнатально. Для достижения цели было сформировано две группы лиц из жителей прибрежных сел р. Теча, для которых имелись данные показателей гемопоэза за несколько десятилетий работы клинической лаборатории ФИБ-4 (впоследствии УНПЦ РМ ФМБА России). Первую группу составили лица, облучение которых началось внутриутробно (включая гонады одного из родителей или обоих) и продолжилось постнатально. К настоящему времени эти лица достигли 60-летнего возраста, что позволило сравнить их показатели клеточного состава крови с группой лиц, облучение которых затронуло только постнатальный период (вторая группа обследуемых лиц или группа сравнения). Для того чтобы учесть влияние возраста на показатели крови, данные анализировали в трех возрастных группах – младшая, средняя и старшая, поскольку известно, что показатели гемопоэза варьируют в зависимости от возраста. Развитие дозиметрической системы TRDS-2016 позволило использовать уточненные индивидуальные дозы облучения для

внутриутробно облученных лиц, что сделало возможным сформировать группу сравнения из постнатально облученных индивидов максимально приближенно к требованиям дизайна исследования “случай—контроль”.

Клеточный состав периферической крови у облученных жителей прибрежных сел р. Теча, которые постнатально подвергались облучению в 1950–1956 гг., изучали ранее в динамике в течение длительного времени: сначала в период максимального радиационного воздействия, затем в период восстановления гемопоэза и в отдаленные сроки после радиационного воздействия. Среди обследованных лиц внутриутробно облученных индивидов не выделяли в отдельную группу и возрастной периодизации не проводили. Полученные результаты ранних исследований отражены в публикациях [6–8]. При изучении эритроцитарного звена у облученных жителей р. Теча за период 1951–2001 гг. было показано, что количество эритроцитов в периферической крови находилось в пределах нормы и не отличалось от контрольных значений за весь период наблюдений [7]. Такое постоянство можно объяснить тем, что поддержание гомеостаза эритропоэза в организме является приоритетным, поскольку обеспечивает критически важную функцию организма — тканевое дыхание. И поэтому организм стремится поддерживать именно эту ветвь гемопоэза, ослабляя, возможно, количественный состав тромбоцитов и лейкоцитов.

Что касается исследования группы внутриутробно облученных лиц, то в данной работе нами выявлено повышение числа эритроцитов в средней и старшей возрастной группе относительно группы сравнения в отдаленные сроки от начала облучения. У внутриутробно облученных мужчин всех возрастных групп и женщин старшего возраста был значимо повышен уровень гемоглобина. При этом цветной показатель крови, который соответствует среднему содержанию гемоглобина в эритроците, у внутриутробно облученных женщин среднего и старшего возраста и у мужчин среднего возраста был ниже, чем в группе сравнения. Эти данные косвенно могут указывать на то, что у внутриутробно облученных лиц старшего возраста в периферической крови достаточное количество гемоглобина достигается за счет большего количества клеток-эритроцитов. У постнатально облученных лиц количество эритроцитов было меньше, но при этом регистрировали более высокое содержание гемоглобина на один эритроцит. В этой связи интерес представляют результаты обследования детей 5–12 лет, подвергшихся облучению в утробе матери при бомбардировке г. Хиросимы и г. Нагасаки [13]. Так, показатели эритроцитов и гемоглобина в периферической крови обследуемых находились на уровне соответствующих показателей в популяциях амери-

канских и европейских детей, что было неожиданным для авторов, предполагавших увеличение количества случаев анемий.

Многолетнее воздействие низкоинтенсивного ионизирующего излучения на жителей прибрежных сел р. Теча в большей степени отразилось на показателях лейкоцитов и тромбоцитов периферической крови. Наиболее выраженные изменения кроветворения отмечались в 1951–1953 гг., когда мощность дозы облучения ККМ достигала до 0,5 Гр/год. В это время выявили снижение числа лимфоцитов, нейтрофилов, моноцитов, базофилов и тромбоцитов у значительной части облученных людей. В 1954–1956 гг. произошло снижение мощности дозы облучения (мощность дозы достигала 0,1 Гр/год) и в периферической крови наблюдалась тенденция к восстановлению уровня лейкоцитов. Сначала происходило восстановление численности лимфоцитов и тромбоцитов. Так, начиная с 1961 г. средние значения показателей и количество лиц с лимфопениями и тромбоцитопениями не отличались от контрольных значений. Наиболее длительный период восстановления был характерен для нейтрофилов. Минимальный уровень нейтрофилов отмечался в 1956–1960 гг., а с 1976 г. частота нейтропений не превышала таковую в группе сравнения [7].

В нашем исследовании, которое затрагивает периоды наблюдений начиная с 1960-х годов, при анализе показателей лейкоцитарного звена у внутриутробно облученных мужчин старшего возраста было отмечено значимое повышение общего количества лейкоцитов, по сравнению с индивидами, подвергшимися воздействию радиации в постнатальный период онтогенеза (7.36 ± 0.24 и 6.5 ± 0.32 , $p = 0.015$). В младшей и средней возрастной группах отклонения показателей носили разнонаправленный характер. Так, у внутриутробно облученных женщин в этих возрастных группах отмечено значимое увеличение количества сегментоядерных нейтрофилов. А у внутриутробно облученных юношей и мужчин средней возрастной группы не выявили существенных отличий уровня сегментоядерных нейтрофилов, а вот количество палочкоядерных нейтрофилов у них было значимо снижено. В старшей возрастной группе у внутриутробно облученных женщин и мужчин были отмечены схожие тенденции, а именно в этих группах были пониженные показатели нейтрофилов, а показатели остальных лейкоцитарных ростков значимо повышены относительно группы сравнения.

В группе внутриутробно облученных лиц общее количество лейкоцитов слабо коррелировало (положительно) с мощностью дозы на ККМ. Повышение количества белых кровяных клеток было преимущественно вызвано увеличением числа нейтрофилов. Вместе с тем нами отмечено, что с

возрастанием мощности дозы ККМ несколько снижалось число базофилов.

Подобные неоднозначные результаты были получены при обследовании лиц, переживших атомную бомбардировку в г. Хиросиме и г. Нагасаки. У внутриутробно облученных японцев через 5–12 лет после радиационного воздействия средний уровень общего количества лейкоцитов постепенно снижался, и основной вклад внесло падение уровня эозинофилов, что не было связано с заражением паразитарными инфекциями. Подобное снижение лейкоцитов было отмечено и для облученных взрослых японцев, обследованных в 1957 г. [13]. В исследовании [14] через 10 лет после бомбардировки у одной части пациентов зарегистрированы случаи снижения количества гранулоцитов и повышенные уровни лимфоцитов, у других индивидов наблюдалось увеличение числа эозинофилов, не связанное с паразитарной инфекцией.

Очевидно, что широкие функциональные возможности гранулоцитов компенсируют снижение показателей нейтрофилов увеличением количества других типов клеток (эозинофилов и базофилов), или наоборот, в разных возрастных группах внутриутробно облученных лиц.

В работах [15, 16] отмечено, что Т-лимфоциты способны усиливать регенерацию тканей различных органов (кровенворную в том числе), например, Т-лимфоциты предположительно могут участвовать в активации эритропоэза в эритробластических островках костного мозга. В качестве рабочей гипотезы можно предположить, что у внутриутробно облученных лиц в старшей и средней возрастных группах увеличение количества эритроцитов может быть опосредовано активной стимуляцией эритропоэза Т-лимфоцитами.

Таким образом, в отдаленные сроки при изучении клеточных показателей периферической крови у жителей Южного Урала, облучение которых началось во внутриутробном периоде и продолжилось постнатально, в диапазоне доз облучения ККМ от 1 до 1905 мГр, не выявили критических изменений гемопоэза по сравнению с группой лиц, облучение у которых началось только в постнатальном периоде. Все отмеченные изменения могут носить компенсаторный характер.

ВЫВОДЫ

1. При исследовании клеточных показателей гемопоэза в отдаленные сроки у лиц, подвергшихся хроническому облучению на Южном Урале, во всех возрастных группах среднегрупповые значения распределены в диапазоне нормальных значений.

2. Различия тромбоцитарного и эритроцитарного звена между внутриутробно и постнатально

облученными лицами преимущественно были отмечены в средней и старшей возрастных группах. Наиболее изменчивы были количество эритроцитов, уровень гемоглобина и цветной показатель крови.

3. В ходе анализа лейкоцитарного звена периферической крови у внутриутробно облученных лиц были выявлены разносторонние изменения. У внутриутробно облученных лиц старшего возраста изменения отмечены во всех клеточных ростках: уровни сегментоядерных и палочкоядерных нейтрофилов были ниже, а лимфоцитов, моноцитов, эозинофилов и базофилов выше, чем в группе сравнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнова О.А.* Радиация и организм млекопитающих. Модельный подход. Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. 224 с. [*Smirnova O.A.* Radiation and the body of mammals. Model approach. Moscow, Izhevsk: Regular and chaotic dynamics, Izhevsk Institute for Computer Research, 2006. 224 p. (In Russian)]
2. *Barber R.C., Hardwick R.J., Shanks M.E. et al.* The effects of in utero irradiation on mutation induction and transgenerational instability in mice // *Mutat. Res.* 2009. № 664. P. 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2009.01.011>
3. *Preston D.L., Cullings H., Suyama A. et al.* Solid cancer incidence in atomic bomb survivors exposed in utero or as young children // *J. Nat. Cancer Inst.* 2008. V. 100. № 6. P. 428–436. <https://doi.org/10.1093/jnci/djn045>
4. *Boice J.D. Jr., Miller R.W.* Childhood and adult cancer after intrauterine exposure to ionizing radiation // *Teratology.* 1999. V. 59. № 4. P. 227–233. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9926\(199904\)59:4<227::AID-TERA7>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9926(199904)59:4<227::AID-TERA7>3.0.CO;2-E)
5. Последствия радиоактивного загрязнения реки Течи / Под ред. проф. А.В. Аклеева. Челябинск: Книга, 2016. 400 с. [Consequences of radioactive contamination of the Techa river / Ed. Prof. A.V. Akleev. Chelyabinsk: The Book, 2016. 400 p. (In Russian)]
6. *Аклеев А.В., Акушевич И.В., Димов Г.П. и др.* Реакции кроветворной системы на хроническое облучение у жителей прибрежных сел реки Течи // *Мед. радиология и радиац. безопасность.* 2011. Т. 56. № 5. С. 10–20. [*Akleyev A.V., Akushevich I.V., Dimov G.P. et al.* Hemopoietic System Reactions of Residents Chronically Exposed to Ionizing Radiation in the Techa River Catchment Area // *Medical radiology and radiation safety.* 2011. V. 56. № 5. P. 10–20. (In Russian)]
7. *Аклеев А.В., Варфоломеева Т.А.* Состояние гемопоэза в условиях многолетнего облучения костного мозга у жителей прибрежных сел р. Теча // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2007. Т. 47. № 3. С. 307–321. [*Akleyev A.V., Varfolomeyeva T.A.* The State of Hemopoiesis under Conditions of Long-Term Bone Marrow Exposure in Residents of the Techa Riverside Vil-

- lages // *Radiation Biology. Radioecology*. 2007. V. 47. № 3. P. 307–321. (In Russian)]
8. *Варфоломеева Т.А.* Закономерности восстановления кроветворной функции у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию: Дис. ... канд. биол. наук. Челябинск: ФГБУН УНПЦ РМ, 2006. С. 55. [*Varfolomeeva T.A.* Zakonomernosti vosstanovleniya krovetvornoj funkcii u lic, podverghshisya hronicheskomu radiacionnomu vozdeystviyu: Dis. ... kand. boil. nauk. Chelyabinsk: FGBUN UNPC RM, 2006. P. 55. (In Russian)]
 9. *Дегтева М.О., Толстых Е.И., Шагина Н.Б., и др.* Глава 3: Дозы облучения населения, проживавшего на реке Тече // Последствия радиоактивного загрязнения реки Теча / Под ред. проф. А.В. Аклеева. Челябинск, 2016. 400 с. [*Degteva M.O., Tolstoy E.I., Shagina N.B. et al.* Chapter 3 Doses to the population living on the Techa River // Consequences of radioactive contamination of the Techa River / Ed. Prof. A.V. Akleev. Chelyabinsk, 2016. P. 400. (In Russian)]
 10. Материалы Седьмой научной конференции по вопросам возрастной морфологии, физиологии и биохимии (Москва, апрель 1965 г.). М.: НИИ возрастной физиологии и физ. Воспитания. АПН РСФСР, 1965. 522 с. [*Materialy Sed'moj nauchnoj konferencii po voprosam vozrastnoj morfologii, fiziologii i biokhimii*. (Moskva, aprel' 1965 g.). М.: Nauch.-issled. In-t vozrastnoj fiziologii i fiz. Vospitaniya. Akad. Ped. Nauk RSFSR. 1965. 522 p. (In Russian)]
 11. *Гланц С.* Медико-биологическая статистика: Пер. с англ. М., Практика, 1998. 459 с. [*Glanc S.* Medikobioologicheskaya statistika: Per. s angl. М.: Praktika, 1998. 459 s. (In Russian)]
 12. *Ингерлейб М.Б.* Медицинские анализы: диагностический справочник: Сер. Современная медицина. Полный справочник. М.: Эксмо, 2012. [*Ingerlejb M.B.* Medicinskie analizy: diagnosticheskij spravochnik: Ser. Sovremennaya medicina. Polnyj spravochnik. М.: Eksmo, 2012. (In Russian)]
 13. *Takamura T., Ueda S.* Hematologic finding in children exposed to A-bomb radiation in utero in Hiroshima // *Blood*. 1961. № 17. P. 728–737.
 14. *Igarashi T., Ito S., Uasegawa M., Mikata I.* Hematological observation of atomic bomb survivors living in Tokyo about ten years after atomic bomb explosions in Hiroshima and Nagasaki // *Keio J. Medicine*. 1957. V. 6. № 3.
 15. *Захаров Ю.М., Фекличева И.В.* О влиянии эритропоэтина и Т-лимфоцитов на эритропоэз в культуре эритробластических островков костного мозга полицитемических крыс // Вестн. Уральской мед. акад. науки. 2009. № 1. 81–84 с. [*Zakharov Y.M., Feklicheva I.V.* On influencing T-cells on erythropoiesis in culture of erythroblastic islands of polycythemic rets bone marrow // *J. Ural medical academic science*. 2009. № 1. P. 81–84. (In Russian)]
 16. *Захаров Ю.М., Мельников И.Ю., Тишевская Н.В. и др.* Исследование роли межклеточных взаимодействий в регуляции эритропоэза в эритробластических островках костного мозга // Вест. Уральской мед. акад. науки. 2015. № 4. С. 59–62. [*Zakharov Y.M., Melnikov I.Y., Tishevskaya N.V., Sheviakov S.A.* The role of cell-cell interactions investigation in regulation of erythropoiesis in bone marrow erythroblastic islands // *J. Ural medical academic science*. 2015. № 4. P. 59–62. (In Russian)]

Peripheral Blood Cell Composition in the In-Utero Exposed Techa River Residents

A. V. Vozilova^{a, #}, J. R. Akhmadullina^{a, b}, V. P. Pushkarev^a, I. V. Krivoschapova^a, and A. V. Akleyev^{a, b}

^a *Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal Medical-Biological Agency of Russia, Chelyabinsk, Russia*

^b *Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia*

[#] *E-mail: vozilova@urcrm.ru*

The results of the study of the peripheral blood cell composition in the in-utero exposed Techa River residents (Chelyabinsk Oblast), whose exposure began in-utero and continued postnatally, are presented. The study was conducted long time after the onset of radiation exposure (1963–2017). Total in-utero and postnatal exposure doses to red bone marrow (RBM) varied within the range 1–1.905 mGy. The comparison group was composed of persons residing in the same administrative territories but these people were exposed only postnatally. The parameters of erythrocyte, thrombocyte, and leukocyte lineage were studied according to age periodization. Average-group values of peripheral blood parameters both in the groups of in-utero and postnatally exposed persons corresponded with normal values of physiological parameters. The differences of thrombocyte and erythrocyte lineage among exposed persons were mainly noted in the groups of middle-aged and old individuals under study. The most changeable happened to be the erythrocyte number, hemoglobin level and colour index of blood. The hemoglobin level was higher in the in-utero exposed men of all ages than that in the comparison group members. When assessing the leukocyte compartment of the peripheral blood in in-utero and postnatally exposed persons, various changes were detected in different cell lineages. Differences from the parameter values in the comparison group members were noted in all cell lineages in the studied men and women of old age. Neutrophil parameters were lower, whereas lymphocyte, monocyte, eosinophil, and basophil parameters were higher than those in the comparison group.

Keywords: in-utero exposed persons, hematopoiesis, bone marrow, leucocytes, lymphocytes, peripheral blood, the Techa River, neutrophils, erythrocytes, thrombocytes