

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-29-33>
УДК 614.4-008.8:616.037:616.001.2

Оригинальная статья
© ФМБЦ им.А.И.Бурназяна

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИМФОЦИТАРНОГО ТЕСТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ОСТРОГО ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ

А.О.Лебедев¹, А.С.Самойлов¹, В.Ю.Соловьёв¹, Н.Н.Баранова^{1,2}, Е.А.Гудков¹

¹ ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия
² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Резюме. Одним из методов биологической дозиметрии является использование информации о концентрации лимфоцитов в периферической крови пострадавших в первые дни после облучения.

Цель исследования – валидация метода лимфоцитарного теста для прогнозирования степени тяжести острого лучевого поражения с учётом фактора мощности дозы.

Материалы и методы исследования. Метод исследования – корреляционный анализ клинико-дозиметрических и лабораторных данных пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС – ЧАЭС в 1986 г. (n=65) и при радиационных авариях с гамма-нейтронным облучением (n=19). Данные взяты из базы данных по острым лучевым поражениям человека Федерального медицинского биофизического центра им. А.И.Бурназяна ФМБА России.

Результаты исследования и их анализ. По результатам корреляционного анализа установлено, что при средней концентрации лимфоцитов в диапазоне $0,4-0,8 \times 10^9/\text{л}$ на 3-и – 6-е сутки после облучения при мощности дозы более 2 Гр/ч в среднем оценка дозы оказывается выше на 40,0%, чем для мощности дозы менее 2 Гр/ч. Абсолютная погрешность оценки дозы – ($\pm 1,0-1,5$) Гр. При концентрации лимфоцитов более $0,8 \times 10^9/\text{л}$ прогноз оказывается неопределённым: диапазон варибельности оценки дозы – 1–4 Гр. При концентрации лимфоцитов менее $0,4 \times 10^9/\text{л}$ средняя оценка дозы составляет более 4,0 Гр, что соответствует тяжелой или крайне тяжелой степени тяжести острой лучевой болезни (ОЛБ). Прогнозируемая степень тяжести лучевого поражения при наличии нейтронной компоненты излучения оказывается ниже по сравнению с прогнозом, основанным на данных о пострадавших при аварии на ЧАЭС. Сделаны выводы: выявленные зависимости можно использовать для медицинской сортировки пострадавших на передовых этапах медицинской эвакуации; в целях корректной маршрутизации медицинской эвакуации в специализированные центры целесообразно выделять 4 лечебно-эвакуационные группы.

Ключевые слова: дозиметрия, лечебно-эвакуационные группы, лимфоцитарный тест, маршрутизация, медицинская сортировка, медицинская эвакуация, прогнозирование, радиационные аварии, степень тяжести лучевого поражения, чрезвычайные ситуации

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Лебедев А.О., Самойлов А.С., Соловьёв В.Ю., Баранова Н.Н., Гудков Е.А. Особенности использования лимфоцитарного теста для прогнозирования степени тяжести острого лучевого поражения // Медицина катастроф. 2021. №3. С. 29-33. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-29-33>

<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-29-33>
UDC 614.4-008.8:616.037:616.001.2

Original article
© Burnasyan FMBC FMBA

PECULIARITIES OF USING LYMPHOCYTE TEST TO PREDICT THE SEVERITY OF ACUTE RADIATION INJURY

A.O.Lebedev¹, A.S.Samoylov¹, V.Yu.Solovyev¹, N.N.Baranova^{1,2}, E.A.Gudkov¹

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Abstract. One of the methods of biological dosimetry is the use of information on the concentration of lymphocytes in the peripheral blood of victims in the first days after irradiation.

The aim of the study was to validate the lymphocyte test method for predicting the severity of acute radiation injury, taking into account the dose rate factor.

Materials and research methods. The method of investigation was a correlational analysis of clinical, dosimetric and laboratory data of the victims of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986 (n=65) and in radiation accidents with gamma-neutron irradiation (n=19). The data were taken from the database of acute radiation injuries in humans of A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia.

Results of the study and their analysis. The results of correlation analysis indicated that average lymphocyte concentration in the range of $0.4-0.8 \times 10^9/\text{l}$ on day 3-6 post-irradiation with dose rates greater than 2 Gy/h resulted in an average dose estimate

which was 40.0% higher than that for dose rates of less than 2 Gy/h. Absolute error of dose estimation is ($\pm 1.0-1.5$) Gy. For lymphocyte concentrations higher than $0.8 \times 10^9/l$ the prognosis is uncertain: the range of dose assessment variability is 1-4 Gy. At a lymphocyte concentration of less than $0.4 \times 10^9/l$ the average dose estimate is more than 4.0 Gy, corresponding to a severe or extremely severe degree of acute radiation disease. The predicted degree of severity of radiation injuries in the presence of the neutron component of radiation is lower in comparison with the predictions based on the data on the victims of the Chernobyl accident. It is concluded that the identified dependencies can be used for medical triage of the victims at advanced stages of medical evacuation. For the purpose of correct routing of medical evacuation to specialized centers, it is advisable to allocate 4 treatment-evacuation groups.

Key words: acute radiation syndrome, disaster, dosimetry, emergency situation, lymphocyte tests, triage

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Lebedev A.O., Samoylov A.S., Solovyev, V.Yu. Baranova N.N., Gudkov E.A. Medical Examinations and Psychophysiological Tests of Nuclear Industry Personnel as a Tool for Prevention of Radiation Accidents. *Meditsina katastrof* = Disaster Medicine. 2021;3:29-33 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2021-3-29-33>

Контактная информация:

Лебедев Артём Олегович – младший научный сотрудник отдела № 7

Адрес: Россия, 420012, г. Москва, ул. Живописная, д. 46.

Тел.: +7 (925) 072-60-89

E-mail: aolebedev@fmbcfmba.ru

Contact information:

Artem O. Lebedev – Jun. Res. Ass. of the Department No. 7

Address: 46, Zhivopisnaya str., Moscow, 123098, Russia

Phone: +7 (925) 072-60-89

E-mail: aolebedev@fmbcfmba.ru

Введение

Несмотря на ужесточение требований к защите промышленных объектов атомной энергетической отрасли фактический риск возникновения аварийных ситуаций остается высоким. Ликвидация медико-санитарных последствий масштабных радиационных аварий убедительно показала, что организация лечебно-эвакуационных мероприятий является приоритетной задачей в комплексе мер, направленных на их минимизацию. Совершенствование проведения лечебно-эвакуационных мероприятий необходимо для раннего оказания экстренной медицинской помощи и оптимальной маршрутизации пораженных в соответствующие специализированные медицинские центры. Для этого уже на передовых этапах медицинской эвакуации следует проводить медицинскую сортировку пораженных ионизирующим излучением (ИИ), имеющую свои особенности, связанные с определением дозы облучения и степени тяжести острой лучевой болезни (ОЛБ). В частности, при отсутствии данных от индивидуальных дозиметров врач вынужден ставить диагноз и принимать сортировочное решение на основе клинико-гематологических показателей – биологическая дозиметрия.

В числе методов биологической дозиметрии широко используется лимфоцитарный тест, поскольку лимфоциты – наиболее радиологически чувствительные клетки крови, доступные для анализа [1]. Строгая связь между дозой облучения в диапазоне 1–10 Гр и количеством погибших клеток позволяет использовать лабораторные данные о количестве лимфоцитов в периферической крови в качестве критерия оценки тяжести ОЛБ в первые 7 сут после облучения [1–10]. Необходимость выделения групп пораженных по степени тяжести ОЛБ позволяет создать т.н. «медико-тактический коридор», границы которого определяют основную, наиболее трудную для лечения, группу пораженных с ОЛБ средней и тяжелой степени тяжести.

В различных работах уже рассматривалась эмпирическая зависимость количества лимфоцитов в анализах крови от полученной дозы облучения в первую неделю после поражения [1, 4]. Однако в них речь идет о зависимости лишь некоторых усредненных характеристик без учета неопределенности результатов поражения дозой ± 2 Гр, обусловленной естественной биологической вариабельностью. Такая неопределенность при изолированном использовании лимфоцитарного теста поз-

воляет только очень приблизительно оценить степень тяжести радиационного поражения на уровне статистически усредненных значений. Влияние интенсивности излучения (мощности дозы) в указанных работах не учитывалось, однако распределение дозы во времени может сказываться на эффектах облучения. В данной статье мы попытались установить влияние мощности дозы на прогнозную оценку степени тяжести ОЛБ по лимфоцитарному тесту, выявить наилучшие корреляционные связи и предложить критерии медицинской сортировки с целью определения маршрутизации медицинской эвакуации.

Цель исследования – валидация метода лимфоцитарного теста для прогнозирования степени тяжести острого лучевого поражения с оценкой влияния мощности дозы.

Материалы и методы исследования. Данные для анализа взяты из регистра острых лучевых поражений человека ФГБУ «Государственный научный центр – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России (далее – ФМБЦ им. А.И.Бурназяна). В качестве метода исследования применен корреляционный анализ лабораторных данных о концентрации лимфоцитов в периферической крови пораженных в период с третьих по 6-е сутки после облучения. В предыдущих исследованиях нами было установлено, что именно в этом временном периоде коэффициент корреляции между концентрацией лимфоцитов и дозой облучения – наибольший. В качестве параметра мощности дозы в 1-й и 2-й группах взята «средняя за время облучения мощность дозы» (Гр/ч), используемая для анализа в работах [10–13].

В исследование включены клинико-дозиметрические данные пораженных ($n=65$) при аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в 1986 г. и сведения о пораженных ($n=19$) в других радиационных инцидентах с гамма-нейтронным излучением на территории бывшего СССР. Из регистра отобраны случаи только с известной продолжительностью облучения и низкой концентрацией лимфоцитов в периферической крови в первые сутки после облучения – менее $1,0 \times 10^9/l$. Данные для анализа приведены в табл. 1.

В зависимости от условий облучения пораженные были разделены на 3 группы:

- 1-я группа ($n=32$) – пораженные при аварии на ЧАЭС с мощностью дозы менее 2 Гр/ч;
- 2-я группа ($n=33$) – пораженные при аварии на ЧАЭС с мощностью дозы более 2 Гр/ч;
- 3-я группа ($n=19$) – пораженные при радиационных инцидентах с нейтронной компонентой излучения на

Клинико-дозиметрические и лабораторные данные пораженных в радиационных авариях
 Clinical, dosimetric and laboratory data of people affected in radiation accidents

УКН* UKN code*	Степень тяжести ОЛБ ARS severity	D, Гр D, Gy	Количество лимфоцитов, абс.** Lymphocytes count, abs.**	УКН UKN code	Степень тяжести ОЛБ ARS severity	D, Гр D, Gy	Количество лимфоцитов, абс. Lymphocytes count, abs.	УКН UKN code	Степень тяжести ОЛБ ARS severity	D, Гр D, Gy	Количество лимфоцитов, абс. Lymphocytes count, abs.
Пораженные при аварии на ЧАЭС / Injured in the Chernobyl accident, 1986											
1001	IV	7,5	0,08	1025	IV	6,0	0,27	1053	II	2,8	0,81
1002	IV	10,0	0,14	1026	IV	14,0	0,10	1054	II	3,6	0,68
1003	IV	10,0	0,04	1027	III	9,3	0,24	1055	II	5,3	0,81
1004	IV	13,2	3,25	1028	IV	7,3	0,26	1056	II	3,6	0,57
1005	III	5,2	0,24	1029	IV	9,8	0,22	1057	II	3,0	0,57
1006	IV	8,5	0,30	1030	III	6,4	0,39	1058	II	3,0	0,57
1007	III	5,5	0,35	1031	III	7,7	0,35	1059	II	5,8	0,42
1008	IV	9,4	0,22	1032	II	4,2	0,59	1060	III	6,1	0,58
1009	IV	10,7	0,12	1033	II	3,9	0,39	1061	II	4,4	0,58
1010	IV	12,4	0,03	1034	III	6,7	0,33	1062	III	7,0	0,45
1011	III	6,3	0,25	1035	II	4,0	0,88	1063	I	1,1	0,48
1012	IV	10,4	0,14	1037	II	2,8	0,75	1064	I	1,0	0,91
1013	III	6,3	0,24	1039	II	4,3	0,57	1065	II	3,1	0,78
1014	IV	12,2	0,11	1040	I	1,7	0,89	1066	II	1,0	0,76
1015	IV	10,0	0,14	1041	II	3,1	0,66	1067	II	2,6	0,39
1016	IV	11,3	0,11	1042	III	6,3	0,45	1068	III	4,6	0,62
1023	IV	15,2	0,05	1043	II	4,7	0,58	1070	II	1,2	0,62
1018	II	2,7	0,34	1044	I	3,7	0,83	1071	III	5,4	0,53
1019	III	4,6	0,26	1047	III	3,2	0,53	1072	III	3,6	0,67
1020	IV	13,8	0,13	1048	I	2,0	1,62	1051	II	1,8	0,51
1021	III	4,7	0,34	1049	II	2,1	0,55	1103	I	1,9	0,84
1022	III	7,1	0,24	1050	II	3,3	0,40	1090	I	1,2	0,42
1024	IV	2,3	0,31	1052	III	4,3	0,35	1140	I	0,3	1,65
1135	I	0,3	1,87	1091	I	1,2	1,41	1105	I	1,5	0,79
1083	I	1,9	0,76	1092	II	2,7	0,63	1106	I	2,3	0,66
1084	I	1,1	1,28	1094	III	3,6	0,47	1107	I	0,7	4,0
1085	II	3,3	0,55	1095	II	2,2	0,58	1108	II	2,3	0,67
1087	III	3,5	0,95	1096	II	3,7	0,47	1115	I	0,7	2,53
1088	II	2,7	2,29	1097	I	1,0	4,87	1121	I	0,8	1,36
1089	II	1,7	2,36	1098	I	2,0	3,22	1123	II	4,3	0,81
1085	II	3,3	0,55	1099	II	5,6	0,97	1129	II	4,0	0,60
1087	III	3,5	0,95	1100	I	2,6	0,94	1131	I	3,7	0,77
1088	II	2,7	2,29	1101	II	3,2	0,68	-	-	-	-
1089	II	1,7	2,36	1102	I	1,2	3,63	-	-	-	-
Пораженные при инцидентах с облучением гамма-нейтронным излучением / Victims of gamma-neutron irradiation incidents											
3009	III	5,4	0,07	3010	I	0,9	1,00	3047	IV	14,0	0,10
3031	IV	10,0	0,07	3043	I	3,0	0,50	3073	III	5,0	0,14
3037	II	3,7	0,28	3045	I	5,5	0,55	3079	I	2,1	1,07
3108	I	2,4	0,74	3008	III	3,8	0,27	3030	II	3,6	0,35
3032	IV	>10, 0	0,03	3042	III	4,1	0,27	3036	II	3,3	0,49
3046	IV	7,4	0,08	3025	II	2,5	0,34	3071	I	3,7	0,66
3011	I	0,5	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-

* УКН – Уникальный код пациента из базы данных по острым лучевым поражениям человека ФМБЦ им. А.И.Бурназяна /
 Unique code of the patient from the database of acute radiation lesions of A.I. Burnazyan Federal Medical and Biological Center

** Среднее значение количества лимфоцитов в периферической крови в период с третьих по 6-е сутки после облучения /
 Average peripheral blood lymphocyte count from 3 to 6 days after irradiation

территории бывшего СССР – при таких инцидентах высокоинтенсивное облучение пораженных происходит в первые секунды.

Результаты исследования и их анализ.

Выявлена корреляционная связь между средним количеством лимфоцитов в анализах периферической крови в период с третьих по 6-е сутки после облучения и дозой облучения только для 1-й и 3-й анализируемых групп (рисунок). Для 2-й группы (с малой мощностью дозы ≤ 2 Гр) отмечена большая вариабельность данных, и в этом случае говорить о четкой зависимости не

приходится. Данные 2-й группы, в частности, удовлетворительно аппроксимируются логарифмической функцией вида:

$$D = -4,59 \ln(C_{lymph}) + 2,01 \quad (1),$$

где D – доза, Гр; C_{lymph} – среднее значение количества лимфоцитов периферической крови за период с третьих по 6-е сутки после облучения ($\times 10^9/\text{л}$).

Для понимания неопределенности при оценке дозы и степени тяжести лучевого поражения по концентрации лимфоцитов все данные были сгруппированы (табл. 2).

Оценка неопределенности прогноза полученной дозы и степени тяжести лучевого поражения по концентрации лимфоцитов в периферической крови в 1-й – 3-й группах

Assessment of the uncertainty in the prediction of the received dose (Gy) and the severity of radiation injury from the concentration of lymphocytes in the peripheral blood in groups 1 to 3

Концентрация лимфоцитов ($10^9/\text{л}$) Lymphocytes concentration ($10^9/\text{l}$)	Усредненная оценка дозы облучения (Гр) / диапазон дозы облучения / прогнозная оценка степени тяжести ОЛБ Averaged estimate of radiation dose (Gy) / range of radiation dose / predictive estimate of ALS severity		
	1-я группа – пораженные при аварии на ЧАЭС с мощностью дозы менее 2 Гр/ч Group 1 – affected by the Chernobyl accident with a dose rate of less than 2 Gy/h	2-я группа – пораженные при аварии на ЧАЭС с мощностью дозы более 2 Гр/ч Group 2 – affected by the Chernobyl accident with a dose rate of more than 2 Gy/h	3-я группа – пораженные гамма-нейтронным излучением Group 3 – victims of gamma-neutron radiation
Менее 0,2	–	IV	III-IV
0,3	–	7,5 (6,0-9,0) IV	3,9 (2,7-5,1) II-III
0,4	4,1 (2,1-6,0) II-III	6,2 (4,7-7,7) III-IV	3,3 (2,1-4,5) II-III
0,5	3,6 (1,0-5,5) I-III	5,2 (3,7-6,7) II-IV	3,0 (1,8-4,2) I-III
0,6	3,1 (1,0-5,0) I-III	4,4 (2,9-5,9) II-III	2,7 (1,5-3,9) I-II
0,8	2,6 (1,0-4,5) I-II	3,0 (2,0-4,5) II-III	2,2 (1,0-3,4) I-II
1,0	2,1 (0,7-4,0) до II 2,1 (0,7-4,0) to II	до II up to II	1,8 (0,6-3,0) до II 1,8 (0,6-3,0) to II

При сопоставлении данных на рисунке и в табл. 2 установлено влияние мощности дозы на прогнозную оценку тяжести лучевого поражения. Из них видно, что в 1-й группе полученная доза облучения оказалась меньше, чем во 2-й, при одних и тех же показателях лимфоцитов. Соответственно по прогнозу степень тяжести развивающейся ОЛБ во 2-й группе была более тяжелой.

При концентрации лимфоцитов $0,4-0,8 \times 10^9/\text{л}$ при высокой мощности дозы ($P_0 > 2$ Гр/ч), её оценка по лимфоцитарному тесту оказывается выше, чем при низкой мощности дозы ($P_0 \leq 2$ Гр/ч), в среднем на 40,0%. При уровне лимфоцитов выше $0,8 \times 10^9/\text{л}$ прогноз дозы ста-

новится более неопределенным во всех трёх группах. При снижении количества лимфоцитов в периферической крови до уровня менее $0,4 \times 10^9/\text{л}$ средняя оценка дозы – более 4,0 Гр для 1-й и 2-й групп, что соответствует тяжелой или крайне тяжелой степени ОЛБ. Таким образом, наиболее точный прогноз по лимфоцитарному тесту возможен в диапазоне концентраций лимфоцитов $0,4-0,8 \times 10^9/\text{л}$.

Независимые оценки для пораженных в радиационных авариях прежних лет, выполненные без учета интенсивности облучения, дают в среднем оценку дозы на 30,0% ниже, чем для «чернобыльских» пациентов, облученных с низкой мощностью дозы ($P_0 \leq 2$ Гр/ч).

Прогнозируемая степень тяжести радиационного поражения с наличием нейтронной компоненты излучения – при концентрациях лимфоцитов менее $1,0 \times 10^9/\text{л}$ – оказывается более низкой по сравнению с прогнозом, основанным на данных по пораженным на ЧАЭС. При этом разница в оценке дозы прогрессивно увеличивается с уменьшением количества лимфоцитов. Этот результат не согласуется с выводами R.E.Goans, E.C.Holloway, M.E.Berger, R.C.Ricks, в работе которых декларируется тезис о том, что лимфоцитарный тест нечувствителен к форме гамма-нейтронного спектра излучения [1].

Таким образом, оценивать тяжесть радиационных поражений по лимфоцитарному тесту необходимо с учетом сведений об интенсивности облучения. При этом предлагается следующее типовое медико-тактическое решение:

Из лечебных медицинских организаций (ЛМО) 1-го – 2-го уровня в ЛМО 3-го уровня в первую очередь эвакуируют пораженных с лимфопенией в диапазоне значений $0,4-0,8 \times 10^9/\text{л}$, получивших острое высокоинтенсивное облучение. Указанные пораженные составляют сложную, но потенциально курабельную группу пораженных средней и тяжелой степени тяжести, в которой, при условии быстрого начала патогенетической терапии, выживание возможно.

Во вторую очередь эвакуируют пораженных с лимфопенией в диапазоне выше $0,8-1,0 \times 10^9/\text{л}$. Ввиду того, что в этих пределах значений прогноз дозы становится более неопределенным, в течение нескольких суток следует пересматривать оценку дозы и прогноз, чтобы своевременно выявить пациентов со средней степенью тяжести ОЛБ.

Пораженные с уровнем лимфоцитов выше $1,0 \times 10^9/\text{л}$ относятся к категории легкопораженных, при их лечении не требуется применять специализированные методы, и поэтому они могут быть оставлены в ЛМО 2-го уровня.

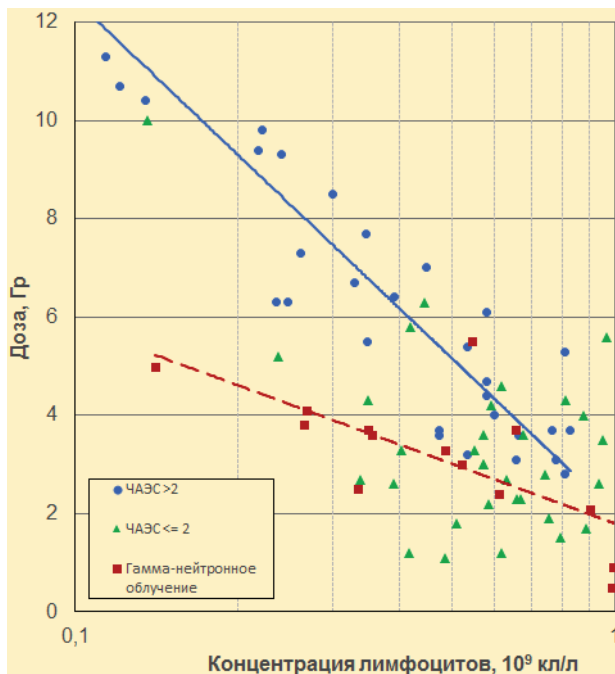


Рисунок. Зависимость среднего значения количества лимфоцитов в периферической крови в период с третьих по 6-е сутки после облучения от накопленной дозы облучения. Обозначения: треугольник зеленого цвета – данные 1-й группы; сплошная синяя линия – линия тренда по данным 2-й группы; пунктирная красная линия – линия тренда по данным 3-й группы

Figure. Dependence of the average number of lymphocyte count in the peripheral blood on the accumulated dose of irradiation from 3 to 6 days after irradiation. Note: green triangles – data of the 1st group; solid blue line – trend line in the data of the 2nd group; dashed red line – trend line in the data of the 3rd group

Пораженных с лимфопенией менее $0,4 \times 10^9/\text{л}$ – независимо от условий облучения – эвакуируют в ЛМО 3-го уровня во вторую очередь. При массовом поступлении пораженных ионизирующим излучением и в условиях большой загрузки ЛМО на путях эвакуации таких пораженных не эвакуируют – им оказывают симптоматическую помощь, так как их выживание маловероятно даже при своевременном начале патогенетической терапии.

Заключение

Неопределенность при оценке полученной дозы для условий облучения с высокой мощностью дозы ($P_0 > 2 \text{ Гр/ч}$) может достигать ($\pm 1,0-1,5$) Гр. Это означает, что в первом приближении лимфоцитарный тест имеет более или менее приемлемую для практики прогностическую ценность в диапазоне концентраций лимфоцитов $0,4-0,8 \times 10^9/\text{л}$ при высокой мощности дозы. При концентрации лимфоцитов менее $0,4 \times 10^9/\text{л}$ с высокой достоверностью прогнозируется ОЛБ крайне тяжелой степени. В условиях облучения с низкой мощностью дозы ($P_0 \leq 2 \text{ Гр/ч}$) прогноз оказывается в значительной степени неопределенным в диапазоне концентраций лимфоцитов более $0,6 \times 10^9/\text{л}$. В таких случаях оцениваемая доза составляет 1–4 Гр, что соответствует легкой и средней степени тяжести ОЛБ.

Выявленные зависимости можно использовать в целях медицинской сортировки пораженных на передовых этапах медицинской эвакуации с целью корректировки их маршрутизации в специализированные медицинские центры. Так, при массовой загрузке ЛМО в зоне аварии следует руководствоваться следующими критериями:

– при концентрации лимфоцитов периферической крови менее $0,4 \times 10^9/\text{л}$ при любых условиях облучения – прогнозируется ОЛБ тяжелой и крайне тяжелой степени; таких пораженных можно отнести к группе «агонирующих»;

– в диапазоне концентраций лимфоцитов $0,4-0,8 \times 10^9/\text{л}$ оценка дозы и степени тяжести ОЛБ в условиях высокой мощности дозы – наиболее точна; этих пораженных относят к категории пораженных средней степени тяжести, лечение которых должно быть начато в ближайшее время в специализированном стационаре – ЛМО 3-го уровня;

– при концентрации лимфоцитов периферической крови в диапазоне $0,8-1,0 \times 10^9/\text{л}$ прогнозируется ОЛБ легкой степени – пораженные временно могут быть оставлены на лечении в ЛМО 1-го – 2-го уровня с ежесуточной корректировкой клинико-лабораторных данных и прогноза;

– при концентрации лимфоцитов периферической крови выше $1,0 \times 10^9/\text{л}$ прогнозируется ОЛБ I ст.

В данной работе впервые проанализирована зависимость концентрации лимфоцитов от накопленной дозы для случаев с гамма-нейтронным облучением по сравнению с аналогичными данными по пораженным при аварии на ЧАЭС. При одинаковых значениях лимфоцитов прогнозируемая степень тяжести ОЛБ оказывается ниже.

Лимфоцитарный тест целесообразно использовать при наличии информации об индивидуальных условиях облучения и результатов оценки дозы с помощью других методов биологической дозиметрии.

Следует отметить, что у пораженных в радиационных авариях с гиповолемией, на фоне проведения инфузионно-трансфузионной терапии, возможна переоценка информативности некоторых гематологических показателей, в том числе количества лимфоцитов. Поэтому при постановке предварительного диагноза опора только на лимфоцитарный тест без учета этого фактора может приводить к гипердиагностике. Указанные особенности требуют динамического контроля лабораторных показателей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Goans R.E., Holloway E.C., Berger M.E., Ricks R.C. Early Dose Assessment in Criticality Accidents // Health Physics. 2001. No.81. P. 446–449
2. Goans R.E., Waselenko J.K. Medical Management of Radiological Casualties // Health Physics. 2005. V.89, No.5. P. 505–512.
3. Goans R.E. Clinical Care of the Radiation-Accident Patient: Patient Presentation, Assessment, and Initial Diagnosis. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness. The Clinical Care of Victims. Washington, DC: Parthenon, 2002. P. 11–22.
4. Parker D.D., Parker J.C. Estimating Radiation Dose from Time to Emesis and Lymphocyte Depletion // Health Physics. 2007. V.93, No.6. P. 701–704.
5. Goans R.E., Holloway E.C., Berger M.E., Ricks R.C. Early Dose Assessment Following Severe Radiation Accidents // Health Physics. 1997. V.72, No. 4. P. 513–518.
6. Waselenko J.K., et al. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group // Annals of Internal Medicine. 2004. V.40, No.12. P. 1037–1051.
7. The Medical Aspects of Radiation Incidents. 4th Edition. Oak Ridge, DE-SC0014664. 2017. 60 p. [Электронный ресурс]: <https://orise.orau.gov/resources/reflects/documents/medical-aspects-of-radiation-incidents.pdf>.
8. Dainiak N. Hematologic Consequences of Exposure to Ionizing Radiation // Experimental Hematology. 2002. V.30, No.6. P. 513–528.
9. Coleman C.N., et al. Triage and Treatment Tools for Use in a Scarce Resources-Crisis Standards of Care Setting After a Nuclear Detonation // Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 2011. V.5, No.S1. P. 111–121.
10. Баранов А.Е. Острая лучевая болезнь: биологическая дозиметрия, ранняя диагностика и лечение, исходы и отдаленные последствия // Радиационные поражения человека. Избранные клинические лекции, методическое пособие / Под ред. Бушманова А.Ю., Ревы В.Д. М.: Слово, 2007. С. 53–84.
11. Соловьев В.Ю., Нугис В.Ю., Хамидулин Т.М., Краснюк В.И. Исследование прогностической ценности гематологических критериев оценки степени тяжести лучевого поражения // Medline.ru: Российский биомедицинский электронный журнал. 2011. T.12, №2. С. 420–430. [Электронный ресурс]: <http://www.medline.ru/public/art/tom12/art35.html>.
12. Соловьев В.Ю. Математические методы и модели в аварийной дозиметрии, радиационной медицине и радиационной эпидемиологии. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России, 2016. 120 с.
13. ATLAS. Acute Radiation Syndrome / Ed. by A.S. Samoylov and V.Yu. Solovyev. Moscow, SRC-FMBC Publ., 2019. 232 p.

REFERENCES

1. Goans R.E., Holloway E.C., Berger M.E., Ricks R.C. Early Dose Assessment in Criticality Accidents. Health Physics. 2001;81:446–449.
2. Goans R.E., Waselenko J.K. Medical Management of Radiological Casualties. Health Physics. 2005;89;5:505–512.
3. Goans R.E. Clinical Care of the Radiation-Accident Patient: Patient Presentation, Assessment, and Initial Diagnosis. The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims. Washington, DC, Parthenon, 2002. P. 11–22.
4. Parker D.D., Parker J.C. Estimating Radiation Dose from Time to Emesis and Lymphocyte Depletion. Health Physics. 2007;93;6:701–704.
5. Goans R.E., Holloway E.C., Berger M.E., Ricks R.C. Early Dose Assessment Following Severe Radiation Accidents. Health Physics. 1997;72;4:513–518.
6. Waselenko J.K., et al. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. Annals of Internal Medicine. 2004;40;12:1037–1051.
7. The Medical Aspects of Radiation Incidents. 4th Edition. Oak Ridge, DE-SC0014664. 2017. 60 p. URL: <https://orise.orau.gov/resources/reflects/documents/medical-aspects-of-radiation-incidents.pdf>.
8. Dainiak N. Hematologic Consequences of Exposure to Ionizing Radiation. Experimental Hematology. 2002;30;6:513–528.
9. Coleman C.N., et al. Triage and Treatment Tools for Use in a Scarce Resources-Crisis Standards of Care Setting After a Nuclear Detonation. Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 2011;5;S1:111–121.
10. Baranov A.E. Acute Radiation Sickness: Biological Dosimetry, Early Diagnosis and Treatment, Outcomes and Long-Term Consequences. Human Radiation Damage. Selected Clinical Lectures, Methodological Manual. Ed. By A.Yu. Bushmanov, V.D. Reva. Moscow, Slovo Publ., 2007. P. 53–84 (In Russ.).
11. Solovyev V.Yu., Nugis V.Yu., Khamidulin T.M., Krasnyuk V.I. Research of Haematological Criteria's Prognostic Value in Radiation Injuries Severity Assessment. Medline.ru: Russian Biomedical Electronic Journal. 2011;12;35:420–430. URL: <http://www.medline.ru/public/art/tom12/art35.html> (In Russ.).
12. Solovyev V.Yu. Mathematical Methods and Models in Emergency Dosimetry, Radiation Medicine and Radiation Epidemiology. Moscow, SRC-FMBC Publ, 2016. 120 p. (In Russ.).
13. ATLAS. Acute Radiation Syndrome. Ed. by A.S. Samoylov and V.Yu. Solovyev. Moscow, SRC-FMBC Publ., 2019. 232 p.

Материал поступил в редакцию 28.05.21; статья принята после рецензирования 12.07.21; статья принята к публикации 10.09.21
The material was received 28.05.21; the article after peer review procedure 12.07.21; the Editorial Board accepted the article for publication 10.09.21