

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ВРЕМЕНИ РАЗВИТИЯ РВОТЫ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ СОРТИРОВКЕ ПОСТРАДАВШИХ В РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЯХ

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский
биофизический центр им. А.И. Бурназяна (Россия, Москва, ул. Живописная, д. 46)

Актуальность исследования обусловлена риском развития крупномасштабных радиационных аварий с большим числом пострадавших, которым потребуются проведение первичной медицинской сортировки и определение раннего прогноза степени тяжести поражения для корректной маршрутизации из очага санитарных потерь.

Цель – валидация метода оценки дозы по времени развития рвоты при разных условиях облучения при медицинской сортировке пострадавших на догоспитальном этапе.

Методология. Объектом исследования является информация, содержащаяся в базе данных по острым лучевым поражениям человека в Государственном научном центре Российской Федерации – Федеральном медицинском биофизическом центре им. А.И. Бурназяна (Москва).

Результаты и их анализ. Рассмотрены индивидуальные данные пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС 1986 г. (114 человек) с отдельным анализом условий облучения (кратковременное с длительностью менее 20 мин и пролонгированное в выделенных группах), а также по пострадавшим в других радиационных авариях и инцидентах на территории бывшего СССР (26 человек) и 8 пациентов с тотальным терапевтическим облучением без использования антиэметиков. Показано, что при возникновении рвоты в одни и те же временные интервалы прогноз степени тяжести радиационного поражения при пролонгированном облучении оказывается более тяжелым по сравнению с кратковременным облучением. Это может быть обусловлено разным темпом накопления дозы и наличием эффекта так называемой «напрасной дозы», когда биологический механизм возникновения рвоты уже запущен, а облучение продолжается. Представлены результаты анализа в виде интервальных оценок прогноза степени тяжести радиационного поражения по времени начала рвоты для условий кратковременного и пролонгированного облучения. Сформулированы два критерия для целей первичной медицинской сортировки при умеренном и большом числе пострадавших в результате широкомасштабной радиационной аварии.

Заключение. Предложены рекомендации, которые могут быть использованы для медицинской сортировки пострадавших на догоспитальном этапе.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, катастрофа, радиобиология, дозиметрия, доза радиации, сортировка радиологическая, радиационный синдром острый, Чернобыльская АЭС.

Введение

При крупномасштабных радиационных авариях с большим числом пострадавших предполагается проведение медицинской сортировки в очаге чрезвычайной ситуации. При остром относительно равномерном облучении γ - β -излучением сортировочные группы формируются по степени тяжести лучевого поражения, которая определяется величиной поглощенной дозы. При аварийных облучениях

большого количества людей в условиях отсутствия индивидуальных дозиметров в первые часы после аварии практически единственным источником информации о полученной дозе могут быть ранние клинические признаки лучевого поражения. Большое значение имеют сведения о наличии первичной реакции в виде рвоты и времени ее наступления, а также снижения уровня лимфоцитов в периферической крови в первые дни после облучения [1, 4].

Соловьев Владимир Юрьевич – д-р биол. наук, канд. техн. наук, зав. лаб. анализа техноген. рисков, Гос. науч. центр России – Федер. мед. биофизич. центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России (Россия, 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46), e-mail: soloviev.fmbc@gmail.com;

Самойлов Александр Сергеевич – д-р мед. наук проф., чл.-кор. РАН, ген. директор, Гос. науч. центр России – Федер. мед. биофизич. центр им. А.И. Бурназяна (Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23), e-mail: fmbc-fmba@bk.ru;

✉ Лебедев Артём Олегович – мл. науч. сотр. отд. № 7, Гос. науч. центр России – Федер. мед. биофизич. центр им. А.И. Бурназяна (Россия, 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46), e-mail: aolebedev@fmbcfmba.ru;

Седанкин Михаил Константинович – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. анализа техноген. рисков, Гос. науч. центр России – Федер. мед. биофизич. центр им. А.И. Бурназяна (Россия, 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46), e-mail: msedankin@yandex.ru;

Гудков Евгений Алексеевич – мл. науч. сотр. лаб. анализа техноген. рисков, Гос. науч. центр России – Федер. мед. биофизич. центр им. А.И. Бурназяна (Россия, 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46), e-mail: eh1770802@gmail.com

Ранняя диагностика степени тяжести острой лучевой болезни (ОЛБ) имеет меньшую точность в сравнении с технически сложными методами клинко-радиологического обследования, которые не являются рутинными и доступны только в специализированных медицинских центрах. Тем не менее, этим недостатком можно пренебречь при необходимости быстрой сортировки большого количества пострадавших, в особенности когда в специализированных клиниках может проводиться последующее уточнение степени тяжести радиационного поражения с помощью иных методов биологической дозиметрии.

Анализ показывает, что практически все работы, в которых статистически анализируется зависимость времени развития рвоты от дозы облучения, используют информацию по пострадавшим при аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), которая составляет до 80% от общего объема анализируемых в этих работах данных, включенные в базу данных REAC/ТС. Причем эти данные рассматриваются безотносительно того, какими были реальные условия облучения. Но именно этот фактор может

являться определяющим, и есть необходимость вернуться к обсуждению этого вопроса для уточнения прогноза.

Цель – валидация метода оценки дозы по времени развития рвоты при разных условиях облучения для медицинской сортировки пострадавших на догоспитальном этапе.

Материал и методы

Материал для исследования взят из регистра радиационных инцидентов Государственного научного центра Российской Федерации – Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА России (Москва) [15] и базы данных по острым лучевым поражениям человека [3]. Анализируемая информация содержит сведения о 114 пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г., о 8 пациентах с тотальным терапевтическим облучением без использования антиэметиков [3], а также – о 26 пострадавших в других радиационных авариях и инцидентах, имевших место на территории бывшего СССР [7]. Данные по пострадавшим при аварии на ЧАЭС в данной работе не приво-

Таблица 1

Условия облучения и характеристики времени начала развития рвоты у пострадавших в радиационных авариях на территории бывшего СССР, исключая аварию на ЧАЭС 1986 г. [7]

УКН*	Степень ОЛБ	Доза, D (Гр)	Длительность облучения, T ₀ (ч)	Время начала рвоты, T _p (ч)	Вид инцидента
3041	II	4,8	0,003	0,2	Инцидент с установкой γ-терапии
3073	III	5,0	0,1	0,5	γ-п-излучение при СЦР**
3043	I	3,0	0,1	4,0	γ-п-излучение при СЦР
3079	I	2,1	0,1	6,0	γ-п-излучение при СЦР
3086	I	1,9	0,1	3,0	γ-п-излучение при СЦР
3108	I	2,4	0,1	3,0	γ-п-излучение при СЦР
3040	IV	5,8	0,003	0,5	Инцидент на реакторе
3045	IV	5,5	0,02	2,0	γ-п-излучение при СЦР
3039	III	3,4	0,02	0,25	γ-п-излучение при СЦР
3047	II	1,4	0,001	1,5	γ-п-излучение при СЦР
3042	III	4,1	0,05	0,4	Инцидент с источником ⁶⁰ Co
3037	III	3,7	0,05	3,5	γ-п-излучение при СЦР
3008	IV	3,8	0,1	1,0	Инцидент на реакторе
3009	I	5,4	0,1	2,8	γ-п-излучение при СЦР
3031	IV	10,0	0,1	0,25	γ-п-излучение при СЦР
3011	I	0,5	0,05	2,0	Инцидент на реакторе
3025	II	2,5	0,1	1,0	Ядерные испытания
3035	IV	6,0	0,166	0,5	Ядерные испытания
3048	II	2,6	0,2	2,0	Ядерные испытания
3050	II	2,3	0,2	1,2	Ядерные испытания
3051	II	3,0	0,2	1,0	Ядерные испытания
3052	II	3,0	0,2	1,0	Ядерные испытания
3053	II	3,0	0,2	1,5	Инцидент на реакторе
3067	II	2,3	0,2	1,0	Инцидент на реакторе
3068	II	3,0	0,2	2,0	Инцидент на реакторе
3007	III	3,2	0,35	0,66	Инцидент на реакторе

* УКН – уникальный клинический номер (код) пациента; ** СЦР – самопроизвольная цепная реакция.

дятся, они анализируются из массива данных публикации [3] с дополнительной коррекцией доз в соответствии с [7].

При анализе материал был разделен на группы по условиям облучения (кратковременное или пролонгированное) (табл. 1). Под «временем начала рвоты» понимается время, прошедшее от момента начала облучения до появления рвоты. Значения индивидуальной дозы взяты в соответствии с дозиметрической системой «Доза-2008», корректно учитывающей особенности метода биологической дозиметрии по среднему числу дицентриков в культуре лимфоцитов в периферической крови [7]. Под значением параметра «длительность облучения» принято оцененное время пребывания пострадавшего в зоне с повышенной мощностью дозы [3].

Точность исходной информации по рассмотренным случаям неодинакова. Из всех проанализированных случаев для контингента пострадавших при аварии на ЧАЭС она – наименьшая. Это связано с ретроспективным восстановлением условий облучения и времени развития рвоты с присущими данному методическому подходу погрешностями. По данным случаям для оценки темпа накопления дозы, как и в работе [3], в анализе использовался усредненный показатель «средняя за время облучения мощность поглощенной дозы» (P_0 , Гр/ч), которую далее будем для простоты называть средней мощностью дозы.

По продолжительности облучения (T_0 , ч) и времени развития рвоты (T_p , ч) пострадавшие были разделены на 4 анализируемые группы:

1-я ($n = 30$) – острое кратковременное облучение (длительностью не более 20 мин, $T_0 < T_p$);

2-я ($n = 23$) – пролонгированное облучение, когда рвота наступала сразу после окончания облучения ($T_0 = T_p$);

3-я ($n = 31$) – пролонгированное облучение, когда рвота наступала во время облучения, при этом облучение продолжалось еще некоторое время ($T_0 > T_p$). Такая ситуация была характерна для аварии на ЧАЭС 1986 г., когда в первые часы после взрыва реактора персонал продолжал выполнять свои профессиональные обязанности в условиях продолжавшегося облучения несмотря на рвоту;

4-я ($n = 30$) – условия, которые нельзя было отнести по указанным параметрам ни к одной из предыдущих групп.

В качестве базовой рассматривается модель развития рвоты в зависимости от поглощенной дозы, представленная в работах [2, 3].

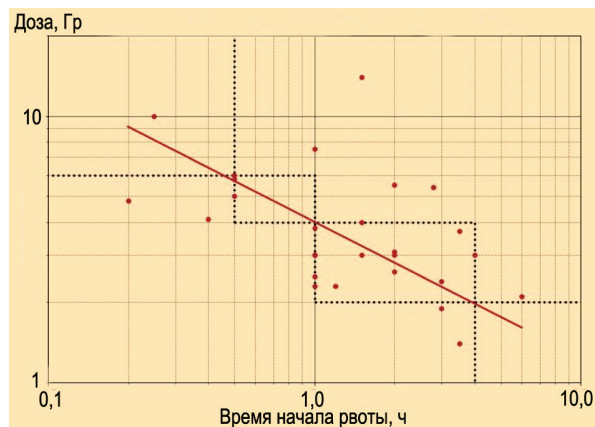


Рис. 1. Зависимость дозы от времени начала рвоты при остром кратковременном облучении гамма-излучением в 1-й группе. Маркеры – истинные значения рассматриваемых параметров; пунктирная линия – интервальная оценка дозовременных характеристик; сплошная (красная) линия – тренд.

Результаты и их обсуждение

1-я группа ($T_0 < T_p$). На основании структурированных данных, проведен анализ зависимости «доза–время–эффект» при кратковременном облучении. Результаты анализа представлены на рис. 1.

Зависимость времени развития рвоты от дозы облучения наилучшим образом аппроксимируется степенной функцией (1.0):

$$D(T_p) = a T_p^b, \quad (1.0)$$

где D – доза облучения, Гр;

T_p – время начала рвоты (ч), отсчитываемое от начала облучения;

$a = 4,0$; $b = -0,5$.

2-я группа ($T_0 = T_p$). Ранее в работах [2, 3] было показано, что в случае формирования радиационного поражения при пролонгированном облучении имеется корреляция между временем начала рвоты T_p и средней мощностью дозы P_0 , данная зависимость показана на рис. 2. По причине значительного разброса данных и нечеткого определения параметров T_p и P_0 можно говорить лишь о наличии корреляции без уточнения статистических характеристик.

Наилучшая аппроксимация зависимости времени начала развития рвоты (T_p), ч, от мощности дозы гамма-излучения $P_0(T_p)$, Гр/ч, представляется формулой (2.0):

$$P_0(T_p) = c T_p^d, \quad (2.0)$$

где $c = 2,52$; $d = -0,4$.

Игнорирование эффекта влияния мощности дозы и использование простой аналогии с условиями кратковременного облучения

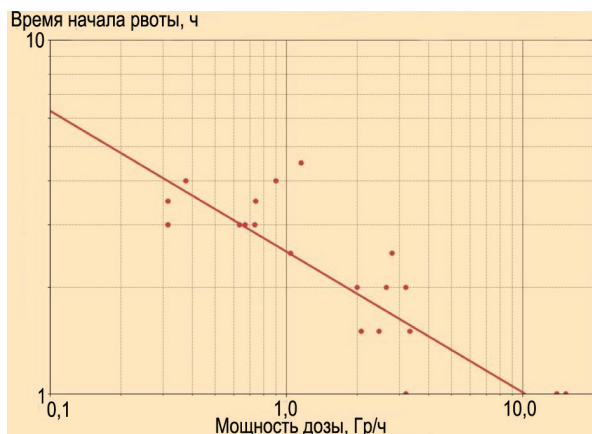


Рис. 2. Зависимость времени начала рвоты (T_p , ч) от мощности дозы гамма-излучения (P_0 , Гр/ч) во 2-й группе. Маркеры – истинные значения рассматриваемых параметров; сплошная (красная) линия – тренд.

не дают приемлемого результата. Связано это с эффектом так называемой «напрасной дозы», когда в ответ на поражающее действие высоких доз реакция в виде рвоты наступает с некоторой биологической задержкой в 15–20 мин. Однако накопившаяся за время такой задержки дополнительная доза облучения уже не влияет на время её фактического появления. Зависимость времени развития рвоты от дозы облучения наилучшим образом аппроксимируется степенной функцией (см. 1.0) с коэффициентами $a = 6,8$; $b = 0,95$. Для сравнения на рис. 3 приведена линия тренда для облученных в 1-й группе (кратковременное облучение). Отчетливо видно, что линия тренда для пострадавших во 2-й группе имеет больший угол наклона, чем для 1-й. Таким образом, вывод совершенно однозначный: при равном времени начала развития рвоты прогноз степени тяжести лучевого поражения оказывается более тяжелым для условий пролонгированного облучения.

Построение оптимальной зависимости «доза–время–эффект» через интервальные оценки еще более затруднительно вследствие неопределенности параметра длительности облучения, так как тезис о постоянстве мощ-

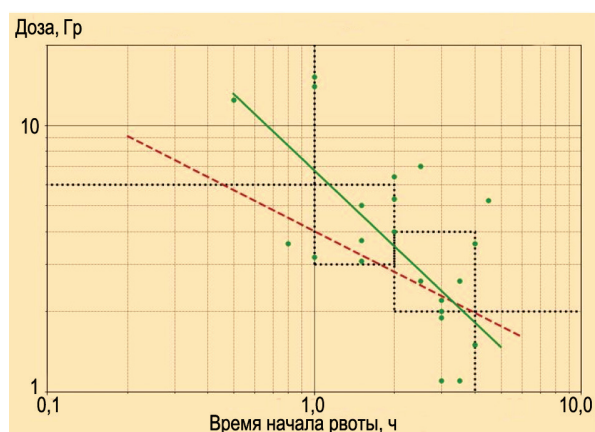


Рис. 3. Зависимость оцененной дозы (Гр) от времени начала рвоты (ч) при пролонгированном облучении (2-я группа, время начала рвоты совпадает с окончанием облучения). Маркеры – истинные значения рассматриваемых параметров; частая пунктирная линия – интервал возможных значений; сплошная (зеленая) линия – тренд для данных 2-й группы; штриховая (красная) линия – тренд для 1-й группы (см. рис. 1).

ности дозы за время облучения был принят без строгой доказательной базы. В табл. 2 представлена интервальная оценка дозы и степени тяжести радиационного поражения в зависимости от условий облучения и времени начала развития рвоты, основанная на материалах данного исследования. Для кратковременного облучения в диапазоне времени начала рвоты 1–4 ч прогнозируются ОЛБ II степени и доза 2–4 Гр. Развитие многократной, неукротимой рвоты независимо от сроков ее возникновения указывает, как правило, на крайне тяжелую степень радиационного поражения.

3-я группа ($T_0 > T_p$). Алгоритм рассмотрения ситуации в данной группе (когда облучение пролонгировано, и после наступления рвоты облучение еще какое-то время продолжается) состоит из 2 этапов. На первом – оценивается доза, накопленная к моменту начала рвоты. Для этого используется алгоритм, предложенный для пострадавших 2-й группы. Далее из сделанного предположения о постоянстве мощности дозы оценивается полная полученная доза путем умножения оцененной

Таблица 2

Прогноз интервальной оценки дозы (D , Гр) и степени тяжести радиационного поражения (ОЛБ) в зависимости от условий облучения и времени начала развития рвоты

Кратковременное облучение (менее 20 мин) / время начала рвоты, ч				
более 4	2–4	1–2	0,5–1,0	менее 0,5
Нет или ОЛБ I степени (D менее 2 Гр)	ОЛБ II степени (D 2–3 Гр)	ОЛБ II степени (D 2–4 Гр)	ОЛБ III степени (D 4–6 Гр)	ОЛБ IV степени (D более 6 Гр)
Пролонгированное облучение / время начала рвоты, ч				
более 4	2–4	1–2	менее 1	
Нет или ОЛБ I степени (D менее 2 Гр)	ОЛБ II степени (D 2–4 Гр)	ОЛБ II–III степени (D 3–6 Гр)	ОЛБ IV степени (D более 6 Гр)	

дозы $D(T_p)$ на (T_0 / T_p) , т. е. фактической добавки дозы, полученной за время $(T_p - T_0)$.

Естественно предположить, что такой алгоритм оценки дозы вносит дополнительные неопределенности. Они связаны еще и с тем, что во многом настрой участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС был связан, в первую очередь, с завершением аварийных работ на своем участке. При этом на второй план отходили проблемы обеспечения личной безопасности. При индивидуальном опросе пострадавших в клинике Москвы о характере работы и личном самочувствии у отдельных членов пожарной команды были достаточно определенные высказывания: «позывы на рвоту были, но нужно было тушить пожар». Таким образом, мотивация в этот период выходила на первое место, и можно предположить, что усилием воли реакцию в виде рвоты удавалось задерживать. Этим объясняется гораздо больший разброс фактических данных в оценке дозы, полученной на момент фиксации реального времени развития рвоты.

Приходится констатировать, что упрощенный метод с интервальными оценками ни в коей мере не может претендовать на реалистичную оценку дозы, и предложенный выше алгоритм остается практически единственным для оценки дозы в подобных случаях.

4-я группа ($T_0 < T_p$). В этой группе рассматривались случаи, не входящие в критерии отбора первых трех групп, т. е. когда время облучения было меньше времени начала рвоты, но они были сопоставимы и составляли часы после облучения. Анализ данных этой группы в исследовании [3] показал, что наилучшая корреляционная связь достигается при аппроксимации результатов соотношением (3.0):

$$D(T_0, T_p) = a (T_0 / T_p)^b, \quad (3.0)$$

где T_0 – продолжительность облучения, ч;

$a = 9,16$; $b = 1$;

остальные обозначения и размерности параметров как в (1.0) и (2.0).

Если рассмотреть предложения других авторов, то в них алгоритм прогноза дозы и/или

степени тяжести лучевого поражения предлагается определять в виде соотношения «время начала рвоты – доза облучения» без учета продолжительности облучения (табл. 3).

Ряд исследований, например [8], завершаются построением линии тренда (в двойном логарифмическом масштабе) зависимости «доза–время начала рвоты», представляемой степенной функцией вида (см. 1.0) с коэффициентами: $a = 4,5$; $b = -0,57$.

Подобные подходы проанализированы в работе [13] путем сравнения результатов прогноза по методикам из работ разных авторов [8, 6, 10, 11, 13, 14] в конкретных временных точках: 2,5, 1,55, 1,08 и 0,78 ч с вычислением для них погрешности прогноза. Показано, что ряд моделей дают необоснованно завышенный прогноз по дозе в области высоких доз. В этих случаях предлагаемая степенная аппроксимация не выполняет функции прогноза.

В работе [14] предлагается аппроксимация (см. 1.0) в несколько ином виде:

$$\ln D(T_p) = 1,50 - 0,57 \ln (T_p), \quad (4.0)$$

где обозначение всех параметров (см. 1.0).

Что касается частоты развития рвоты в зависимости от дозы, то большинство авторов подобных исследований приводят данные, оценивающие долю пострадавших с наличием рвоты после облучения, где 50% доля соответствует дозе 2,5–3,0 Гр (20% – 1 Гр, 80% – 4,5 Гр) [5, 17]. Однако эти оценки не согласуются с результатами анализа данных по пострадавшим при аварии на ЧАЭС, где рвота имела место при дозах около 1 Гр у почти 90% пострадавших [3].

Если рассмотреть вопрос практического использования рассмотренного метода первичной сортировки пострадавших при массовых радиационных поражениях, то для принятия решения по выбору критериев необходимо использовать дополнительную информацию в случае ее доступности. При рассмотрении реальной ситуации главным вопросом является оценка количества пора-

Таблица 3

Прогностические модели интервальной оценки дозы по времени начала рвоты после облучения

Нет рвоты	Время начала рвоты, ч/доза, Гр					Источник
	более 4	2–4	1–2	0,5–1,0	менее 0,5	
Менее 1	1–2	2–4	4–6	Болезнь 6	Болезнь 6	[1]
Менее 1	Менее 1	1–2	2–4	4–6	Болезнь 6	[3]
Менее 2	Менее 2	Менее 2	2–4	4–6	Болезнь 6	[9], [12]
Менее 3	Менее 3	Менее 3	3,0–4,5	4,5–7,0	Болезнь 7	[13]
Менее 3	Менее 4	3–4	4–6	6–9	Болезнь 9	[16]

Таблица 4

Критерии использования «времени начала рвоты» для первичной медицинской сортировки пострадавших в результате массового радиационного поражения

Условия облучения	Время начала рвоты после облучения	
	1-й критерий (отбирается максимум пострадавших, у которых может развиться ОЛБ)	2-й критерий (отбираются пострадавшие, которым угрожает гибель без специализированной медицинской помощи, ОЛБ II степени и более)
Кратковременное (не более 20 мин)	Менее 4 ч	Менее 40 мин
Пролонгированное (часы)	Менее 4 ч	Менее 1 ч

женных. При принятии сортировочного решения можно рассмотреть два критерия оценки:

- 1-й (с максимальной чувствительностью) – когда при первичной сортировке отбираются максимум пострадавших, у которых могут быть последствия облучения в виде ОЛБ (доза более 1 Гр). При этом в отобранную группу могут попасть пострадавшие, специализированная медицинская помощь которым не потребуется, и при последующем наблюдении численность группы может быть сокращена;
- 2-й (с максимальной избирательностью) – когда при сортировке отбираются пострадавшие, которые, безусловно, нуждаются в специализированной медицинской помощи, без которой им может грозить гибель (доза более 2 Гр).

Таким образом, в случае, когда количество пострадавших менее 100–200 человек, используется 1-й критерий. В случае, когда число пораженных исчисляется несколькими сотнями или тысячами, более реалистичным является использование 2-го критерия, если реальные возможности резервов системы здравоохранения для приема пострадавших ограничены. Количественные параметры, исходя из выполненного анализа, представлены в табл. 4. Пострадавших с отсутствием рвоты при первичной сортировке по критерию ее развития следует относить к категории легкопораженных, если иная информация о воз-

можно более тяжелом характере радиационного поражения отсутствует.

Заключение

Проанализирована зависимость времени начала рвоты от дозы для пострадавших при аварии на ЧАЭС 1986 г. и при других радиационных инцидентах на территории бывшего СССР с отдельным анализом условий облучения (кратковременное с длительностью менее 20 мин и пролонгированное). Представлены результаты анализа в виде интервальных оценок прогноза степени тяжести радиационного поражения по времени начала рвоты для условий кратковременного и пролонгированного облучения. Показано, что при возникновении рвоты в одно и то же время после начала облучения прогноз степени тяжести радиационного поражения при пролонгированном облучении оказывается более тяжелым по сравнению с кратковременным облучением. Это обусловлено разным темпом накопления дозы и наличием эффекта так называемой «напрасной дозы», когда биологический механизм развития рвоты уже запущен, а облучение продолжается. Сформулированы два критерия для целей первичной медицинской сортировки пострадавших в крупномасштабной радиационной аварии при умеренном (100–200 человек и менее) и большом числе облученных (несколько сотен – тысячи).

Литература

1. Радиационная медицина / под ред. Л.А. Ильина. М.: ИздАТ, 2001. Т. 2. Радиационные поражения человека. 432 с.
2. Соловьев В.Ю. Математические методы и модели в аварийной дозиметрии, радиационной медицине и радиационной эпидемиологии. М.: Изд-во ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2016. 120 с.
3. Соловьев В.Ю., Краснюк В.И., Фаткина С.С. База данных по острым лучевым поражениям человека. Сообщение 4. Закономерности формирования первичной реакции при относительно равномерном аварийном облучении // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2014. Т. 59, № 4. С. 32–40.
4. Сотник Н.В., Рыбкина В.Л., Азизова Т.В. Новые подходы в биологической дозиметрии: создание комплексных биодозиметрических систем (обзор зарубежной литературы) // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2018. № 4. С. 90–96. DOI: 10.25016/2541-7487-2018-0-4-90-96.
5. About Time to Onset of Vomiting – Radiation Emergency Medical Management [Электронный ресурс]. URL: <https://www.remm.nlm.gov/aboutvomiting.htm#illustration>.

6. Anno G.H., Baum S.J., Withers H.R., Young R.W. Symptomatology of Acute Radiation Effects in Humans after Exposure to Doses of 0,5–30 Gy // *Health Phys.* 1989. Vol. 56. P. 821–838. DOI: 10.1097/00004032-198906000-00001.
7. Atlas. Acute Radiation Syndrome / Eds: A.S. Samoilov, V.Yu. Soloviev. M.: SRC-FMBC, 2019. 232 p.
8. Demidenko E., Williams B.B., Swartz H.M. Radiation Dose Prediction using Data on Time to Emesis in the Case of Nuclear Terrorism // *Rad. Res.* 2009. Vol. 171, N 3. P. 310–319. DOI: 10.1667/RR1552.1.
9. Donnelly E.H., Nemhauser J.B., Smith J.M. [et al.]. Acute Radiation Syndrome: Assessment and Management // *Southern Medical Journal.* 2010. Vol. 103, N 6. P. 541–546. DOI: 10.1097/SMJ.0b013e3181ddd571.
10. Goans R.E., Holloway E.C., Berger M.E., Ricks R.C. Early Dose Assessment in Criticality Accidents // *Health Phys.* 2001. Vol. 81. P. 446–449. DOI: 10.1097/00004032-200110000-00009.
11. Goans R.E., Waselenko J.K. Medical Management of Radiological Casualties // *Health Phys.* 2005. Vol. 89. P. 505–512. DOI: 10.1097/01.HP.0000172144.94491.84.
12. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Reports Series N 2. [Электронный ресурс]. Vienna: IAEA, 1998. 49 p. URL: <https://www.iaea.org/publications/5135/>.
13. Parker D.D., Parker J.C. Estimating Radiation Dose from Time to Emesis and Lymphocyte Depletion // *Health Phys.* 2007. Vol. 93, N 6. P. 701–704. DOI: 10.1097/01.HP.0000275289.45882.29.
14. Sandgren D.J., Salter C.A., Levine I.H. [et al.]. Biodosimetry Assessment Tool (BAT) software – Dose Prediction Algorithms // *Health Phys.* 2010. Vol. 99, N 5. P. 171–183. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181f0fe6c.
15. Soloviev V.Yu., Barabanova A.V., Bushmanov A.Yu. [et al.]. Review of the Radiation Accidents Consequences in the Former USSR Territory // *Мед. радиол. и радиац. безопасность.* 2013. Т. 58, № 4. С. 42–47.
16. Waselenko J.K., MacVittie T.J., Blakely W.F. [et al.]. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group // *Annals of Internal Medicine.* 2004. Vol. 140, N 12. P. 1037–1051. DOI: 10.7326/0003-4819-140-12-200406150-00015.
17. Woolbarst A.B., Wiley A.L., Nemhauser J.B. [et al.]. Medical Response to a Major Radiologic Emergency: a Primer for Medical and Public Health Practitioners // *Radiology.* 2010. Vol. 254, N 3. P. 660–677. DOI: 10.1148/radiol.09090330.

Поступила 28.01.2021 г.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Участие авторов: В.Ю. Соловьев – методология и дизайн исследования, подготовка и редактирование последнего варианта статьи; А.О. Лебедев – планирование целей и задач исследования, анализ материала, составление практических рекомендаций; А.С. Самойлов – формирование актуальности, цели работы, предложения по дальнейшему развитию направления работы, редактирование последнего варианта статьи; М.К. Седанкин – обзор литературы, формализация исходных данных для анализа; Е.А. Гудков – математические расчеты, дизайн оформления результатов анализа.

Для цитирования. Соловьев В.Ю., Самойлов А.С., Лебедев А.О., Седанкин М.К., Гудков Е.А. Использование информации о времени развития рвоты при первичной сортировке пострадавших в радиационных авариях // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях.* 2021. № 1. С. 14–21. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-1-14-21

Application of time to emesis data for primary triage of radiation accident victims

Soloviev V.Yu., Samoilov A.S., Lebedev A.O., Sedankin M.K., Gudkov E.A.

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center
(46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russia)

Vladimir Yurievich Soloviev – Dr. Biol. Sci., PhD Tech. Sci, Chief of the laboratory for analysis of technogenic risks, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russia), e-mail: soloviev.fmbc@gmail.com;

Aleksandr Sergeevich Samoilov – Corresponding member of RAS, Dr. Med. Sci., Prof. General Director of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (23, Marshala Novikova Str., Moscow, 123098, Russia), e-mail: fmbc-fmba@bk.ru;

✉ Artyom Olegovich Lebedev – Jun. Res. Ass. of the Department N 7 of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (23, Marshala Novikova Str., Moscow, 123098, Russia), e-mail: aolebedev@fmbcfmba.ru;

Mikhail Konstantinovich Sedankin – PhD Tech. Sci, Senior Res. Ass. of the laboratory for analysis of technogenic risks, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russia), e-mail: msedankin@yandex.ru;

Evgenii Alekseevich Gudkov – Jun. Res. Ass. of the laboratory for analysis of technogenic risks, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russia), e-mail: eh1770802@gmail.com

Abstract

Relevance. The relevance of the study is due to the risk of developing large-scale radiation accidents with a large number of victims, who will need primary medical triage and early prediction of the severity of injury for correct routing from the source of sanitary losses.

Intention. Validation of the method of estimating dose by time-to-emesis under various exposure conditions for pre-hospital triage of victims.

Methodology. The object of the study is the data from State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (Moscow) database of acute radiation injuries.

Results and Discussion: We have analyzed individual data for the victims of the 1986 Chernobyl disaster (114 persons) with a separate analysis of the irradiation conditions (short-term exposure for less than 20 minutes and prolonged exposure in selected groups), as well as the data from victims of other radiation accidents in the former USSR (26 persons) and 8 patients with total body radiotherapy without the use of antiemetics. It was shown that for the equal time-to-emesis intervals, predicted radiation injury is more severe in case of prolonged exposure vs short-term exposure. This may be due to varying rate of dose accumulation and so-called “unnecessary dose” effect – when the biological mechanism of vomiting has already been triggered against ongoing exposure. Results are presented as interval estimates of radiation injury severity by time-to-emesis for both short-term and prolonged exposures. We also have formulated two criteria for primary triage purposes in case of moderate or large numbers of victims due to large-scale radiation accidents.

Conclusion. Recommendations for pre-hospital triage of victims are proposed.

Keywords: emergency situation, disaster, radiobiology, dosimetry, radiation dose, radiological triage, acute radiation syndrome, Chernobyl nuclear power station.

References

1. Radiacionnaya medicina. [Radiologic Medicine]. Ed. L.A. Ilyin. Moscow. 2001. T. 2. Radiacionnye porazheniya cheloveka [Vol. 2. Radiologic human injuries]. Vol. 2. 432 p. (In Russ.)
2. Soloviev V.Yu. Matematicheskie metody i modeli v avarijnoj dozimetrii, radiacionnoj medicine i radiacionnoj epidemiologii [Mathematical Methods and Models in Emergency Dosimetry, Radiation Medicine and Radiation Epidemiology]. Moscow. 2016. 120 p. (In Russ.)
3. Soloviev V.Yu., Krasnyuk V.I., Fatkina S.S. Baza dannyh po ostrym luchevym porazheniyam cheloveka. Soobshchenie 4. Zakonomernosti formirovaniya pervichnoj reakcii pri otnositel'no ravnomernom avarijnom obluchenii [Human Database on Acute Radiation Damages. Part 4. Primary Reaction Regularities on Total Body Accidental Irradiation]. *Meditsinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'* [Medical radiology and radiation safety]. 2014. Vol. 59, N 4. Pp. 32–40. (In Russ.)
4. Sotnik N.V., Rybkina V.L., Azizova T.V. Novie podkhodi v biologicheskoy dozimetrii: sozдание kompleksnih biodozimetriceskikh sistem (obzor zarubezhnoj literatury) [New approaches to biological dosimetry: development of complex biodosimetric systems (review of foreign literature)]. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations]. 2018. N 4. Pp. 90–96. DOI: 10.25016/2541-7487-2018-0-4-90-96 (In Russ.)
5. About Time to Onset of Vomiting – Radiation Emergency Medical Management. URL: <https://www.remm.nlm.gov/aboutvomiting.htm#illustration>.
6. Anno G.H., Baum S.J., Withers H.R., Young R.W. Symptomatology of Acute Radiation Effects in Humans after Exposure to Doses of 0.5–30 Gy. *Health Phys.* 1989. Vol. 56. Pp. 821–838. DOI: 10.1097/00004032-198906000-00001.
7. Atlas. Acute Radiation Syndrome. Eds.: A.S. Samoilov, V.Yu. Soloviev. Moscow. 2019. 232 p.
8. Demidenko E., Williams B.B., Swartz H.M. Radiation Dose Prediction using Data on Time to Emesis in the Case of Nuclear Terrorism. *Rad. Res.* 2009. Vol. 171, N 3. Pp. 310–319. DOI: 10.1667/RR1552.1.
9. Donnelly E.H., Nemhauser J.B., Smith J.M. [et al.]. Acute Radiation Syndrome: Assessment and Management. *South-eastern Medical Journal*. 2010. Vol. 103, N 6. Pp. 541–546. DOI: 10.1097/SMJ.0b013e3181ddd571.
10. Goans R.E., Holloway E.C., Berger M.E., Ricks R.C. Early Dose Assessment in Criticality Accidents. *Health Phys.* 2001. Vol. 81. Pp. 446–449. DOI: 10.1097/00004032-200110000-00009.
11. Goans R.E., Waselenko J.K. Medical Management of Radiological Casualties. *Health Phys.* 2005. Vol. 89. Pp. 505–512. DOI: 10.1097/01.HP.0000172144.94491.84.
12. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Reports Series N 2. Vienna: IAEA, 1998. 49 p. URL: <https://www.iaea.org/publications/5135/>.
13. Parker D.D., Parker J.C. Estimating Radiation Dose from Time to Emesis and Lymphocyte Depletion. *Health Phys.* 2007. Vol. 93, N 6. Pp. 701–704. DOI: 10.1097/01.HP.0000275289.45882.29.
14. Sandgren D.J., Salter C.A., Levine I.H. [et al.]. Biodosimetry Assessment Tool (BAT) software – Dose Prediction Algorithms. *Health Phys.* 2010. Vol. 99, N 5. Pp. 171–183. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181f0fe6c.
15. Soloviev V.Yu., Barabanova A.V., Bushmanov A.Yu. [et al.]. Review of the Radiation Accidents Consequences in the Former USSR Territory. *Medical radiology and radiation safety*. 2014. Vol. 59, N 4. Pp. 32–40.
16. Waselenko J.K., MacVittie T.J., Blakely W.F. [et al.]. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Annals of Internal Medicine*. 2004. Vol. 140, N 12. Pp. 1037–1051. DOI: 10.7326/0003-4819-140-12-200406150-00015.
17. Woolbarst A.B., Wiley A.L., Nemhauser J.B. [et al.]. Medical Response to a Major Radiologic Emergency: a Primer for Medical and Public Health Practitioners. *Radiology*. 2010. Vol. 254, N 3. Pp. 660–677. DOI: 10.1148/radiol.09090330.

Received 28.01.2021

For citing. Soloviev V.Yu., Samoilov A.S., Lebedev A.O., Sedankin M.K., Gudkov E.A. Ispol'zovanie informatsii o vremeni razvitiya rvoty pri pervichnoi sortirovke postradavshikh v radiatsionnykh avariakh. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2021. N 1. Pp. 14–21. (In Russ.)

Soloviev V.Yu., Samoilov A.S., Lebedev A.O., Sedankin M.K., Gudkov E.A. Application of time to emesis data for primary triage of radiation accident victims. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2021. N 1. Pp. 14–21. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-1-14-21