

С.Ю. Чекин, А.И. Горский, М.А. Максютлов, С.В. Карпенко, К.А. Туманов, Н.В. Щукина, Е.В. Кочергина

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ БОЛЕЗНЕЙ ОРГАНОВ ПИЩЕВАРЕНИЯ У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ДРУГИХ БОЛЕЗНЕЙ, ВЫЯВЛЕННЫХ У НИХ ЗА ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЯ

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба –
филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск

Контактное лицо: Сергей Юрьевич Чекин, e-mail: chekin@nrer.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Оценка радиационных рисков болезней органов пищеварения (БОП) в диапазоне малых и средних доз (до 1,5 Гр) с учётом влияния других болезней, выявленных в наблюдаемой облучённой когорте.

Материал и методы: Радиационные риски БОП исследованы в российской когорте ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции, наблюдавшейся в системе Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР) с 1986 по 2023 гг. Исследованные случаи БОП входят в трёхзначные рубрики K00–K93 Международной статистической классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10). Радиационные риски заболеваемости оценивались в когорте ликвидаторов мужского пола общей численностью 86 623 чел., среди которых было выявлено 62 864 больных, имевших хотя бы один диагноз БОП. Для оценки радиационных рисков смертности от БОП численность когорты составила 89 567 чел., при 2 793 случаях смерти от БОП. Средняя поглощённая доза внешнего гамма-облучения всего тела, накопленная ликвидаторами за время работ, составила 0,133 Гр, максимальная – 1,5 Гр. Радиационные риски исследовались в рамках линейной беспороговой (ЛБП) модели избыточного относительного риска (*ERR*, от англ. Excess Relative Risk), а также в виде непараметрических оценок относительного риска (*RR*, от англ. Relative Risk) в дозовых группах.

Результаты: Для заболеваемости оценка коэффициента избыточного относительного риска $ERR/Гр=0,33$, для смертности – $ERR/Гр=0,81$. Эти оценки радиационных рисков БОП сопоставимы с оценками $ERR/Гр=0,63$ и $ERR/Гр=0,74$ для заболеваемости и смертности от солидных злокачественных новообразований (ЗНО) в этой же когорте. Среди ликвидаторов с диагнозами ЗНО радиационный риск заболеваемости БОП статистически значимо ($p=0,03$) увеличивается почти в два раза, до значения $ERR/Гр=0,64$. Практический дозовый порог для отдалённой смертности ликвидаторов от БОП, оценённый по ЛБП модели, находится в диапазоне 0,160–0,860 Гр, со средним значением 0,280 Гр. Это в 20 раз меньше дозового порога в 6 Гр, принятого МКРЗ для ранней смертности от БОП (до 10 дней после облучения). Аналогичные оценки дозовых порогов для заболеваемости БОП находятся в диапазоне 0,006–0,042 Гр. Непараметрические оценки относительных радиационных рисков (*RR*) подтверждают корректность ЛБП моделей радиационного риска БОП.

Выводы: В диапазоне малых и средних доз (до 1,5 Гр) радиационно-индуцированные БОП имеют существенные свойства отдалённых стохастических эффектов и укладываются в ЛБП модель риска. Дальнейшее накопление данных в системе НРЭР позволит исследовать характеристики БОП, свойственные поздним тканевым реакциям (прогрессирующее течение болезней, увеличение их тяжести с дозой и зависимость от здоровья организма в целом).

Ключевые слова: радиационный риск, авария на ЧАЭС, ликвидаторы, болезни органов пищеварения, заболеваемость, смертность, линейная беспороговая модель, избыточный относительный риск, относительный риск

Для цитирования: Чекин С.Ю., Горский А.И., Максютлов М.А., Карпенко С.В., Туманов К.А., Щукина Н.В., Кочергина Е.В. Оценка радиационных рисков болезней органов пищеварения у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с учётом влияния других болезней, выявленных у них за период наблюдения // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 4. С. 55–65. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-4-55-65

S.Yu. Chekin, A.I. Gorski, M.A. Maksoutov, S.V. Karpenko, K.A. Tumanov, N.V. Shchukina, E.V. Kochergina

Assessment of Radiation Risks of Digestive System Diseases among Chernobyl Liquidators, Considering the Influence of Other Diseases Identified in Them During the Follow-up Period

A.F. Tsyb Medical Radiological Research Centre –
branch of the National Medical Research Radiological Centre, Obninsk, Russia

Contact person: S.Yu. Chekin, e-mail: chekin@nrer.ru

ABSTRACT

Purpose: To assess the radiation risks of digestive system diseases (DSD) in the low and medium dose range (up to 1.5 Gy), considering the influence of other diseases identified in the exposed cohort.

Material and methods: Radiation risks of DSD were studied in the Russian cohort of Chernobyl disaster clean-up workers (liquidators), followed-up in the system of the National Radiation Epidemiological Registry (NRER) from 1986 to 2023. The studied cases of DSD are included in three-digit headings K00–K93 of the International Statistical Classification of Diseases 10th revision (ICD-10). Radiation risks of incidence were assessed in a cohort of 86,623 male liquidators, in which 62,864 diagnoses of DSD were identified. For the assessment of radiation risks of mortality from DSD, the cohort size was 89,567, with 2,793 deaths. The average absorbed dose of whole-body external gamma radiation accumulated by the liquidators during their work was 0.133 Gy, with a maximum dose of 1.5 Gy. Radiation risks were

investigated in the framework of linear no-threshold (LNT) model of excess relative risk (*ERR*), as well as in the form of nonparametric estimates of relative risk (*RR*) in dose groups.

Results: For incidence, the estimate of the excess relative risk per dose unit is $ERR/Gy=0.33$, for mortality the estimate is $ERR/Gy=0.81$. These DSD radiation risk estimates are comparable to $ERR/Gy=0.63$ and $ERR/Gy=0.74$ for incidence and mortality from solid malignant neoplasms (MN) in the same cohort. Among liquidators with diagnoses of MN, the radiation risk of DSD incidence is statistically significantly ($p=0.03$) increased almost twofold, to $ERR/Gy=0.64$. The practical dose threshold for late mortality from DSD, estimated by the LNT model, is in the range of 0.160–0.860 Gy, with a mean value of 0.280 Gy. This is 20 times lower than the 6 Gy dose threshold adopted by the ICRP for early DSD mortality (up to 10 days after exposure). Similar estimates of dose thresholds for DSD incidence are in the range of 0.006–0.042 Gy. Nonparametric estimates of relative radiation risks (*RR*) confirm the correctness of LNT models of DSD radiation risk. **Conclusions:** In the range of low and medium doses (up to 1.5 Gy) radiation-induced DSDs have significant properties of stochastic effects and fit into the LNT risk model. Further accumulation of data in the NRER system will make it possible to investigate the characteristics of DSD that are inherent in late tissue reactions (progression over time, increase in their severity with increasing dose and dependence on the health of the organism as a whole).

Keywords: radiation risk, Chernobyl accident, liquidators, digestive system diseases, incidence, mortality, linear no-threshold model, excess relative risk, relative risk

For citation: Chekin SYu, Gorski AI, Maksiutov MA, Karpenko SV, Tumanov KA, Shchukina NV, Kochergina EV. Assessment of Radiation Risks of Digestive System Diseases among Chernobyl Liquidators, Considering the Influence of Other Diseases Identified in Them During the Follow-up Period. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(4):55–65. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-4-55-65

Введение

Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) неоднократно обращала внимание на практическую важность оценок радиационно-обусловленного вреда здоровью человека, связанного с тканевыми реакциями, которые ранее рассматривались с точки зрения непосредственных детерминированных эффектов, характеризующихся дозовым порогом. В основных актуальных публикациях МКРЗ по этому вопросу, таких как Публикация 103 МКРЗ 2007 г. [1], специальное «Заявление о тканевых реакциях» МКРЗ 2011 г. [2] и Публикация 118 МКРЗ 2012 г. [3], отмечается, что многие тканевые реакции определяются не только непосредственным действием облучения, но могут изменяться после облучения, проявляться в отдалённые после облучения периоды, а дозовый порог для отдалённых реакций может оказаться существенно ниже, чем для ранних детерминированных эффектов в тех же органах и тканях. Многие неонкологические болезни проявляют свойства радиационно-обусловленных тканевых реакций [3], и ранее определённые для них дозовые пороги пересматриваются в меньшую сторону по мере накопления радиационно-эпидемиологических данных и увеличения периодов наблюдения за облучёнными когортами. В силу ограниченности имеющихся в мире эпидемиологических наблюдений для доз облучения менее 0,5 Гр, в настоящее время в этой области доз трудно ожидать демонстрации статистически значимых различий (в качестве подгонки данных) между пороговыми и беспороговыми моделями доза–эффект. В этом случае для практических целей радиационной защиты дозовый порог выбирается на основе оценки линейной беспороговой (ЛБП) модели радиационного риска, исходя из увеличения частоты беспорогового эффекта более чем на 1 % [1–3]. Учитывая, что тканевые реакции могут развиваться длительное время, в последнем научном обзоре 2023 г. Little M. et al [4] пришли к заключению, что изменение эффекта на 1 % следует относить к метрике пожизненного радиационного риска. В настоящее время практически значимые дозовые пороги для поздних (отдалённых по времени) тканевых реакций принято определять на основе ЛБП моделей риска для стохастических беспороговых эффектов. При этом характерными признаками тканевых реакций считаются их зависимости не только от дозы и мощности дозы облучения, но и от биологических модификаторов, связанных с возрастом, состоянием

определённых тканей и здоровьем организма в целом [3]. Таким образом, исследование радиационных рисков конкретных болезней, которые предположительно можно отнести к реакциям тканей, может и должно включать оценку модифицирующих влияний на эти риски других болезней, диагностированных у членов изучаемой когорты.

Национальный радиационно-эпидемиологический регистр (НРЭР) [5] с 1986 г. по настоящее время осуществляет наблюдение за когортой российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ликвидаторов). Средняя доза внешнего гамма-облучения всего тела в когорте ликвидаторов составляет около 0,1 Гр, причём 99,6 % ликвидаторов имеют индивидуальные накопленные за время работ дозы менее 0,5 Гр [6]. Общая численность когорты составляет более 140 тыс. чел., что позволяет оценивать радиационные риски в области малых доз. За первые 15 лет наблюдений в когорте был обнаружен статистически значимый радиационный риск цереброваскулярных болезней, ишемической болезни сердца и эссенциальной гипертензии [7, 8]. Оценки радиационных рисков сердечно-сосудистых заболеваний существенно зависели от наличия у ликвидаторов других болезней, выявленных за период наблюдения, в частности, от диабета, ожирения и повышенного артериального давления [9], что является характерным признаком тканевых реакций.

В недавнем исследовании [10] среди российских ликвидаторов мужского пола, наблюдавшихся в НРЭР [5] с 1986 по 2019 гг., была проведена оценка радиационных рисков в рамках ЛБП модели для полного перечня диагнозов неонкологических заболеваний по трёхзначным рубрикам Международной статистической классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) [11, 12]. Наибольший избыточный относительный риск (*ERR*, от англ. Excess Relative Risk) наблюдался для смертности от болезней органов пищеварения (БОП), относящихся к трёхзначным рубрикам МКБ-10 [12] K00–K93: оценка коэффициента избыточного относительного риска на единицу дозы $ERR/Gy=0,72$ при 95 % доверительном интервале (ДИ) от 0,15 до 1,38. Для заболеваемости БОП радиационный риск ликвидаторов был в два с лишним раза меньше: $ERR/Gy=0,33$ при 95 % ДИ (0,22; 0,44). Здесь следует отметить, что в японской когорте лиц, переживших атомные бомбардировки в 1945 г., радиационный риск смертности от БОП для мужского населения не наблюдался [13].

Целью данной работы является оценка радиационных рисков БОП в диапазоне малых и средних доз (до 1,5 Гр) с учётом влияния других болезней, выявленных в наблюдаемой облучённой когорте российских ликвидаторов.

Материал и методы

В настоящем исследовании использованы данные наблюдений за когортой ликвидаторов, накопленные в системе НРЭР с 1986 по 2023 гг. Оценки радиационных рисков смертности от БОП выполнены для трёхзначных рубрик кодов диагнозов K00–K93 МКБ-10 [12]. Для исследования радиационных рисков заболеваемости и смертности были сформированы когорты ликвидаторов по следующим общим критериям:

- 1) мужчины с документально подтверждённой дозой внешнего гамма-облучения всего тела;
- 2) период въезда в зону Чернобыльской аварии с 1986 по 1987 гг. включительно;
- 3) отсутствие диагнозов злокачественных новообразований (ЗНО) до даты въезда в зону Чернобыльской аварии;
- 4) возраст на год въезда в зону Чернобыльской аварии от 18 до 69 лет включительно;
- 5) наличие информации о состоянии здоровья, датах диагнозов заболеваний, о дате смерти или выбытия из-под наблюдения по другой причине, с 1986 по 2023 гг. включительно.

Помимо выборки по вышеперечисленным критериям, для исследования радиационных рисков заболеваемости из когорты исключались ликвидаторы, имевшие зарегистрированный исследуемый диагноз до начала периода наблюдения в когорте за этим ликвидатором (т.е. до начала въезда ликвидатора в чернобыльскую зону). Поэтому общая численность когорт, сформированных для исследования заболеваемости по всему классу БОП (K00–K93), по разным диапазонам трёхзначных рубрик внутри этого класса, или по отдельным диагнозам (например, K70.3 – алкогольный цирроз печени), различалась. Соответственно, наименьшую численность имела когорта исследования заболеваемости по всему классу БОП (K00–K93) в целом. В этом случае из когорты были исключены ликвидаторы, имевшие до въезда в чернобыльскую зону какие-либо диагнозы из рубрик K00–K93. В частности, за период наблюдения 1986–2023 гг. среди 86 623 членов исследуемой когорты было зарегистрировано 62 864 больных, имевших хотя бы один диагноз БОП.

При исследовании радиационных рисков смертности когорта по критериям 1–5 формировалась из ликвидаторов, независимо от того, какие диагнозы на начало наблюдения у них были зарегистрированы (за исключением ликвидаторов с диагнозами ЗНО). Общая численность такой когорты превышает численность когорты для исследования заболеваемости и составляет 89 567 чел. За период наблюдения 1986–2023 гг. в этой когорте было зарегистрировано 2 793 случая смерти от БОП.

Средний возраст на год въезда в зону чернобыльской аварии (на начало облучения) в когорте исследования смертности от БОП составил 33,6 года, накопленная за период работ средняя поглощённая доза внешнего гамма-облучения всего тела – 0,133 Гр, а максимальная доза – 1,5 Гр. В когорте исследования радиационных рисков заболеваемости по всему классу БОП (K00–K93) в целом средний возраст на начало наблюдения составил 33,5 года, а средняя и максимальная накопленная доза практически не изменились. Аналогичные характеристики для когорт исследования заболеваемости незна-

чительно варьировали в зависимости от того, для каких конкретно рубрик диагнозов БОП оценивались радиационные риски.

Радиационные риски заболеваемости и смертности от БОП оценивались как для всей когорты ликвидаторов, так и для различных подкогорт ликвидаторов с выявленными или, наоборот, отсутствующими у них за период наблюдения болезнями, которые входили в следующие 14 трёхзначных рубрики МКБ-10 [11, 12]: инфекционные и паразитарные болезни (A00–B99), злокачественные новообразования (C00–C97), другие новообразования (D00–D48), болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50–D89), болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ (E00–E90), психические расстройства и расстройства поведения, болезни нервной системы (F00–G99), болезни глаза и его придаточного аппарата (H00–H59), болезни уха и сосцевидного отростка (H60–H95), болезни органов дыхания (J00–J99), болезни кожи и подкожной клетчатки (L00–L99), болезни костно-мышечной системы (M00–M99), болезни мочеполовой системы (N00–N99), травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин (S00–T98), внешние причины заболеваемости (V01–Y98).

Подкогорта с наличием выявленных болезней из конкретной трёхзначной рубрики МКБ-10 [11, 12] включала ликвидаторов, у которых хотя бы раз за период наблюдения был установлен диагноз из этой рубрики. Подкогорта с отсутствием болезней из конкретной трёхзначной рубрики включала ликвидаторов, у которых за период наблюдения какие-либо болезни из этой рубрики не были выявлены.

Наблюдаемый показатель заболеваемости или смертности $\lambda(e, r, c, D)$ был представлен в виде мультипликативной ЛБП модели [14]:

$$\lambda(e, r, c, D) = \lambda_0(e, r, c) \times RR(D) = \lambda_0(e, r, c) \times [1 + (ERR/Gr)], \quad (1)$$

где $\lambda(e, r, c)$ – фоновый (в отсутствие исследуемого облучения) показатель заболеваемости или смертности, требующий оценки; e – возраст на начало облучения ликвидатора; r – регион регистрации ликвидатора (субъекты РФ, сгруппированные в 15 регионов); c – календарный год наблюдения; D – индивидуальная, накопленная за время работ, поглощённая доза внешнего гамма-облучения всего тела, в Гр; $RR(D)$ – относительный риск, зависящий от дозы облучения D ; ERR/Gr – коэффициент избыточного относительного риска на 1 Гр, требующий оценки.

Помимо оценки параметра ERR/Gr в ЛБП модели (1) относительный риск RR оценивался в разных дозовых группах, т.е. в группах ликвидаторов, имевших дозы из разных дозовых интервалов. В этом случае регрессионная модель имела следующий вид:

$$\lambda(e, r, c, dGr_n) = \lambda_0(e, r, c) \times RR_n, \quad (2)$$

где dGr_n – категориальная переменная, соответствующая n -ой дозовой группе, к которой относятся ликвидаторы; $RR_n = \exp(\mu_n)$ – относительный риск для n -ой дозовой группы относительно контрольной дозовой группы ($n=1$), для которой $RR_1 = 1$ по определению; μ_n – оцениваемый параметр, соответствующий n -ой дозовой группе; остальные обозначения соответствуют формуле (1).

В модели (2) контрольная группа dGr_1 включала ликвидаторов с индивидуальными дозами из интервала $0 < D \leq 0,05$ Гр, группа dGr_2 – с дозами из интерва-

ла $0,05 < D \leq 0,1$ Гр, группа dGr_3 – с дозами из интервала $0,1 < D \leq 0,15$ Гр и группа dGr_4 – с дозами $0,15 < D \leq 1,5$ Гр.

Оценки параметров моделей рисков (1) и (2) были получены с помощью специализированного пакета статистических программ EpiSure [15], который использовался при оценке радиационных рисков в японской когорте лиц, переживших атомные бомбардировки 1945 г. [10]. В данном пакете для оценки неизвестных параметров (ERR/Gr , RR_n), их статистической значимости (величина p) и доверительных интервалов используется метод максимального правдоподобия [14]. Статистическая значимость отличия оценок ERR/Gr в подкогортах от средней оценки по всей исследованной когорте определялась в приближении нормального распределения оценок максимального правдоподобия, которое на практике хорошо соответствует эмпирическим распределениям оценок параметров в мультипликативных ЛБП моделях риска, на используемой здесь модели (1) [14].

Результаты и обсуждение

В табл. 1 и 2 приведены оценки радиационных рисков в виде коэффициентов избыточного относительно риска (ERR/Gr) ЛБП модели (1) для заболеваемости БОП и смертности от БОП ликвидаторов как для класса БОП (K00–K93) в целом, так и для рубрик и подрубрик внутри класса.

Для всей исследованной когорты в среднем оценка заболеваемости $ERR/Gr=0,33$ при 95 % ДИ (0,22; 0,40) и

величине $p < 0,001$ (исследование № 1 в табл. 1) количественно сопоставима с оценкой $ERR/Gr=0,62$ при 95 % ДИ (0,29; 0,98) для заболеваемости солидными ЗНО в этой же когорте, полученной ранее [16]. Оценка смертности $ERR/Gr=0,81$ при 95 % ДИ (0,26; 1,44) и величине $p=0,002$ (исследование № 1 в табл. 2) также количественно сравнима с оценкой $ERR/Gr=0,74$ при 95 % ДИ (0,32; 1,22) для смертности от солидных ЗНО в этой же когорте [16].

Анализируя когорту ликвидаторов, следует отметить, что радиационный риск заболеваемости БОП в основном обусловлен болезнями пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки (K20–K31): $ERR/Gr=0,30$, при 46 517 случаях заболеваний; болезнями печени (K70–K76): $ERR/Gr=0,52$, при 21 093 случаях заболеваний, а также болезнями желчного пузыря, желчевыводящих путей и поджелудочной железы (K80–K87): $ERR/Gr=0,25$, при 38 529 случаях заболеваний. Основной вклад в вышеперечисленные рубрики вносят:

- язва желудка (K25, $ERR/Gr=0,64$, при 9 086 случаях заболеваний);
- язва двенадцатиперстной кишки (K26, $ERR/Gr=0,21$, при 14 990 случаях заболеваний);
- гастрит и дуоденит (K29, $ERR/Gr=0,25$, при 40 986 случаях заболеваний);
- хронический гепатит, не классифицированный в других рубриках (K73, $ERR/Gr=0,70$, при 14 352 заболеваниях);

Таблица 1

Оценки коэффициентов избыточного относительного риска (ERR/Gr) заболеваемости БОП (рубрики МКБ-10 K00–K93) по классу в целом, а также в рубриках и подрубриках внутри класса, за весь период наблюдения (1986–2023 гг.)

Estimates of excess relative risk (ERR/Gy) of digestive system diseases incidence (ICD-10 K00–K93) for the class as a whole, as well as in headings and subheadings within the class, for the entire follow-up period (1986–2023)

№ исследования	Исследованные болезни по трёхзначным рубрикам МКБ-10	ERR/Gr (95% ДИ)	Величина p	Число случаев
1	K00–K93 Болезни органов пищеварения	0,33 (0,22; 0,44)	<0,001	62 864
2	K00–K14 Болезни полости рта, слюнных желёз и челюстей	–0,36 (–0,59; –0,11)	0,005	9 021
3	K02–K05 в совокупности	–0,42 (–0,67; –0,16)	0,002	7 856
4	K02 Карисес зубов	–0,43 (–0,03; –0,79)	0,038	3 333
5	K04 Болезни пульпы и периапикальных тканей	–0,74 (–н.н.; –0,40)	<0,001	3 711
6	K05 Гингивит и болезни пародонта	0,13 (–0,39; 0,73)	>0,5	2 299
7	K20–K31 Болезни пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки	0,30 (0,17; 0,42)	<0,001	46 517
8	K25–K26 Язва желудка и двенадцатиперстной кишки	0,27 (0,08; 0,47)	0,006	18 648
9	K25 Язва желудка	0,64 (0,34; 0,97)	<0,001	9 086
10	K26 Язва двенадцатиперстной кишки	0,21 (0,005; 0,43)	0,045	14 990
11	K29 Гастрит и дуоденит	0,25 (0,12; 0,38)	<0,001	40 986
12	K35–K38 Болезни аппендикса [червеобразного отростка]	0,18 (–0,50; 1,01)	>0,5	1 199
13	K40–K46 Грыжи	–0,04 (–0,31; 0,26)	>0,5	7 323
14	K50–K52 Неинфекционные энтериты и колиты	0,22 (–0,21; 0,71)	0,323	3 392
15	K55–K64 Другие болезни кишечника	0,15 (–0,16; 0,49)	0,365	6 209
16	K55 Сосудистые болезни кишечника	–0,17 (–н.н.; 0,70)	>0,5	890
17	K65–K67 Болезни брюшины	0,21 (–0,61; 1,27)	>0,5	847
18	K70–K76 Болезни печени	0,52 (0,33; 0,73)	<0,001	21 093
19	K70 Алкогольная болезнь печени	0,19 (–0,31; 0,77)	0,487	2 407
20	K70.3 Алкогольный цирроз печени	0,37 (–0,54; 1,59)	0,464	710
21	K73 Хронический гепатит, не классифицированный в других рубриках	0,70 (0,45; 0,97)	<0,001	14 352
22	K74 Фиброз и цирроз печени	0,79 (0,26; 1,39)	0,002	2 894
23	K80–K87 Болезни желчного пузыря, желчевыводящих путей и поджелудочной железы	0,25 (0,12; 0,39)	<0,001	38 529
24	K80–K83 Болезни желчного пузыря, желчевыводящих путей	0,34 (0,19; 0,49)	<0,001	32 396
25	K85–K86 Болезни поджелудочной железы	0,08 (–0,09; 0,25)	0,381	20 897
26	K85 Острый панкреатит	1,00 (0,29; 1,85)	0,004	1 545
27	K86 Другие болезни поджелудочной железы	0,05 (–0,11; 0,23)	>0,5	20 334
28	K90–K93 Другие болезни органов пищеварения	0,44 (–0,19; 1,20)	0,185	1 561

Таблица 2

Оценки коэффициентов избыточного относительного риска (ERR/Gr) смертности от БОП (рубрики МКБ-10 K00–K93) по классу в целом, а также в рубриках и подрубриках внутри класса, за весь период наблюдения (1986–2023 гг.)

Estimates of excess relative risk (ERR/Gy) from digestive system diseases mortality (ICD-10 K00–K93) for the class as a whole, as well as in headings and subheadings within the class, for the entire follow-up period (1986–2023)

№ исследования	Исследованные болезни по трёхзначным рубрикам МКБ-10	ERR/Gr (95 % ДИ)	Величина p	Число случаев
1	K00–K93 Болезни органов пищеварения	0,81 (0,26; 1,44)	0,002	2 793
2	K00–K14 Болезни полости рта, слюнных желёз и челюстей	н.н. (–н.н.; н.н.)	>0,5	4
3	K20–K31 Болезни пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки	0,45 (–н.н.; 2,47)	>0,5	319
4	K25–K26 Язва желудка и двенадцатиперстной кишки	0,64 (–н.н.; 3,09)	0,463	257
5	K25 Язва желудка	0,80 (–н.н.; 4,73)	>0,5	143
6	K26 Язва двенадцатиперстной кишки	0,46 (–н.н.; 4,38)	>0,5	114
7	K29 Гастрит и дуоденит	–0,41 (–н.н.; 3,17)	0,477	23
8	K35–K38 Болезни аппендикса [червеобразного отростка]	2,39 (–н.н.; 57,15)	>0,5	12
9	K40–K46 Грыжи	–0,27 (–н.н.; 49,11)	>0,5	13
10	K50–K52 Неинфекционные энтериты и колиты	–0,82 (–н.н.; 5,51)	>0,5	31
11	K55–K64 Другие болезни кишечника	–0,57 (–н.н.; 1,29)	0,475	237
12	K55 Сосудистые болезни кишечника	–0,80 (–н.н.; 0,76)	0,197	167
13	K65–K67 Болезни брюшины	–0,63 (–н.н.; 1,45)	0,266	27
14	K70–K76 Болезни печени	1,11 (0,38; 1,98)	0,002	1 746
15	K70 Алкогольная болезнь печени	0,18 (–н.н.; 1,75)	>0,5	407
16	K70.3 Алкогольный цирроз печени	0,79 (–0,62; 3,05)	0,324	311
17	K73 Хронический гепатит, не классифицированный в других рубриках	1,86 (–н.н.; 9,51)	0,299	82
18	K74 Фиброз и цирроз печени	1,26 (0,35; 2,42)	0,004	1 125
19	K80–K87 Болезни желчного пузыря, желчевыводящих путей и поджелудочной железы	1,38 (–0,08; 3,54)	0,068	392
20	K80–K83 Болезни желчного пузыря, желчевыводящих путей	–0,18 (–н.н.; 4,75)	>0,5	49
21	K85–K86 Болезни поджелудочной железы	1,75 (0,05; 4,39)	0,042	343
22	K85 Острый панкреатит	1,51 (–0,31; 4,54)	0,119	241
23	K86 Другие болезни поджелудочной железы	2,51 (–н.н.; 10,31)	0,171	102
24	K90–K93 Другие болезни органов пищеварения	–0,28 (–н.н.; 61,35)	>0,5	12

- болезни желчного пузыря и желчевыводящих путей (K80–K83, $ERR/Gr=0,34$, при 32 396 случаях заболевания).

Обращают на себя внимание статистически значимые отрицательные оценки $ERR/Gr = -0,36$ (–0,59; –0,11), т.е. радиационный гормезис для болезней полости рта, слюнных желёз и челюстей (K00–K14), которые представлены в основном кариесом зубов (K02), а также болезнями пульпы и периапикальных тканей (K04). Если считать, что данные болезни имеют инфекционную этиологию, то данное наблюдение подтверждается отрицательными оценками $ERR/Gr = -0,26$ (–0,49; –0,01) для инфекционных и паразитарных болезней (A00–B99), полученными ранее в этой же когорте ликвидаторов [10]. Для гингивита и болезней пародонта (K05) радиационные реакции тканей в когорте ликвидаторов отсутствовали.

Радиационный риск смертности от БОП (табл. 2) в основном был обусловлен болезнями печени (K70–K76, $ERR/Gr = 1,11$, при 1 746 случаях смерти), а именно – фиброзом и циррозом печени (K74, $ERR/Gr=1,26$, при 1 125 случаях смерти).

В табл. 3 и 4 приведены оценки радиационных рисков в виде коэффициентов избыточного относительного риска (ERR/Gr) ЛБП модели (1) для заболеваемости БОП и смертности от БОП ликвидаторов в зависимости болезней, выявленных у них за период наблюдения. Исследования приведены в отношении влияния на радиационные риски БОП диагнозов ликвидаторов из всех трёхзначных рубрик МКБ-10 [11, 12], за исключением рубрик O00–P96 (беременность, роды, состояния в перинатальном периоде). Ввиду малочисленности диагнозов (менее 100 среди случаев БОП), рубрики Q00–Q99

(врождённые аномалии), R00–R99 (симптомы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях), U00–U85 (коды для особых целей) и Z00–Z99 (факторы, влияющие на состояние здоровья и обращения в учреждения здравоохранения) также не вошли в анализ.

При разбиении всей когорты на две непересекающиеся (по списочному составу) подгруппы, с наличием или отсутствием болезней из определённой рубрики, следует ожидать разнонаправленных расхождений оценок ERR/Gr для БОП в подгруппах от общего среднего значения. В последнем столбце табл. 3 и 4 приведены величины p для статистической значимости отличий оценок ERR/Gr в подгруппах от средней по всей когорте оценки ($ERR/Gr = 0,33$ для заболеваемости и $ERR/Gr = 0,81$ для смертности).

Среди ликвидаторов с диагнозами ЗНО радиационный риск заболеваемости БОП статистически значимо ($p=0,03$) увеличивается почти в два раза, со значения $ERR/Gr=0,33$ до значения $ERR/Gr=0,64$ (табл. 3). При этом ЗНО органов пищеварения составляют 37 % от всех диагностированных ЗНО, независимо от наличия или отсутствия у ликвидаторов диагнозов БОП. Изменение структуры диагнозов БОП при наличии у ликвидаторов диагнозов ЗНО, как возможная причина увеличения у них радиационного риска БОП, требует отдельного исследования, т.к. статистически значимое уменьшение доли отдельных групп диагнозов затронуло как болезни полости рта, слюнных желёз и челюстей (K00–K14) с отрицательными оценками ERR/Gr , так и ряд других групп диагнозов БОП с высокими радиационными рисками.

Для анализа возможного существования дозового порога радиационного риска БОП в табл. 5 приведены непараметрические оценки относительного радиацион-

Таблица 3

Оценки коэффициентов избыточного относительного риска (ERR/Gr) заболеваемости БОП (рубрики МКБ-10 K00–K93) в когортах ликвидаторов, в зависимости от выявленных у них болезней за весь период наблюдения (1986–2023 гг.)

Estimates of excess relative risk (ERR/Gy) of digestive system diseases incidence (ICD-10 K00–K93) in cohorts of liquidators, depending on the diseases detected in them for the entire follow-up period (1986–2023)

№ исследования	Исследованные болезни по трёхзначным рубрикам МКБ-10	ERR/Gr (95 % ДИ)	Величина p	Число случаев	Значимость отличия от средней по когорте оценки $ERR/Gr=0,33$, величина p
1	Вся исследованная когорта	0,33 (0,22; 0,44)	<0,001	62864	
2	A00–B99, отсутствие	0,35 (0,23; 0,47)	<0,001	53629	0,403
	A00–B99, наличие	0,31 (0,02; 0,61)	0,033	9235	0,450
3	C00–C97, отсутствие	0,27 (0,15; 0,39)	<0,001	53009	0,229
	C00–C97, наличие	0,64 (0,33; 0,95)	<0,001	9855	0,029
4	C00–D48, отсутствие	0,34 (0,22; 0,46)	<0,001	53299	0,451
	C00–D48, наличие	0,31 (0,04; 0,59)	0,021	9565	0,447
5	D50–D89, отсутствие	0,32 (0,21; 0,44)	<0,001	57515	0,450
	D50–D89, наличие	0,25 (-0,11; 0,65)	0,184	5349	0,344
6	E00–E90, отсутствие	0,39 (0,21; 0,59)	<0,001	22866	0,294
	E00–E90, наличие	0,23 (0,11; 0,37)	<0,001	39998	0,123
7	F00–F99, отсутствие	0,36 (0,20; 0,52)	<0,001	29466	0,379
	F00–F99, наличие	0,22 (0,07; 0,37)	0,003	33398	0,119
8	G00–G99, отсутствие	0,29 (0,06; 0,53)	0,011	12713	0,380
	G00–G99, наличие	0,32 (0,20; 0,45)	<0,001	50151	0,452
9	H00–H59, отсутствие	0,33 (0,17; 0,50)	<0,001	25461	0,500
	H00–H59, наличие	0,35 (0,21; 0,50)	<0,001	37403	0,414
10	H60–H95, отсутствие	0,32 (0,20; 0,45)	<0,001	46353	0,453
	H60–H95, наличие	0,38 (0,16; 0,61)	<0,001	16511	0,344
11	I00–I99, отсутствие	0,48 (0,09; 0,91)	0,014	5180	0,239
	I00–I99, наличие	0,30 (0,19; 0,41)	<0,001	57684	0,353
12	J00–J99, отсутствие	0,52 (0,25; 0,82)	<0,001	10231	0,110
	J00–J99, наличие	0,29 (0,18; 0,41)	<0,001	52633	0,312
13	L00–L99, отсутствие	0,36 (0,24; 0,49)	<0,001	49118	0,360
	L00–L99, наличие	0,25 (0,02; 0,49)	0,031	13746	0,271
14	M00–M99, отсутствие	0,52 (0,21; 0,87)	<0,001	7946	0,140
	M00–M99, наличие	0,31 (0,20; 0,43)	<0,001	54918	0,402
15	N00–N99, отсутствие	0,42 (0,26; 0,58)	<0,001	31077	0,181
	N00–N99, наличие	0,18 (0,04; 0,33)	0,011	31787	0,051
16	S00–T98, отсутствие	0,28 (0,15; 0,42)	<0,001	39313	0,285
	S00–T98, наличие	0,45 (0,26; 0,64)	<0,001	23551	0,138
17	V01–Y98, отсутствие	0,35 (0,24; 0,46)	<0,001	60613	0,400
	V01–Y98, наличие	-0,18 (-0,67; 0,39)	>0,5	2251	0,032

ного риска (RR) заболеваемости БОП и смертности от БОП в когортах ликвидаторов за весь период наблюдения (1986–2023 гг.).

На рис. 1 и 2 представлены графики относительно-го риска $RR(D) = 1 + (ERR / Gr) \times D$, построенные по оценённым ЛБП моделям (1) с соответствующими коэффициентами ERR/Gr из исследований № 1 табл. 1 и 2, а также оценки RR по модели (2) в дозовых интервалах из табл. 5.

Сплошной линией обозначены контрольные уровни $RR=1$, длинной прерывистой линией обозначены оценки RR по ЛБП модели (1), пунктирной линией обозначены нижняя граница (НГ) 95 % ДИ этой оценки и верхняя граница (ВГ) 95 % ДИ оценки. Точками с вертикальными отрезками изображены непараметрические оценки RR с их 95 % ДИ в дозовых интервалах. С учётом ДИ непараметрические оценки RR (2) хорошо согласуются с оценками RR по ЛБП модели (1).

Представленные здесь оценки RR , кроме RR для группы 0,1–0,15 Гр (как для заболеваемости, так и для смертности), статистически значимы и превышают контрольный уровень $RR=1$. На рис. 1 и 2 НГ 95 % ДИ оценки RR в интервале 0,1–0,15 Гр меньше 1, что, вероятно,

обусловлено сравнительно небольшой численностью подкогорты, поскольку сами точечные оценки RR в дозовых интервалах (с учётом ВГ ДИ для заболеваемости) совпадают с расчётом по ЛБП модели (1).

На рис. 3 и 4 представлены графики относительно-го риска $RR(D)=1 + (ERR/Gr) \times D$ заболеваемости БОП, построенные по оценённым ЛБП моделям (1) для подкогорт ликвидаторов, имевших (рис. 3) и не имевших (рис. 4) диагнозов ЗНО за весь период наблюдения, с соответствующими коэффициентами из исследования № 3 табл. 3, а также оценки RR по модели (2) в дозовых интервалах из табл. 6.

Таким образом, непараметрические оценки RR (2) свидетельствуют, что ЛБП модель (1) действия внешнего гамма-облучения в виде увеличения заболеваемости БОП и смертности ликвидаторов от БОП не может быть отвергнута как в целом для когорты, так и при учёте состояния их здоровья, связанного с развитием ЗНО.

В табл. 7 приведены оценки практических дозовых порогов для БОП: для всей когорты по заболеваемости; для подкогорты ликвидаторов с диагнозами ЗНО по заболеваемости; для подкогорты ликвидаторов без диагнозов ЗНО по заболеваемости; для всей когорты по

Таблица 4

Оценки коэффициентов избыточного относительного риска (ERR/Гр) смертности от БОП (рубрики МКБ-10 K00–K93) в когортах ликвидаторов, в зависимости от выявленных у них болезней за весь период наблюдения (1986–2023 гг.)

Estimates of excess relative risk (ERR/Gy) from digestive system diseases mortality (ICD-10 K00–K93) in cohorts of liquidators, depending on the diseases detected in them for the entire follow-up period (1986–2023)

№ исследования	Исследованные болезни по трёхзначным рубрикам МКБ-10	ERR/Гр (95 % ДИ)	Величина p	Число случаев	Значимость отличия от средней по когорте оценки ERR/Гр=0,53, величина p
1	Вся исследованная когорта	0,81 (0,26; 1,44)	0,002	2793	
2	A00–B99, отсутствие	0,83 (0,24; 1,52)	0,004	2377	0,482
	A00–B99, наличие	0,59 (–0,60; 2,32)	0,380	416	0,393
3	C00–C97, отсутствие	0,95 (0,37; 1,63)	<0,001	2649	0,374
	C00–C97, наличие	0,28 (–н.н.; 3,00)	>0,5	144	0,325
4	C00–D48, отсутствие	0,97 (0,38; 1,66)	<0,001	2577	0,359
	C00–D48, наличие	–0,05 (–н.н.; 1,78)	>0,5	216	0,160
5	D50–D89, отсутствие	0,91 (0,31; 1,63)	0,002	2367	0,412
	D50–D89, наличие	–0,14 (–н.н.; 1,21)	>0,5	426	0,073
6	E00–E90, отсутствие	0,92 (0,09; 1,96)	0,028	1256	0,422
	E00–E90, наличие	0,83 (0,13; 1,69)	0,017	1537	0,484
7	F00–F99, отсутствие	1,35 (0,47; 2,44)	0,001	1292	0,175
	F00–F99, наличие	0,35 (–0,29; 1,13)	0,309	1501	0,166
8	G00–G99, отсутствие	0,67 (–0,38; 2,11)	0,238	605	0,419
	G00–G99, наличие	0,91 (0,29; 1,65)	0,003	2188	0,414
9	H00–H59, отсутствие	0,62 (–0,06; 1,44)	0,073	1485	0,348
	H00–H59, наличие	1,05 (0,21; 2,09)	0,011	1308	0,334
10	H60–H95, отсутствие	0,70 (0,13; 1,37)	0,014	2319	0,401
	H60–H95, наличие	1,35 (–0,07; 3,43)	0,064	474	0,273
11	I00–I99, отсутствие	1,05 (–0,33; 3,16)	0,159	424	0,393
	I00–I99, наличие	0,92 (0,32; 1,61)	0,002	2369	0,403
12	J00–J99, отсутствие	0,95 (–0,15; 2,47)	0,098	684	0,420
	J00–J99, наличие	0,83 (0,21; 1,55)	0,006	2109	0,483
13	L00–L99, отсутствие	1,14 (–0,03; 2,75)	0,058	622	0,331
	L00–L99, наличие	0,76 (0,16; 1,48)	0,011	2171	0,456
14	M00–M99, отсутствие	1,14 (–0,03; 2,75)	0,058	622	0,331
	M00–M99, наличие	0,76 (0,16; 1,48)	0,011	2171	0,456
15	N00–N99, отсутствие	0,63 (–0,01; 1,40)	0,055	1829	0,350
	N00–N99, наличие	1,22 (0,25; 2,46)	0,011	964	0,259
16	S00–T98, отсутствие	0,80 (0,15; 1,57)	0,013	1872	0,491
	S00–T98, наличие	0,76 (–0,14; 1,94)	0,107	921	0,467
17	V01–Y98, отсутствие	0,78 (0,24; 1,41)	0,003	2769	0,472
	V01–Y98, наличие	10,2 (–н.н.; 399,7)	0,125	24	0,239

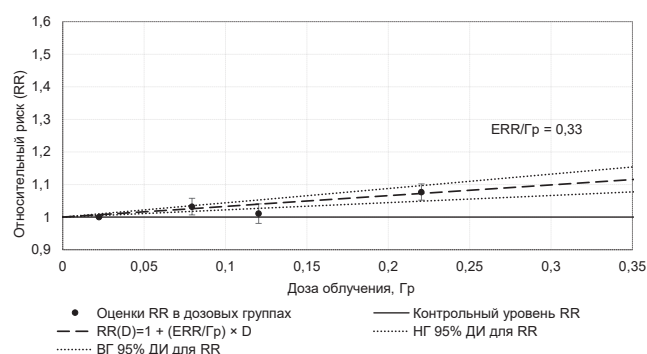


Рис. 1. Оценки относительного риска (RR) и ЛНП модель избыточного относительного риска (ERR) для заболеваемости БОП в когорте ликвидаторов

Fig. 1. Estimates of the relative risk (RR) and linear no-threshold model of excess relative risk (ERR) for the digestive system diseases incidence in the cohort of liquidators

смертности. Оценки дозовых порогов получены на основе ЛНП модели (1) и определяют дозы, при которых пожизненный радиационный риск равен 1 % [4]. Пожизненный радиационный риск рассчитывался исходя из ожидаемой продолжительности жизни ликвидаторов

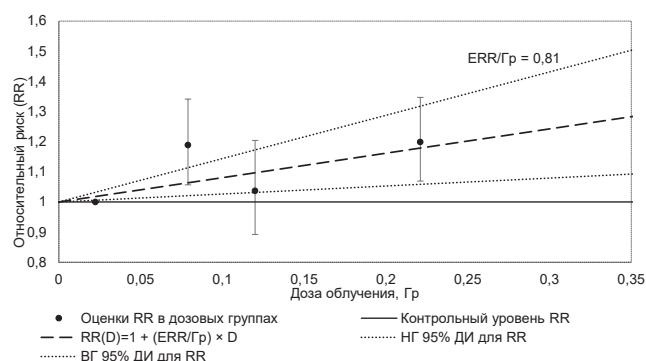


Рис. 2. Оценки относительного риска (RR) и ЛНП модель избыточного относительного риска (ERR) для смертности от БОП в когорте ликвидаторов

Fig. 2. Estimates of the relative risk (RR) and linear no-threshold model of excess relative risk (ERR) from the digestive system diseases mortality in the cohort of liquidators

67,6 года, согласно данным федеральной статистики о мужском населении России за 2022 г. [17].

Для заболеваемости БОП дозовый порог в среднем по когорте оценивается как 0,019 Гр, при 95 % ДИ (0,014 Гр; 0,028 Гр). Практический дозовый порог для

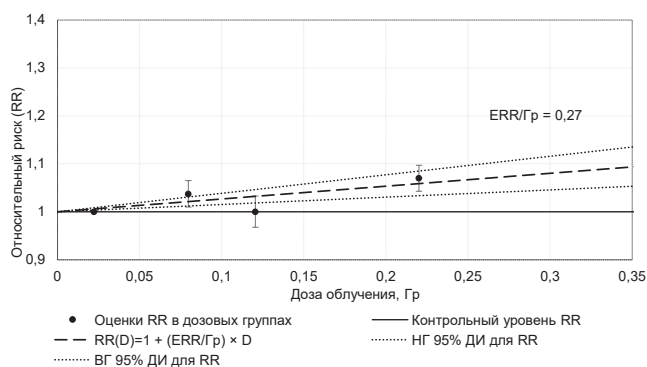


Рис. 3. Оценки относительного риска (RR) заболеваемости БОП и ЛБП модель избыточного относительного риска (ERR) для подгруппы ликвидаторов, не имевших диагнозов ЗНО за весь период наблюдения

Fig. 3. Estimates of the relative risk (RR) of the digestive system diseases incidence and linear no-threshold model of excess relative risk (ERR) for a subcohort of liquidators without diagnoses of malignant neoplasms over the entire follow-up period

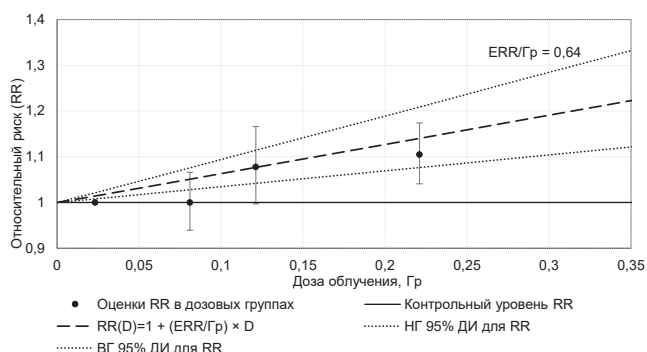


Рис. 4. Оценки относительного риска (RR) заболеваемости БОП и ЛБП модель избыточного относительного риска (ERR) для подгруппы ликвидаторов с зарегистрированными в течение периода наблюдения диагнозами ЗНО

Fig. 4. Estimates of the relative risk (RR) of the digestive system diseases incidence and linear no-threshold model of excess relative risk (ERR) for a subcohort of liquidators with registered diagnoses of malignant neoplasms during the follow-up period

отдалённой смертности ликвидаторов от БОП, оценённый по ЛБП модели, находится в диапазоне 0,160–0,860 Гр, со средним значением 0,280 Гр. Это в 20 раз меньше дозового порога в 6 Гр, принятого МКРЗ [2] для ранней смертности от БОП (до 10 дней после облучения).

Аналогичные оценки дозовых порогов для заболеваемости БОП, в зависимости от наличия или отсутствия у ликвидаторов диагнозов ЗНО, находятся в диапазоне 0,009–0,23 Гр, причём для ликвидаторов с отсутствием

Таблица 5

Оценки относительного радиационного риска (RR) заболеваемости БОП и смертности от БОП (рубрики МКБ-10 K00–K93) в когортах ликвидаторов за весь период наблюдения (1986–2023 гг.)

Estimates of the relative radiation risk (RR) of digestive system diseases incidence and from digestive system diseases mortality (ICD-10 K00–K93) in cohorts of liquidators for the entire follow-up period (1986–2023)

Тип исследования	Интервал доз (D), Гр	Численность когорты	Число случаев	Число человеко-лет под наблюдением	Относительный риск, RR (95 % ДИ)
Исследование заболеваемости	$0 < D \leq 0,05$	14 656	10 656	217 222,5	1,00
	$0,05 < D \leq 0,10$	27 671	20 009	387 843,0	1,03 (1,01; 1,06)
	$0,10 < D \leq 0,15$	8 781	6 382	128 607,0	1,01 (0,98; 1,04)
	$0,15 < D < 1,5$	35 515	25 817	520 185,5	1,08 (1,05; 1,10)
Исследование смертности	$0 < D \leq 0,05$	15 187	410	414 640,0	1,00
	$0,05 < D \leq 0,10$	28 545	943	753 054,0	1,19 (1,06; 1,34)
	$0,10 < D \leq 0,15$	9 078	264	246 979,0	1,04 (0,89; 1,20)
	$0,15 < D < 1,5$	36 757	1176	999 712,5	1,20 (1,07; 1,35)

Таблица 6

Оценки относительного радиационного риска (RR) заболеваемости БОП для подгруппы ликвидаторов, не имевших и имевших диагнозы ЗНО за весь период наблюдения (1986–2023 гг.)

Estimates of the relative radiation risk (RR) of digestive system diseases incidence for the subcohort of liquidators without and with diagnoses of malignant neoplasms for the entire follow-up period (1986–2023)

Исследованная когорта	Интервал доз (D), Гр	Относительный риск, RR	Нижняя граница 95 % ДИ	Верхняя граница 95 % ДИ
Подгруппа с отсутствием диагнозов ЗНО	$0 < D \leq 0,05$	1,00	1,00	1,00
	$0,05 < D \leq 0,10$	1,04	1,01	1,07
	$0,10 < D \leq 0,15$	1,00	0,97	1,03
	$0,15 < D < 1,5$	1,07	1,04	1,10
Подгруппа с диагнозами ЗНО	$0 < D \leq 0,05$	1,00	1	1
	$0,05 < D \leq 0,10$	1,00	0,939	1,066
	$0,10 < D \leq 0,15$	1,08	0,997	1,166
	$0,15 < D < 1,5$	1,11	1,041	1,174

диагнозов ЗНО пороговые значения выше, чем для ликвидаторов с диагнозами ЗНО.

Представленное в данной статье исследование является сигнальным и ставит некоторые общие вопросы радиационной эпидемиологии неонкологических болезней. В частности, дополнительного исследования требует тот факт, что максимальный радиационный риск среди всех диагнозов БОП как для заболеваемости, так и для смертности наблюдался (табл. 1 и 2) для болезней

Таблица 7

Оценки практических дозовых порогов для болезней органов пищеварения (БОП) в когортах ликвидаторов

Estimates of the practical dose thresholds for digestive system diseases (DSD) in cohorts of liquidators

Исследованная когорта	ERR/Gp (95 % ДИ)	Численность когорты	Число человеко-лет под наблюдением	Число случаев БОП	Средний достигнутый возраст, лет	Практический дозовый порог, (95 % ДИ), Гр
Вся когорта, заболеваемость	0,33 (0,22; 0,44)	86 623	1 253 858,0	62 864	48,4	0,019 (0,014; 0,028)
Подгруппа с диагнозами ЗНО, заболеваемость	0,64 (0,33; 0,95)	12 284	172 040,0	9 855	48,0	0,009 (0,006; 0,017)
Подгруппа с отсутствием диагнозов ЗНО, заболеваемость	0,27 (0,15; 0,39)	74 339	1 081 818,0	53 009	48,5	0,023 (0,016; 0,042)
Вся когорта, смертность	0,81 (0,26; 1,44)	89 567	2 414 385,5	2 793	51,7	0,276 (0,155; 0,859)

печени (K70–K76). Согласно существующим представлениям МКРЗ [2], эти риски не должны быть высокими, т.к. печень относят к органам, в которых функциональные субъединицы (ФСУ) расположены параллельно и могут поддерживать инактивацию многих ФСУ без клинических признаков повреждения из-за значительной резервной ёмкости и компенсации оставшимися ФСУ.

Следующий вопрос, требующий пояснения, – это влияние внутреннего облучения на развитие БОП у ликвидаторов. Сочетание внешнего и внутреннего ионизирующего облучения является особенностью воздействия радиационного фактора на организм человека при аварии на Чернобыльской АЭС [18]. Органы пищеварения подвергаются воздействию ионизирующего излучения как при внешнем, так и при внутреннем облучении. Слаборастворимые, не всасывающиеся радионуклиды, которые транзитом проходят по желудочно-кишечному тракту или на определённое время фиксируются на слизистой оболочке кишечника, оказывают воздействие не только на поверхностный эпителий, но и на более глубокие его структуры стенки и близлежащие ткани. При этом инкорпорированные радионуклиды в соседних тканях (кости, мышцы, печень) длительно воздействуют на органы пищеварительной системы [18].

По данным работы [19], в первые дни после аварии на ЧАЭС основным этиологическим фактором повреждения явилось внешнее облучение, но в последующее время всё большее значение стало принадлежать фактору внутреннего облучения за счёт поступления радионуклидов в организм с продуктами питания и вдыхаемым воздухом. В группе пациентов с эрозивными процессами в слизистой оболочке желудка и двенадцатиперстной кишки наблюдалась чёткая связь заболевания с длительностью пребывания в зоне Чернобыльской АЭС и, по-видимому, полученной дозой облучения. Зинченко В.А. и Киндзельский Л.П. [19], выполнившие прижизненное гисторадиографическое исследование по выявлению инкорпорированных радионуклидов у ряда больных с эрозиями слизистой желудка, находившихся в зоне ЧАЭС, обнаружили в этих местах слизистой и подслизистой оболочки радионуклиды в значительной концентрации. Это позволяет сделать вывод о том, что высокий процент эрозивных процессов, возникших у людей в период пребывания на Чернобыльской АЭС, возможно, связан с концентрацией инкорпорированных радионуклидов в слизистой желудка и двенадцатиперстной кишки. Была установлена связь начала заболевания или обострения гастритов, язвенной болезни и эзофагитов от длительности пребывания в зоне Чернобыльской АЭС.

В идеальном случае, для выяснения механизмов тканевых реакций в органах пищеварения, в выделенной части данной когорты ликвидаторов можно было бы провести дополнительные скрининговые эндоскопические или гистологические исследования. Известно, что в ближайший период после воздействия ионизирующего излучения (1986–1990 гг.) наряду с изменением воспалительного характера развивались нарушения в системе нейрогуморальной регуляции деятельности органов пищеварения. По результатам эндоскопического исследования [20] пищевода, желудка, двенадцатиперстной и тощей кишки у больших контингентов лиц, подвергшихся воздействию малых доз ионизирующего излучения (более 6,5 тыс. эндоскопий у участников ликвидации аварии, штатных сотрудников Чернобыльской АЭС, жителей контролируемых районов), выявлялись прогрессирующие изменения слизистой оболочки атрофического и гиперпластического характера, что подтверждается гистологическими и ультраструктурными исследования-

ми биоптатов. При этом структурные изменения сочетались с нарушениями регуляции моторной и секреторной функции желудка. Исследование базальной желудочной секреции у лиц как с гастродуоденитами и язвенной болезнью пилородуоденальной зоны, так и с хроническим гастритом выявило постоянный тип секреции (так называемый синдром раздражённого желудка), что указывает на нарушения нейрогуморальной регуляции секреторного процесса.

В более отдалённый период (3–6 лет) в органах пищеварения формируются чёткие нозологические формы патологии. Этот период характеризуется развитием атрофических и язвенно-эрозивных изменений слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки [18]. В совместном исследовании ЦНИИ гастроэнтерологии и МОНИКИ [21] при плановом обследовании участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, работавших в Чернобыле в 1986 и 1987 гг., в 75 % случаев гистологически выявлены поверхностный гастрит и дуоденит с множеством очень мелких эрозий.

Таким образом, изучение факторов внутреннего облучения в зоне работы ликвидаторов и детализация диагнозов по органам пищеварения в группах высокого радиационного риска ликвидаторов по БОП с помощью эндоскопических или гистологических исследований могло бы стать надёжной отправной точкой для выяснения характера и механизмов тканевых реакций в этих органах.

Выводы

1. В когорте российских ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС за период 1986–2023 гг. идентифицированы ЛБП модели радиационных рисков заболеваемости БОП и смертности от БОП (трёхзначные рубрики МКБ-10 K00–K93). Средняя по всей когорте оценка коэффициента избыточного относительного риска заболеваемости $ERR/Gr=0,33$, а для смертности $ERR/Gr=0,81$, что количественно сравнимо с полученными ранее оценками $ERR/Gr=0,62$ для заболеваемости и $ERR/Gr=0,74$ для смертности от солидных ЗНО в этой же когорте.
 2. Впервые исследованы радиационные риски заболеваемости БОП и смертности от БОП с учётом состояния здоровья ликвидаторов, т.е. с учётом выявленных у них болезней из других 16 трёхзначных рубрик МКБ-10 [11, 12].
 3. Из всех исследованных сопутствующих БОП заболеваний только среди ликвидаторов с диагнозами ЗНО радиационный риск заболеваемости БОП статистически значимо ($p=0,03$) увеличивается почти в два раза по сравнению со средним значением по всей когорте, от значения $ERR/Gr=0,33$ до значения $ERR/Gr=0,64$.
 4. Радиационные риски смертности от БОП не зависят от сопутствующих им заболеваний.
 5. Практический дозовый порог для отдалённой смертности ликвидаторов от БОП, оценённый по ЛБП модели, находится в диапазоне 0,160–0,860 Гр, со средним значением 0,280 Гр. Это в 20 раз меньше дозового порога в 6 Гр, принятого МКРЗ [2] для ранней смертности от БОП (до 10 дней после облучения). Аналогичные оценки дозовых порогов для заболеваемости БОП, с учётом 95 % ДИ, находятся в диапазоне 0,006–0,042 Гр.
 6. Непараметрические оценки относительных радиационных рисков (RR) подтверждают корректность ЛБП моделей радиационного риска БОП.
- В диапазоне малых и средних доз (до 1,5 Гр) ради-

ационно-индуцированные БОП имеют существенные свойства отдалённых стохастических эффектов и укладываются в ЛБП модель риска. Дальнейшее накопление данных в системе НРЭР позволит исследовать характе-

ристики БОП, свойственные поздним тканевым реакциям (прогрессирующее течение болезней, увеличение их тяжести с дозой и зависимость от здоровья организма в целом).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Пер. с англ. / Под общей ред. М.Ф.Киселёва и Н.К.Шандалы. М.: Алана, 2009. 312 с. Электронный ресурс: http://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf
2. International Commission on Radiological Protection. Statement on Tissue Reactions. ICRP ref 4825-3093-1464. Approved by the Commission on April 21, 2011. URL: <https://www.icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>.
3. Труды МКРЗ, Публикация 118. Отчёт МКРЗ по тканевым реакциям, ранним и отдалённым эффектам в нормальных тканях и органах – пороговые дозы для тканевых реакций в контексте радиационной защиты / Под ред. А.В.Аклеева, М.Ф.Киселева. Челябинск: Книга, 2012. 384 с. Электронный ресурс: https://www.icrp.org/docs/P118_Russian.pdf.
4. Little M.P., Azizova T.V., Richardson D.B., Tapio S., Bernier M.O., Kreuzer M., Cucinotta F.A., Bazyka D., Chumak V., Ivanov V.K., Veiga L.H. S., Livinski A., Abalo K., Zablotska L.B., Einstein A.J., Hamada N. Ionising Radiation and Cardiovascular Disease: Systematic Review and Meta-Analysis // *BMJ*. 2023. No.380. P. e072924. doi: 10.1136/bmj-2022-072924.
5. Иванов В.К., Максютков М.А., Туманов К.А., Кочергина Е.В., Власов О.К., Чекин С.Ю., Горский А.И., Корело А.М., Щукина Н.В., Зеленская Н.С., Лашкова О.Е., Иванов С.А., Каприн А.Д. 35-летний опыт функционирования НРЭР как государственной информационной системы мониторинга радиологических последствий чернобыльской катастрофы // *Радиация и риск*. 2021. Т.30. №1. С. 7–39.
6. Пшкеевич В.А., Иванов В.К., Цыб А.Ф., Максютков М.А., Матяш В.А., Щукина Н.В. Дозиметрические данные Российского государственного медико-дозиметрического регистра для ликвидаторов // *Радиация и риск*. 1995. Специальный выпуск 2. С. 3–44.
7. Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin S.Yu., Kruglova Z.G., Petrov A.V., Tsyb A.F. Radiation-Epidemiological Analysis of Incidence of Non-Cancer Diseases among the Chernobyl Liquidators // *Health Phys.* 2000. V.78. No.5. P. 495–501. doi: 10.1097/00004032-200005000-00005.
8. Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin S.Yu., Petrov A.V., Biryukov A.P., Kruglova Z.G., Matyash V.A., Tsyb A.F., Manton K.G., Kravchenko J.S. The Risk of Radiation-Induced Cerebrovascular Disease in Chernobyl Emergency Workers // *Health Phys.* 2006. V.90. No.3. P. 199–207. doi: 10.1097/01.HP.0000175835.31663.ea.
9. Радиационная эпидемиология болезней системы кровообращения человека после радиационных аварий / Под ред. В.К.Иванова. Обнинск: Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф.Цыба, 2016. 168 с.
10. Чекин С.Ю., Максютков М.А., Кащеев В.В., Карпенко С.В., Туманов К.А., Кочергина Е.В., Зеленская Н.С., Лашкова О.Е. Оценка радиационных рисков неонкологических заболеваний среди российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиация и риск*. 2021. Т.30. №1. С. 58–77.
11. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-й пересмотр (МКБ-10). Т.1 (Ч.1). Женева: ВОЗ, 1995. 698 с.
12. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-й пересмотр (МКБ-10). Т.1 (Ч.2). Женева: ВОЗ, 1995. 633 с.
13. Ozasa K., Shimizu Y., Suyama A., Kasagi F., Soda M., Grant E.J., Sakata R., Sugiyama H., Kodama K. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: an Overview of Cancer and Noncancer Diseases // *Radiat. Res.* 2012. V.177. No.3. P. 229–243. doi: 10.1667/rr2629.1.
14. Breslow N.E., Day N.E. Statistical Methods in Cancer Research. Volume II. The Design and Analysis of Cohort Studies. IARC Scientific Publication No 82. Lyon: IARC, 1987. 406 p.
15. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A. EPICURE User's Guide. Seattle: Hirosoft International Corp., 1993. 330 p.
16. Кащеев В.В., Чекин С.Ю., Карпенко С.В., Максютков М.А., Туманов К.А., Кочергина Е.В., Глебова С.Е., Иванов С.А., Каприн А.Д. Оценка радиационных рисков злокачественных новообразований среди российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиация и риск*. 2021. Т.30. №1. С. 58–77.
17. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). Электронный ресурс: <https://www.fedstat.ru/indicator/3129>.
18. Чернобыльская катастрофа / Под ред. В.Г.Барьяхтар. Киев: Наукова думка, 1995. С. 468–469.
19. Логинов А.С., Передерий В.Г., Бычкова В.Г., Фомина А.А., Трач Е.Н. Некоторые особенности морфологических изменений пищеварительного канала, клинического течения заболеваний органов пищеварения и иммунного статуса у лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС // *Терапевтический архив*. 1995. Т.67. №2. С. 44–47.
20. Бебешко В.Г., Коваленко А.Н., Чумак А.А., Бруслова Е.М., Клименко В.И., Якименко Д.М., Сушко В.А. Клинические аспекты последствий аварии на Чернобыльской АЭС на этапе 1986–1990 гг. (Основные направления научных исследований) // *Вестник Академии медицинских наук СССР*. 1991. №11. С. 14–18.
21. Логинов А.С., Потапова В.Б., Любченко П.Н., Дубинина Е.Б., Ульянова В.В. Особенности слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки у участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // *Терапевтический архив*. 1995. Т. 67. №12. С. 39–43.

REFERENCES

1. Publikatsiya 103 Mezhdunarodnoy Komissii po Radiatsionnoy Zashchite (MKRZ) = Publication 103 of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Ed. M.F.Kiselev, N.K.Shandala. Moscow, Alana Publ., 2009. 312 p. URL: http://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf (In Russ.).
2. International Commission on Radiological Protection. Statement on Tissue Reactions. ICRP ref 4825-3093-1464. Approved by the Commission on April 21, 2011. URL: <https://www.icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>.
3. Trudy MKRZ, Publikatsiya 118. Otchet MKRZ po Tkanevym Reaktsiyam, Rannim i Otdalonnym Effektam v Normal'nykh Tkanyakh i Organakh – Porogovyye Dozy dlya Tkanevykh Reaktsiy v Kontekste Radiatsionnoy Zashchity = Proceedings of the ICRP, Publication 118. ICRP Report on Tissue Reactions and Early and Late Effects in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in the Context of Radiation Protection. Ed. A.V.Akleyev, M.F.Kiselev. Chelyabinsk, Kniga Publ., 2012. 384 p. URL: https://www.icrp.org/docs/P118_Russian.pdf (In Russ.).
4. Little M.P., Azizova T.V., Richardson D.B., Tapio S., Bernier M.O., Kreuzer M., Cucinotta F.A., Bazyka D., Chumak V., Ivanov V.K., Veiga L.H. S., Livinski A., Abalo K., Zablotska L.B., Einstein A.J., Hamada N. Ionising Radiation and Cardiovascular Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMJ*. 2023;380:e072924. doi: 10.1136/bmj-2022-072924.
5. Ivanov V.K., Maksyutov M.A., Tumanov K.A., Kochergina Ye.V., Vlasov O.K., Chekin S.Yu., Gorskiy A.I., Korelo A.M., Shchukina N.V., Zelenskaya N.S., Lashkova O.Ye., Ivanov S.A., Kaprin A.D. 35-year Experience of Functioning of the NRER as a State Information System for Monitoring the Ra-

- biological Consequences of the Chernobyl Disaster. *Radiatsiya i Risk* = Radiation and Risk. 2021;30;1:7–39 (In Russ.).
6. Pitkevich V.A., Ivanov V.K., Tsyb A.F., Maksyutov M.A., Matyash V.A., Shchukina N.V. Dosimetric Data of the Russian State Medical-Dosimetric Registry for Liquidators. *Radiatsiya i Risk* = Radiation and Risk. 1995. Special Issue 2. P. 3–44 (In Russ.).
 7. Ivanov V.K., Maksyutov M.A., Chekin S.Yu., Kruglova Z.G., Petrov A.V., Tsyb A.F. Radiation-Epidemiological Analysis of Incidence of Non-Cancer Diseases among the Chernobyl Liquidators. *Health Phys.* 2000;78;5:495–501. doi: 10.1097/00004032-200005000-00005.
 8. Ivanov V.K., Maksyutov M.A., Chekin S.Yu., Petrov A.V., Biryukov A.P., Kruglova Z.G., Matyash V.A., Tsyb A.F., Mantov K.G., Kravchenko J.S. The Risk of Radiation-Induced Cerebrovascular Disease in Chernobyl Emergency Workers. *Health Phys.* 2006;90;3:199–207. doi: 10.1097/01.HP.0000175835.31663.ca.
 9. *Radiatsionnaya Epidemiologiya Bolezney Sistemy Krovoobrazheniya Cheloveka Posle Radiatsionnykh Avari* = Radiation Epidemiology of Diseases of the Human Circulatory System after Radiation Accidents. Ed. V.K. Ivanov. Obninsk, Meditsinskiy Radiologicheskii Nauchnyy Tsentr Imeni A.F. Tsyba Publ., 2016. 168 p. (In Russ.).
 10. Chekin S.Yu., Maksyutov M.A., Kashcheyev V.V., Karpenko S.V., Tumanov K.A., Kochergina Ye.V., Zelenskaya N.S., Lashkova O.Ye. Assessment of Radiation Risks of Non-Onco-logical Diseases among Russian Participants in the Liquidation of the Consequences of the Chernobyl Accident. *Radiatsiya i Risk* = Radiation and Risk. 2021;30;1:78–93 (In Russ.).
 11. *Mezhdunarodnaya Statisticheskaya Klassifikatsiya Bolezney i Problem, Svyazannykh so Zdorov'yem, 10-y Peresmotr (MKB-10)* = International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th Revision (ICD-10). Vol. 1 (Part 1). Geneva, WHO Publ., 1995. 698 p. (In Russ.).
 12. *Mezhdunarodnaya Statisticheskaya Klassifikatsiya Bolezney i Problem, Svyazannykh so Zdorov'yem, 10-y Peresmotr (MKB-10)* = International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th Revision (ICD-10). Vol.1 (Part 2). Geneva, WHO, 1995. 633 p. (In Russ.).
 13. Ozasa K., Shimizu Y., Suyama A., Kasagi F., Soda M., Grant E.J., Sakata R., Sugiyama H., Kodama K. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: an Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiat. Res.* 2012;177;3:229–243. doi: 10.1667/rr2629.1.
 14. Breslow N.E., Day N.E. Statistical Methods in Cancer Research. Volume II. The Design and Analysis of Cohort Studies. IARC Scientific Publication No 82. Lyon, IARC, 1987. 406 p.
 15. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A. EPICURE User's Guide. Seattle, Hirosoft International Corp., 1993. 330 p.
 16. Kashcheyev V.V., Chekin S.YU., Karpenko S.V., Maksyutov M.A., Tumanov K.A., Kochergina Ye.V., Glebova S.Ye., Ivanov S.A., Kaprin A.D. Assessment of Radiation Risks of Malignant Neoplasms among Russian Participants in the Liquidation of the Consequences of the Chernobyl Accident. *Radiatsiya i Risk* = Radiation and Risk. 2021;30;1:58–77 (In Russ.).
 17. *Yedinaya Mezhhvedomstvennaya Informatsionno-Statisticheskaya Sistema (YEMISS)* = Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS) (In Russ.). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/3129>
 18. *Chernobyl'skaya Katastrofa* = Chernobyl Disaster. Ed. V.G. Bar'yakhtar. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1995. P. 468–469 (In Russ.).
 19. Loginov A.S., Perederiy V.G., Bychkova V.G., Fomina A.A., Trach Ye.N. Some Features of Morphological Changes in the Digestive Tract, Clinical Course of Diseases of the Digestive Organs and Immune Status in Individuals Exposed to Radiation as a Result of the Chernobyl Accident. *Terapevticheskiy Arkhiv* = Therapeutic Archive. 1995;67;2:44–47 (In Russ.).
 20. Bebesko V.G., Kovalenko A.N., Chumak A.A., Bruslova Ye.M., Klimenko V.I., Yakimenko D.M., Sushko V.A. Clinical Aspects of the Consequences of the Chernobyl Accident at the Stage of 1986–1990 (Main Directions of Scientific Research). *Vestnik Akademii Meditsinskikh Nauk SSSR* = Bulletin of the USSR Academy of Medical Sciences. 1991;11:14–18 (In Russ.).
 21. Loginov A.S., Potapova V.B., Lyubchenko P.N., Dubinina Ye.B., Ul'yanova V.V. Features of the Gastric and Duodenal Mucosa in Participants in the Liquidation of the Consequences of the Chernobyl Accident. *Terapevticheskiy Arkhiv* = Therapeutic Archive. 1995;67;12:39–43 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.03.2025. **Принята к публикации:** 25.04.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.03.2025. **Accepted for publication:** 25.04.2025.